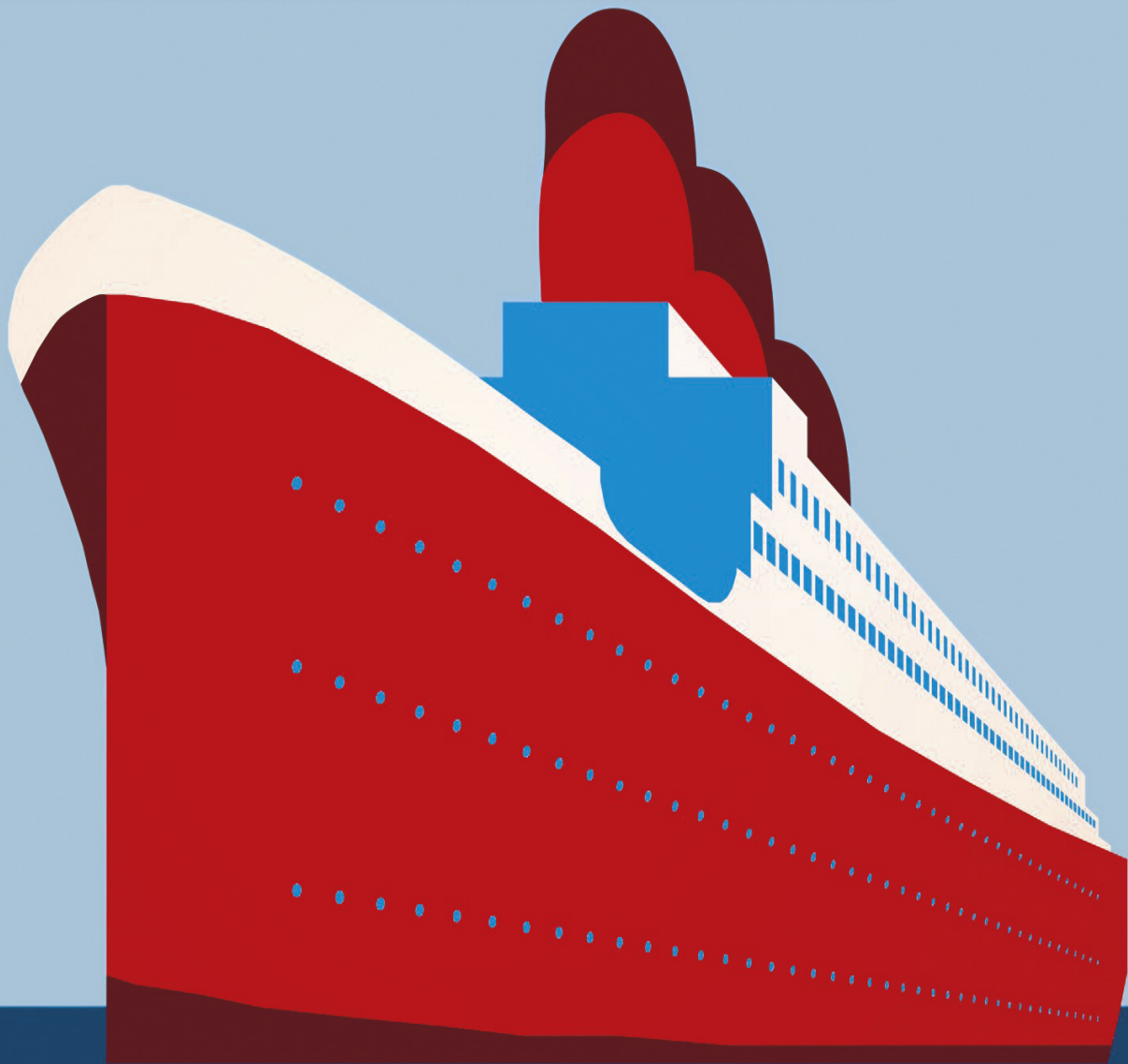


Lærebok i
Lekkstabilitet

K19



Forfatter: Jarle Johnsen. Rev: 1

Forord

Forord til K19 Lekkstabilitet.

Forliset til RMS «Titanic» 15. april 1912, etter kollisjon med et isfjell, er nok det mest berømte skipsforlis av alle og som ennå berører offentligheten.

Hendelsen førte til SOLAS (Den internasjonale konvensjon om sikkerhet for menneskeliv til sjøs) og dette kompendium tar for seg kapittel II-1 (konstruksjon av skip, Fastsettes oppdeling og skadestabilitetskrav for både passasjer og lasteskip, samt Krav til maskineriet og de elektriske installasjoner (nødsituasjoner)).

Det er skrevet lite om dette kapittelet i tidligere maritime lærebøker, her er det tatt sikte på å skrive om det mest vesentlige som inngår i regelverket helt fra 1894 til 2020. Det har vært et omfattende arbeid og mesteparten av teksten er hentet i fra selve SOLAS konvensjonen. Hvis man skal ha kjennskap til et regelverk så kreves det kjennskap til historien og viktige hendelser til dette. I tillegg omhandler dette kompendium om stabilitet som har direkte relasjon med kapittel II-1 og å på et generelt basis grunnlag.

Kapittelet om stabilitet er også skrevet for dekke opp for Lov om høyere yrkesfaglig utdanning (fagskoleloven) og Forskrift om høyere yrkesfaglig utdanning (fagskoleforskriften), der det tar sikte på å øke forståelsen for emnet, vise hvordan formler blir til (utledet) og ikke bare benytte en formel for å komme den den raskeste vei til en løsning.

Det er også et kortfattet kapittel om stabilitetsberegninger med pram for de som ikke benytter pram til vanlig. Til slutt er det et kapittel i deterministisk beregninger for skadetilfeller, der pram er mye benyttet.

Tromsø 12.08.2020

Jarle Johansen

Fagskolen i Troms, avdeling Tromsø.

E-mail: jarle.johansen@tffk.no

Kapittel 1: Regelverk om skadestabilitet

LEKKSTABILITET (ENGELSK: *DAMAGE STABILITY*):

Lekkstabilitet (engelsk: *damage stability*): Vi deler inn stabilitet i to kategorier: intakt og skadestabilitet. Med intakt stabilitet menes at fartøyet er uskadet, dvs. at hele skroget er intakt. Skadestabilitet er når et skip har vært utsatt for en ulykke slik som f.eks. en kollisjon med et annet fartøy eller en grunnstøting og skipet fylles med vann. Skipet kan synke på grunn av at det er fylling i så mange avdelinger (rom) om bord at det ikke er nok oppdrift til å holde skipet flytende, eller at det kantrer på grunn av mangel på stabilitet.

Det mest kjente tilfellet er RMS Titanic, som sank etter å ha gått på et isfjell i Atlanterhavet i 1912. Ulykken inntraff om kvelden 14. april kl. 23:40 (skipstid), og skipet sank tidlig om morgenen 15. april. Med sine 46 328 bruttotonn var Titanic på dette tidspunktet verdens største skip. Det er anslått at det var omtrent 2208 personer om bord, og at 1500 personer mistet livet. På den tiden ble antall livbåter tildelt etter skipets bruttotonnasje. Titanic hadde 20 livbåter med 1178 sitteplasser, som var mer enn kravet på 1060 sitteplasser. Da ulykken inntraff, så var det livbåtplass til halvparten av passasjerene og mannskapet, men skipet var langt fra fullbooket. Antall passasjerer om bord var om lag 1320, mens maksimum kapasitet var 2435 passasjerer. Lovbestemmelsen om antall livbåter (plasser) etter bruttotonnasje var fra 1894, og da var det et makstak for livbåter for skip med bruttotonnasje over 10 000.



Figur 0101 Titanic



LIVBÅTER

Titanic var designet for å bære 32 livbåter, men dette tallet ble redusert til 20 fordi man følte at dekket ville være for rotete.

Selv over 100 år etter hendelsen så produseres det nye dokumentarprogrammer som tar for seg hva som skjedde. Hva kan ha medvirket til at ulykken inntraff, og at konsekvensene ble så store? I 2017 ble det oppdaget nye bilder som viser at Titanic hadde brennmerker på skutesiden på begge sider ved samme spant rett før jomfruturen. Brennmerkene er ved bunkerstank (kull) nr. 6, og der var det en kullbrann under prøveturen. Det var dette området av skroget på styrbord side som tok den største støyten ved kollisjonen med isfjellet. Det er store muligheter for at kullbrannen fortsatte etter prøveturen og fortsatt var i live da Titanic traff isfjellet. Stålet ble svekket av brannen, temperaturen som var trolig mellom 500 til 1000 grader celsius. Det ble rapportert av en fyrbøter at to timer etter kollisjonen så kollapset skottene i bunkerstank nr. 6, og han så tydelig at grønsjø strømmet inn.



Figur 0102 Brennmerker på skutesiden.



Figur 0103 Tidsforløp fra kollisjonen til Titanic sank.

Man kan se på figur 0103 at nedsynkeningen gikk fort fra 2 timer til 2 timer og 40 minutter (bratt kurve). RMS Carpathia (passasjerskip) ankom Titanics posisjon 1,5 timer etter at skipet hadde sunket. Hvis tidsforløpet hadde fulgt omtrent samme hastighet som det gjorde fra kollisjonen til 2 timer, så hadde RMS Carpathia ankommet tidsnok. Carpathia reddet 705 personer fra livbåtene. Det var få personer som fulgte med skipet ned, de fleste fikk på seg redningsvester, men det kalde vannet tok livet av dem, og de drev vekk fra området. Lasteskipet SS Californian slo stopp i maskinen på grunn av mange isfjell den 14. april kl. 22:20 (skipstid).

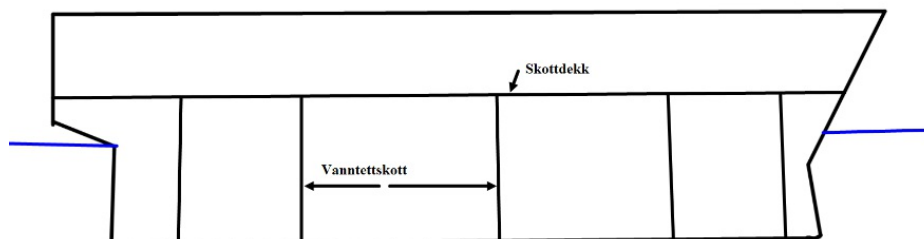
Posisjonen til SS Californian er anslått til å ha vært 19 nautiske mil nord for der Titanic sank. Kapteinen ba radiostasjonen om å sende ut varsel om isfjell (telegrafi) kl. 22:20, men telegrafisten på Titanic holdt da på med en stor sending og ga beskjed om at han ikke ville bli forstyrret. Radiostasjonen på SS Californian ble slått av for natten etter at varselet var sendt ut, og oppfattet ikke nødmeldingene som Titanic senere sendte ut. Mannskapet på Californian så rakettene som ble sendt opp fra Titanic, men misoppfattet situasjonen og er blitt kritisert for sin mangel på handlinger, det er konkludert med at de ikke ville ha rukket frem tidsnok. Senere på natten da Californian ble gjort oppmerksom på Titanics nødsituasjon, så krysset de to ganger et islagt farvann for å søke etter overlevende.

Forandringene i lovverket etter Titanic-ulykken: Den internasjonale konvensjon om sikkerheten for menneskeliv til sjøs (SOLAS). Etter at Titanic sank, bestemte den britiske og amerikanske undersøkelseskomiteen at skip skulle ha nok livbåter til alle på skipet. Det skulle også være nødvendig med livbåtøvelser og inspeksjoner for å unngå en annen stor skipsulykke. Den første internasjonale konferansen om sikkerhet for menneskeliv til sjøs (SOLAS) ble samlet i London fra 23. november 1913 til 20. januar 1914. Konferansen besto av mer enn 100 representanter fra en rekke maritime land, inkludert Tyskland, Østerrike-Ungarn, Belgia, Danmark, Spania, USA, Frankrike, Storbritannia, Italia, Norge, Nederland, Russland, Sverige, Australia, Canada og New Zealand. For å løse de kompliserte sikkerhetsproblemene ble konferansearbeidet delt mellom seks komiteer: 1. radiotelegrafi, 2. navigasjonssikkerhet, 3. sertifikater, 4. konstruksjon, 5. revisjon og 6. redningsredskaper. Hvert utvalg var sammensatt av én eller flere delegater fra hvert av deltakerlandene. Etter sju uker signerte tretten land den 20. januar 1914 SOLAS-konvensjonen. Den ble ratifisert av bare fem nasjoner: Storbritannia, Nederland, Norge, Spania og Sverige. Mange land, inkludert USA, satte den ut av kraft (ratifikasjonsarbeidet) på grunn av begynnelsen av første verdenskrig. Som et resultat av dette trådte SOLAS-konvensjonen fra 1914 aldri i kraft som planlagt den 1. juli 1915. Radioloven av 1912: Denne loven krevde at alle sjøfartøyer skulle ha et 24-timers radiosystem på plass for å holde kontakten med andre skip på vann og kystradiostasjonene. I tillegg, etter gjennomgangen av denne loven, ble alle radiooperatører pålagt å få en lisens for å fremme operatørens troverdighet og ansvar. Internasjonal is patrulje: Først i 1914 ble den internasjonale is patruljen grunnlagt for å varsle alle sjøfartøyer som seilte i Europa, Canada og USA, om isfjell. I dag er det den amerikanske kystvakten som tar seg av den internasjonale ispatruljen.



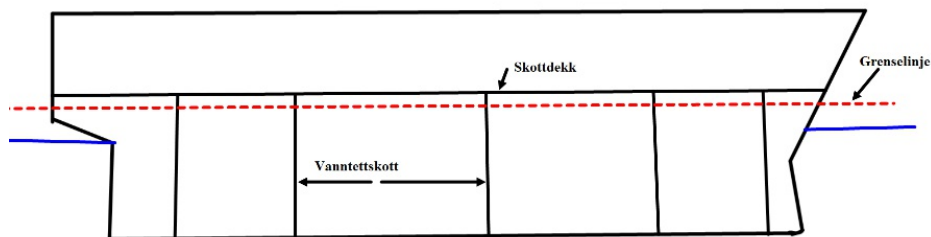
FORBEDRING AV KONSTRUKSJON

Forbedring av konstruksjon: Først skal vi se på grunnleggende betegnelser som inngår i skadestabilitet.



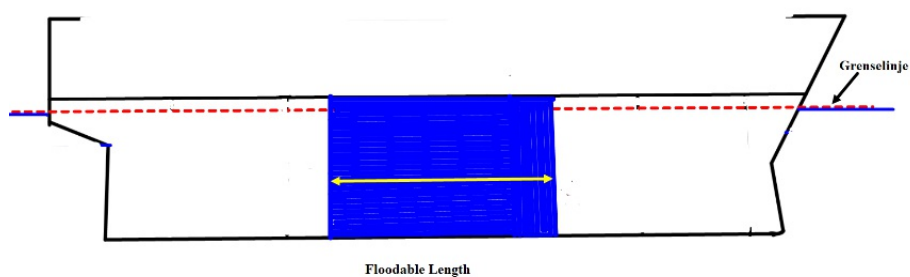
Figur 0104 Vanntette skott.

Figur 0104 viser en skisse av et skip som er inndelt med vanntette skott og skottdekk. Skipet har dypgående ved sitt sommerdeplACEMENT.



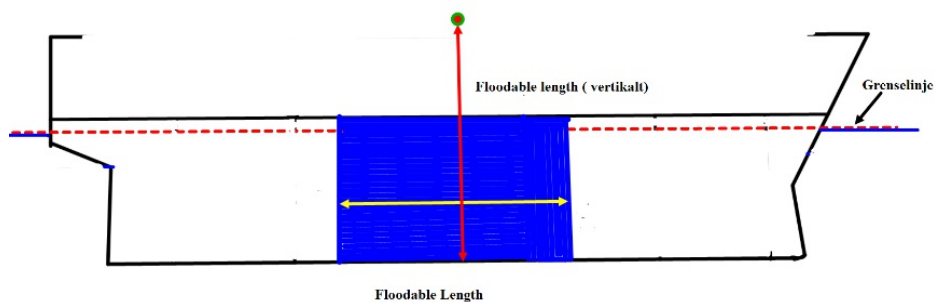
Figur 0105 Grenselinje.

Figur 0105 viser grenselinje. Grenselinjen er 76 mm under skottdeket og er ment som en sikkerhetsmargin.



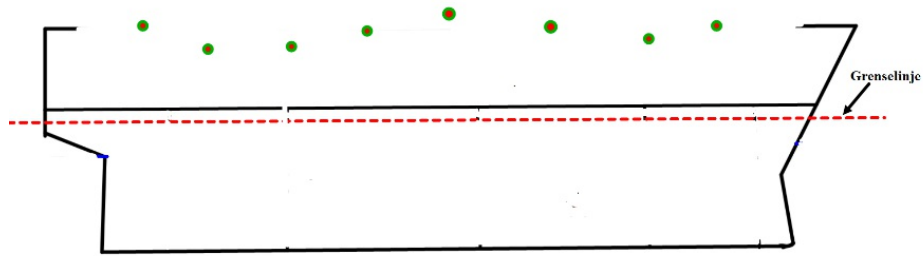
Figur 0106 Fyllingslengde (floodable length).

Figur 0106 viser en fyllingslengde. Med fyllingslengde menes hvor stor lengde av skipet som kan fylles for at skipet synker til grenselinjen. Med fylling så menes fra babord til styrbord side og opp til skottdeket. Dette skipet er et såkalt 1-avdelingsskip, det vil si at det tåler skade i en avdeling uten at det synker. Fyllingslengden viser lengden av en avdeling.



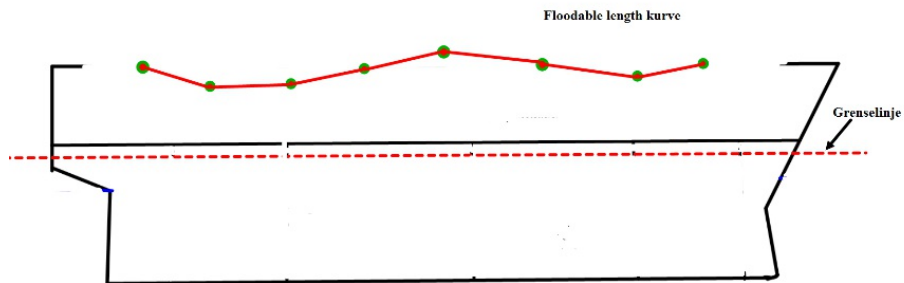
Figur 0107 Tegne en fyllingslengdekurve.

Figur 0107 viser ett punkt på en fyllingslengdekurve. Hvis man stiller seg i senter av en fyllingslengde og tar den gule horisontale lengden, snur denne seg slik at den blir vertikal med samme lengde. Tegner inn et punkt der denne ender. Dette punktet vil sammen med flere danne en fyllingslengdekurve.



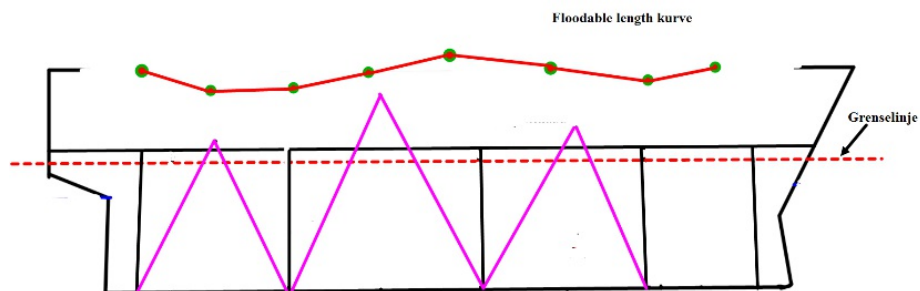
Figur 0108 Punkter til fyllingslengdekurven.

Figur 0108 viser alle punktene til en fyllingslengdekurve. Den vil ha sin største høyde midtskips, forre og aktere del er lavere på grunn av trimendringen det medfører. Den får et oppsving helt forrest og akterst på grunn av at skipet er smalere her.



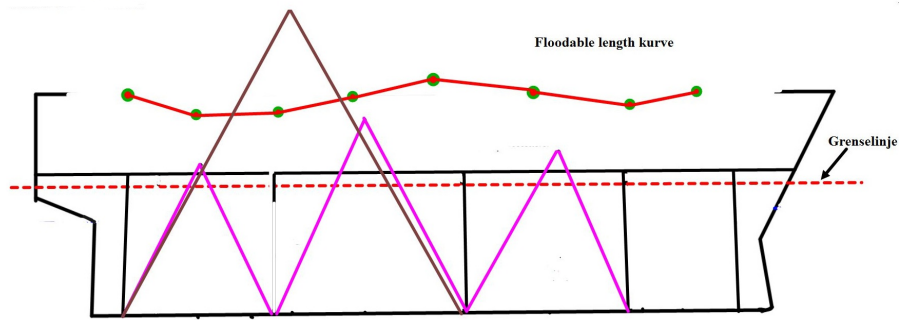
Figur 0109 Fyllingslengdekurve.

Figur 0109 viser en heltrukken fyllingslengdekurve.



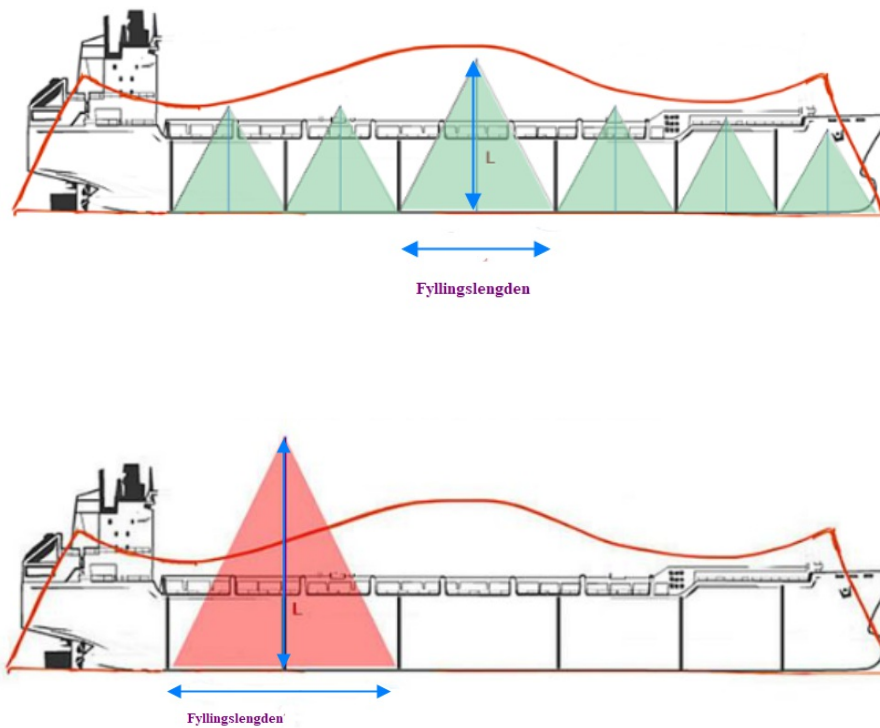
Figur 0110 Fyllingslengde med alle avdelinger.

Figur 0110 viser situasjonen til et 1-avdelingsskip som har fylling. Skissen viser når skipet har fylling i hver enkelt avdeling og ikke i alle samtidig. Her er det god margin.



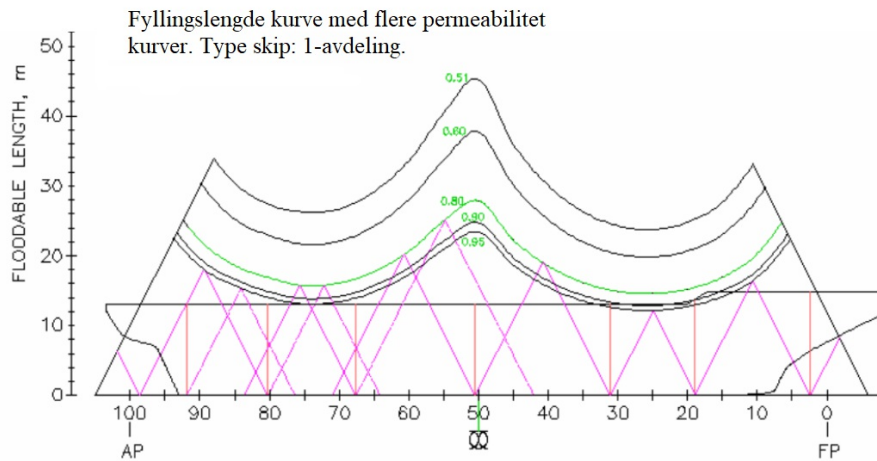
Figur 0111 Fylling i to avdelinger.

Figur 0211 viser når et 1-avdelingsskip får fylling i to avdelinger. Det vanntette skottet mellom avdeling 4 og 5 er tatt bort for å illustrere det tydeligere. Skipet vil synke med fylling i to avdelinger (som det fremgår av skissen).



Figur 0112.

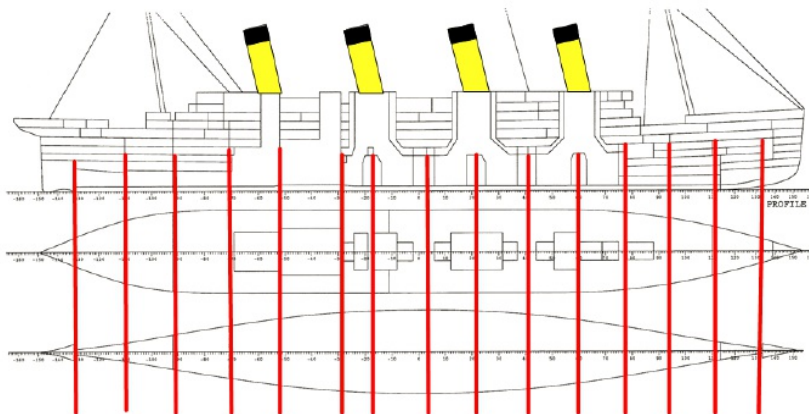
Figur 0112 viser to tilfeller av fylling. Den øverste viser fylling i én avdeling. Dette er et 1-avdelingsskip. Den nederste viser fylling i to avdelinger (lasterom), og det går ikke bra.



Figur 0113 Fyllingslengdekurve med forskjellige permeabilitetskurver. Type skip: 1-avdeling.

Figur 0113 viser en fyllingskurve med forskjellige permeabilitetskurver for 1-avdelingskip. Permeabilitet er fyllingsgraden av hvor mye i prosent et rom på et skip kan være fylt opp med vann. Det blir i volum opp til grenselinjen eller ved det aktuelle dypgående. Tidligere gjaldt disse: Lasterom og storesrom: 60 %, Oppholdsrom: 95 %, maskinrom: 85 %. Etter Solas 2009 ble det noen forandringer som blir forklart senere. Grunnleggende for lekkstabiliteten, om den beregnes deterministisk eller probabilistisk, er permeabilitet.

Hvor stor permeabiliteten er, vil avhenge av hvor mye volum som allerede er opptatt av for eksempel last eller utstyr i rommet. Permeabilitet lik 100 % vil si at hele rommet kan fylles av vann.



Figur 0114 Oversikt over vanntette skott på Titanic.

Figur 0114 viser en skisse med de vanntette skottene på Titanic. Titanic hadde 16 avdelinger, men ikke skottdekk. Skipet kunne tåle fylling i fire avdelinger, men uten skottdekk så fyltes to avdelinger til. Det ble de seks første avdelingene som ble fylt. I ettertid har forskning vist at Titanic var mer et 3-avdelingskip enn 4.

Forskjellige typer avdelingskip. «Avdeling» på engelsk er *compartment*, som forkortes med CS.



Figur 0115 Skisse av skip.

Figur 0115 viser en skisse av et lasteskip. Den grønne horisontale linjen er skottdekket, og den blå horisontale linjen er dypgående ved sommerdeplasement.



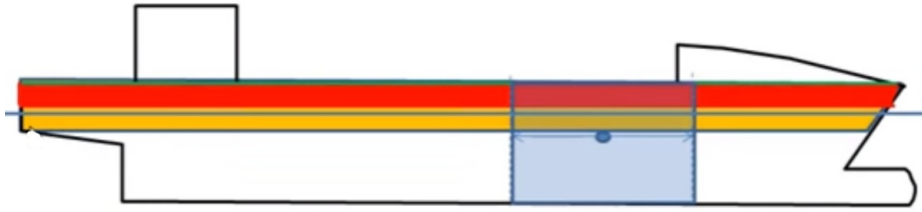
Figur 0116 Skisse med grenselinje.

Figur 0116 viser et lasteskip med grenselinje som er tegnet med en rød horisontal linje.



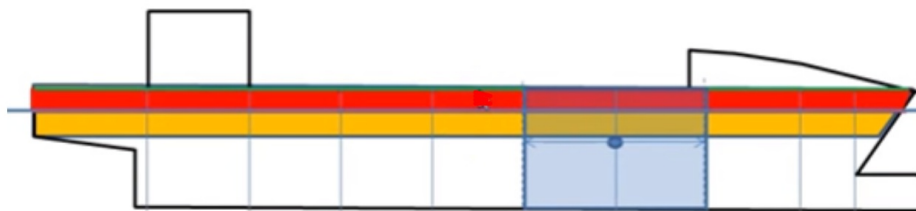
Figur 0117 skisse av de forskjellige fribordene.

Figur 0117 viser et lasteskip med de forskjellige fribordene. Det oransje er fribord sommer, mens det røde er grenselinje fribordet (76 mm). Det oransje fribordet er tillatt tapt fribord.



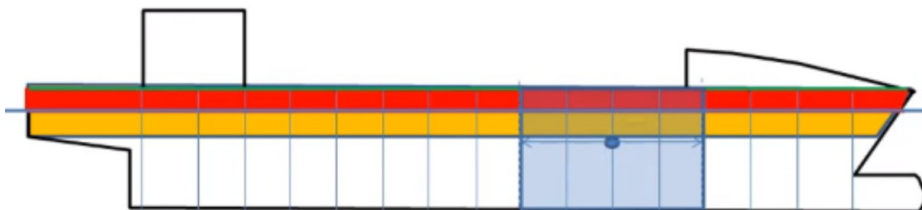
Figur 0118 Skisse av en fyllingslengde.

Figur 0118 viser et lasteskip med en fyllingslengde.



Figur 0119 En fyllingslengde delt i to.

Figur 0119 viser et lasteskip som har en fyllingslengde delt i to (oppdelingsfaktor).



Figur 1220 En fyllingslengde delt i fire.

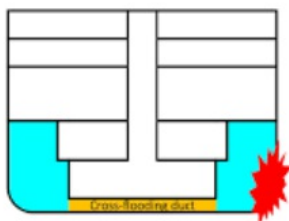
Figur 1220 viser et lasteskip som har delt en fyllingslengde delt i fire (oppdelingsfaktor).

Avdelingsskip blir inndelt i flere standarder: Type 1, 2 og 4 avdelingsskip. Oppdelingsfaktor ved inndeling: 1 / type avdelingsskip (som blir lik 1 eller mindre enn 1). Tillatt lengde mellom vanntette skott blir = faktor inndeling \times fyllingslengden. Faktor inndeling blir = 1/1 blir type 1, 1/2 blir type 2, og 1/4 blir type 4. For lasteskipet ovenfor så er fyllingslengden = 15 meter. Tillatt lengde mellom vanntette skott for type 1 skip = 1 \times 15 meter = 15 meter, tillatt lengde mellom vanntette skott for type 2 skip = 0,5 \times 15 meter = 7,5 meter, tillatt lengde mellom vanntette skott for type 4 skip = 0,25 \times 15 meter = 3,75 meter. En generell regel ble at jo lengre skipene var, eller jo flere passasjerer det hadde, så fikk de større oppdelingsfaktor.

SOLAS 1929 og SOLAS 1948

SOLAS 1914 trådte aldri i kraft, men en stor del av den ble overført til den neste konvensjonen. SOLAS 1914 dreide seg mest om passasjerskip, og her skulle lasteskip assistere disse i nødsituasjoner. I Solas 1929 var lasteskip tatt med i flere faser, men siden SOLAS 1914 ble overført til 1929, så gikk denne litt glipp av den teknologiske utviklingen. I 1914 var det kull som ble brukt til fremdrift, kulltankene var plassert og utformet slik at de gikk fra babord til styrbord side. Hvis de fikk en fylling, så ble det en symmetrisk fylling, det vil si at skipet ikke krenget. Fra 1924 ble det mer og mer vanlig at olje ble brukt til fremdrift, og oljetankene var plassert på hver sin side på skipet. Hvis et skip for eksempel kolliderte og fikk skade med fylling i en bunkerstank, så medførte det som oftest at det ble krenkning. SOLAS 1929 trådte i kraft i 1936 og var mye rettet mot nye passasjerskip som ble bygget etter 1. juli 1931. SOLAS 1929 medførte ingen krav til skadestabilitet, men videreførte kravene fra SOLAS 1914 med fyllingslengdekurvene, antall avdelinger, oppdelingsfaktor og så videre. Fokuset var å sette av krav på vannrett integritet, strukturelt brannvern, brannmotstand av skott over skottdekket for å skape hovedvertikale soner. Konvensjonen innførte også at krav til et skip vedvarte helt til skipet ble skrotet.

SOLAS 1948: Den teknologiske utviklingen hadde vært stor siden 1929. Skadelengde (langskips) ble definert som 3 % av skipets lengde pluss 3,05 m (10 fot). Tverrskips: 20 % av skipets bredde ($B/5$), vertikal: Fra tanktopp opp til grenselinjen. Solas 1948 innførte grenselinjen på 76 mm (3'). Positiv GM hvis det var symmetrisk fylling og negativ GM, kunne tillates dersom krengevinkelen var mindre enn 7° . Usymmetriske fylling: Her var det anbefalt at disse måtte være mindre enn 7° , de kunne være 15° hvis det var opplegg for kryssfylling (se figur 0221), forutsatt at et sånt opplegg var godkjent av regjeringen i landet som skipet var registrert i. SOLAS 1948 trådte i kraft i januar 1953. I 1948 ble FN dannet i Genève, og det ble bestemt at en internasjonal sjøsikkerhetsorganisasjon skulle dannes under FN. Det tok ti år før alt var klart, og i 1958 var IMO på plass.



Figur 0121 Kryssfylling.

Figur 0121 viser et opplegg til kryssfylling (*duct* = «rør»). Usymmetrisk fylling forårsaker større krengningsvinkler, og dette må kompenseres for med et utjevningsopplegg med kryssfylling.

S/S Andrea Doria

I juli 1956 kolliderte passasjerskipet S/S Andrea Doria med passasjerskipet M/S Stockholm ved kysten av Massachusetts. M/S Stockholm, som var is-klasset, fikk hull i baugen, men holdt seg flytende uten krenkning, mens Andrea Doria fikk skade på styrbord side, fremme på skipet. 46 av de totalt 1706 personene som var om bord på Andrea Doria, mistet livet. Fem personer på Stockholm mistet også livet. Andrea Doria sank etter elleve timer, men takket være en enestående redningsaksjon så ble tapet av menneskeliv minimalt. Andrea Doria var konstruert til å tåle usymmetrisk fylling opp til 15 grader list (SOLAS 1948-krav), men under fem minutter etter kollisjonen så hadde Andrea en list til styrbord på litt over 20 grader. Maskinistene innså veldig raskt at de ikke kunne rette opp skipet, livbåtene på babord side kunne ikke låres på grunn av for stor list til styrbord. Livbåtene på styrbord side kunne bare imøtekomme 1004 personer (av 1706 totalt). Nødmeldingene gikk raskt ut til andre fartøyer.



Figur 0122 Andrea Doria.

Figur 0122 viser Andrea Doria etter kollisjonen.

SOLAS 1960: IMO ble dannet i 1958 og tok straks fatt på en ny konvensjon. Det var ønskelig med en ny konvensjon istedenfor å rette på 1948-konvensjonen. Solas 1960 holdt på krav til konstruksjon fra de tidligere konvensjonene, og i tillegg kom: I tilfelle usymmetrisk fylling så skulle kryssfyllingen være komplett innen 15 minutter. Krav til GM ved usymmetrisk fylling ble 0,05 m. Maksimum list på 7 grader, men 15 grader med et godkjent system for kryssfylling. SOLAS 1960 trådte i kraft i 1965.

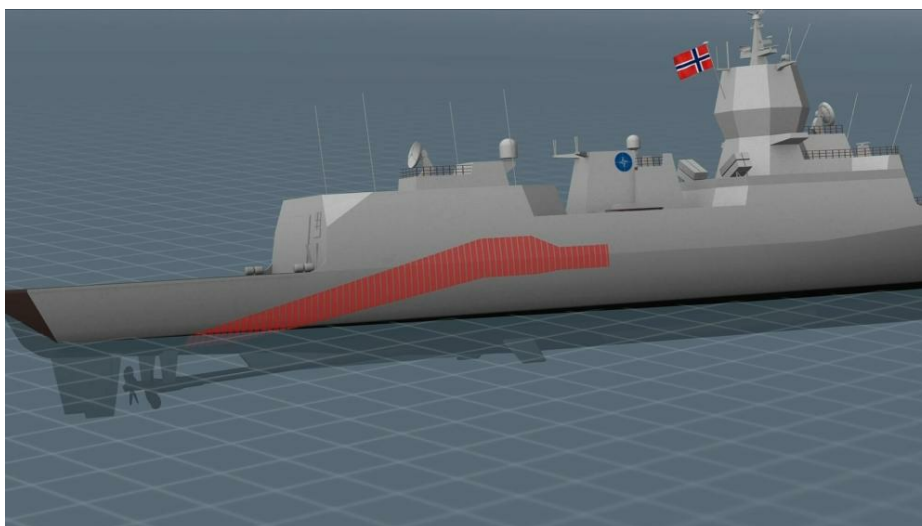
Deterministisk metode

Hva skjer med et skip som har fått skade etter for eksempel en kollisjon? Tap av volum under vannlinjen, dypgående økes, fribord minkes, forandring i trim eller i list. Det vil bli forandring i stabiliteten til skipet. Her er det to metoder som blir benyttet: tapt oppdrift- metoden og tilført vekt-metoden. Begge disse metodene blir gjennomgått senere, de kommer under betegnelsen: deterministiske beregninger. Deterministisk kommer av det engelske ordet *to determine* = «å bestemme». Hvis et skip skal foreta en sjøreise og vi vet distanse, skipets hastighet, vind og strøm, da kan vi forutse forløpet ved hjelp av kjente lover fra fysikken og kan beskrive det som skjer presist, for eksempel ved å bruke uttrykk fra matematikken til å anslå ankomsttid. Det som skjer, kan kalles *deterministisk*, resultatet er gitt fra betingelsene. Kjenner man til alle egenskaper ved ett tidspunkt, så kan man forutsi alle egenskaper ved et senere tidspunkt. Krav til stabilitet med et begrenset antall skadede avdelinger. Beregningene er basert på standard dimensjon av skade som strekker seg overalt langs skipets lengde eller mellom tverrgående vannrette skott, avhengig av de relevante kravene. Det deterministiske konseptet er basert på gitte skadeforutsetninger (skadelengde, tverrgående utbredelse, vertikal utstrekning). Avhengig av skipstype, antall passasjerer eller potensiell risiko for miljøet av lastebåt, overholdelse av regelverk sitt krav til avdelinger. I tilfeller med tankskip: Det store utvalget av produkter (stoffer) som skal transporteres, og deres fordeling i skipet krever en omfattende, systematisk analyse for å få så mange tillatte lastinger som mulig. Generelt er det bare disse lastebetingelser som er tillatt. Ulike deterministiske metoder i skadestabilitet er utviklet avhengig av skipets type. I den deterministiske metoden blir et skip ansett som mer sikkert hvis det har større oppdelingsfaktor.



«HELGE INGSTAD»

Hvis man ser på skadeomfanget til fregatten «Helge Ingstad» etter kollisjonen med tankskipet MT Sola TS i november 2018 så har «Helge Ingstad» en lengde på 134 meter og fikk en flenge (skade) på styrbord side som var om lag 45 meter lang, så det ville ikke ha spilt noen rolle hvor stor oppdelingsfaktor «Helge Ingstad» hadde hatt, fordi skipet ville ha vært fortløst uansett.



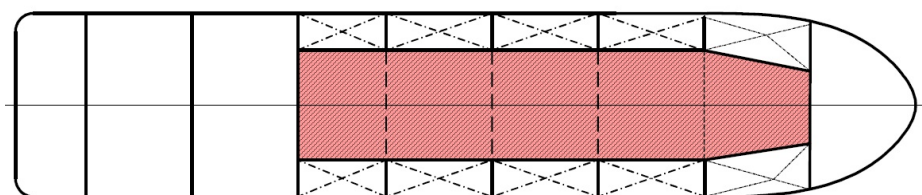
Figur 0123 Flengen til Helge Ingstad.

Figur 0123 viser en skisse med flengen til fregatt «Helge Ingstad».

Ulykken med S/S Andrea Doria i 1956 ga en økende bevissthet om at endringene i skipsdesign hadde gjort at noen av beregningsprinsippene i SOLAS-29/48/60 var utilstrekkelige med hensyn til sikkerhet etter fylling. På SOLAS-konferansen i 1960 sendte flere land inn forslag til endringer i skadestabilitetsforskriftene i konvensjonen, men disse forslagene ble ikke akseptert på konferansen. Imidlertid så ble det på SOLAS 1960 bestemt at det skulle dannes underkomiteer som skulle jobbe med forbedringer til regelverket, slik som skadestabilitet og farlig last med mer. I 1962 var de fleste underkomiteer klar, og underkomiteen som i dag er kjent som SDC (Ship Design and Construction), men tidligere var kjent som SLF (Stability, Loadline and Fishing) inntil 2013, ga følgende anbefaling: Forskriftene i SOLAS 1960 tar ikke hensyn til det faktum at for et gitt skillearrangement (vanntett skott) kan ganske forskjellig omfang av fylling oppstå som et resultat av varierende skadelengde. Metoden som brukes i SOLAS 1960, tar ikke fullstendig hensyn til virkningene av fartøyforhold, drift ved tilstander mindre enn full last tilstand, variasjoner i permeabilitet eller av stabilitet etter fylling, disse var ikke gode nok når det gjaldt sikkerhet. Disse og noen andre mangler i forskriftene i SOLAS 1960 fører til en feil estimering av skipets sikkerhet. Spesielt den metoden som betraktet to skip til å være like trygge hvis de hadde samme verdi av oppdelingsfaktor selv om disse to skipene kunne ha ganske forskjellige faktiske evner til å tåle skade.

RO-RO-SKIP

På denne tiden kom det en ny generasjon ferger som ble betegnet som RO-RO. RO-RO er forkortelse for «Roll-on Roll-off», som er beskrivelsen av hvordan lasten lastes og losses på/fra et RO-RO-skip. Dette betyr ganske enkelt at lasten ruller på eller av skipet, i motsetning til å bli løftet om bord med kraner.



Figur 0124 RO-RO-skip/RO-RO-ferge.

Figur 0124 viser en skisse av et RO-RO-skip / en RO-RO-ferge som ikke hel tversgående vanntette skott fra side til side.

Disse fergene kunne ikke betraktes som om de hadde kontinuerlige vanntette skott fra side til side, og det kunne ikke betraktes som vanntett oppdeling (avdelinger) under skottdekket. Det ble nesten umulig å få disse godkjent under de deterministiske regelkravene.

Probabilistisk metode

I april 1960 beskrev en tysk professor en alternativ metode for å vurdere skadestabilitet basert på bruk av skadestatistikk. Han hadde som mål å introdusere en mer rasjonell metode for å vurdere sannsynligheten for overlevelse for et skip i tilfelle av skade (hull i skrog) ved kollisjon eller grunnstøting. I tillegg introduserte han en ny vurderingsmetode som tillot definisjonen av et globalt sikkerhetsnivå som stabilitetskjenne tegn ved skip av forskjellig størrelse og type kunne kvantifiseres i. Dette ble forelagt for SDC-underkomiteen like etter 1962, men det ble ikke foretatt seg noe da, i 1968 begynte komiteen å jobbe videre med denne metoden. Hovedformålet var å gi et alternativ til SOLAS 1960-forskriftene for RORO-ferger med store lasterom under skottdekket.

Sannsynlighet

f(x)

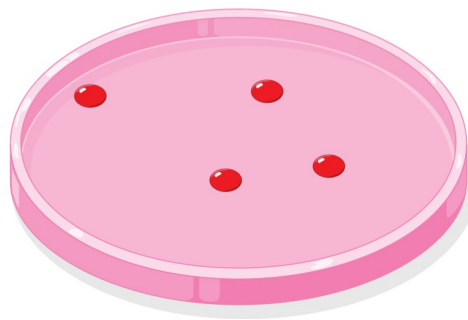
HVA ER SANNSYNLIGHET?

Dersom man kaster en mynt, skal det i prinsippet være like stor sjanse for å få *mynt* som for å få *kron* (ser bort fra muligheten av at mynten kan lande på høykant, uten å vise noen av delene). Man kan godt si at mulighetene er femti-femti. I dagligtalen mener man da vanligvis at det er like stor sjanse for å få det ene som det andre. I matematikken brukes uttrykket som at man har to mulige utfall, og at man har 50 % sannsynlighet for hvert av tilfellene. 100 % kan erstattes med tallet 1. Da kan man også si ved et myntkast at hvert av utfallene har sannsynlighet 0,5.

Noen enkle oppgaver på sannsynlighet:

Oppgave 1

Velg ordet som best beskriver hvor stor sannsynligheten er for å få blå?



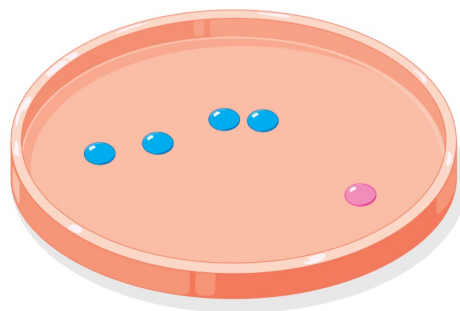
Liten sjanse

Alltid

Umulig

Oppgave 2

Velg ordet som best beskriver hvor stor sannsynligheten er for å få rosa?



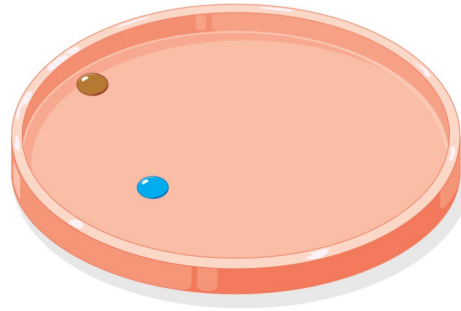
50-50

Sjelden

Ingen sjanse

Oppgave 3

Velg ordet som best beskriver hvor stor sannsynligheten er for å få blå?



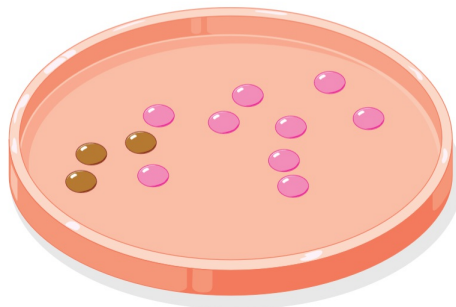
Umulig

Halvparten

Helt sikkert

Oppgave 4

Velg ordet som best beskriver hvor stor sannsynligheten er for å få brun?



Liten sjanse

50-50

God sjanse

Fasit på enkle oppgaver i sannsynlighet:

- Oppgave 1: umulig
- Oppgave 2: sjelden
- Oppgave 3: halvparten
- Oppgave 4: liten sjanse.

Statistisk sannsynlighet

Statistiske sannsynlighetsmodeller settes opp på grunnlag av *mange* forsøk, gjerne mange tusen. Deretter regner man med at den relative frekvensen for utfallene representerer virkeligheten, og man bruker dette som en statistisk sannsynlighet for de mulige utfallene. For en vanlig symmetrisk spillterning er sannsynligheten for hvert av utfallene 1, 2, 3, 4, 5 og 6 lik $1/6$ som blir $\approx 16,7\%$. Men så viser det seg at noen har laget en juksesterning ved å feste en liten ekstra vekt på siden med verdien 1. Da er det større sannsynlighet for å få verdien på den motsatte siden, nemlig 6, siden terningen oftere vil lande med verdien 1 mot underlaget, og det er mindre sannsynlighet for å få verdien 1. Av 10 000 kast med juksesterningen ble resultatene:

Verdi	Antall tilfeller
1	31
2	1009
3	1631
4	1369
5	1008
6	4952

For ideelle terninger er altså sannsynligheten for å få hver av verdiene 1, 2, 3, 4, 5, 6 lik 16,7 %. For juksesterningen er sannsynlighetene forandret. Man har ikke mulighet til å forutsi disse sannsynlighetene teoretisk. Terningen har ikke lenger en homogen vektfordeling. I slike tilfeller må man nøye seg med å bruke den *relative frekvensen* for terningverdiene ved mange kast som et mål for sannsynlighetsfordelingen for den vektete terningen.

Hvis man tar antall tilfeller for hver enkelt verdi og så deler disse hver for seg med totalt antall kast (10 000 kast).

Verdi	Relativ frekvens
1	0,31 %
2	10,09 %
3	16,31 %
4	13,69 %
5	10,08 %
6	49,52 %



VIKTIG MED STATISTISKE SANNSYNLIGHETSMODELLER

Det som er veldig viktig med sånne statistiske sannsynlighetsmodeller, er at det må gjennomføres mange forsøk, gjerne flere tusen, for da kan man regne med at den relative frekvensen representerer virkeligheten. Da kan man bruke resultatet som en statistisk sannsynlighet innenfor emnet.

SOLAS 1974. Det ble bestemt at denne konvensjonen skulle bestå for fremtiden, og endringer skulle komme som tillegg istedenfor å erstatte denne. SOLAS 74 trådte i kraft i mai 1980, og skadestabilitetsreglene ble videreført fra SOLAS/29/48/60, selv om den probabilistiske metode ble fremlagt i 1973 for IMO av underkomiteen.

Den probabilistiske metode og veien videre

Bruker skadestatistikk til å vurdere effektiviteten til skipet (underavdelingene). Ingen stabilitetsgrenser. Bestemme sannsynlighet for overlevelse er at skipet er «akseptabelt» hvis det kan overleve en tilstrekkelig mengde sannsynlige skader.

Sannsynligheten for at en gitt forekomst forekommer, er vanligvis representert ved et tall fra 0 til 1, hvor 0 betyr usannsynlig og 1 betyr sikkert.

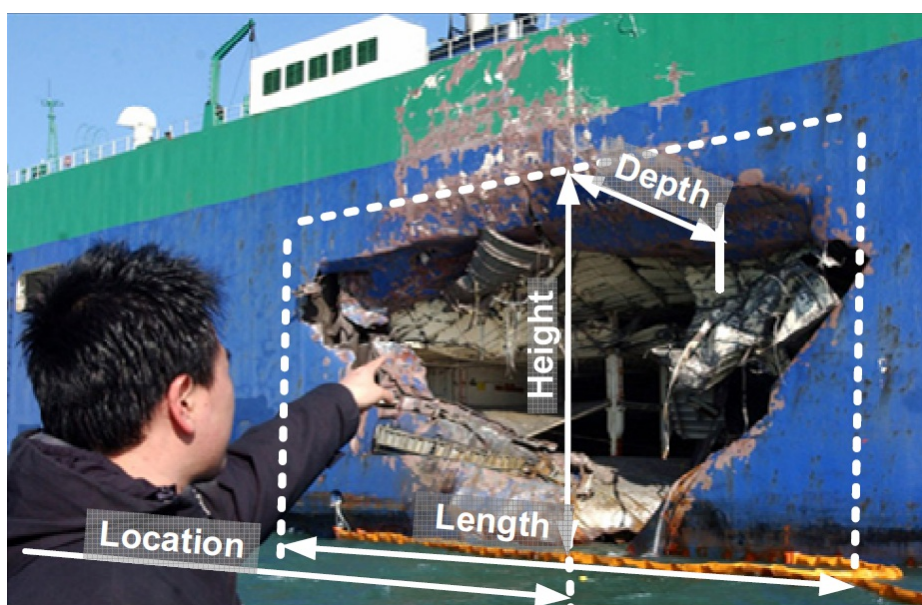
Sannsynligheten for at en hendelse oppstår og dets komplement (et produkt som tilfører verdi til et annet produkt.) må plusse på opp til 1, så hvis man lar p_i representere sannsynligheten for at en hendelse vil skje, så vil sannsynligheten for at hendelsen ikke skjer være $1 - p_i$.

Den sammensatte sannsynligheten for at to hendelser skjer, er gitt som produktet av sannsynlighet for en av dem og sannsynligheten for den andre, betinget av den første. Med andre ord, hvis sannsynligheten for at hendelsen oppstår er representert av p_i og det sannsynlige resultatet, eller konsekvens av hendelsen, er representert av s_i , så er felles sannsynligheten $p_i s_i$.

En total sannsynlighet kan tas som summen av sannsynligheter for alle hendelser, det vil si det sannsynlige resultat O av alle n hendelser som muligens forekommer, kan gis skjemaet

$$O = p_1 s_1 + p_2 s_2 + \dots + p_n s_n, \text{ hvor } O \text{ må være lik eller mindre enn kravet.}$$

Litt enkelt sagt så dreier denne metoden seg om at kravene til skadestabilitet kan anse at skipet overholder regelverket dersom det vil være i stand til å overleve en skade med for eksempel kollisjon med et annet fartøy. Metoden er basert på statistikk, og skadescenarioene i det probabilistiske konseptet antas å være langt mer realistiske enn den tidligere «deterministiske» metoden som brukes i SOLAS-29/48/60/74, der standardoppdelingene og stabilitetsstandarder er basert på teoretiske prinsipper og mer eller mindre vilkårlig utvalgte akseptkriterier. En slik metode trenger ikke å stole på forhåndsdefinerte skadeforutsetninger, og det ble innsett at dette var en passende måte å erstatte fyllingslengdekonseptet til SOLAS-29. Dette ville være gunstig for fremtiden med tanke på utforming av RO-RO-passasjerferger. Det skulle ennå gå noen år fra 1974 til at den probabilistiske metoden fikk innpass i SOLAS konvensjonen.



Figur 0125 Probabilistisk metode.

Grunnlaget for den probabilistiske metoden er at sannsynligheten for at et skip forblir flytende uten å synke eller kantre som et resultat av en vilkårlig kollisjon i en gitt langsgående posisjon av skipet, hovedsakelig vil avhengig av følgende vurderinger:

Sannsynligheten for at lengdesenteret av skaden oppstår i bare skipets område, sannsynligheten for at denne skaden har en lengdegrad som gjør at den er mellom de tverrgående vanntette skottene som finnes i denne delen av skipet. Sannsynligheten for at skaden har en vertikal utstrekning som bare gjelder for rommet innenfor de vanntette skottene og under et horisontalt dekk, for eksempel skottdekket. Sannsynligheten for at skaden har en tverrskips inntrengning ikke er større enn avstanden til et gitt langsgående skott. Sannsynligheten for at den vanntette integriteten og stabiliteten etter en fyllingsekvens fortsatt er tilstrekkelig til å unngå kantring eller at skipet synker. De to første faktorene er bare avhengig av skipets vanntette arrangement, mens de to siste er avhengig av skipets form. Den siste er også avhengig av skipets lastetilstand.

Eksempler:

1 avdeling

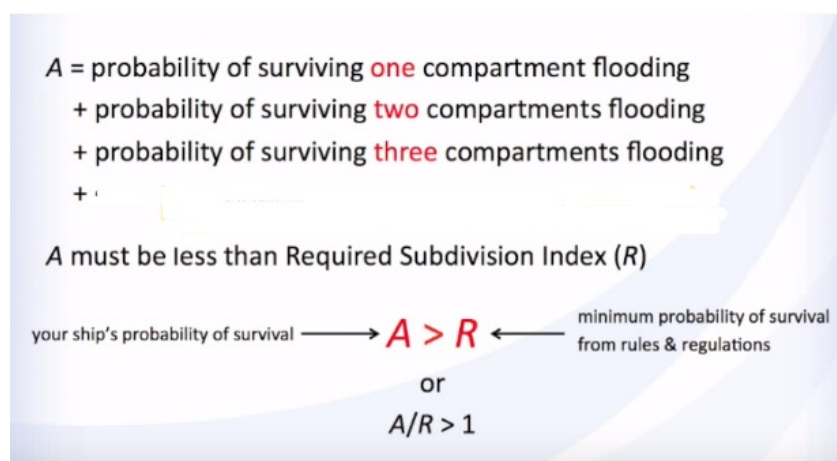
Flooded Compartment	Probability of Flooding	Probability of Surviving this damage	Probability of Surviving this damage case
1	P_1	S_1	$P_1 \times S_1$
2	P_2	S_2	$P_2 \times S_2$
3	P_3	S_3	$P_3 \times S_3$
4	P_4	S_4	$P_4 \times S_4$
5	P_5	S_5	$P_5 \times S_5$
6	P_6	S_6	$P_6 \times S_6$
7	P_7	S_7	$P_7 \times S_7$
8	P_8	S_8	$P_8 \times S_8$
Probability of surviving flooding of one compartment			Sum of all probabilities of one compartment

2 avdelinger

Flooded Compartments	Probability of Flooding	Probability of Surviving this damage	Probability of Surviving this damage case
1 & 2	$P_{1&2}$	$S_{1&2}$	$P_{1&2} \times S_{1&2}$
2 & 3	$P_{2&3}$	$S_{2&3}$	$P_{2&3} \times S_{2&3}$
3 & 4	$P_{3&4}$	$S_{3&4}$	$P_{3&4} \times S_{3&4}$
4 & 5	$P_{4&5}$	$S_{4&5}$	$P_{4&5} \times S_{4&5}$
5 & 6	$P_{5&6}$	$S_{5&6}$	$P_{5&6} \times S_{5&6}$
6 & 7	$P_{6&7}$	$S_{6&7}$	$P_{6&7} \times S_{6&7}$
7 & 8	$P_{7&8}$	$S_{7&8}$	$P_{7&8} \times S_{7&8}$
Probability of surviving flooding of two compartments			Sum of all probabilities of two compartments

3 avdelinger

Flooded Compartments	Probability of Flooding	Probability of Surviving this damage	Probability of Surviving this damage case
1, 2 & 3	$P_{1&2&3}$	$S_{1&2&3}$	$P_{1&2&3} \times S_{1&2&3}$
2, 3 & 4	$P_{2&3&4}$	$S_{2&3&4}$	$P_{2&3&4} \times S_{2&3&4}$
3, 4 & 5	$P_{3&4&5}$	$S_{3&4&5}$	$P_{3&4&5} \times S_{3&4&5}$
4, 5 & 6	$P_{4&5&6}$	$S_{4&5&6}$	$P_{4&5&6} \times S_{4&5&6}$
5, 6 & 7	$P_{5&6&7}$	$S_{5&6&7}$	$P_{5&6&7} \times S_{5&6&7}$
6, 7 & 8	$P_{6&7&8}$	$S_{6&7&8}$	$P_{6&7&8} \times S_{6&7&8}$
Probability of surviving flooding of Three compartments			Sum of all probabilities of three compartments



Så, hvis man beregner sannsynligheten for forekomst for hver av skadescenarioene som skipet kan være utsatt for i henhold til statistikken, og deretter beregner sannsynligheten for å overleve hver av disse skader med skipet lastet i de mest sannsynlige lastekondisjoner, finner vi en samlet sannsynlighet for at dette bestemte skipet vil overleve en vilkårlig kollisjon. Denne sammensatte sannsynligheten er vanligvis referert til som «opnådd overlevelseseindeks» A. Et regelkrav kan enkelt brukes ved å kreve en minimumsverdi på A for et bestemt skip.

Denne minimumsverdien blir vanligvis referert til som nødvendig overlevelseseindeks R. Kravene er tilfredsstillt når $A \geq R$.

Fordeler og ulemper med probabilistisk metode sammenlignet med deterministisk metode

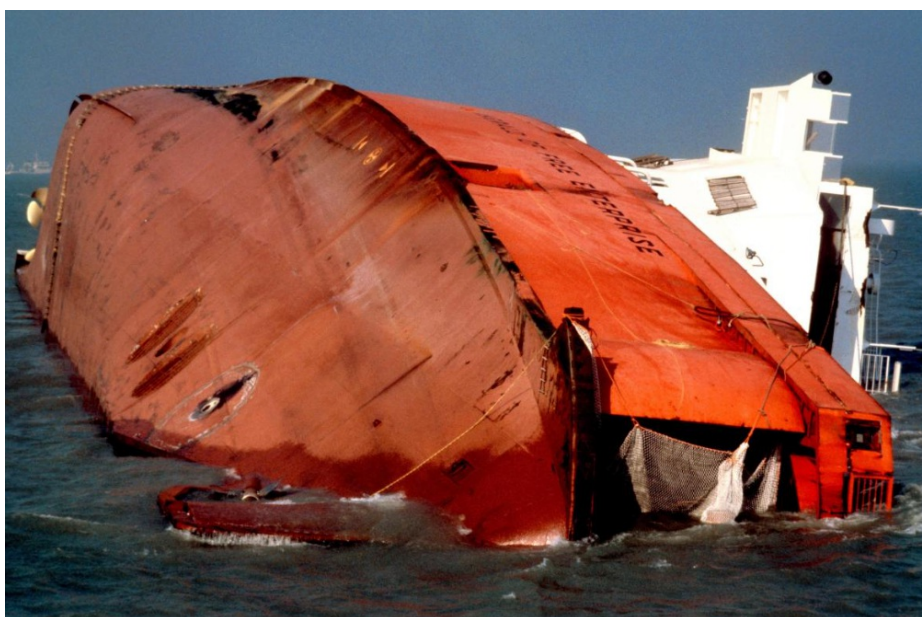
Den deterministiske metode ved skadestabilitet vil typisk bestå av gjeldende skadelengde, hvilke underavdelinger som har fått fylling, og om stabiliteten holder seg innenfor kravet etter skade. Disse faktorer vil generelt være basert på erfaring, forskning og i noen tilfeller skadestatistikk, men forskriftene vil beskrive en «svart og hvit» verden hvor man enten er innenfor eller ikke. Deterministiske skadestabilitetsforskrifter vil unngåelig styre designet, siden det normalt vil være nødvendig å optimalisere skipets underavdelinger for å overholde regelverket. Fordelen med den probabilistiske metoden er mer frihet i design sammenlignet med deterministiske regler. Langskipsskott trenger ikke å plasseres på bestemte plasser for å imøtekomme B/5-kravet. Mindre penetrasjon er akseptabelt så lenge den samlede oppnådde A-indeksen er tilstrekkelig høy. Skader som overstiger gamle deterministiske grenser, som en B/5-penetrasjon, vil ikke hindre at man oppnår tilstrekkelig underavdelingsindeks A. Delvis eller manglende overholdelse av overlevelseskriteriene er

akseptabelt for noen skadefeil så lenge det totale sikkerhetsnivået oppnås ($A > R$). Lukkede volumer i høyere deler av skipet kan betraktes som effektive hvis det er sannsynlig at de vil forbli intakte etter skade. Tverrgående skott trenger ikke å strekke seg fra side til side som i deterministiske passasjerskipregler. På den annen side er den probabilistiske metoden følsom for størrelsen og innholdet i den statistiske sannsynlighetsmodellen som utvikler sannsynligheten. I en sammenheng med skadestabilitet så kan man innse at et samlet sett med formler som dekker hver skipstype, ikke vil være mulig å dekke så lenge det er bestemte skipstyper, konstruksjoner eller driftsformer som ikke er tilstrekkelig representert i statistikken. Høyhastighetsfartøy er et eksempel på dette. Den generelle rammen vil forbli gyldig, men å skreddersy formler for sannsynlighetene kan være nødvendig, eller det kan bli nødvendig å bruke det deterministiske regelverket i anskuelig fremtid. Den probabilistiske metoden lider også av en misforstått oppfatning av konseptet. For allmennheten vil oppfatte det som «trygt» at et passasjerskip er i stand til å motstå en fylling av ett eller to tilstøtende avdelinger, uansett hvor liten sjansen er for at skaden vil være til tilfeller der designet spiller inn. I sannsynlighetsmetoden kan små skader med lav sannsynlighet for allmennheten for skade bli neglisjert selv om utfallet er katastrofalt.

Andre parametere som ikke er inkludert i skadestatistikken, som lastetetthet og permeabilitet, er nesten umulig å representere på en sann probabilistisk måte.

M/S Herald of Free Enterprise

RO-RO-fergen «Herald of Free Enterprise» kantret i havnebassenget i Zeebrugge i mars 1987, 193 personer omkom. Fergen forlot terminalen med baugporten i åpen stilling, og på grunn av forlig trim, grunt farvann og høy hastighet så ble det stor squat-effekt. Det medførte at bildekket ble fylt med vann, og fergen kantret på grunn av negativ stabilitet. Heldigvis ble den liggende på en sandbanke som forhindret at den kantret helt rundt, tapstallet ville nok ha vært mye større hvis det skulle ha skjedd (539 personer om bord).



Figur 0126 Herald of Free Enterprise.

SOLAS 90

Da ulykken med «Herald of Free Enterprise» skjedde, så var IMO i gang med forbedringer av de deterministiske stabilitetskravene for passasjerskip. Denne hendelsen fremskyndet prosessen, og de utvidede stabilitetskriteriene, kjent som SOLAS 90, ble vedtatt i 1988 og trådte i kraft i april 1990. Blant konklusjonene fra undersøkelsene utført av Storbritannia etter denne ulykken var at modelltesting av skadede RO-RO-passasjerskip etter SOLAS 1960 var utilstrekkelig med hensyn til skadestabilitet, mens de nye SOLAS 90-kriteriene vil gi et rimelig sikkerhetsnivå i moderat sjø. Etter flere viktige og store diskusjoner ble IMO-medlemmene enige om at innføring av en tilbakevirkende oppgradering av RO-RO-passasjerskip var nødvendig. Denne ordningen skulle være basert på en trinnvis tilnærming der skipene med lavest grad av tilnærming til SOLAS 90 skulle oppgraderes først. Deterministiske kriterier for sluttfasen av fylling, GZ-kurveutstrekning ≥ 15 deg, areal = 0,015 meterradianer, GZ maks rettende arm $\geq 0,1$ m, maksimal list på 7 grader (1 avdeling) (12 grader for 2- og 3-avdelingsskip). Deterministiske kriterier for mellomliggende stadier ved fylling, GZ max $\geq 0,05$ m utstrekning 7 grader. For RO-RO med 400 passasjerer og mer ble den probabilistiske metoden innført. De viktigste probabilistiske elementene (den gang) var faktorene 'A', 'p', 'r' og 's'.

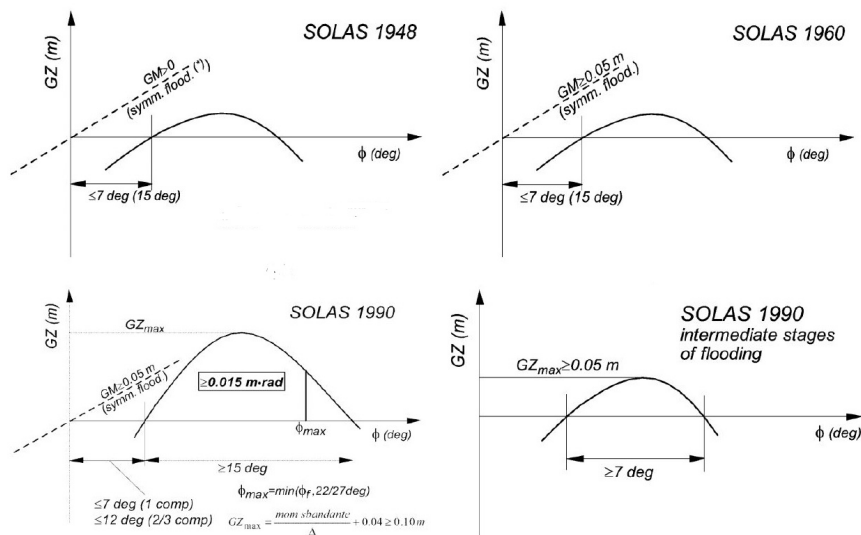
'A' er en faktor som estimerer sannsynligheten for skader som oppstår i separate posisjoner i skipets lengde. I Solas 1990 ble det innført strengere krav til A som RO-RO-passasjerskipene måtte innfri innen en tidsperiode (2005), og hvis de ikke gjorde det, ble de tatt ut av tjeneste.

'p' er en faktor som estimerer sannsynligheten av den langsgående utbredelsen av skaden.

'r' er en faktor som anslår sannsynligheten for graden av penetrasjon fra skipssiden (denne faktoren er bare relevant der langsgående underoppdeling tas i betraktning); og 's' er en faktor som er et mål for overlevelsessannsynlighet.

Når $s = 0$, betyr dette at det ikke er noe tilførsel til indeksen 'A' for skadefasen som vurderes. Når $s = 1$, betyr dette at alle betingelsene for overlevelse gitt av de angitte reststabilitetskriteriene er fullt oppfylt.

I tillegg ble det krav til vanninntrengingsindikatorer på bildekk, at alarm skulle bli utløst på skipsbroen, samt at baugporten måtte kunne betjenes fra broen også.



Figur 0127 Stabilitetskrav i diverse Solas-konvensjoner.

SOLAS 1948: GM større enn 0 ved symmetrisk fylling, kunne være negativ ved usymmetrisk fylling på mindre enn 7 grader, usymmetrisk fylling kunne være 15 grader hvis det var opplegg for kryssfylling.

SOLAS 1960: GM større enn 0,05 m ved symmetrisk fylling, kunne være negativ ved usymmetrisk fylling på mindre enn 7 grader, usymmetrisk fylling kunne være 15 grader hvis det var opplegg for kryssfylling, med krav om at den skulle være komplett (kryssfyllt) innen 15 minutter.

SOLAS 1990 (1974-konvensjon): For passasjerskip: i sluttfasen av fylling (GZ-kurve til venstre), GM større enn 0,05 m ved symmetrisk fylling, maksimum list 7 grader ved 1-avdelingskip, 12 grader for 2- eller 3-avdelingskip, usymmetrisk fylling skulle unngås med hjelp av kryssfyllingsopplegg krav innen 15 minutter. GZ-kurveutstrekning ≥ 15 deg, GZ maks rettende arm $\geq 0,1$ m, areal = 0,015 meterradianer, med ϕ maks 22 grader ved 1 avdeling og 27 grader ved 2- eller 3-avdelingskip. GZ-kurve til høyre viser krav til det mellomliggende stadiet: utstrekning 7 grader og GZ Max $\geq 0,05$ m.

Den probabilistiske lasteskipreguleringen, 1985–1998

Siden 1980 hadde IMO dekket sine krav til skadestabilitet til oljetankskip igjennom MARPOL, kjemikalietankskip igjennom IBC-koden (International Bulk Chemical Code), gasstankskip igjennom IGC-koden (International Gas Carrier Code), men tørrlasteskipene hadde falt utenfor. Et forslag for tørrlasteskip på 100 meters lengde og lengre var ferdigstilt i 1988. Den endelige teksten ble vedtatt i 1990, og forskriftene trådte i kraft i februar 1992. Denne Solas-endringen innførte en ny del i kapittel II-1, og kravene til skadestabiliteten var basert på det probabilistiske konseptet. Det som var helt nytt i lasteskipreglene, var introduksjonen av sannsynligheten for at en horisontal underavdeling forblir intakt, noe som er en viktig designfunksjon i for eksempel car carrier-skip (bilskip). I 1996 ble grensen for fraktskipreguleringen senket til 80 meters lengde, og denne trådte i kraft i juli 1998.



Figur 0128 RO-RO-lasteskipet M/S Tønsberg.

RO-RO-passasjerskip revidert

Etter katastrofen med M/S Estonia i september 1994 (852 av totalt 989 personer omkom) ble spørsmålet om sikkerheten til RO-RO-passasjerferger reist, noe som derfor igjen ble satt på IMOs agenda. På en SOLAS-konferanse i 1995 ble det bestemt at tidsfristene i den eksisterende oppgraderingsordningen burde strammes inn, og at målet skulle være full SOLAS 90-standard og ikke den lette versjonen som tidligere ble vedtatt. Den ultimate fristen ble satt til den første periodiske undersøkelsen etter 1. oktober 2005. Konferansen vedtok også en ekstra oppgraderingsordning for RO-RO-passasjerskip som transporterer 400 personer eller mer. Hensikten var at slike skip måtte oppgraderes for å sikre at de kan overleve uten å kante med fylling i 2 avdelinger selv om skipet var utformet som 1-avdelingsskip. Hvis ikke måtte de bli trukket fra tjeneste.

Stockholm-avtalen

SOLAS-konferansen i 1995 vedtok også en resolusjon som tillot at det ble gjort regionale ordninger som skulle ta for seg spesielle sikkerhetskrav, slik som skadevirkning av vann på dekk på RO-RO-passasjerskip. Oppsamlingen av vann på RO-RO-dekk ble grunnlaget for Stockholm-avtalen (1996). Standarden som det refereres til, gjelder for naboland i den nordvestlige delen av Europa og kommer ikke under Solas-kravene. Et av kravene var: RO-RO-passasjerskip må tåle 500 mm vann på det vanntette kjøretøydekket når gjenværende fribord i en skadet tilstand er under 0,3 m.

Oppgave: «Sjø på bildekk»

En ferge med mål: 158 m L, 20 m B og 30 m H, $CB = 0,84$.
Dyppående er 5,05 m, og KG er lik 3,50 m.

KM for dette deplasementet for fergen er 7,0 m og forandrer seg lite (+/- 750 Tonnes ingen forandringer)

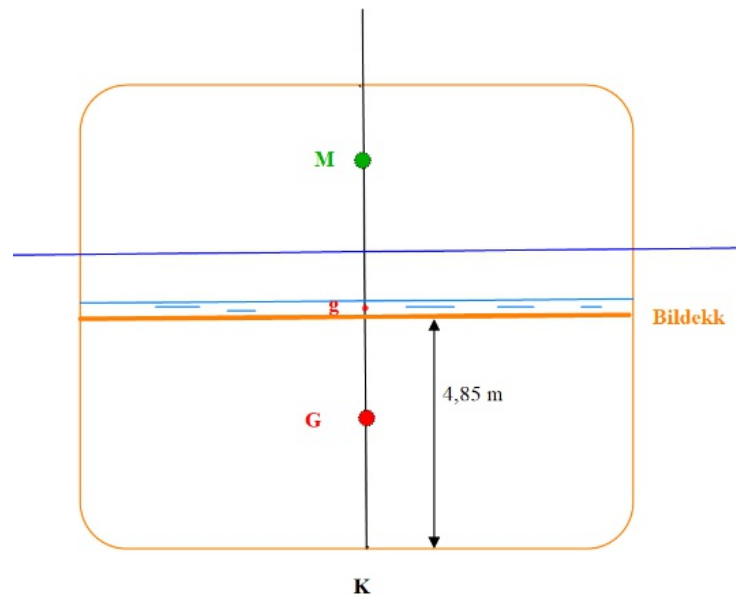
a) Beregn GM.

Under overfarten oppstår det et problem med baugporten slik at den åpner seg for et kort øyeblikk. (Fergen er ikke skadet.)

Hele bildekket blir fylt med sjøvann. Bildekkets høyde over K er 4,85 m, og lengden av bildekket er 140 m, og bredden er 20 m. Det kan betraktes som rektangulært. Høyden på sjøvannet er 0,2 m (sounding).

b) Beregn GG1 og KG1 etter at bildekket blir fylt med sjøvann.

c) Beregn GG2. Hva blir effektiv GM etter at dekket er fylt med sjøvann?



Figur 0129 Skisse av fergen i oppgaven «Sjø på bildekk».

Løsningsforslag til oppgaven «Sjø på bildekk»:

a) Løsningsforslag: $GM = KM - KG = 7,0 \text{ m} - 3,5 \text{ m} = 3,5 \text{ m}$

b) Løsningsforslag: Foreta noen beregninger:

$$\Delta = \nabla \times \rho = (L \times B \times T \times CB) \times \rho = (158 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 5,05 \text{ m} \times 0,84) \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3$$

$$\Delta = 13404,72 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 = 13739,8 \text{ Tonnes}$$

Vekt av sjøvannet = volum \times $\rho = (140 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}) \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 = 574 \text{ Tonnes}$

Beregner GG1 ved hjelp av formelen. Armen blir mellom tyngdepunktet til sjøvannet og fergens tyngdepunkt. Armen blir = $4,95 \text{ m} - 3,50 \text{ m} = 1,45 \text{ m}$

$$GG1 = \text{vekt} \times \text{arm} / \Delta + \text{vekt} = (574 \text{ Tonnes} \times 1,45 \text{ m}) / 13739,8 \text{ Tonnes} + 574 \text{ Tonnes}$$

$$GG1 = 0,058 \text{ m} \approx 0,06 \text{ m}$$

$$KG1 = KG + GG1 = 3,50 \text{ m} + 0,06 \text{ m} = 3,56 \text{ m}$$

c) Løsningsforslag: Beregner først $GM = KM - KG = 7,0 \text{ m} - 3,56 \text{ m} = 3,44 \text{ m}$

$$GG2 = l \times p / \Delta = (l \times b^3 / 12) \times \rho / \Delta = (140 \text{ m} \times (20 \text{ m})^3 / 12) \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 / 14313,8 \text{ Tonnes}$$

$$GG2 = 6,68 \text{ m}$$

$$G2M \text{ (effektiv GM)} = GM - GG2 = 3,44 \text{ m} - 6,68 \text{ m} = -3,24 \text{ m}$$

Ferger bygget før 1992 (Norge): Disse fergene hadde i hovedsak ikke vanntett oppdeling for skadestabilitet (avdelinger). I dag har ikke Sjøfartsdirektoratet mulighet i regelverket til å nekte disse eldste fergene sertifisering. Derfor har direktoratet startet en prosess med å se på de samfunnsmessige konsekvensene ved en utfasing eller ombygging, kontra det å la de eldste fergene fortsatt få seile som i dag. En utfasing vil gi flere gevinster, både i forhold til sikkerhet, men også i forhold til miljø. Samtidig er det flere hensyn som må tas. Derfor er det viktig at man gjennomfører en god prosess når man nå sier at det er ønskelig at de eldste fergene byttes ut med nye fartøy pressemelding (uttalelse fra Sjøfartsdirektoratet). Figur 0130 viser en ferge bygget før 1992 som har et enkelt bygg, lite overbygg, enkelt bildekk, kafé til passasjerer og oppholdsrom til besetning under bildekk. Dette gjorde dem til økonomiske bygg. Hva om en slik ferge kolliderer? Hva blir konsekvensene? Det er ikke sikkert at den ville ha sunket, men begrensninger på trygge rømningsveier ville nok ha bidratt til at tap av menneskeliv ville ha blitt en konsekvens.

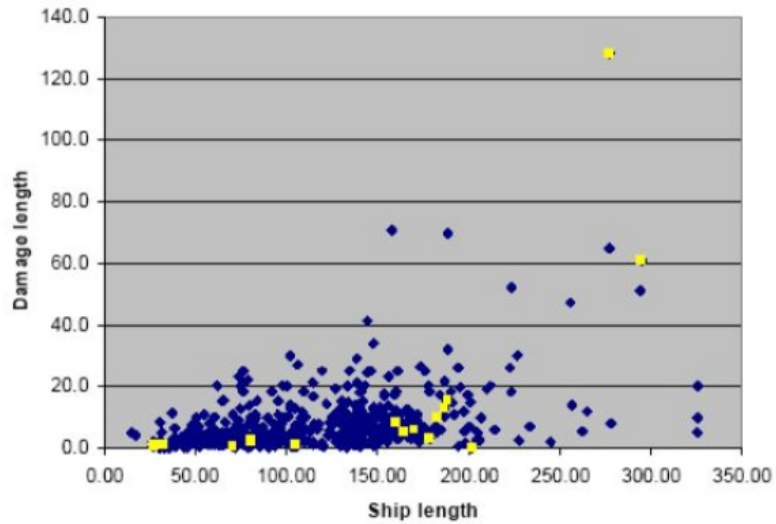


Figur 0130 Ferge som er bygget før 1992.

Prosjektet «HARDER»

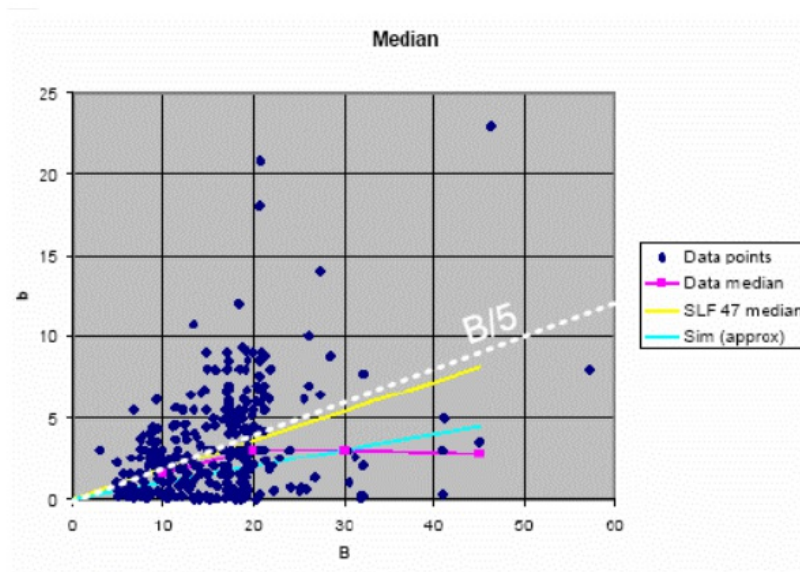
HARDER

HARDER (**HA**rmonisation of **R**ules and **DE**sign **R**ationale) var et prosjektet utført av en uavhengig gruppe som ble finansiert av EU. Harmonisering har flere betydninger, men innenfor regelverk betyr det å samordne krav i lover og regelverk. Prosjektet startet opp i mars 2000 og ble avsluttet i mai 2003. En var fortsatt skeptisk til den probabilistiske metoden innenfor IMO, og prosjektet tok fatt på å lage en ny database som skulle gi en ny statistikk. Statistikken inneholdt 2900 tilfeller, der 1850 var kollisjoner og 930 var grunnstøtinger. Hovedmålene til HARDER var hjelpe til med å gjøre den probabilistiske metoden gyldig, foreta beregninger av et representativt utvalg av skip og hendelser for å etablere et nivå av overlevelsessevner, undersøke effekten på designutviklingen av skip sammenlignet med den gang eksisterende design. Her er noen av resultatene til HARDER:



Figur 0131 viser oversikt over skipets lengde og skadelengde.

Av figur 0131 ser man at de aller fleste skadelengdene er under 20 meter. Et skip kolliderer ofte med andre skip av samme størrelse (pga. fartsområder).



Figur 0132 viser oversikt over skipets bredde og bredden på skaden (hvor langt den penetrerer inn i skipet).

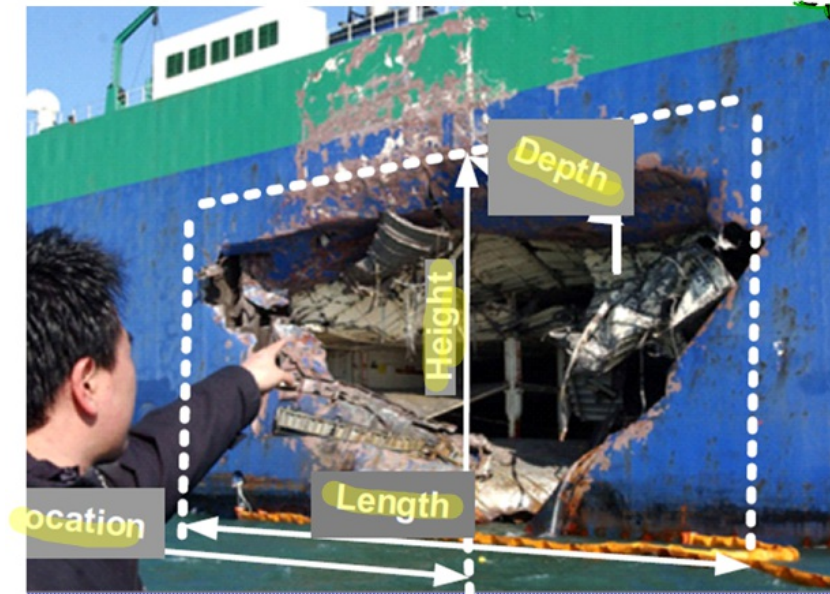
Av figur 0132 ser man at en god del av skadene ligger innenfor B/5 (deterministisk krav).

Den probabilistiske metoden kan forklares ganske enkelt:

$f(x)$

Hva er sannsynligheten for at skade på en gitt størrelse forekommer?

Faktor P



$f(x)$

Hva er sannsynligheten for at skipet ikke kantrer eller synker som et resultat av den skaden?

Faktor S



SOLAS 2009 Prosjektgruppen HARDER avsluttet sitt arbeid i mai 2003, og rapporten ble overlevert til IMO. I september 2004 sluttet underkomiteen SLF et utkast til forandringer i SOLAS kapittel 2-1. HARDER-prosjektets forslag var basert på testberegninger på et utvalg av 40 passasjerskip og 92 tørrlasteskip av forskjellige kategorier som gjenspeilte den internasjonale handelsflåten. Passasjerskipene økte betraktelig i størrelse på begynnelsen av 2000-tallet, i underkant av 150 000 BT med lengde på 311 meter og bredde (vannlinje) på 38 meter den gang. Passasjerkapasiteten var på 3114 personer, mens besetningen var på 1185. På grunn av sin størrelse hadde de vanskeligheter med å overholde de deterministiske kravene. Dette var dels fordi filosofien i

de deterministiske kravene var at i den deterministiske metoden så blir et skip ansett som mer sikkert hvis det har større oppdelingsfaktor, mens den probabilistiske metoden hadde en tendens til å favorisere skip med mindre antall avdelinger. Noen justeringer ble gjort for å beholde hensikten med at sikkerhetsgraden skulle øke med skipets lengde og det totale antall transporterte personer. I dag er passasjerskipene på 230 000 BT med lengde på 360 meter og bredde (vannlinje) på 48 meter. Passasjerkapasiteten er på 6680 personer, mens besetningen er på 2200. Tørrlasteskipene var det mindre problem med, siden de fleste av dem var bygget etter de nye kravene. I desember 2004 ble utkastet vedtatt av IMOs Maritime Safety Committee (MSC). Noen mindre endringer ble foretatt av en internasjonal arbeidsgruppe i mars 2005. Den endelige versjonen av den langsgående skadefordelingen ble fullført av en internasjonal arbeidsgruppe i mars 2005, og den endelige teksten til endringene i kapittel 2-1 ble godtatt i mai 2005. Ikrafttredelse ble satt til 1. januar 2009. Noen mindre endringer ble gjort i desember 2006. Den offisielle SOLAS-endringen ble publisert som resolusjon MSC.216 (82) og er en integrert del av SOLAS-konvensjonen fra 1. januar 2009.

Følgende metoder blir benyttet i SOLAS 2009 etter skipstype:

Code or Convention	Ship Type	Method
SOLAS - 2009	All Passenger Ships: <ul style="list-style-type: none"> • Pure passenger ships • Ro-Ro ships • Cruise ships 	Probabilistic
SPS Code / SOLAS 2009	Special Purpose Ships	Probabilistic
SOLAS 2009	Dry Cargo Ships > 80 m in length: <ul style="list-style-type: none"> • Ro-Ro Cargo ships • Car carriers • General Cargo ships • Bulk carriers with reduced freeboard and deck cargo (IACS unified interpretation no.65) • Cable laying ships 	Probabilistic
1966 Load Line Convention	Dry Cargo ships with reduced freeboard	Deterministic
1966 Load Line Convention / MARPOL 73/78 Annex I	Oil Tankers	Deterministic
International bulk chemical code	Chemical Tankers	Deterministic
International liquefied gas carrier code	liquefied gas carriers	Deterministic

Oljetankere, kjemikalietankere, gasstankere og tørrlasteskip med redusert fribord fortsatte med deterministisk metode, da disse skipstypene hørte til under MARPOL-konvensjonen vedlegg I, IBC-koden og så videre. På passasjerskipene falt kravet om grenselinjer. Det ble nye krav til det deterministiske regelverket etter SOLAS 2009. Disse blir omtalt litt lenger bak i dette kapitlet.

Den probabilistiske metoden

Begreper:

f(x)

SPACE (MELLOMROM)

En enhet innenfor vanntette grenser, en tank, void space (tomrom), boligområde eller lasterom.

f(x)

COMPARTMENT (AVDELING)

Skal brukes som i tidligere forskrifter for å unngå forvirring, det vil si en samling av space (rom) i tverrskips vanntette skott. Denne bruken kan virke litt meningsløs i et probabilistisk konsept, men uttrykket er fortsatt nyttig som referanse.

f(x)

ZONE (SONE)

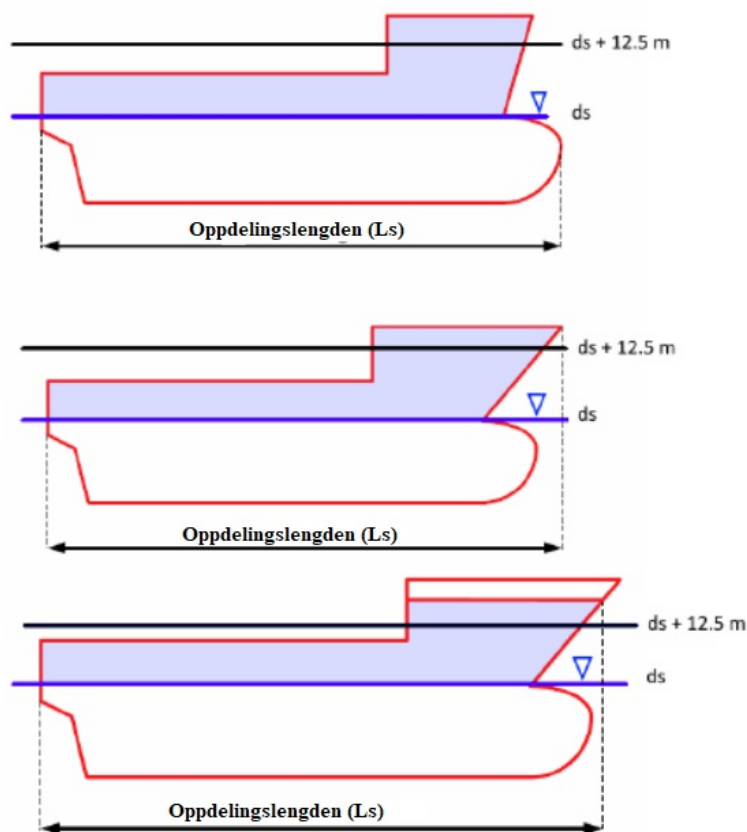
Et langsgående intervall i det vanntette arrangementet. En sone kan bestå av en eller flere compartments (avdelinger) og spaces (mellomrom).

f(x)

SKADE

En samling av mellomrom som får en fylling i en sone. Mer enn én skade kan oppstå innenfor samme sone i en lokal avdeling.

Skipets oppdelingslengde i meter (L_s). Det er viktig å skille mellom denne lengdefaktoren og den som brukes i det deterministiske regelverket. Figur 0133 illustrerer hvordan oppdelingslengden er bestemt for tre forskjellige scenarioer. Som figuren viser, oppdelingslengden avhenger av det flytende skroget og reserveoppdriften av skipet og om disse «områdene» er skadet eller ikke. Det flytende skroget består av lukkede volum av skipet under vannlinjen, som er betegnet «dS» (deepest draft) i figuren, mens reserveoppdrift omfatter det lukkede volumet av skipet over vannlinjen. Den svarte linjen er definert som maksimal vertikal skadegrad og er alltid lik «dS» + 12,5 m målt fra basislinjen. Skipet illustrert på bunnen av figur 0233 skiller mellom reserveoppdrift som er skadet, og uskadet. Oppdelingslengden måles fra akterstevn. Av figuren ser man at også utheng på baugen (Flare) vil ha betydning for oppdelingslengden, da denne måles til den forreste delen av det skadede området.



Figur 0133.

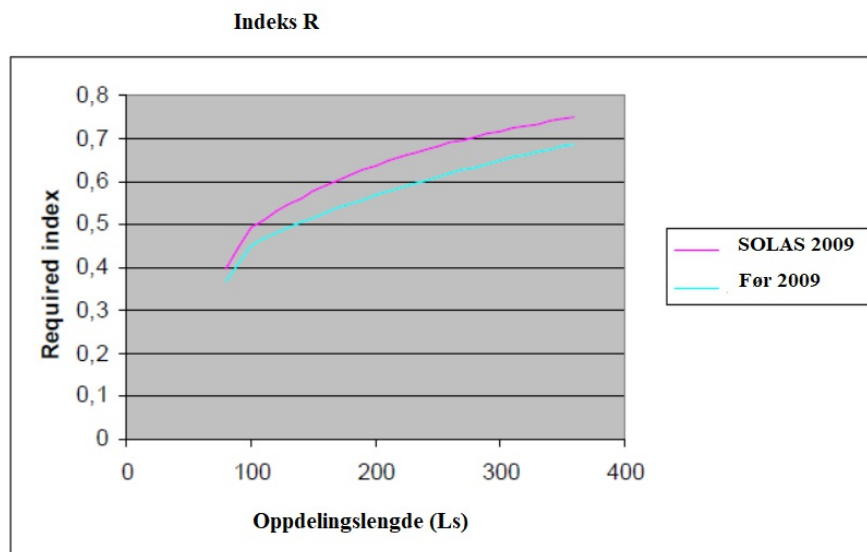
Nødvendig (minimum) indeks «R»: Beregningsprosedyren for nødvendig overlevelsesindeks R er avhengig av skipstype. For passasjerskip er R-indeksen en funksjon av skipslengde, antall personer om bord og livbåtkapasitet. For lasteskip er R-indeksen utelukkende en funksjon av skipets lengde. For lasteskip større enn 100 m lengde og frakteskip mellom 80 m og 100 m i lengden beregnes R-indeksen ved henholdsvis ligninger nedenfor passasjerskipsligningen.

$$R = 1 - \frac{5000}{L_S + 2.5N + 15225} \quad \text{For passasjerskip}$$

$$R = 1 - \frac{128}{L_S + 152} \quad \text{For lasteskip med lengde over 100 m}$$

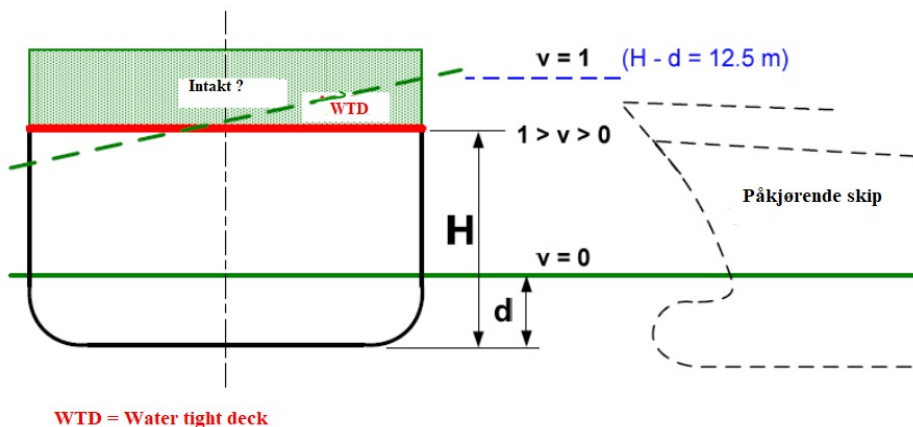
$$R = 1 - \left[\frac{1}{1 + \frac{L_S}{100} \cdot \frac{R_0}{1 - R_0}} \right] \quad \text{For lasteskip med lengde over 80 m men mindre enn 100 m}$$

Lengden som er oppgitt ovenfor, er oppdelingslengden (L_s). $N = N_1 + 2N_2$. N_1 = antall personer som det er plass til i livbåter. N_2 = antall personer mer enn N_1 , inkludert offiserer og mannskap. For passasjerskip har oppdelingslengden L_s mindre betydning enn antall passasjerer. For lasteskip så øker R med lengden. Etter SOLAS 2009 så er kravet til R for passasjerskip $> 0,9$ og for lasteskip $> 0,5$ for L_s på 100 meter eller mer. Under vises en tabell for lasteskip. Hvis man utfører en beregning for et lasteskip med oppdelingslengde (L_s) på 200 meter, så blir minimum indeks $R = 0,63$, det samme viser tabellen i figur 0134.



Figur 0134 Tabell for «R»-indeks.

V-faktor: Nytt av SOLAS 2009 var at det ble innført en v-faktor for den delen av skroget som hadde en høyde på 12,5 m ovenfor d . Denne faktoren bidrar til overlevelsesindeksen «A».



Figur 0135 Skisse for faktor v.

Oppnådd overlevelsesindeks «A»: Beregnes ved formelen: $A_c = \sum p_i \times s_i \times v_i$

der:

«i» representerer det aktuelle skadetilfellet

«pi» representerer sannsynligheten for at bare det skadetilfellet som vurderes, inntreffer, uten hensyn til vertikal skadeutstrekning

«si» representerer sannsynligheten for at fartøyet ikke synker eller kantrer i det skadetilfellet som vurderes, når det også tas hensyn til effekten av en eventuell horisontal vannrett oppdeling.

«vi» representerer sannsynligheten for at fartøyet ikke får fylling, der $H - d =$ er mer enn 12,5 m. Benyttes kun der dette er gjeldende

«Ac» der c representerer hver enkelt lastekondisjon.

«A» skal beregnes for null trim, når skipets konstruksjon og drift tillater dette. Summeringen av pi og si utføres kun med de skadetilfellene som bidrar til verdien av overlevelsesindeksen «A». Summeringen av pi og si utføres over hele lengden «Ls» for alle skadetilfeller der én eller flere sammenhengende avdelinger kan skades. Når skipet har vingavdelinger, skal summeringen av pi og si utføres for alle skadetilfeller som kun omfatter vingavdelingene, og som bidrar til oppnådd overlevelsesindeks «A». I tillegg beregnes alle skadetilfeller som omfatter vingavdelingene og innenfor liggende rom. En rektangulær inntrengning som strekker seg til skipets senterlinje, men uten at et eventuelt senterskott skades, legges til grunn for beregningene. Den vertikale utstrekningen av hver skade skal regnes fra basislinjen og opp til en hvilken som helst horisontal vannrett avgrensning over vannlinjen, eller høyere. Når en mindre vertikal skadeutstrekning gir et mindre gunstig resultat, skal en slik skade legges til grunn. Når det finnes rør, kanaler eller tunneler i en avdeling som antas skadet, skal det legges til grunn at det er gjennomført tiltak som forhindrer tiltakende fylling av intakte avdelinger. I beregningene skal kun en sammenhengende skade legges til grunn.

$$A_c = \sum_{i=1}^N p_i s_i v_i > \begin{cases} 0.9R, & \text{For passasjerskip} \\ 0.5R, & \text{For Lasteskip} \end{cases}$$

N = Antall skader som skal vurderes

i = Antall skader som er vurdert

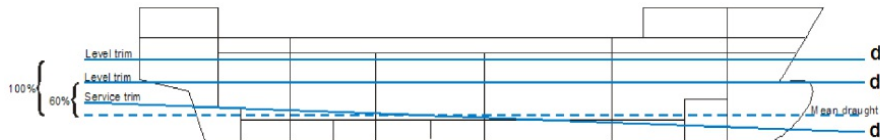
$$A = 0.4A_S + 0.4A_P + 0.2A_L > R$$

Den endelige A-indeksen bestemmes ved hjelp av tre forskjellige oppdelingsdyppanger. Hver av dem blir multiplisert med den faktoren som de er angitt med.

c = dS, deepest, dypest dyppgang, uten trim

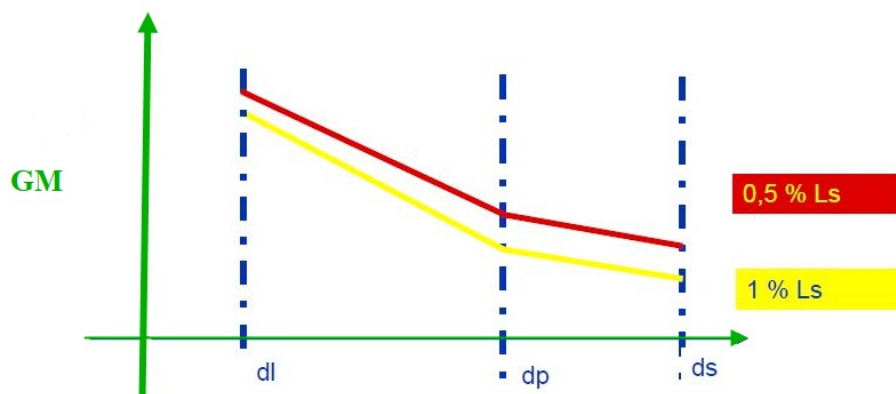
c = dP, partial, delvis dyppgang, uten trim

c = dL, light, lett service-dyppgang, ballastkondisjon for lasteskip eller ankomstkondisjon for passasjerskip, med tilsvarende trim (ikke mer enn 1 % av lengden (Ls))



Figur 0136 Oppdelingsdyppgående.

Dypest oppdelingsdyppgang er ved sommerdyppgående, delvis oppdelingsdyppgang er lett service pluss 60 % av differansen mellom lett og dypest dyppgang. Lett service-dyppgang er den minst forventete lastekondisjon med bunkers, som innebærer nødvendig ballast for å opprettholde stabilitet og nødvendig nedsynking for lasteskip eller ankomstkondisjon for passasjerskip.



Figur 0137 Grensekurve for GM til bruk ved kalkulering av oppnådd overlevelsesindeks «A». Ls = oppdelingslengden.

Grensekurve for GM: Light service draft (dL) representerer den nedre grensen til minimum nødvendig GM-kurve (eller maksimalt tillatt KG-kurve). Det tilsvarer generelt ballast ankomsttilstand med 10 % forbruksmengde for lasteskip. For passasjerskip tilsvarer det generelt til ankomsttilstanden med 10 % forbruksmengde, et komplett av passasjerer og besetning og deres effekter, og ballast etter behov for stabilitet og trim. 10 % ankomsttilstand er ikke nødvendigvis den spesifikke tilstanden som må brukes for alle skip, men representerer generelt en passende nedre grense for alle lasteforhold. Dette er ikke gjeldende ved f.eks. dokking. Lineær interpolering av begrensingsverdiene mellom utkastene dS, dP og dL er bare gjeldende for minimum GM-verdier. Hvis det er ment å utvikle maksimale tillatte kurver av KG, skal det beregnes et tilstrekkelig antall KMT-verdier for mellomliggende dyppganger for å sikre at de resulterende maksimale KG-kurver korresponderer med en lineær variasjon av GM. Når det ved lett service dyppgang ikke er med samme trim som de andre dyppgangene, KMT for dyppgang mellom delvis og lett servicedyppgang, skal det beregnes for trim interpolert mellom trim ved delvis dyppgang og trim ved lett servicedyppgang. I tilfeller der det operative trimområdet er beregnet til å overstige $\pm 0,5$ % av Ls, skal den originalen GM-grenselinjen utformes på vanlig måte med dypeste oppdelingsdyppgang og delvis oppdelingsdyppgang beregnet ved aktuell trim og faktisk servicetrim brukt for lett service dyppgang. Da bør det lages ytterligere sett med GM-grenselinjer på grunnlag av operasjonelle nivåer av trim som kommer inn under lastekondisjoner for delvis dyppgang og dypest dyppgang,

som sikrer at intervaller på 1 % av L_s ikke overskrides (1 % akterlig trim). For den lette service dyppgang d_l skal bare aktuell trim vurderes. Flere sett med GM-grenselinjer kombineres for å gi en «rett strek mellom to punkter» som begrenser GM-kurven. Det effektive trimområdet for kurven skal være tydelig angitt.

MS Rocknes var et bulkskip, et spesialfartøy for dumping av steinmasse på havbunnen. Sommerdødvekt var på 25 063 Tonnes, skipets lengde var 166,7 m, bredde 28 m og skipets sommerdyppgående 10,5 m. Om ettermiddagen 19. januar 2004 var skipet på sørgående i Vatløstraumen, like sør for Bergen. Skipet kom altfor langt til styrbord i leia og inn i rød sektor (Hilleren lykt) før skipet traff en grunne like ved Revskolten lykt. Etter dette fikk MS Rocknes stabilitetsproblemer og slagside mot styrbord. Etter veldig kort tid kantret skipet og ble liggende med bunnen i været. Av de 30 som var om bord, omkom 18. Tre personer ble reddet ut i live etter at de hadde sittet i sju timer inne i skroget til det kantrode skipet.



Figur 0138 Rocknes etter forliset i Vatløstraumen.

Rocknes ble bygget i 2000 og kom under SOLAS 90-reglene som trådte i kraft 1. februar 1992. Skipet var spesialisert på å dumpe steinmasser på olje- og gassrørledninger på havbunnen. Lossing av steinmassene ble utført av et transportbånd som tok ut lasten i bunnen av lasterommene for så å bli transportert opp på dekk. Videre ble lasten ført ned og plassert nøyaktig på havbunnen ved hjelp av et fleksibelt rørsystem. Denne form for lossing medførte dårligere stabilitet mens den foregikk, for lasterommene utforming medførte at tyngdepunktet til lasten ble forholdsvis høy. Rocknes hadde GM-grensekurver for flere dyppanger, og da ulykken inntraff, så var gjeldende GM-krav 0,62 m, men det ble påvist under sjøforklaringen at aktuell GM var 0,40 m. Lasten var heller ikke trimmet før avgang. Ballasttankene til Rocknes var plassert i senter, og ut på begge sider av lasterommene var det store tomrom (se profil av lasterommene i figur 0139).

Beregningsformel for nødvendig overlevelsesindeks R for lasteskip > 100 meter, som kravet var på den tiden:

$$R = (0,002 + 0,0009 L_s)^{1/3}$$

Rocknes' L_s var 166,7 meter og kravet til nødvendig overlevelsesindeks $R = 0,533$. Oppnådd overlevelsesindeks A ble på den tiden kun utført på to dyppanger: partial (delvis) og dypest dyppgang (sommerlastelinje). Disse indeksene ble som følger:

Indeks på sommerlastelinje, skade på styrbord side (d_{sb}): 0,179

Indeks på sommerlastelinje, skade på babord side (d_{bb}): 0,386

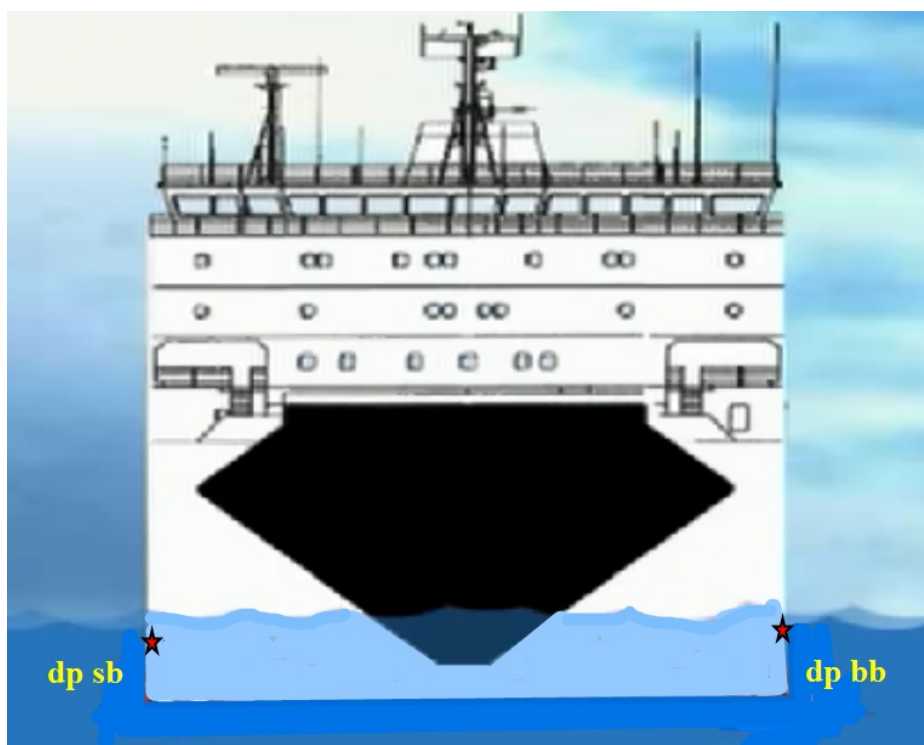
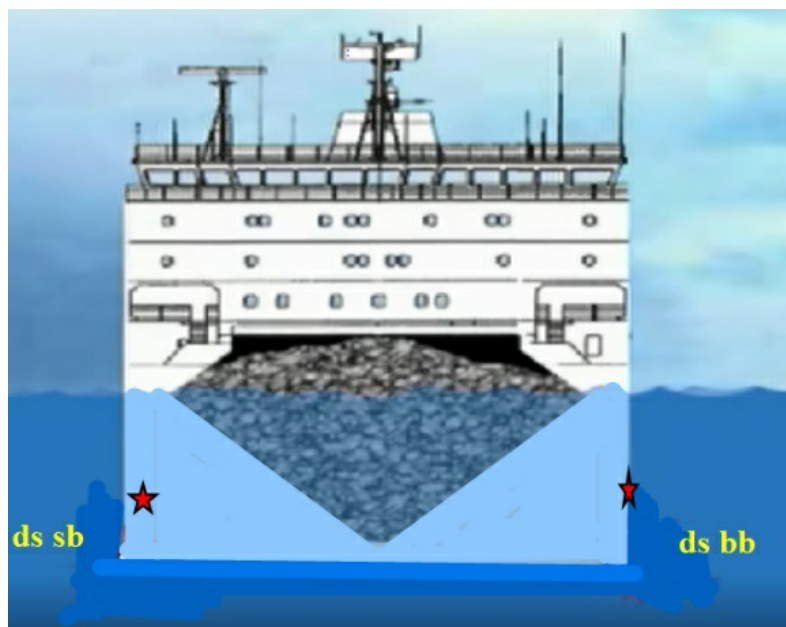
Indeks på partiell dyppgang, skade på styrbord side (d_{psb}): 0,721

Indeks på partiell dyppgang, skade på babord side (d_{psb}): 0,871

$$\frac{d_{ssb} + d_{sbb} + d_{psb} + d_{psb}}{4} = \frac{0,179 + 0,386 + 0,721 + 0,871}{4} = 0,539$$

Oppnådd overlevelsesindeks $A > R$. Man ser av beregningen at begge dypganger ble vektet likt. Partiell dypgang bidro klart mest, og styrbord side kom dårligst ut. Det var ingen krav på den tiden om at hvis det var usymmetrisk indeks, så skulle det være krav til ugunstig side. Underkomiteen SLF (IMO) fremla i 2004 at de forskjellige bidragene til oppnådd overlevelsesindeks A skulle ha en form for vekting på de ulike dypganger. Resultatet ble:

$$A = 0.4A_S + 0.4A_P + 0.2A_L > R$$

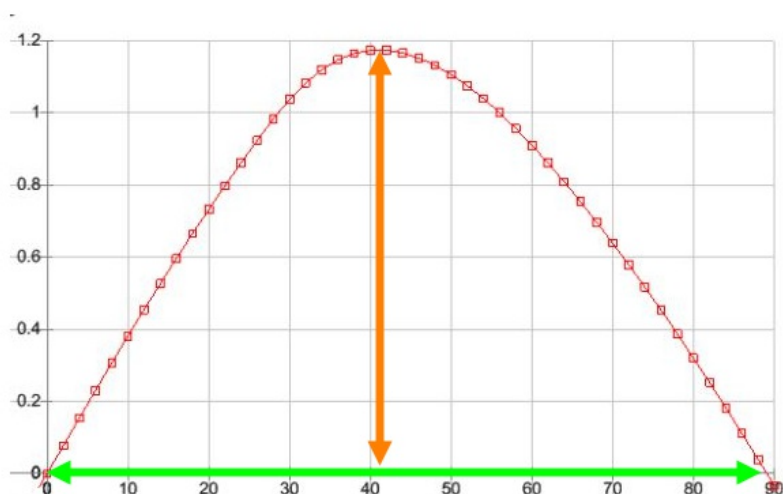


Figur 0139 Illustrasjon av Rocknes og de ulike dypganger.

Ved Bernestangen foretok Rocknes en sving til babord som medførte at lasten raste mot styrbord side. Lasten var ikke trimmet før avgang og ble liggende med topper på midten. Transportbåndet benyttet til lastning i Eikefet var for kort, skipet lå med babord side ved kai, noe som medførte at det lå mer last på babord side i lasterommene. Skipet fikk om lag 5 grader list til styrbord på grunn av at lasten raste, og det ble fylt ballast på babord side for å rette skipet opp. Det er blitt antydnet i ettertid at denne ballasttanken lå høyt oppe. Skipet var usedvanlig ustabil etter denne hendelsen, det var lastet til vinterlastemerket og kunne ikke fylle mer ballast. På grunn av at skipet ble ustabil, så ble det foretatt så «rolige» svinger som mulig, noe som medførte at skipet kom for langt til styrbord i leia og traff en grunne like ved Revskolten lykt. Denne grunnen var ikke merket på sjøkartet, og losen som var om bord, var heller ikke klar over den. Rocknes fikk skade fremme på styrbord side, en flenge som var om lag 20 meter lang og 10 cm bred. Skipet fikk også litt skade lenger akterut, men denne var ikke betydelig. Den raske fyllingen inn i to store tomrom medførte at skipet kantret helt rundt i løpet av 2 til 4 minutter. Losen om bord var rask til å komme seg ut av styrehuset, og han sprang etter skutesiden for til slutt å ende opp på skipets bunn. Skipet var i realiteten uten GZ-kurve og hadde ingen mulighet til å motstå kantringen. Lasten som raste til styrbord side, bidro til at kantringen gikk raskere.

SI-faktoren: Verdien av «Si» representerer sannsynligheten for overlevelse etter en fylling av en sone eller i det bestemte skadetilfelle (i). Si er det viktigste bidrag i det probabilistiske konsept. Figur 0140 viser en normal GZ-kurve ved en intakt kondisjon. GZ maks er det høyeste punkt på GZ-kurven, målt i meter over null-linjen. Utstrekning (range) angir hvor GZ-kurven har positiv verdi, målt i grader fra ett punkt til et annet. I dette tilfelle fra 0 grader til 90 grader. Figur 0127 tar for seg diverse krav til GZ-kurver i skadet tilstand i forskjellige konvensjoner.

GZ meter



Vinkel Phi (grader)



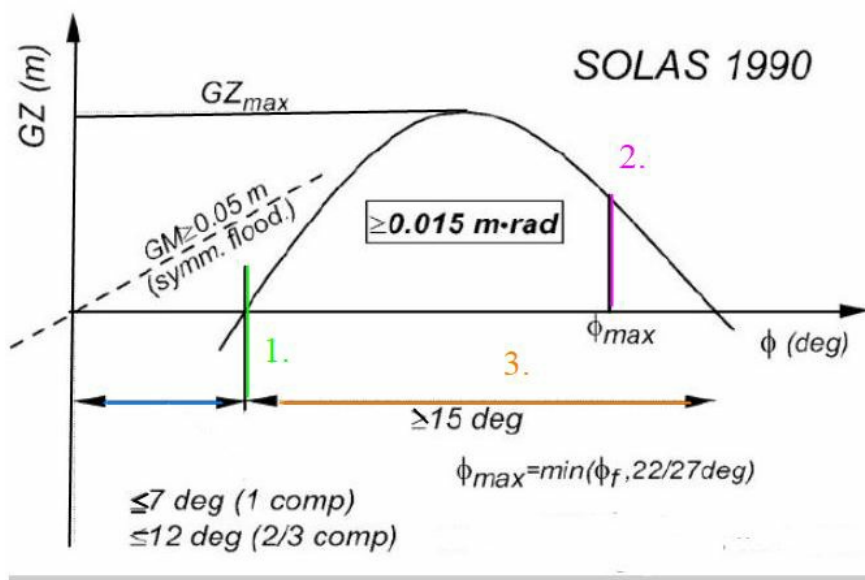
Utstrekning (range)



GZ max

Figur 0140 GZ-kurve.

Figur 0141 SOLAS 1990 (SOLAS 1974-konvensjon). Krav til passasjerskip: Det er to krav, ett i sluttfasen og ett i den mellomliggende fasen, her blir bare krav til sluttfasen nevnt. GM større enn 0,05 m ved symmetrisk fylling. Ved usymmetrisk fylling: 1. Maksimum list 7 grader ved type 1- avdelingsskip, maksimum list 12 grader for type 2-avdelingsskip og type 3-avdelingsskip. 2. Φ maks = 22 grader ved type 1-avdelingsskip og 27 grader ved type 2- eller 3-avdelingsskip. 3. GZ-kurveutstrekning skulle være lik eller større enn 15 grader. GZ maks rettende arm skulle være lik eller større enn 0,1 m krengende moment. Arealet av GZ-kurven skulle være lik eller større enn 0,015 meterradianer. Usymmetrisk fylling skulle unngås med hjelp av kryssfyllingsutjevningsarrangement, kravet var at det skulle være innfridd i løpet av 15 minutter.

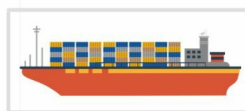


Figur 0141 Stabilitetskrav i SOLAS 1990.

Prosjektgruppen **HARDER** kom i sine undersøkelser frem til at tidligere krav til den kritiske bølgehøyden ved en kollisjon og fylling av avdeling var satt for høyt. Det viste seg at for de aller fleste tilfellene så var bølgehøyden (signifikant) under 2 meter ved 90 % av kollisjonstilfellene. Det var sjelden at bølgehøyden (signifikant) var over 4 meter. Flere modellforsøk utført av **HARDER** viste at arealet til GZ-kurven hadde mindre betydning enn antatt, det som var viktig, var utstrekning og GZ max, basert på at disse to hadde verdier som var tilstrekkelig høye. Kravet til areal (GZ) falt dermed bort.

The S Final Formula

$$s_{final} = K \cdot \left[\frac{GZ_{max}}{0.12} \cdot \frac{Range}{16} \right]^{1/4}$$



K	
1	$\theta_e \leq 25^\circ$
$0 < K < 1$	$25 < \theta_e < 30^\circ$
0	$\theta_e \geq 30^\circ$

K	
1	$\theta_e \leq 7^\circ$
$0 < K < 1$	$7 < \theta_e < 15^\circ$
0	$\theta_e \geq 15^\circ$

θ_e = final equilibrium heeling angle

Sfinal (Sendelig): K er basert på forutsetninger lenger ned på siden. Hvis krengevinkel θ_e blir større enn 7 grader for passasjerskip eller større enn 25 grader for lasteskip, så blir $K = 0$. GZ max kan maks være 0,12 meter, og utstrekning kan maks være 16 grader, selv om de er større i verdi. Grunnen til det er at Sfinal er en sannsynlig beregning, og denne må bli = 1 eller 0. Sfinal må være 1 for å bli godkjent.

θ_e Equilibrium heel angle, likevekts krenningsvinkel i hvilket som helst stadium av fyllingen.

θ_v Er den vinkel i hvilket som helst stadium av fyllingen hvor den rettende arm (GZ) blir negativ.

θ_{min} Minimum krenningsvinkel, som er 7 grader for passasjerskip, 25 grader for lasteskip.

θ_{max} Maksimum krenningsvinkel, som er 15 grader for passasjerskip, 30 grader for lasteskip.

Range Utstrekning (rekkevidde) av positive GZ-verdier = $\theta_v - \theta_e$.

GZ max Maksimumsverdien til positive GZ-verdier (meter) opp til θ_v .

Sintermediat, i Sannsynligheten for å overleve alle mellomliggende stadium helt opp til likevekts stadium.

Sfinal, i Sannsynligheten for å overleve i det endelige likevektsstadiet av en fylling.

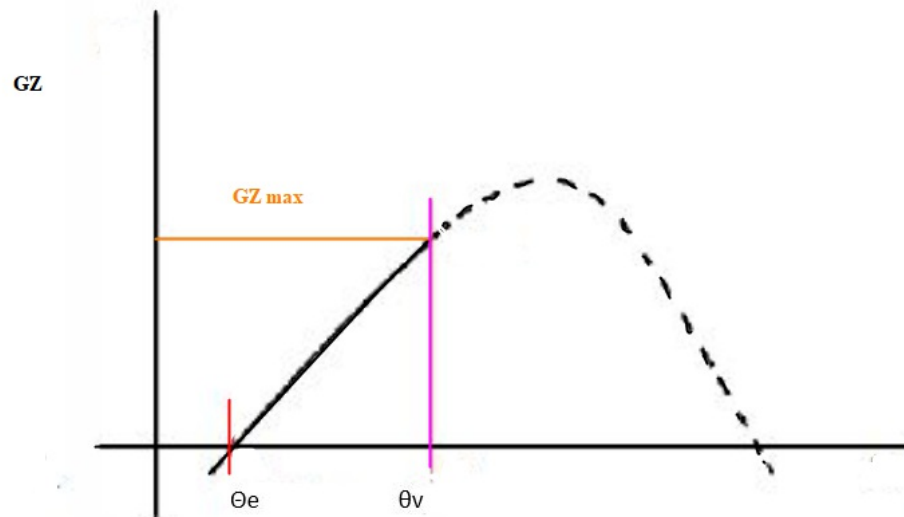
Smom, i S annsynligheten for å overleve kregende moment.

Mheel Maksimum antatt kregende moment.

$$K = \begin{cases} \sqrt{\frac{\theta_{max} - \theta_e}{\theta_{max} - \theta_{min}}}, & \text{if } \theta_{min} < \theta_e < \theta_{max} \\ 1, & \text{if } \theta_e \leq \theta_{min} \\ 0, & \text{if } \theta_e \geq \theta_{max} \end{cases}$$

$$S_{int} = \left[\frac{GZ_{max}}{0.05} \cdot \frac{Range}{7} \right]^{1/4}$$

Sint: Gjelder kun for passasjerskip, hvis den mellomliggende krenningsvinkel overstiger 15 grader, så blir Sint = 0. Faktor K er ikke med i formelen, GZ max kan maks være 0,05 meter, og utstrekning kan maks være 7 grader.



Figur 0142 Åpning neddykket.

Figur 0142 tar for seg et eksempel der en åpning eller flere er neddykket. Her vil ikke GZ max være i toppunktet på kurven, men der hvor θ_v inntreffer. GZ-kurven er kuttet av på samme punkt som θ_v er, fordi det kan ikke defineres som positivt rettende moment når en åpning er neddykket. Dette problemet kan unngås ved at alle åpninger plasseres i en sikker høyde over skottdekket. Fyllingsvinkelen er den krengevinkelen der den nederste kant av åpninger i skroget, overbygningen eller i dekkshus, som ikke kan lukkes værtett kommer under vann. Værtett betyr at vann ikke under normale sjøforhold vil trenge inn i skipet. En lukket værtett dør kan tette for sjøsprøyt og periodisk mindre fylling av sjø på værdekk, men kan lekke under nedsenking.

f(x)

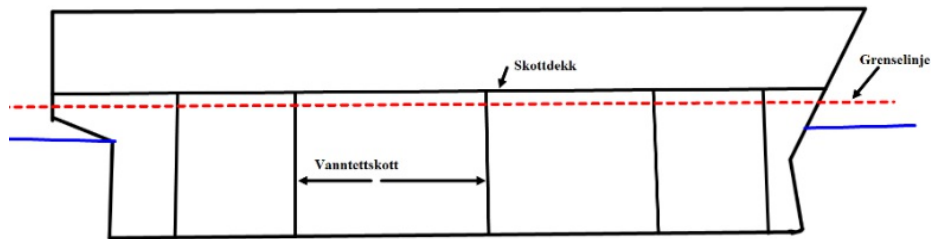
VÆRTETT OG VANNTETT

Rent praksis kan man si at forskjell på værtett og vanntett, der værtett skal motstå vanntrykk fra utsiden mens vanntett skal motstå vanntrykk fra begge sider.



Figur 0143 værtett dør

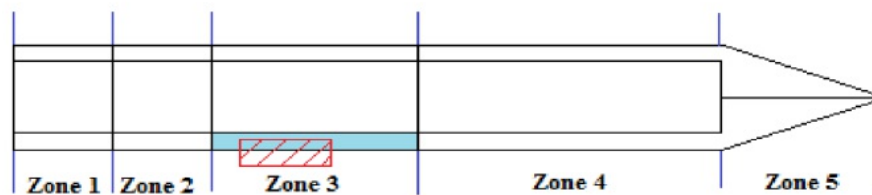
Krav til grenselinjen (76 mm) fjernet ved den probabilistiske metode:



Re-post figur 0105 Grenselinje.

Hensikten med grenselinjekravet var å unngå ytterligere nedsynking av eventuelt vann på skottdettet, men dette stridde litt imot det probabilistiske konseptet. Det ble lagt til grunn at dette skulle kompenseres for med tydelige krav til vanntett integritet og evakuering av passasjerer og mannskap. Det medførte og vil medføre mer begrenset bruk av vanntette dører og mer bruk av utskytende redningsredskaper (launching devices (LSA code)).

Beregning av oppnådd overlevelsesindeks «A»: For å utarbeide beregningen av «A» må det aktuelle skipet deles i et fast, diskret antall soner, i langsgående, tverrgående og vertikal retning. En langsgående sone er definert som: en langsgående intervall av skipet innenfor skipets oppdelingslengde (L_s). Det er opp til konstruktøren hvordan denne inndelingen av sonene blir utført. Flere antall soner vil gi en høyere verdi på overlevelsesindeks «A», og dess større «A» er, dess større er sikkerheten. Det er hensiktsmessig å dele skipet inn i samme antall soner som antall avdelinger.



Figur 0144 Inndeling av soner (sett ovenfra).

Pi-faktoren: P_i er sannsynligheten for en spesifikk skade på fartøyet, dvs. at en vanntett avdeling eller gruppe av vanntette avdelinger er blitt utsatt for en fylling. Faktoren er utelukkende avhengig av geometrien til de vanntette avdelingene. Formel for P_i :

$$p_i = p(x_{1j}, x_{2j}) \cdot [r(x_{1j}, x_{2j}, b_k) - r(x_{1j}, x_{2j}, b_{k-1})]$$

Der

j: Den bakerste sonen involvert i denne hendelsen, sone starter med nummer 1 helt bakerst.

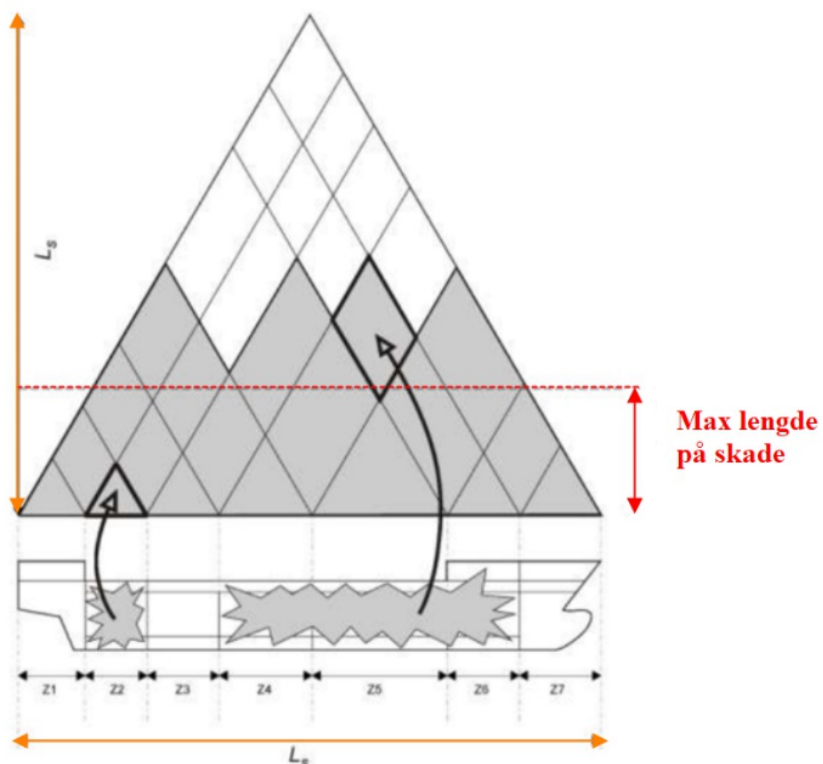
k: Antall spesielle langsgående skott som barriere for tverrgjennomføring.

X1: Avstand fra akterenden av skipet til akterenden av den aktuelle sonen.

X2: Avstand fra akterenden av skipet til den fremre enden av den aktuelle sonen.

b: Gjennomsnittlig tverrgående avstand fra skuteside til en langsgående barriere. Kan aldri være større enn Bredden/2.

r: Faktor for å gjøre rede for det tverrgående skadeomfanget.

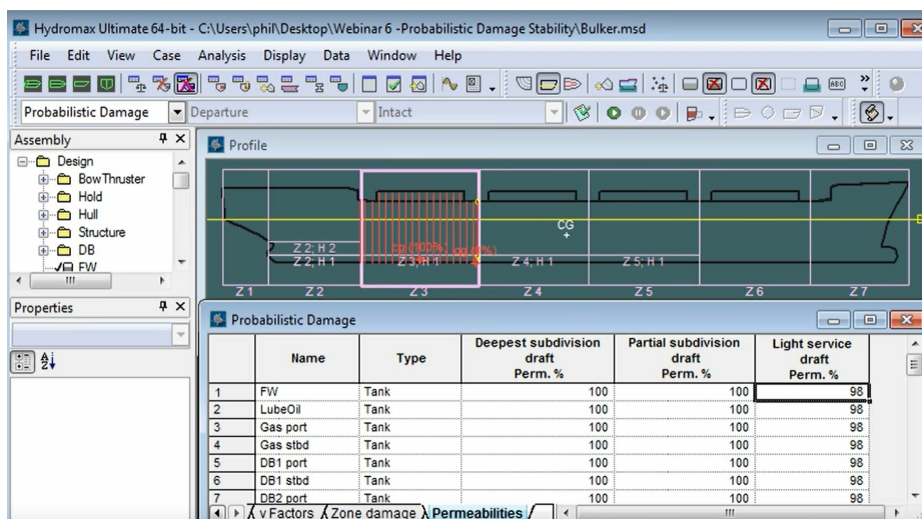


Figur 0145 viser et skip med soneinndelinger, skipet tåler ikke skade i tre soner.

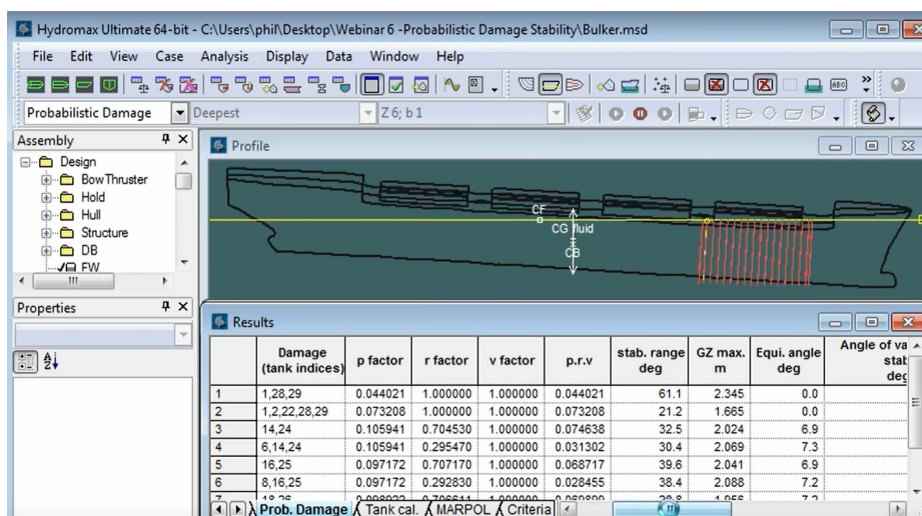
Beregninger av probabilistisk skadestabilitet (ved hjelp av Hydromax):

	Default	Probabilistic Damage Subdivision Index s-factor MSC.216(82)	Value	Units
1	<input type="checkbox"/>	Vessel type	Cargo	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Use s Final		
3	<input type="checkbox"/>	Use s Intermed		
4	<input type="checkbox"/>	Use s Moment		
5	<input type="checkbox"/>	Upper angle of range: lesse		
6	<input checked="" type="checkbox"/>	first downflooding angle		deg
7	<input checked="" type="checkbox"/>	angle of vanishing stability		deg
8	<input type="checkbox"/>	immersion angle of	Marginline	deg
9	<input type="checkbox"/>	s Final		
10	<input type="checkbox"/>	max. GZ limit	0.120	m
11	<input type="checkbox"/>	range limit	16.0	deg
12	<input type="checkbox"/>	K-factor min. heel	25.0	deg
13	<input type="checkbox"/>	K-factor max. heel	30.0	deg
14	<input type="checkbox"/>	shall be greater than (>)	0.0000	

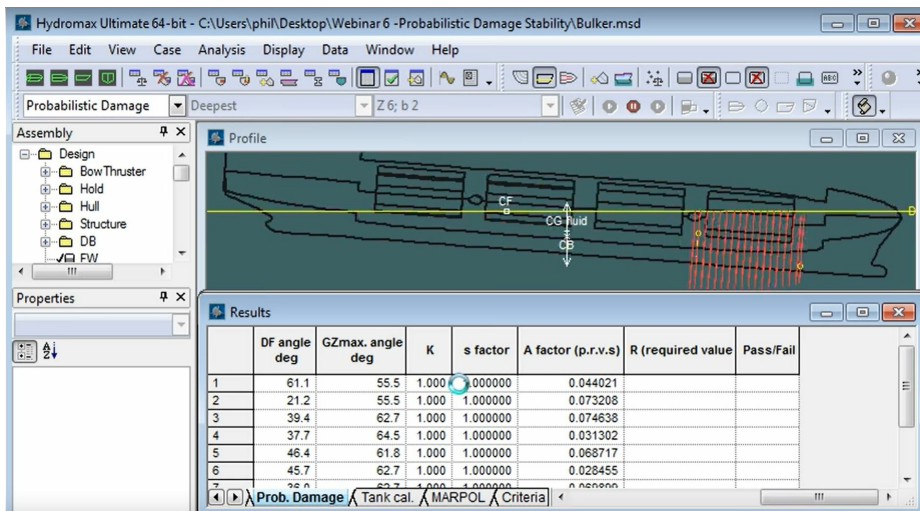
Figur 0146 Gjeldende kriterier for et lasteskip.



Figur 0147 Analyseringen er startet, man ser at den blir utført for alle tre forskjellige oppdelingsdypganger.



Figur 0148 Analysering pågår, i alle tenkelige scenarier.



Figur 0149. Beregner S_{final} , $S_{final} = 1$, som er godkjent.

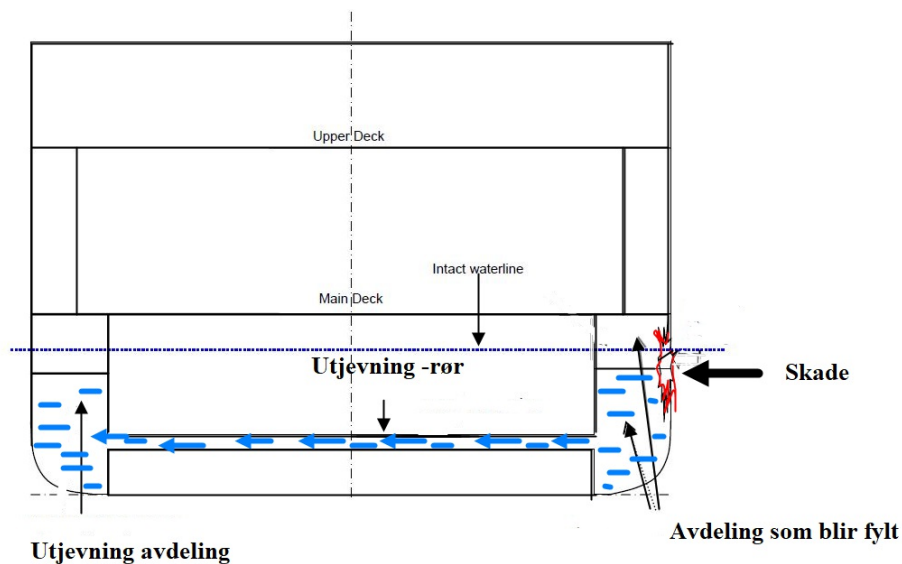
	Angle of vanishing stab. deg	DF angle deg	GZmax. angle deg	K	s factor	A factor (p.r.v.s)	R (required value)	Pass/Fail
76	87.7	n/a	43.6	1.000	1.000000	0.041590		
77	85.2	n/a	43.6	1.000	1.000000	0.019788		
78						0.963296	0.294590	Pass
79								
80						0.891395	0.589181	Pass
81								Pass

Figur 0150. Totalt oppsummert. Oppnådd overlevelsesindeks «A» har oppnådd verdi 0,891395, nødvendig (minimum) indeks «R» = 0,589181. Krav er «A» > R, og resultatet er godkjent (pass). Samme beregninger utføres ved passasjerskip (med gjeldende kriterier), men her kommer også beregning av det kregende moment. Det kregende moment beregnes ved at alle passasjerer står på den ene siden, med en bestemt vindstyrke og låring av livbåter på samme side.

Hvordan gjør man det?

- Definere skrogform
- Definere oppdeling av avdelinger (compartment)
- Definere skade i avdelingene.
- For hver skadetilfelle: Beregne skipets GZ kurve og S_{final} .
- Summere alle skadekondisjoner for å oppnå overlevelse indeks «A».
- Hvis «A» < R, så må man gå tilbake og endre på oppdelingen.

Figur 0151 Prosess ved planlegging og konstruksjon av skip.



Figur 0152 Kryssfylling arrangement (utjevning).

I 2013 kom det nye krav til utjevning (kryssfylling). Tidligere krav var at utjevningen skulle være ferdigstilt innen 15 minutter, men i 2013 ble dette endret til innen 60 sekunder.



Figur 0153 Sikker evakueringsvei.



EVAKUERINGSVEI

Evakueringsvei skulle ikke være hemmet av vann (kun passasjerskip), sikker vertikal evakueringsvei opp til skottdekk skulle være plassert i senter av skipet (nær senterlinjen) for å unngå vann ved krenkning.

Fyllingsgrad (μ) for et rom betyr den andelen av rommets volum (under vann) som kan være fylt med vann.

For oppdelings- og skadestabilitetsberegningene ifølge reglene skal fyllingsgraden av hver generelle avdeling eller del av en avdeling være som følger:

Rom	Fyllingsgrad
Bestemt for forråd	0,60
Anvendt til innredning	0,95
Anvendt til maskineri	0,85
Tørrtanker o.l.	0,95
Bestemt for væsker	0 eller 0,95

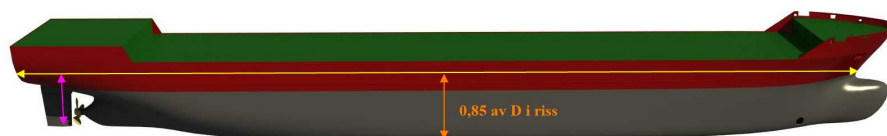
For oppdelings- og skadestabilitetsberegningene ifølge reglene skal fyllingsgraden av hver lasteavdeling eller del av en avdeling være som følger:

Rom	Fyllingsgrad ved dypgang d_e	Fyllingsgrad ved dypgang d_p	Fyllingsgrad ved dypgang d_i
Bestemt for tørrlast	0,70	0,80	0,95
Containerrom	0,70	0,80	0,95
Roro-rom	0,90	0,90	0,95
Lastevæsker	0,70	0,80	0,95

Definisjon av «lengde» i den internasjonale lastelinjekonvensjonen, artikkel 2 punkt 8: «Lengde» betyr 96 prosent av den hele lengde på en vannlinje tilsvarende 85 prosent av den minste dybden i riss målt fra overkant av kjøplaten, eller lengden fra forkant av forstevnen til senter av rorstammen (akse) på samme vannlinje hvis denne lengde er større.

Skipet på figur 0154 har dybde i riss: 11,0 meter. 0,85 av D i riss blir = 9,35 meter.

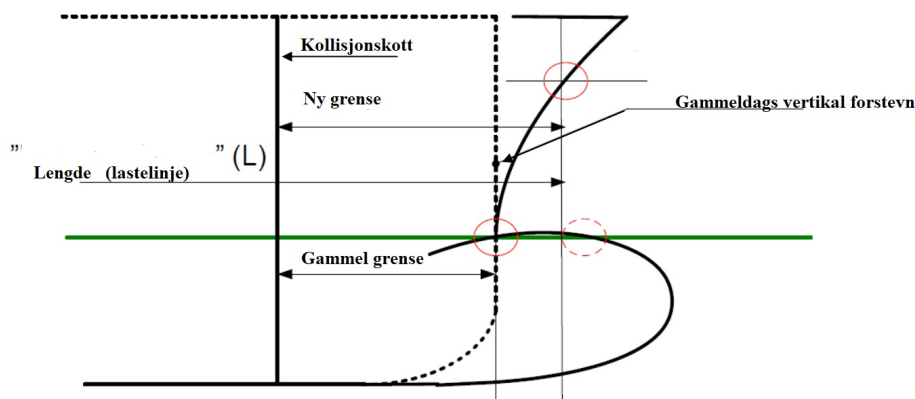
Den gule streken blir vannlinjen, og den måles til 140 m. 0,96 av denne vannlinjen blir = 134,40 meter. Mål fra aktre perpendikulær (rorstamme senter) til forkant av forstevnen (forre perpendikulær, FP) på samme vannlinje blir 134,0 meter. Lengden til dette skipet blir 134,4 meter.



Figur 0154. Definisjon av lengde

Plassering av kollisjonskott: Form på forskipet har forandret seg gjennom tidene. Avstanden fra FP til kollisjonskottet for passasjerskip ble fastsatt i SOLAS 1929, på den tiden var det vertikal forstevn. Det har vært ulike krav til avstand for lasteskip og passasjerskip. I SOLAS 2009 ble det fastsatt nye krav som ble gjeldende både for passasjer- og lasteskip, som tok hensyn til at det er skrog fremfor FP.

I den senere tid har det kommet flere nye skip med vertikal forstevn, slik som ekspedisjonsskipene Roald Amundsen og Fridtjof Nansen.



Figur 0155 Kollisjonskotplassering.

SOLAS 2009	Minimum avstand fra FP	Maksimum avstand fra FP
Passasjer- og lasteskip	5 % av lengden eller 10 meter, det som er minst, benyttes	8 % av lengden eller 3 meter + 5 % av lengden, det som er størst, benyttes

Krav til deterministisk metode:

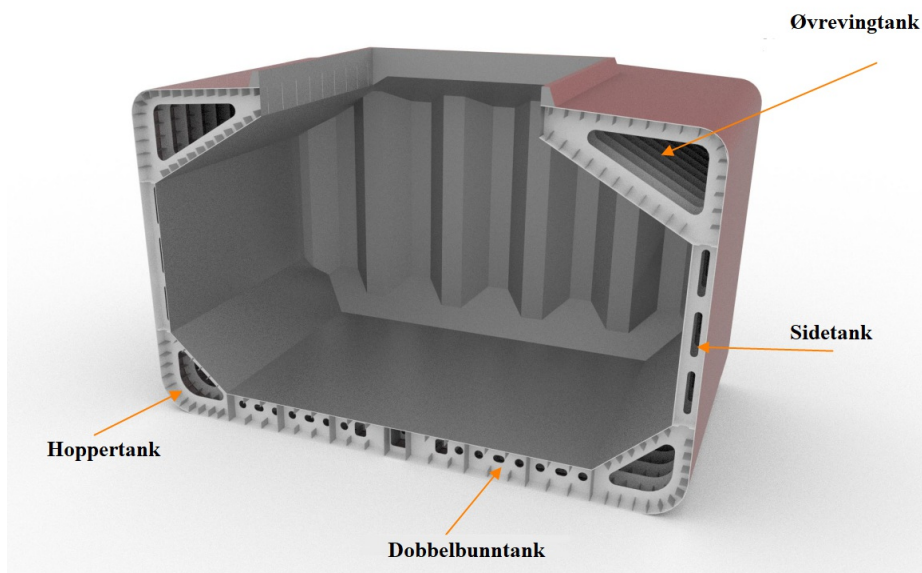
Regelverk IMO	Gjelder for:
ILLL 66	Lasteskip med redusert fribord
MARPOL 73/78	Tankskip som frakter olje
IBC Code	Skip som frakter farlige kjemikalier i bulk
IGC Code	Skip som frakter flytende gass i bulk
HSC Code	Hurtigbåt

Generell skadelengde for de deterministiske krav: Langskips utstrekning: $(3 + 0,03 \times L)$ m eller 11 meter (den som er minst, benyttes). Tverrskips-skade: Tverrskipsutstrekning: $B/5$ eller 11,5 meter (den som er minst, benyttes). Krav til stabilitet: $GM > 0,05$ m, krengevinkel < 7 grader for 1-avdeling fylling og 12 grader for 2-avdelinger eller 3-avdelinger. Krav til GZ-kurve: $GZ_{max} > 0,1$ meter, areal GZ-kurve $> 0,0175$ meterradianer, utstrekning større enn 20 grader.

MARPOL vedlegg 1: Langskipsutstrekning (i skuteside) $1. \frac{1}{3} L^{2/3}$ m eller 14,5 m (den som er minst, benyttes). Tverrskipsutstrekning: $B/5$ eller 11,5 m (den som er minst, benyttes). Areal GZ-kurve $> 0,0175$ meterradianer, utstrekning større enn 20 grader. Kan tillates at en åpning er neddykket. **IBC Code:** Langskipsutstrekning (i skuteside) $1. \frac{1}{3} L^{2/3}$ m eller 14,5 m (den som er minst, benyttes). Tverrskipsutstrekning: $B/5$ eller 11,5 m (den som er minst, benyttes). $GZ_{max} > 0,1$ meter, areal GZ-kurve $> 0,0175$ meterradianer, utstrekning større enn 20 grader. Kan tillates at en åpning er neddykket. **IGC Code:** Langskipsutstrekning (i skuteside) $1. \frac{1}{3} L^{2/3}$ m eller 14,5 m (den som er minst, benyttes). Tverrskipsutstrekning: $B/5$ eller 11,5 m (den som er minst, benyttes). $GZ_{max} > 0,1$ meter, areal GZ-kurve $> 0,0175$ meterradianer, utstrekning større enn 20 grader. Kan tillates at en åpning er neddykket. **HSC Code:** Etter skade må fartøyet oppfylle følgende: Alle nedstrømningspunkter må være minst 50 % av den signifikante bølgehøyde over vannlinjen. Dekkskanten må ikke være nedsenket der hvor redningsredskapene er plassert. Ingen krav til GZ_{max} , areal GZ-kurve $> 0,028$ meterradianer, maksimum list for passasjerskip: 15 grader, maksimum list for lasteskip: 20 grader. Det er også krav til krengende moment med passasjerene i en av sidene og ved en bestemt vindstyrke.

Dobbeltbunn: En dobbeltbunn skal monteres fra kollisjonskottet til hylseskottet, så langt det er praktisk mulig og forenlig med skipets utforming og effektive drift. Der det kreves en dobbeltbunn, skal den indre bunnen forlenges ut til skipssidene på en slik måte at den beskytter skipsbunnen til slagene. Denne beskyttelsen vil bli ansett som tilfredsstillende når den indre bunnen ikke på noe sted kommer under et nivå parallelt med kjøllinjen, og når den er plassert ikke mindre enn en vertikal avstand h målt fra kjøllinjen, som

beregnet ved formelen: $h = B/20$. Ikke i noe tilfelle skal imidlertid verdien av h være mindre enn 760 mm, og den trenger ikke forutsettes å være mer enn 2000 mm. Små brønner som er laget i dobbeltbunnen i forbindelse med lensearrangementer for lasterom osv., skal ikke ha større dybde enn nødvendig. En brønn som går helt ned til ytre bunn, er likevel tillatt ved akterenden av akseltunnelen. Andre brønner (f.eks. for smørelje under hovedmaskiner) kan tillates av administrasjonen hvis den er forvisset om at arrangementene gir tilsvarende beskyttelse som en dobbeltbunn i samsvar med kravene i denne regel. Ikke i noe tilfelle skal den vertikale avstanden fra bunnen av en slik brønn til et nivå som sammenfaller med kjøllinjen, være mindre enn 500 mm. Det er ikke nødvendig å montere dobbeltbunn for vanntette tanker, herunder tørre tanker av moderat størrelse, forutsatt at dette ikke vil sette skipets sikkerhet i fare i tilfelle av skade på bunn eller skipsside.

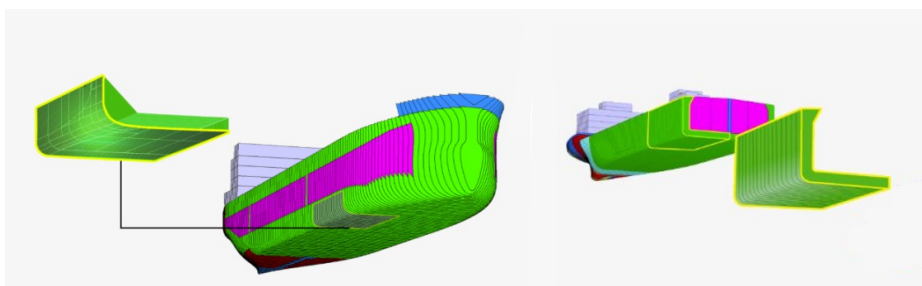


Figur 0156 Ballasttanker på bulkskip type «Capesize» med dobbelt skrog.

Ballasttankarrangementet til «Capesize» er:

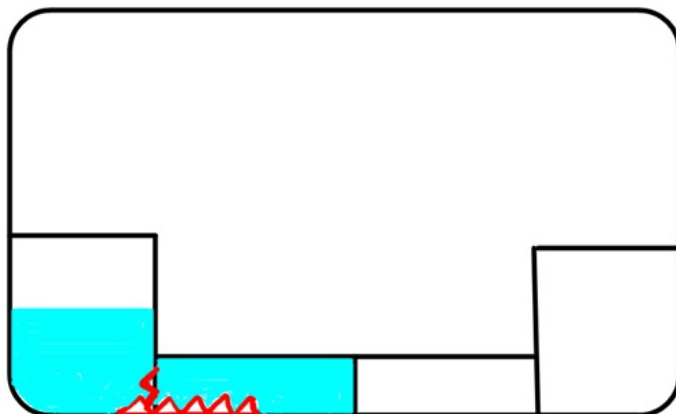
øvrevingtank,
sidetank,
hoppertank og
dobbeltbunntank.

Disse ballasttankene er adskilt fysisk, men inngår i fellesballastrørsystemet, de blir adskilt med ventiler.



Figur 01567Et bulkskip med enkelt skrog (venstre) og et tankskip med dobbelt skrog (høyre), begge med utsnitt av ballasttanker.

Dobbelt skrog: Resulterer i U- og L-formede ballasttanker. U-tanker: Tanker som går over skipet i tverrgående retning. Hensikten med U-tanker er at de fordeler fyllingen tvers over skipet, og dermed blir det ikke bare fylling på den ene siden av skipet. Derfor avtar U-tanker asymmetrisk vektfordeling og følgelig sterk krenkning, og forbedrer dermed skadestabiliteten. Ulempen med U-tanker er at de har en tendens til å ha et stort volum, som betyr at en skade på en U-tank tillater stor fylling, noe som kan hemme skadestabiliteten. Ved en bunnskade så kan det forårsake større list (krenkning) pga. usymmetrisk stor fylling, men foreløpig er det ingen restriksjoner tilknyttet dette.



Figur 0158 viser en skade i og mellom ballasttanker på babord side.

Vanntette dører: Dampskipet Great Eastern, bygget i 1858, lengde: 211 meter, hadde dobbelt skrog (jern) og 13 vanntette seksjoner, et skip langt forut for sin tid. RMS Olympic ble sjøsatt i 1910 og var lenge det lengste skipet som seilte før og etter Titanic i lange tider, bare 3 tommer kortere enn RMS Titanic og nærmest identisk. (RMS = Royal mail ship.) Begge skip var utstyrt med vanntette dører av vertikal-stengingstype. SOLAS 1914-konvensjonen hadde ingen krav til vanntette dører, men SOLAS 1929-konvensjonen hadde en del.



Figur 0159 Vanntett dør (RMS Olympic og RMS Titanic).

Det var tillatt med hengslete vanntette dører i lasterom, men disse måtte være stengt under hele sjøreisen. Alle andre vanntette dører måtte være av skyvende type. Hvis flere enn fem vanntette dører ble åpnet under sjøreisen, så skulle det være mulig å stenge dem samtidig fra skipsbroen, og denne operasjonen skulle innledes med lydvarselsignal.



Figur 0160 Vanntett dør bygget etter forskrift av 1992.

En vanntett dør med mål 2000 × 800 mm der høyde av vannstand er 4 meter høyere enn senter av døren, hvis denne er i åpen tilstand, så er det mulig å fylle 2500 m³ igjennom i løpet av 5 minutter. Unnlattelse av å gjenkjenne viktigheten av vanntette dører kan ha stor innvirkning på skipets vanntette integritet og ha katastrofale konsekvenser. Når strukturelle skader oppstår på et skip, spesielt ved kollisjon eller grunnstøting, er det potensiell risiko for at skott og dekk deformeres, slik at vanntette dører ikke kan lukkes. Risikoen for progressiv fylling etter slik deformasjon av skipets struktur kan øke hvis vanntette dører er enten åpne eller ikke kan lukkes. En annen potensiell risiko for skipets overlevelsessevne er når store mengder vann fyller et skip, spesielt etter omfattende strukturelle skader. Mengden av vanninntrenging, som avhenger av størrelsen på den skadede åpningen og vanntrykket, kan raskt fylle et rom. Det er derfor viktig at et skip har tilstrekkelig overlevelsessevne i tilfelle skader, og husk at når tilstøtende vanntette dører er åpne, kan flere rom få fylling fordi kravet til stenging av vanntette dører er opptil 60 sekunder. Man må huske at ved beregning av overlevelsesindeks «A», slik som i figur 0150 så er det tatt i betraktning at alle vanntette dører er stengt (lukket tilstand).

Kjente forlis der vanntette dører var involvert:



Figur 0161 SS Britannic.

Dampskipet Britannic: Søsterskip av Olympic og Titanic, sjøsatt 1914, forbedringer gjort i henhold til sine to søsterskip med blant annet skottdekk. Under den første verdenskrig ble skipet omgjort til hospitalskip. På den sjette turen kantret hun og sank etter å ha blitt rammet av en stor eksplosjon da hun var på vei til Tyrkia den 21. november 1916. Hun forliste utenfor øya Kea i Egeerhavet, 30 mennesker mistet livet under forliset. Det har vært mange undersøkelser for å finne ut om senkningen var et resultat av en mine eller en torpedo skutt fra en tysk ubåt, uten at en konklusjon har blitt nådd. Eksplosjonen fant sted forut på styrbord side, og kapteinen beordret lukking av de vanntette dørene og sendte ut nødsignal umiddelbart. Men selve lukkingen lyktes ikke helt, og det kan skyldes at det oppsto et bøyemoment fremme i skipet under eksplosjonen slik at dette hindret noen av dørene i å bli lukket.



DET GIKK RASKT

Kapteinen prøvde da å få strandet skipet på øya Kea, som lå 7 Nm unna. Denne handlingen kunne ha lyktes, men sykepleierne hadde tidligere åpnet opp ventilene på hoveddekket for å gi ventilasjon til de pasienter som lå der. Da skipet tok fylling igjennom disse ventilene, så gikk det raskt. En halvtime etter eksplosjonen innså kapteinen at skipet var tapt og ikke ville rekke frem til Kea i tide.

Dampskipet Lusitania: Lusitania var et britisk passasjerskip som ble senket av en tysk ubåt utenfor kysten av Irland under første verdenskrig, 7. mai 1915, blant de 1198 omkomne var 123 amerikanske statsborgere. Hendelsen skapte en sterk tyskfiendtlig opinion i USA, men var ikke en utløsende årsak til at USA kom med i krigen. Skipet ble sjøsatt i 1906. Skroget var oppdelt i tolv separate vanntette avdelinger. Opptil to av disse avdelinger kunne få fylling uten at skipet ville synke. En viktig feil i denne konstruksjonen var at de vanntette skyvedørene til kull-lageret måtte være åpne for å kjøre skipet. Skipet ble truffet av en torpedo, og hadde denne avdelingen hatt de vanntette dørene lukket, så ville skipet ha overlevd. Istedenfor fikk seks til sju avdelinger fylling, skipet krenget til styrbord, trimmet ned forut og forliste i løpet av 18 minutter. Denne hendelsen fikk Tyskland til å ikke angripe passasjerskip på en stund, men da Tyskland imidlertid offisielt gjenopptok ubåtkrigføring, hadde president Wilson og den amerikanske offentligheten fått nok. I april 1917 stemte USAs kongress for å erklære krig mot sentralmaktene og gikk inn i første verdenskrig.

M/S Costa Concordia: Ble bygget i 2006 og kom derfor ikke under SOLAS 2009 Damage stability-kravene. Italias største cruiseskip med lengde: 290 meter og bruttotonnasje: 114 150.



Figur 0162 Costa Concordia.

Den 13. januar 2012 ble Costa Concordia vraket på øya Giglio i Middelhavet etter en grunnberøring. På det tidspunktet var det 4229 personer om bord på fartøyet: 3206 passasjerer og 1023 mannskap. Denne hendelsen resulterte i at 32 personer døde. Kapteinen avvek fra den opprinnelige planlagte seilasplan for å passere nærmere Giglios østkyst, noe som var blitt gjort flere ganger ved tidligere seilaser. Kapteinen beordret manuell styring, og en romann ble plassert ved roret.



KOMMUNIKASJON OG KONTROLL

Kapteinen ga rorordrene på engelsk til tross for at italiensk var arbeidsspråket om bord. Rormannen hadde dårlige engelskkunnskaper og kommuniserte flere ganger feil da han skulle bekrefte rorordrene. Kapteinen valgte å foreta kursendringen med gradvise endringer istedenfor en tydelig kursendring fra et «ror over»-merke på kurslinjen i kartet. Dette medførte at skipet kom 2,8 kabler mer innenfor kurslinjen enn planlagt. Det ble heller ikke foretatt kontroll av skipets posisjon ved eller etter kursendringen. Skipet hadde en fart på 15 knop på dette tidspunktet.



Figur 0163 Kartskisse med planlagte reiser.

Hendelsesforløp:

Kl. 21:45: Grunnberøring (men skipet drifter først i retning 360 grader etter berøringen).

Kl. 21:50: «Blackout» på maskineriet.

Kl. 21:55: Rapportert til skipsbroen at fylling av avdelinger i maskinrommet påbegynt.

Kl. 22:12: I kontakt med Leghorn maritim redningsentral, sentralen ble informert om blackouten.

Kl. 22:34: Stor økning i krenkning. Skipet erklærer nødsituasjon til maritim redningsentral.

Kl. 22:40: Skipet sender ut nødsignal ved hjelp av INMARSAT.

Kl. 22:44: Skipet berører bunnen (har driftet i sørvestlig retning fra kl. 22:14).

Kl. 22:48: Forlat skip-signal startet, inntil nå har skipet hatt en list på om lag 15 grader.

Kl. 23:37: 440 personer rapportert fortsatt om bord.

Kl. 00:34: Skipet kantrer, har negativ stabilitet (grunnstøtkraft). Kapteinen forlater skipet (skipet har nå 60–70 graders list til styrbord).

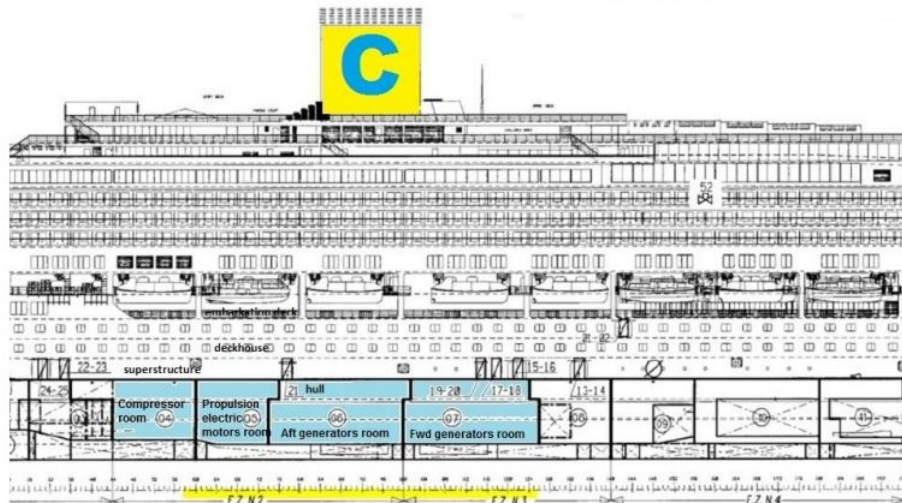
Skaden etter bunnberøringen hadde en lengde på 53 meter, men det sies ikke noe om den vanntette integriteten i hele denne lengden var berørt. Det var vanlig praksis om bord å holde enkelte vanntette dører (5 stk.) åpne under navigering, flaggstaten (Italia) tillot dette. I hendelsesøyeblikket var det to vanntette dører som sto åpne, i ettetid har det blitt rapportert om én til. Kapteinen ga ordre om stenging av de to kjente vanntette dørene rett etter grunnstøtingen, og senere ble det gitt ordre om at alle vanntette dører skulle lukkes. Under evakueringen av maskinrommet ble det åpnet og lukket vanntette dører flere ganger for korte øyeblikk. Avdeling nr. 5 ble raskt fylt med en rask fylling av de nærliggende avdelinger, som nr. 6, og med progressiv fylling av nr. 4, 7 og 8 også. Fyllingen av disse fem avdelingene medførte at skipet sank dypere slik at skottdekket også ble fylt. Det medførte at avdeling nr. 3 ble fylt via en trappeoppgang. Skipet ble bygget etter SOLAS 1990-reglene, som tilsa at skipet skulle tåle fylling i to avdelinger. Skipet var fortapt, spesielt når nødgeneratorene sviktet slik at det ikke var mulig å lense skipet med lenserpumpene. Skaden på skroget var for omfattende til at skipet kunne berge seg, og det spilte ikke noen rolle i den sammenheng om de aktuelle vanntette dørene var åpne eller lukket. Men det hadde en betydning at hendelsen med nedsenkingen av skipet gikk hurtigere, og at det ble mindre tid til evakuering. Evakueringen ble ikke igangsatt før en time etter grunnberøringen, og skipets kaptein og besetning ble sterkt kritisert for denne handlingen. Kl. 06:14 var alle evakuert ifra skipet ved hjelp av Livorno kystvakt (8 timer og 29 minutter etter at grunnberøringen fant sted).

Skipets kaptein ble dømt til 16 år og 1 måned fengsel, det fremholder også at det ikke var grunnberøringen med de undersjøiske skjærene som var den direkte årsaken til at 32 personer mistet livet. I stedet knytter de dødsfallene til kaoset som brøt ut fordi skipet mistet motorkraften, og det mener de at kapteinen ikke kan klandres for. Kapteinen ble anklaget for å ha forlatt skipet før alle passasjerene var evakuert.



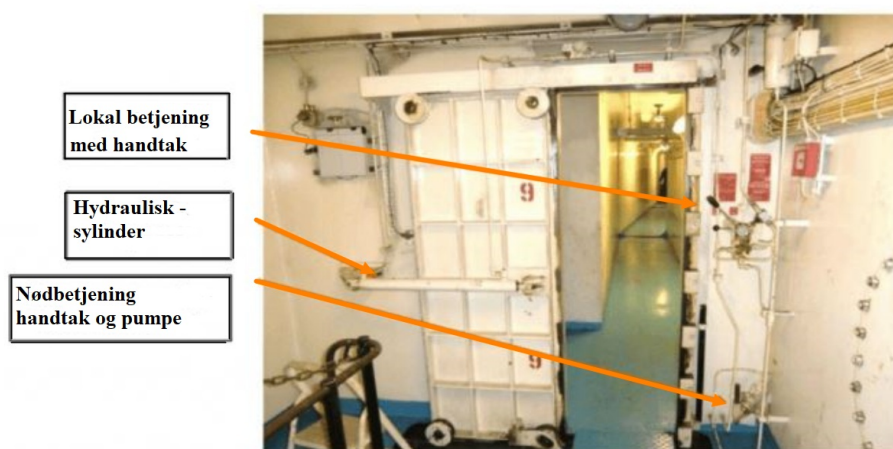
... DEN SISTE SOM FORLATER ET SYNKENDE SKIP

Bruddet på den gamle regelen om at kapteinen skal være den siste som forlater et synkende skip, er imidlertid kun bakgrunnen for ett år av fengselsdommen.



Figur 0164 Snitt av de vanntette avdelinger som fikk fylling (styrbord side).

Operasjon og kontroll av vanntette dører:



Figur 0165 viser en vanntett dør med diverse komponenter.

Kraftdrevne vanntette skyvedører kan være hydraulisk eller elektrisk betjent. Hydraulisk betjente dører må enten ha to uavhengige kraftkilder (hver består av en motor og en pumpe) som kan lukke alle dører, eller hver dør kan ha et uavhengig hydraulisk system. I begge tilfeller må det også være hydrauliske akkumulatore som er i stand til å gi lageret kraft til å betjene dørene minst tre ganger: lukket, åpent, mot en list (krenkning) på 15 grader. Elektrisk betjente dører må ha et uavhengig elektrisk system og motor for hver dør med strømkilden som automatisk kan leveres av overgangskilden til nødstrøm. I tilfelle svikt i hoved- eller nødkilden må dører være i stand til å betjenes minst tre ganger, som for hydraulisk betjente dører. Det er lavnivåalarmer for de hydrauliske væskebeholdere og en lav gasstrykalarm for lagrede energiakkumulatore. For elektriske systemer er det overvåkings- og alarmsystemer for strømforsyningen. Vanntette dører under skottdekket kan stenges fra broen og kan åpnes og lukkes fra lokalbetjeningsstasjon. Den sentrale betjeningskonsollen for vanntette dører, både i lasteskip og passasjerskip, ligger på broen. Denne konsollen er utstyrt med et diagram som viser plasseringen av hver dør, med visuelle indikatorer som viser om hver dør er åpen eller lukket.



RØDT LYS

Et rødt lys indikerer at døren er helt åpen, og et grønt lys at den er helt lukket. Når døren er lukket eksternt, skal det røde lyset indikere mellomposisjonen ved å blinke.

Forskrifter krever også beskyttelse mot svikt: For skipets sikkerhet skal én enkelt elektrisk feil i kraftdriften eller kontrollsystemet til en kraftdrevet skyvevanntettdør ikke resultere i en lukket døråpning. Elektriske motorer, kretsløp, indikatorer og advarselssignaler er beskyttet mot inntrenging av vann, og tap av strømforsyning vil aktivere en lyd og en visuell alarm ved det sentrale betjeningspanelet. Et veldig viktig apparat på det sentrale betjeningspanelet er «hovedmodusbryteren», som har to moduser: «lokal kontroll» og «lukkede dører» (også kjent som bridge/fjernkontroll). «Lokal kontroll»-modusen gjør at enhver dør kan åpnes og lukkes lokalt etter bruk, av personen som går gjennom døren. Hvis bryteren plasseres i «dørene lukket»-modusen på broen, vil imidlertid noen av dørene som er åpne eller åpnes automatisk, bli lukket ved denne handlingen fra broen. SOLAS-regelverket krever at kraftdrevne vanntette dører skal kunne lukkes samtidig fra navigasjonsbroen på ikke mer enn 60 sekunder med skipet i oppreist stilling. Hver gang en dør lukkes eksternt med strøm, må det være en hørbar, tydelig alarm ved døren, og den må høres i minst 5, men ikke mer enn 10 sekunder før døren begynner å bevege seg og til døren er helt lukket. Som nevnt ovenfor, kan ikke dører eksternt åpnes fra broen, men «dører lukket»-modusen vil fortsatt tillate at en dør åpnes lokalt, for sikkerheten til en rømming. Døren vil imidlertid automatisk begynne å stenge når den lokale kontrollsaken frigjøres.

Fra tidligere dager har det vært en forståelse blant dekksoffiserer om at broen skulle ha generell kontroll over de vanntette dørene, og for å sikre at de alltid var stengt, holdt de hovedmodusbryteren i «dører lukket», dvs. i brokontroll. Det er ikke slik. SOLAS-regelverket sier: «Master-modus»-bryteren skal normalt være i «lokal kontroll»-modus. «Dører lukket»-modusen skal bare brukes i en nødsituasjon eller for testformål. Spesielt hensyn skal tas til påliteligheten til «hovedmodus»-bryteren. Når det gjelder lokal kontroll, skal hver vanntette dør kunne åpnes og lukkes med strømkraft fra begge sider av døren. Med skipet i oppreist stilling må lukketiden for dørene ikke være under 20 sekunder eller mer enn 40. Kontrollhåndtak skal være i en minimumshøyde på 1,6 meter over gulvet og skal være anordnet slik at personer som går gjennom døren, kan holde begge håndtakene i åpen stilling uten å sette stengemekanismen i drift ved et uhell.

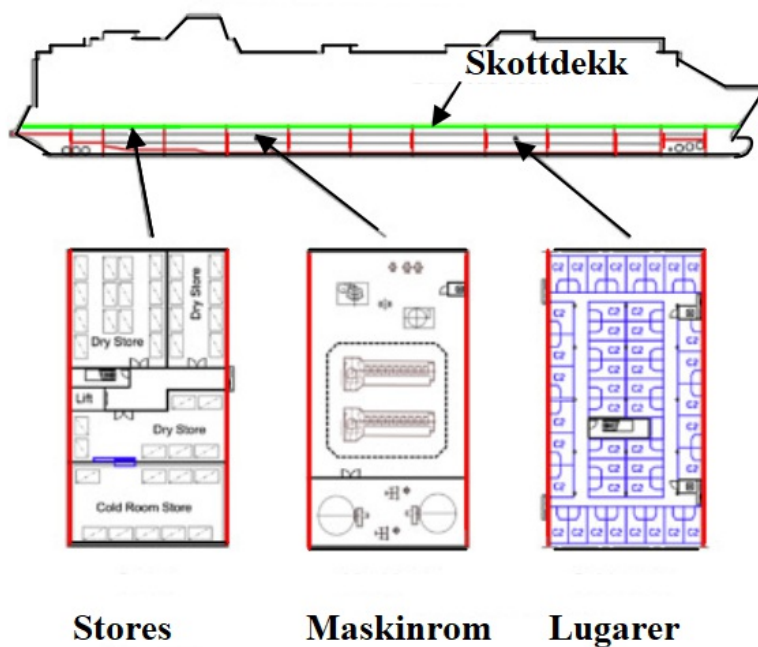
Når en person skal gå igjennom døren ved bruk av «lokal kontroll», så må håndtaket aktiveres og døren åpnes helt opp, personen må ta tak i håndtaket på den andre siden av døren, holde denne i åpen stilling, før personen slipper det håndtaket som ble åpnet først. Etter at personen har passert gjennom den vanntette døråpningen, så skal den lukkes. Bevegelsesretningen til håndtakene for å åpne og lukke dørene skal være i retning av dørens bevegelse og skal være tydelig angitt. Hver dør skal også være utstyrt med en individuell håndbetjent mekanisme, slik at døren i nødstilfeller kan åpnes og lukkes manuelt ved selve døren, fra begge sider. I tillegg skal det være mulig å lukke vanntette dører i skott på passasjerskip med en håndbetjent mekanisme fra en tilgjengelig posisjon over skottdekket.

Denne plasseringen bør også ha tydelig indikasjon på at dørene er åpne eller lukkede. Tiden som er nødvendig for fullstendig lukking av døren med håndutstyr, må ikke overstige 90 sekunder med skipet i oppreist stilling.

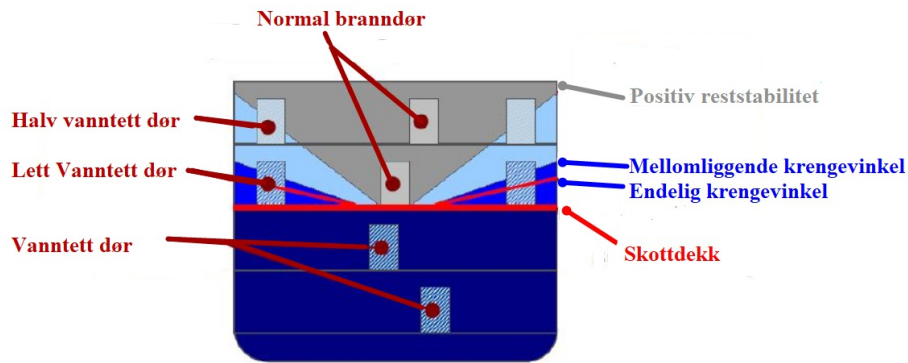
Klasseselskapene kontrollerer alle vanntette dører før levering av skipene ved bygging. De kontrollerer alle vanntette dører ved årlig kontroll og ved klassingene (hvert 5. år). De vanntette dørene inngår i vedlikeholdssystemet til skipet (PMS). Mannskap skal ha opplæring i bruk av vanntette dører, og det skal være ukentlig øvelser.

ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)

Den største årsaken til et problem kalles grunnårsaken. Undersøkelser av vanntette dører etter hendelser med personskader har avslørt at det har vært vanlig praksis om bord i skipet å ikke åpne dem helt før man har passert gjennom dørene. Dørens sikkerhetssystemer har også vist seg å ikke å være i fullt fungerende stand under inspeksjoner, og at noen dører ikke har blitt vedlikeholdt eller testet ordentlig. De fleste ulykker med mennesker skjer når dørene er i brokontroll: «dører lukket»-modus.



Figur 0166 viser skottgjennomgang med rør i en vanntett avdeling, profil og planskisse for et passasjerskip. Et passasjerskip er en komplisert affære i planleggingsfasen: Her skal konstruksjon, regelverket og den daglige drift passe inn med hverandre for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet.



Figur 0167

Figur 0167 viser et passasjerskip eller et Ro-pax-skip med fylling over og under skottdekket. En halv (semi) vanntett dør er en hengslet stålbranndør type A-60. Den skal i tillegg tåle en vannstand på 3,5 meter og er ment å gi positivt rettende moment (GZ). En lett vanntett dør er hengslet stål/aluminium med terser for lukking (en stor ters midt på) er som en normal vanntett dør med begrensninger på dypgående. En normal branndør tåler en vannstand på 2,5 meter og skal da bare slippe igjennom liten lekkasje. En forskjell er at disse dørene kan være åpne når skipet er underveis, og at disse ikke kan gi klemskade slik som kraftdrevne vanntette skyvedører gjør. Ved den mellomliggende krengevinkel beregnes Intermediate, og ved den endelige krengevinkel beregnes Sfinal (Si-faktor).



Watertight doors awareness (film laget av Assuranceforeningen Gard 16 min)
<https://www.gard.no/web/content/watertight-doors-awarenesshttps://vimeo.com/202755006>

SOLAS 2020

1. januar 2020 trådte en rekke tillegg til SOLAS-skadestabilitetsforskriften i kraft. Filosofien bak det probabilistiske konseptet er at to forskjellige skip med samme oppnådde A-indeks har samme sikkerhet, og at det derfor ikke er behov for spesiell behandling av spesifikke deler av skipet, selv om de er i stand til å overleve forskjellige skader. Målet for SOLAS 2009 var å oppnå samme sikkerhetsnivå som SOLAS 90. M/S Costa Concordia var bygget etter SOLAS 90-reglene og var i stand til å tåle fylling i to avdelinger, men fikk fylling i fem avdelinger. Til tross for dette så holdt skipet seg flytende i mange timer etter ulykkeshendelsen.

Flere forskningsprosjekter ble utført for å finne ut om skadestabilitetsforskriften var tilstrekkelig. Resultatet var at det basert på SOLAS 2009 ville være mulig å designe et skip som ikke overlever visse skadetilfeller og kan kante og synke selv i rolig vann. Ulike forskningsprosjekter antydte ulike beregningsmetoder for R-indeksen for å heve skipets sikkerhetsnivå.

R-indeks i SOLAS 2020

Persons on board	R
$N < 400$	$R = 0.722$
$400 \leq N \leq 1,350$	$R = N / 7,580 + 0.66923$
$1,350 < N \leq 6,000$	$R = 0.0369 \times \ln(N + 89.048) + 0.579$
$N > 6,000$	$R = 1 - (852.5 + 0.03875 \times N) / (N + 5,000)$

Figur 0168 R-indeks i SOLAS 2020 for passasjerskip.

Passasjerskip der det er mellom 1350 og 6000 personer om bord, er beregningsmetoden for R-indeksen som var godkjent i MSC-98 (2017). Beregningen for tilfellene hvor antall personer om bord er mindre enn 400 personer, er R-index en konstant, og deretter stiger opptil 1350 personer om bord følger R-indeksen som en lineær funksjon. Forskjell ifra SOLAS 2009 er: R-indeks er ikke avhengig av lengde, antall personer om bord er ikke lenger delt inn i $N = N1 + 2N2$. Der $N1$ = antall personer som det er plass til i livbåter. $N2$ = antall personer mer enn $N1$, inkludert offiserer og mannskap. Nå er det bare N (et nummer med antall passasjerer).

De største endringene i R-indeksen fra SOLAS 2009 til SOLAS 2020 skjer for passasjerskip med $N < 400$ og skip med $700 < N < 2000$.

Oppnådd A-indeks: En annen behandling av A-indeksene når det blir beregnet for flere trim-nivåer. Den samlede oppnådde A-indeksen er basert på de minste A-verdiene beregnet for hvert dyppående.

Lasteskip med kryssfyllingsarrangement (utjevning): Krav til mellomliggende S (**Sint**). Her blir $Sint = 0$ hvis den mellomliggende krengevinkelen overstiger 30 grader. Samme formel som for passasjerskip benyttes.

RO-pax-skip: Økt utstrekning på GZ og på GZ max hvis skaden er i RO-RO-området. RO-pax er en ferge hvor RO-RO-fartøyets lastekapasitet kombineres med passasjerfergenes komfort. Passasjer- og lastekapasitet kan varieres etter behov. RO-pax-ferger er det som til vanlig kalles bilferger. RO-pax S final formel:

$$S_{final,i} = K \cdot \left[\frac{GZ_{max}}{TGZ_{max}} \cdot \frac{Range}{TRange} \right]^{\frac{1}{4}}$$

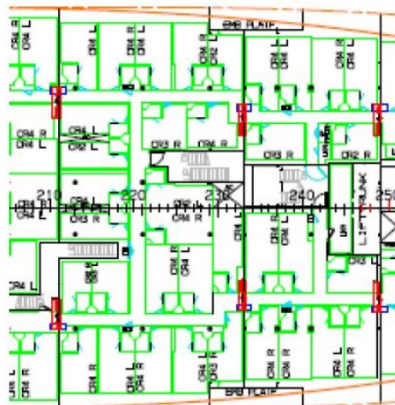
GZ max må ikke bli satt større enn TGZ max; utstrekning må ikke bli satt større enn Trange, TGZ max = 0,20 m, for RO-RO-passasjerskip for hver eneste skade i RO-RO-område. Trange (utstrekning) = 20 grader for RO-RO-passasjerskip for hver eneste skade i RO-RO-område. TGZ max = 0,12 m ellers, TRange (utstrekning) = 16 grader ellers.

Vanntette dører: Kategori «B»: En vanntett dør som kan åpnes i løpet av navigering i en periode når du arbeider i nærheten av en dør krever at den åpnes. Døren må være øyeblikkelig stengt når arbeidet er ferdig. Kategori «C»: En vanntett dør som skal lukkes under seilas, men kan åpnes for å tillate bevegelse av passasjerer eller mannskap. Døren må lukkes umiddelbart når transitten er fullført. Kategori «D»: En vanntett dør med en bredde på mer enn 1,2 m i maskinrom som skal forbli lukket under seilasen unntatt i de tilfeller i nød der det haster med å få transportert noe igjennom døren. Kategori «A»: Er ikke tillatt etter SOLAS 2020-reglene. Faktorer som begrenser bruk av vanntette dører: Visse driftsforhold, eller kombinasjoner av flere faktorer, bør nødvendiggjøre at vanntette dører i kategori B og C holdes lukket under seilas for å bevare overlevelsessevnen. Spesielt bør området der skipet opererer, kontinuerlig evalueres for tilknyttede risikoer med potensielt farlige forhold. Det anbefales at vanntette dører i kategori B og C holdes lukket under seilas mens skipet er i drift: i farvann med høy trafikk tetthet, nær kystfarvann, i dårlig vær, under farlige isforhold, i farvann der ekkoloddskudd er upålitelig, i perioder med begrenset sikt, innenfor havneområder eller i områder der los er obligatorisk, når det er løse gjenstander i nærheten av en vanntett dør som potensielt kan hindre en vanntett dør i å bli lukket, og under alle forhold der kapteinen vurderer at de vanntette dørene skal holdes lukket. Disse reglene trådte i kraft 1. januar 2020 og vil nok kreve en stor holdningsendring for mannskapet på passasjerfartøyer.

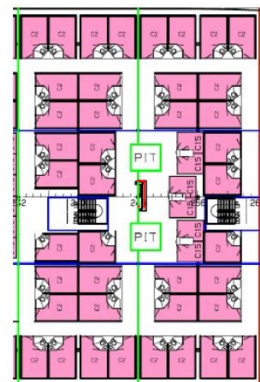
Assurandørselskapene forventer en stor økning av klemskader på grunn av regelverket i SOLAS 2020. For passasjerskip med antall passasjerer under 400 vil det ikke være mulig at passasjerer oppholder seg under skottdekket (pga. restriksjoner til vanntette dører).

SOLAS 2020: Gjelder for byggekontrakter som er på plass på eller etter 1. januar 2020, i mangel av en byggekontrakt, hvis kjøp er lagt eller som er i et lignende byggetrinn 1. juli 2020 eller senere, eller leveringen er 1. januar 2024 eller senere. Det er flere endringer i SOLAS 2020 som ikke er omtalt her.

Forandring i konstruksjon for passasjerskipene



Seks vanntette dører i en avdeling



En vanntett dør i to avdelinger

Figur 0169 Reduksjon av vanntette dører i lugaravdeling.

SOLAS 2020 vil innebære forandringer i konstruksjon for passasjerskip. Figur 0268 viser et typisk tidligere arrangement for lugarer i en avdeling (til venstre), som kunne innebære seks vanntette dører i en avdeling, men skissen til høyre viser et kompakt arrangement for lugarer der det kun benyttes én vanntett dør for to avdelinger.



Figur 0170 Laundry og linen store i et passasjerskip.

Laundry (vaskeri) og linen store (tørkeri/strykeri) har alltid vært plassert langt ned i skipet, med plassering i hver sin avdeling og med en vanntett dør imellom. Det kan bli en del transport av vask i løpet av en dag, og etter 2020 så kan laundry og linen store bli i samme avdeling, men på to dekk.

SOLAS 2020 vil øke sikkerhetsnivået betydelig, noe som vil forandre på designet på skip. Det vil også øke forskjellene mellom «eksisterende skip» og skip bygget etter SOLAS 2020-reglene, noe som kan gi eldre skip en økonomisk fordel. Forskjellen mellom RO-pax- og passasjerskip vil fortsatt bli studert videre på, og nødvendighet av et ekte sikkerhetsnivå for passasjerskipene i form av målbare størrelser vil også bli viktig.

Skadekontrolløvelser (damage control drills)

SOLAS kapittel II-1 (skadestabilitet) og kapittel III (redningsredskaper): Krav om skadekontrolløvelser for passasjerskip trer i kraft 1. januar 2020, gjelder for alle passasjerskip (dvs. passasjerskip konstruert før, på eller etter 1. januar 2020).



Følgende krav gjelder: En skadekontrolløvelse skal finne sted minst hver tredje måned (av besetningsmedlemmer med skadekontrollansvar). Skadestabilitetsdatamaskinen om bord, hvis montert, skal brukes til å foreta stabilitetsvurderinger for de simulerte skadeforholdene. Etablering av kommunikasjonsforbindelsen mellom skipet og landbasert støtte, hvis dette er gitt. Minst én skadekontrolløvelse hvert år skal omfatte aktivering av landbasert støtte, for å utføre stabilitetsvurderinger for de simulerte skadeforholdene. Hver skadekontrolløvelse skal registreres behørig i loggboka. Endringen medfører at besetningsskadekontrolloppgaver blir lagt til i mønstringslisten.

Oppgaver til SOLAS kapittel 1

Oppgave 1.

- Hva menes med Subdivision length (L_s)?
- Hva menes med Deepest subdivision draught (d_s)?
- Hva menes med Light service draught (d_l)?
- Hva menes med Partial subdivision draught (d_p)?
- Hva menes med Permeability (μ)?
- Hva er den Norske betegnelsen på Bulkhead deck?

Oppgave 2.

- Hva menes med indeks «R»?
- Hva menes med indeks «A»?
- Hva sier kravene om størrelsesforholdet de to imellom?

Oppgave 3.

- Gi en kort forklaring om denne formelen: $A = \sum p_i s_i$

Oppgave 4.

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l$$

- Hva menes med A_s, A_p og A_l ovenfor?

Oppgave 5.

- Hva menes med θ_e og θ_v?

Oppgave 6.

- Hvilke permeability skal benyttes til de tre forskjellige dypganger for Dry cargoes spaces, Ro RO spaces, cargo Liquids?

Oppgave 7.

- Hva sier kapittel II-1 om WTD (vanntette dører) og øvelser? På passasjerfartøy.

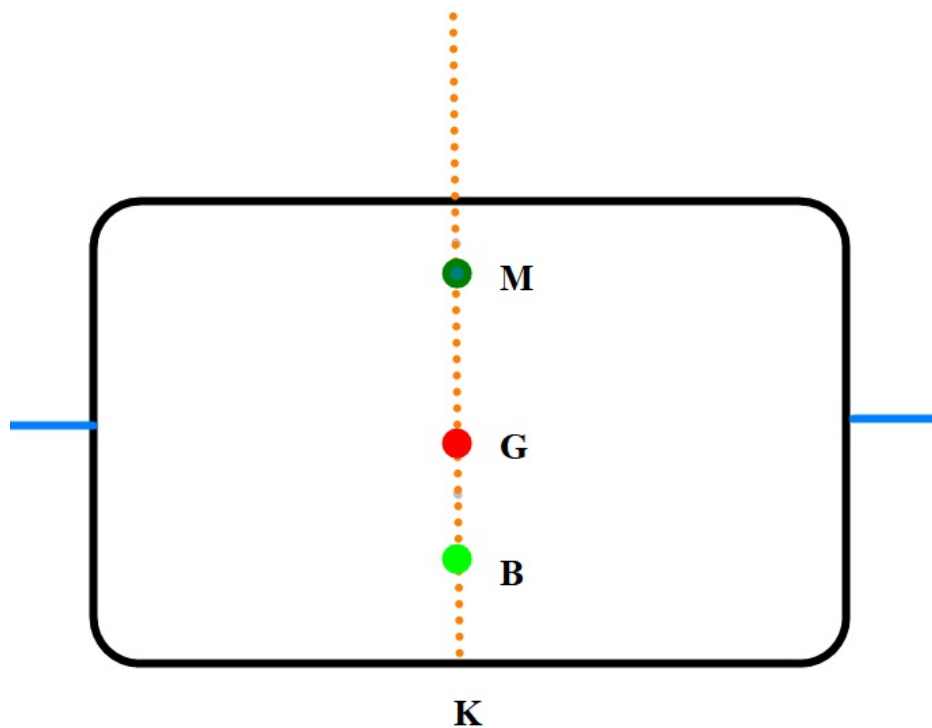
Oppgave 8.

- Hva sier kapittel II-1 om Water level detektors singel hold cargo ships other than bulk carriers?

Kapittel 2: En nærmere titt på stabilitet

STABILITET

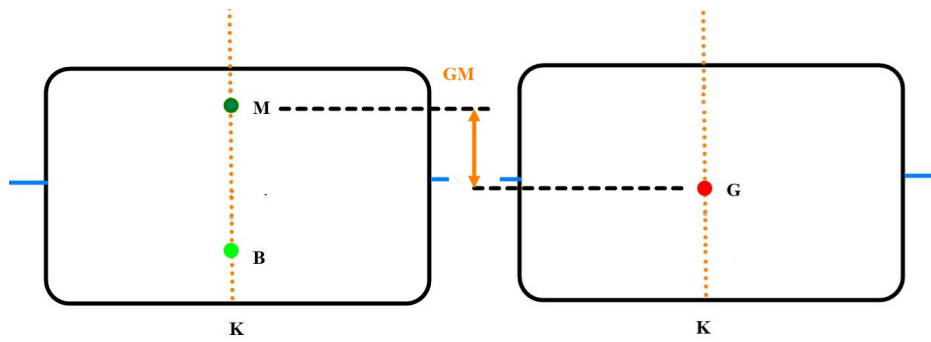
Stabilitet, ordet stammer fra det Greske språk, betyr at et skip har evne til å rette seg opp etter å ha blitt utsatt for krenkning.



Figur 0201 Grunnleggende stabilitet (Initial stabilitet)

En nærmere titt på grunnleggende stabilitet (initial stabilitet)

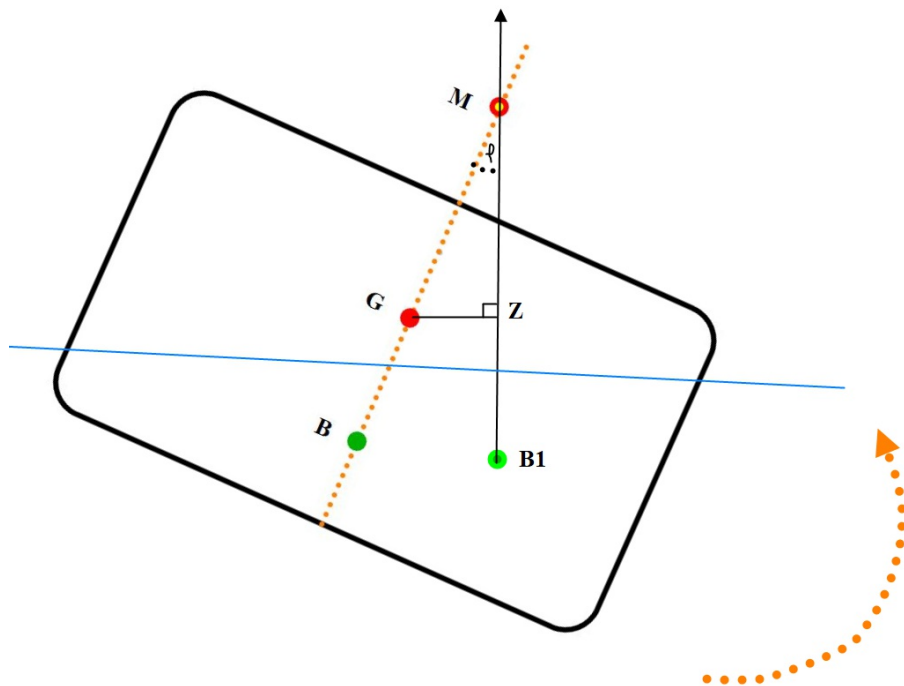
Med K (Kjøplate) som referansepunkt, B (oppdriftspunkt), G (tyngdepunkt) og M (metasentre). Metasentret er et teoretisk tenkt punkt og er mye benyttet til stabilitets beregninger. Oppdriftkraften fra B går i gjennom M ved krenninger mindre enn 10 - 12°. Grunnleggende stabilitet (initial stabilitet) regnes opp til 10-12° krenkning.



Figur 0202 Formstabilitet (venstre) og Vektstabilitet (høyre).

Den grunnleggende stabilitet deles inn i 2 forskjellige former, den ene er formstabilitet og den andre er vektstabilitet. Formstabiliteten består av B (oppdriftspunkt) og M (metasentre). Et viktig bidrag til formstabiliteten er skipets bredde. Vektstabiliteten består kun av tyngdepunktet og den vertikale plassering er viktig for skipets stabilitet. K (kjølplate) er et referansepunkt for begge stabilitetsformene. Formstabiliteten er bestemt av skipets konstruksjon, vektstabiliteten er delvis bestemt av byggherren sin plassering av komponenter om bord (Lett skip KG) men lasteoffiseren kan påvirke i stor grad med plassering av last, vekter om bord. Et skip kan ha god formstabilitet men dårlig vektstabilitet eller dårlig formstabilitet men god vektstabilitet. Den enkleste metoden for å ha kontroll med begge stabilitetsformene er med positiv GM (avstand fra skipets G til skipets M). Avstanden er forskjellige for forskjellige fartøytyper, for et vanlig handelsfartøy er kravet til $GM = 0,15$ meter eller større. Et fiskefartøy har krav til $GM = 0,35$ meter eller større. Sistnevnte har strengere krav fordi tyngdepunktet (G) er i forandring under fiske: bruk av kran, last og bruk på dekk, samt i lasterom, sjøvann på dekk, de fleste fiskefartøy vil bli påvirket av ising også. Det vil ikke la seg gjøre å gjøre å ha krav til KG (avstand fra K til G) fordi den vil være forskjellig fra skip til skip, den vil også variere etter hvor mye deplasementet er, Krav til KM (avstand fra K til M) alene vil heller ikke gi noen mening.

GZ betydning for stabilitet (rettende arm og Rettende moment)



Figur 0203 Rettende arm og Rettende moment

Ved krenning så vil B (oppdriftspunkt) innta en ny posisjon ved B1, som er oppdriftspunktet sitt nye tyngdepunkt i volumdeplasementet fordi formen er endret. Ved krenning under 12° så vil oppdriftskraften gå i gjennom M (metasentre) fordi metasentre står i samme punkt.. Definisjon av metasentre er der hvor oppdriftskraften skjærer senterlinjen ved krenning under 12° . Det virker en tyngdekraft i gjennom G (tyngdepunkt) i motsatt retning enn oppdriftskraften (ikke tegnet inn). Så lenge last og andre gjenstander om bord er lastesikret så vil ikke G forandre posisjon. Avstand i mellom de loddrette kraftlinjene vil være den samme uansett hvor man måler på disse, men det er i fra G man tegner den. Punktet hvor den treffer oppdriftkraftlinjen kalles for Z. (kanskje Z har noe med zenit å gjøre?). Avstand GZ er den rettende arm og det rettende moment er GZ arm multiplisert med oppdriftkraften. Et moment er vekt x kraft, når kraften virker 90° på armen, men her er g ($9,81 \text{ m/s}^2$) forkortet bort slik at det rettende moment = Vekt x arm. Det rettende moment er: Δ (Tonnes) x GZ arm (meter) = Tonnmeter. Det rettende momentet vil rette opp skipet (stiplet pil) slik som definisjon på stabilitet medgir. Ved krenninger under 12° så vil M (metasentre) stå i samme punkt. Det medfører at hvis man kjenner til GM og krenningsvinkel (φ) så kan GZ arm beregnes. $\sin \varphi = GZ / GM \rightarrow GZ = GM \times \sin \varphi$. Større GM gir større GZ og større GZ gir bedre rettende moment.

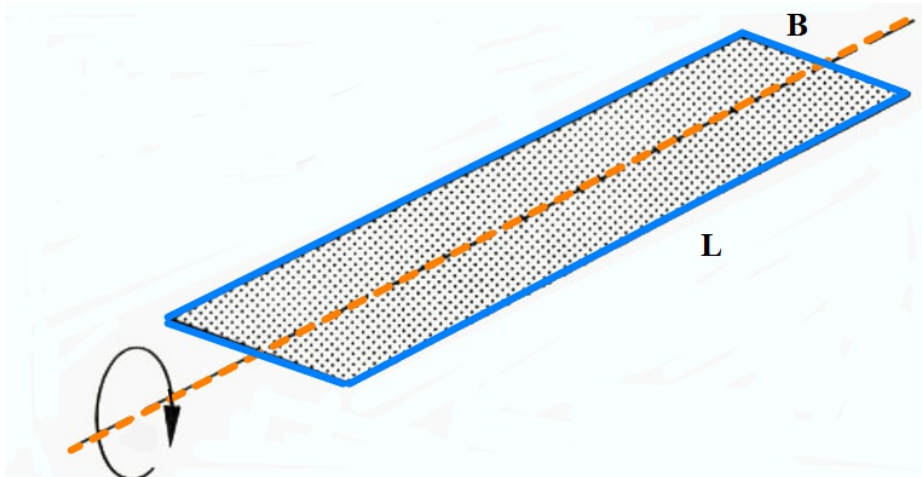
Oppdriftkraft = Tyngdekraft (like stor men motsatt retning).

$\nabla \times \rho \times g = \Delta \times g$ (forkortet bort g), ∇ = Volum deplasement (m^3), ρ = Tetthet (Tonn/m^3), g = Tyngdeakselerasjonen ($9,81 \text{ m/s}^2$), Δ = Vektdeplasement (Tonnes)

$$\nabla \times \rho = \Delta$$

Formstabilitet: BM og vannlinjeplanet sitt treghetsmoment

Avstand BM (se figur 0201) beregnes etter formel: I/∇ , I = vannlinjeplanet treghetsmoment (m^4) (tvrrskips), ∇ = Volumdeplasement (m^3). For et vannlinjeplan med rektangulært form (se figur 0204) så beregnes $I = L \times B^3 / 12$, L = lengde (m). B = bredde (m). Treghetsmomentet oppgis i m^4 og det forteller hvor vanskelig det er å krenge et skip, eller rettere sagt hvor vanskelig det er å rotere planet om senterlinjen. Ut av formel for I ser man at Bredden på vannlinjeplanet har stor betydning for I sin størrelse. For et skip med ordinær skrogform så beregnes I slik = $(L \times B^3 / 12) \times k$, hvor k er en koeffisient som er mindre enn 1.

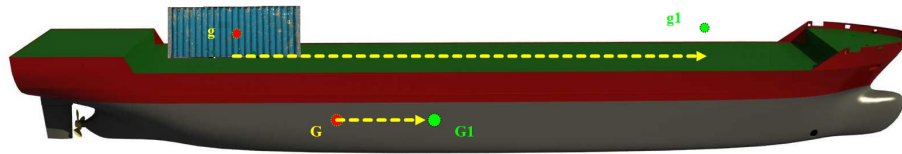


Figur 0204 Vannlinjeplan Treghetsmoment

Formstabilitet: KM.

For et skip med rektangulært form (pram) så beregnes KM slik = $KB + BM$, $KB = T/2$ (dypgående/2).

Enkel utledning av formel for tyngdepunkts forandring ved intern forflytning.



Figur 0205.

På et skip så blir det flyttet en container frem på dekk, g = opprinnelig plassering av tyngdepunkt til container og g_1 er tyngdepunkt plassering etter forflytningen, begge tyngdepunktene blir flyttet i en avstand men ulike avstander (arm). G er skipets tyngdepunkt plassering før forflytningen og G_1 etter forflytningen. Når man flytter containeren fremover dekk så vil det innvirke på skipets sitt tyngdepunkt. Det blir 2 momenter som er like stor, Moment 1 = Moment 2. Moment 1 = $\Delta \times GG_1$ og Moment 2 = Container vekt $\times gg_1$. Hvilke kjennskap har man til det som inngår i disse 2 momentene? Deplasementet skal til enhver tid være kjent for de ansvarlige om bord. vekten til containeren er oppgitt i manifestet, og avstanden som containeren blir flyttet finner man ut av ved hjelp av skipets plantegninger men GG_1 lar seg ikke gjøre å finne i tabeller eller andre opplysningskilder.

$$\text{Moment 1} = \text{Moment 2}$$

$$\text{Vekt} \times \text{arm} = \text{Vekt} \times \text{arm}$$

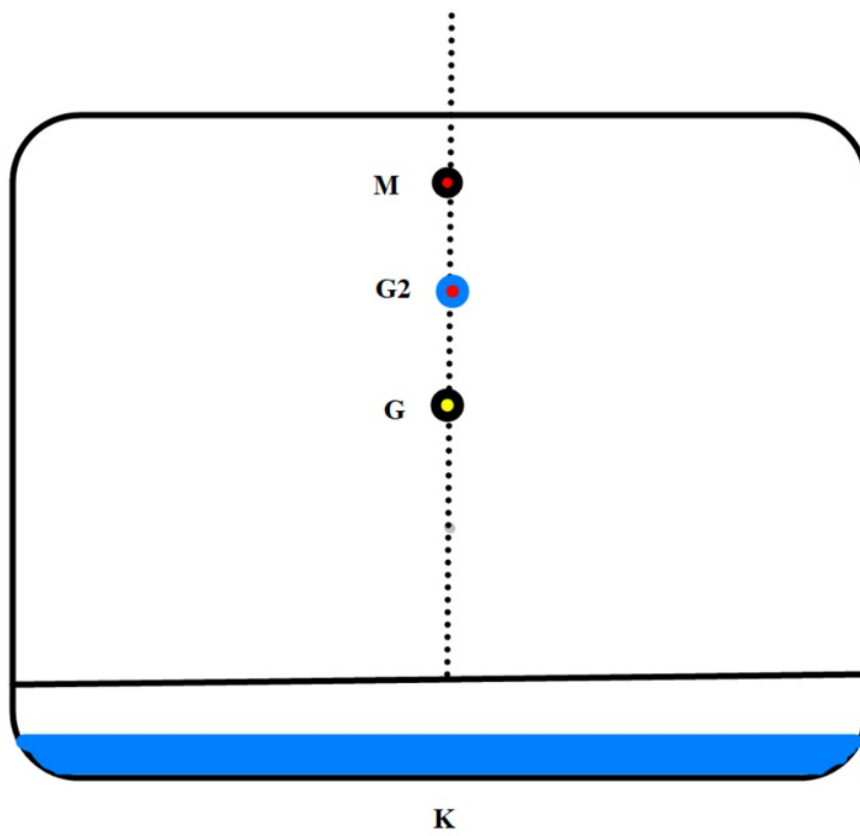
$\Delta \times GG_1 = \text{container vekt} \times gg_1$, GG_1 er ukjent, dividerer med Δ på begge sider av likhetstegnet, slik at det er kun GG_1 som står igjen på venstre side av likhetstegnet.

$GG_1 = \text{Container vekt} \times gg_1 / \Delta$, Container $\times gg_1$ blir Tønnmeter, dividerer med Tonnes og GG_1 blir i meter.

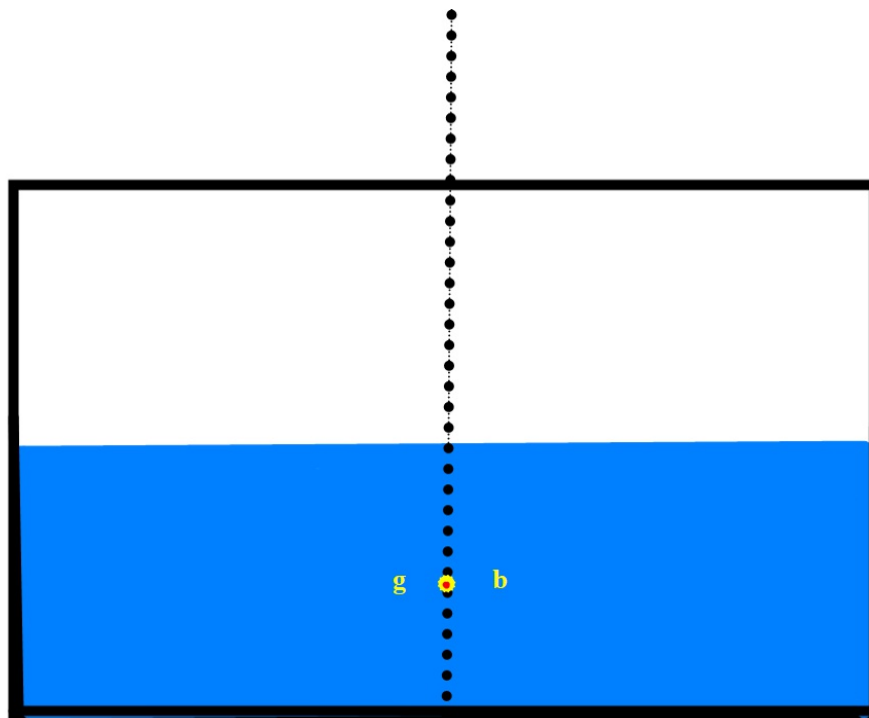
De fleste formler innenfor stabilitet blir utledet slik som det blir gjort ovenfor.

En nærmere titt på Slakke tanker (fri væskeoverflate effekt) og GG2

Når en tank fylt som er fylt med væske ikke er helt full eller tom så vil den ha innvirkning på skipets tverrskipsstabilitet. Tverrskipsstabiliteten vil bli dårligere med at skipets tyngdepunkt G forflyttes vertikalt tilsynelatende til G_2 , med tilsynelatende menes at skipet oppfører seg som om at skipets tyngdepunkt G er i posisjon til G_2 , det eksakte tyngdepunktet vil i realiteten ikke befinne seg i G eller i G_2 sine posisjoner slik som figur 0206 viser.

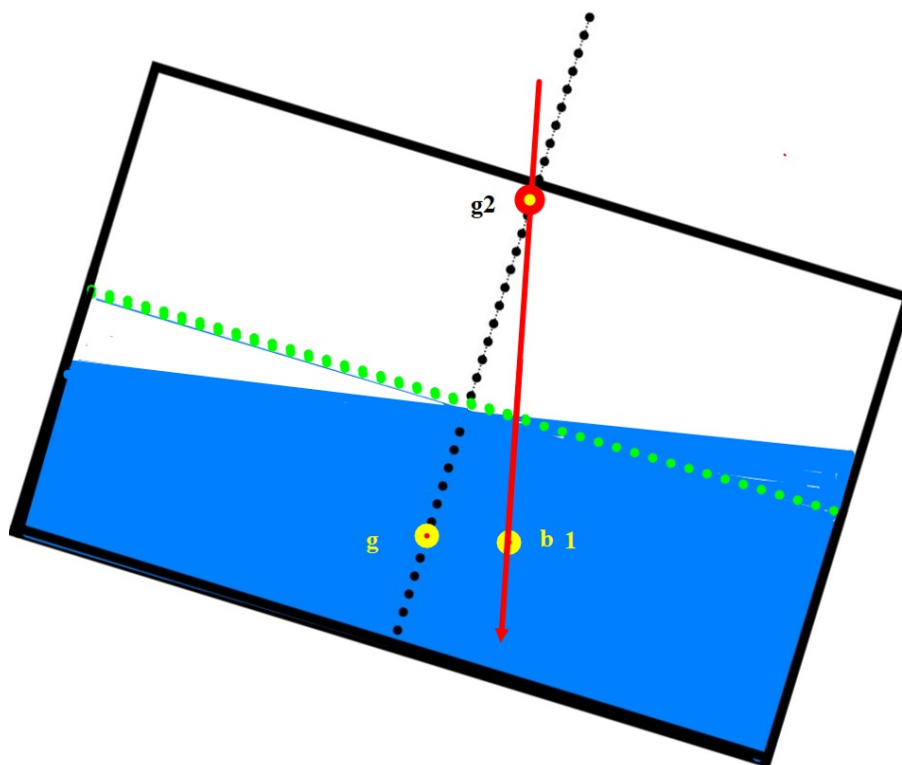


Figur 0206 Fri væskeoverflate effekt og GG2. Skipet sett akten ifra.



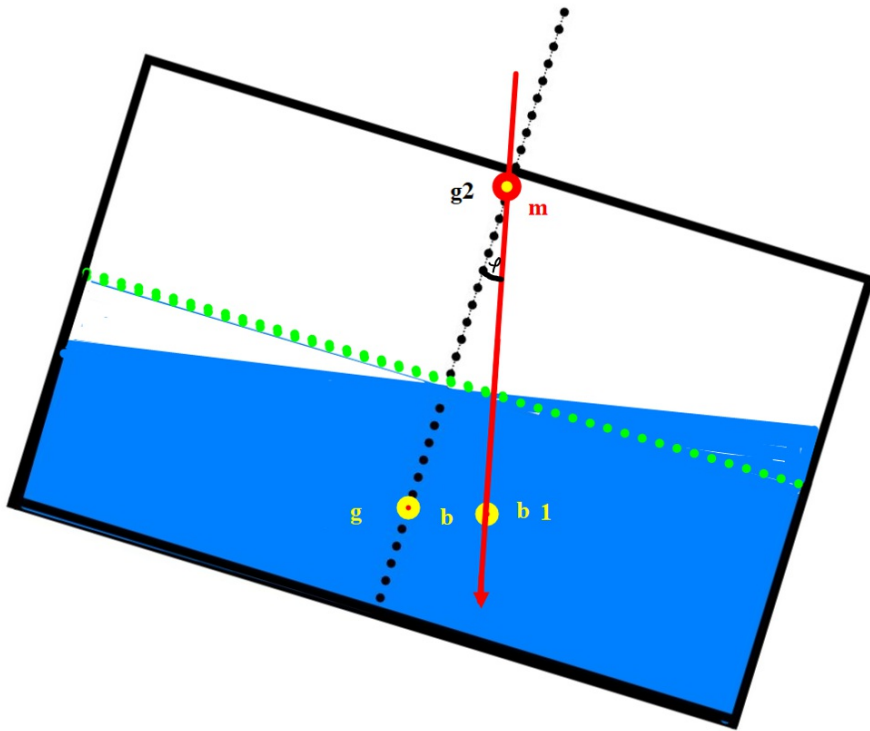
Figur 0207 En tank om bord i et skip som er halvfullt med væske.

En tank om bord i et skip som er halvfull av væske, sett akten ifra, tyngdepunkt (g) og oppdriftspunkt (b) blir i samme posisjon. Skal nå utlede en formel for fri væske overflate og GG2, der man benytter samme metode som ved utledning av GG1 og benytter formel for BM også (se lengre opp)



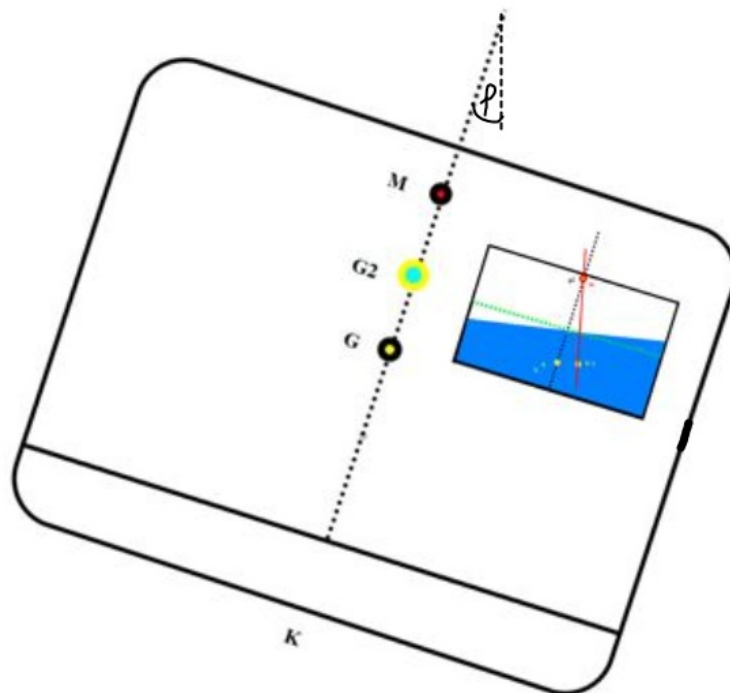
Figur 0208

Figur 0208 viser tanken med opprinnelig tyngdepunkt (g) og tilsynelatende tyngdepunkt (g2), lokalt for tanken. Den grønne stiplede linjen er der hvor væskelinjen er når tanken er uten krenkning. Oppdriftspunktet b skifter posisjon til b1 på grunn av volumet har endret form, har hevet seg og flyttet seg til siden. I figur 0403 så virket oppdriftskraften fra B1 oppover men her virker tyngden av væsken i tanken i gjennom b1 nedover. Der hvor kraftlinjen skjærer senterlinjen for tanken vil bli posisjonen for g2, g2 blir et virtuelt tyngdepunkt som medfører at tanken innvirker på skipets stabilitet blir som om tyngdepunktet er i dette punktet.



Figur 0209

Hva er kjent for de ansvarlige om bord i figur 0409? Aktuell volum og tyngdepunkt lar seg beregnes ut av skipets tabeller men for g_2 er det ikke mulig. Fra skissen ser man at avstand $gg_2 =$ avstand bm . Formel for BM ved oppdrift $= I/\nabla$. For tanken blir $bm = i/\text{volum væske}$, i (væskelinjeplanets treghetsmoment) beregnes etter den grønne stiplede linjen ($L \times B^3/12$), tanken har rektangulært form.



Figur 0210

Det er 2 momenter som inngår i skissen ovenfor, Moment 1 = $\Delta \times GG2$ og Moment 2 = Vekt (væske) $\times gg2$, GG2 lar seg ikke gjøre å finne i skipets tabeller men gg2 lar seg beregnes.

Moment 1 = Moment 2

$$\Delta \times GG2 = \text{vekt (væske)} \times gg2$$

$$\Delta \times GG2 = \text{volum} \times p \times gg2$$

$$\Delta \times GG2 = \text{volum} \times p \times gg2 \quad (gg2 = bm)$$

$$\Delta \times GG2 = \text{volum} \times p \times bm \quad (bm = i/\text{volum})$$

$$\Delta \times GG2 = \text{volum} \times p \times i/\text{volum} \quad (\text{volum blir forkortet med volum})$$

$$\Delta \times GG2 = i \times p$$

$$GG2 = i \times p/\Delta$$

i = treghetsmomentet til overflaten (væskeplanet) i tanken om tyngdepunktet $g2$ (m^4)

p = Væsken tetthet (tonn/m^3)

Δ = Vektdeplasement (Tonnes)

$i \times p$ = Fri væskeoverflate effekt (Tonnmeter)

Metasentret (m) til tanken ($g2$) oppfører seg akkurat som metasentret til et skip, ved krengetninger opp til 10 - 12° så vil det stå i ro (samme punkt) men ved større krengetninger så vil det flytte på seg. Denne metoden er dermed korrekt opp til 10 - 12°, eller rettere sagt så tar denne «litt i». Et skip vil normalt krenge mindre enn 10 - 12° på en sjøreise. Ved en krengetning på 30° så blir effekten av fri væske overflate noe helt annet. Metoden tar ikke for seg krengetmoment, en halvfull tank vil ha størst innvirkning på stabiliteten.

OPPGAVE GG2

M/S Linda har $\Delta = 18500$ Tonnes, DB TANK No. 3 P/S er halvfull med sjøvann (inkludert i Δ).

a) Hva blir GG2?

b) Hva blir gg2?

Løsningsforslag:

Tar ut i for DB TANK No. 3 P/S = $2936,03 \text{ m}^4$, $\rho = 1,025 \text{ tonn/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{a) } GG2 &= i \times \rho / \Delta = 2936,03 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 18500 \text{ Tonnes} \\ GG2 &= 0,162 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Bruker Moment 1} &= \text{Moment 2 som utgangspunkt} \\ \Delta \times GG2 &= \text{vekt (væske)} \times gg2, \text{ vekt (ballast)} = 672,4 \text{ Tonnes} / 2 = 336,2 \text{ Tonnes} \end{aligned}$$

$$\text{vekt} \times gg2 = \Delta \times GG2$$

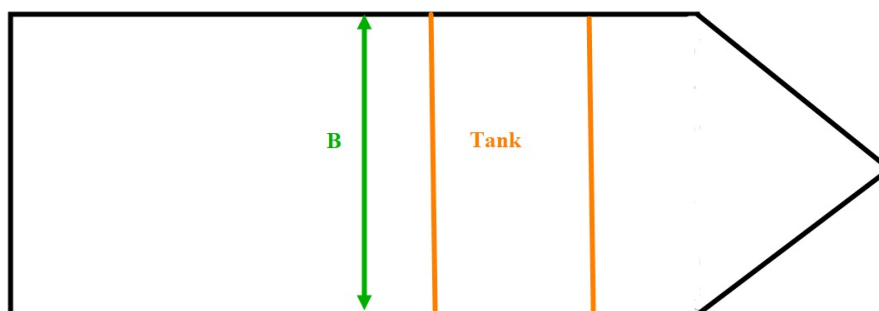
$$gg2 = \Delta \times GG2 / \text{vekt}$$

$$gg2 = 18500 \text{ Tonnes} \times 0,16 \text{ m} / 336,2 \text{ Tonnes}$$

$$gg2 = 8,80 \text{ meter}$$

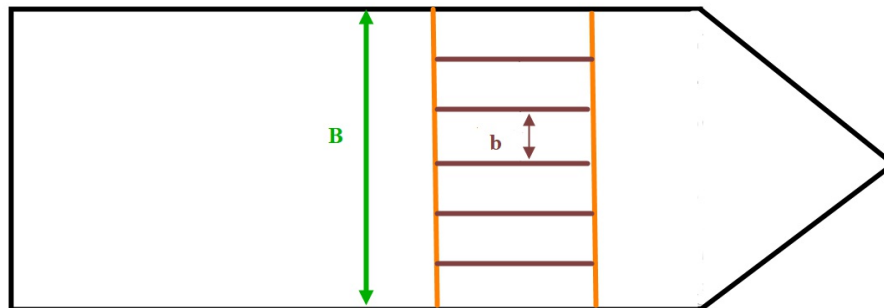
Reduksjon av fri væskeoverflate effekt med langsips skott i tanken

I for en tank = $l \times b^3/12$, (m^4), ser av figur at tanken er like bredt som skipet. Det vil medføre en veldig stor I som vil redusere tverrskipsstabiliteten med GG2.



Figur 0211

Setter inn 5 langskipsskott i tanken.
Det blir 6 tanker med samme lengde og bredde.



Figur 0212

Samme tank får montert inn 5 langskipsskott, slik at det blir 6 tanker med samme bredde. $b = B/6$, hvis $B = 12$ m så er $b = 2$ m.

I for hver av de 6 tankene blir like stor. Total I for de 6 tankene vil bli: $i \times 6$.

En generell utledning vil bli; Total treghetsmoment = $i \times n$, $n =$ antall tanker.

Treghetsmoment for 1 tank vil bli: $i = (I \times (B/n)^3) / 12$, $\rightarrow (I \times B^3) / 12 \times n^3$ (skiller teller og nevner men beholder samme potens både for teller og nevner)

Totale treghetsmomentet blir: $(I \times B^3) / 12 \times n^3 \times n$, forkorter med n

Totale treghetsmomentet blir: $(I \times B^3) / 12 \times n^2$

Tanken(ene) lengde er 6 meter.

Hva blir treghetsmomentet når det er 1 tank?

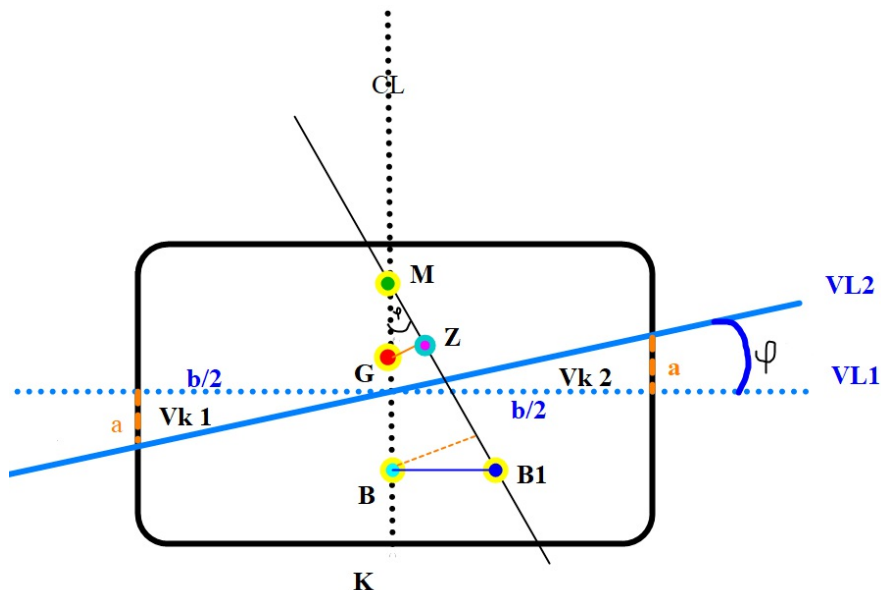
Treghetsmoment = $(I \times B^3) / 12 \rightarrow 6 \text{ m} \times 12 \text{ m}^3 / 12 = 864 \text{ m}^4$, $b = B$

Hva blir treghetsmomentet når det er 6 tanker?

Treghetsmoment = $(I \times B^3) / 12 \times n^2 \rightarrow 6 \text{ m} \times 12 \text{ m}^3 / 12 \times 6^2 = 24 \text{ m}^4$ (reduisert med 840 m^4 , som blir i prosent = 97 %), $n \times b = B$

Det har ikke vært nødvendig å ta med et skip i utledningen, tanken i seg selv hadde holdt lenge nok, men skipet ble tatt med for å forenkle utledningen.

En nærmere titt på BM (forenklet utledning)



Figur 0213 Forenklet skisse av et skip som krenger

Her blir skipet tegnet uten krengevinkel og oppdriftkraften tegnet med krenkning. VL1 er vannlinje 1 (uten krenkning) og VL2 er vannlinje med krenkning. Skipet krenger med vinkel φ , som medfører to volumkiler, Vk1 og Vk2. Skipets bredde er b og skipets lengde l (fremkommer ikke på skissen), vannlinjeplanet er rektangulært i sin form. Krenningen fra VL1 til VL2 medfører at B flytter seg til B1 (B1 skulle egentlig ha flyttet seg til hvor den oransje stiplede linjen ender på den svarte linjen, men det er også en del av forenklingen. Forskjellen vil ikke være så stor som skissen viser.)

Volumet til hver av kilene (areal trekant $\times l$) = $(1/2 \times b/2 \times b/2 \times \tan \varphi) \times l = (b^2 \times l)/8 \times l \times \tan \varphi$. Tyngdepunktet til trekanten vil ligge $1/3$ av $b/2$ fra skutesiden, og $1/3$ av avstand mellom vannlinjene (VL1 og VL2) som blir $a/3$. Volumet vil flytte seg fra tyngdepunktet i den ene volumkilen til tyngdepunktet i det andre, det blir en avstand på $2/3 b$. Volummomentet (MV) blir volum \times arm, arm blir $2/3 b$. $MV = \text{Volum} \times \text{arm} = \text{Volum} \times 2/3 b$. (Volum til volumkilen = $(b^2 \times l)/8 \times l$.)

$$\text{Volummoment1} = ((b^2 \times l)/8 \times l \times \tan \varphi) \times 2/3 b = (m^3 \cdot m)$$

Det vil også være et Volummoment 2 ved at B flyttes til B1, = $\nabla \times BB1$, Et enklere uttrykk for BB1 er gitt ved = $BM \times \tan \varphi$, fordi $\tan \varphi = BB1 / BM$.

$$\text{Volummoment 1} = \text{Volummoment 2}$$

$$b^3 \times l / 12 \times \tan \varphi = \nabla \times BB1$$

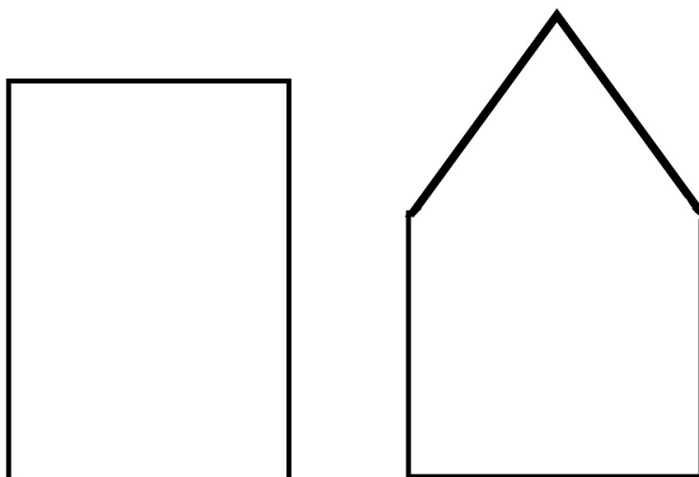
$$b^3 \times l / 12 \times \tan \varphi = \nabla \times BM \times \tan \varphi, \tan \varphi \text{ forkortes på begge sider}$$

$$b^3 \times l / 12 = \nabla \times BM$$

$$BM = (b^3 \times l / 12) / \nabla$$

$$BM = l \times b^3 / 12 / \nabla$$

Ved betraktning av $BM = I \times b^3 / 12 / \nabla$, så kan ∇ betraktes som konstant for denne tilstanden. Da ser man at det bredden som virkelig bidrar til BM sin størrelse, dermed kan man fastsette at bredden er viktig for skipets tverrskips stabilitet.



Vannlinjeplanet sett ovenfra

Skissen til venstre har rektangulært form men skissen til høyre har både rektangulært og trekant form.

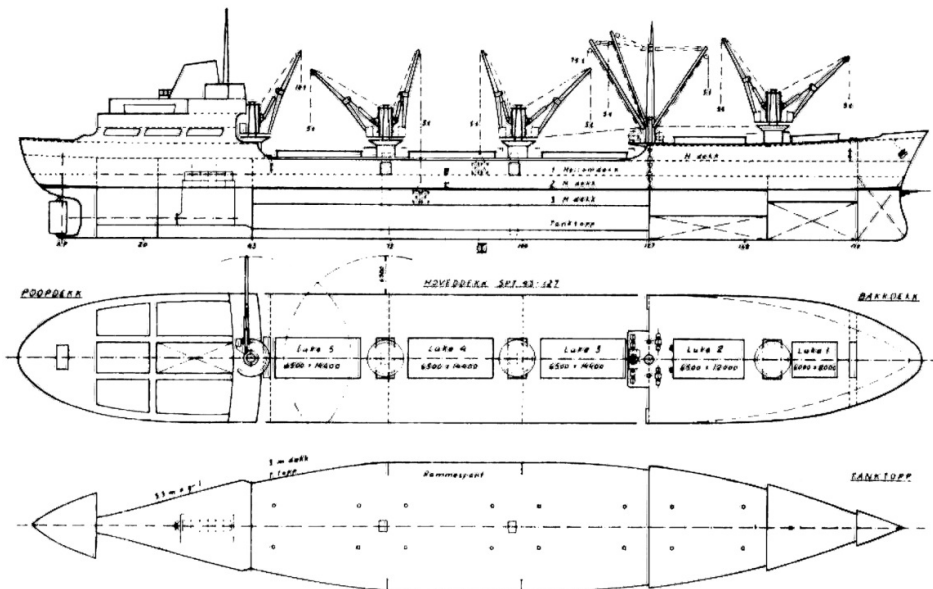
Figur 0214 Vannlinjeplan sett oven ifra

I utledningen til forenklet utledning av BM så er vannlinjeplanet til venstre benyttet og det gir ingen begrensinger ved utregning. Hvis vannlinjeplanet til høyre skulle ha vært benyttet så har det blitt avgrensinger på grunn av trekantform i tillegg til rektangulært form.

Formkoeffisienter, litt utvidet:

Prosjekt øket bredde: Stykkgodsskipet «Utgangspunkt Harmoni» vil bli benyttet som referanse når stykkgodsskipet «prosjekt 1» skal planlegges.

Utgangspunkt Harmoni	Hoveddimensjoner
Deplasement	17015 Tonnes
Lpp	142 m
B	18,60 m
Dybde i Riss	11,75 m
T	9,03 m
TPC	22,10 Tonn pr cm



Figur 0215 Skisse av «utgangspunkt Harmoni»

Første oppgave blir å beregne CB og CW.

$$CB = \frac{\nabla}{L \times B \times T} = \frac{16600 \text{ m}^3}{142 \text{ m} \times 18,60 \text{ m} \times 9,03 \text{ m}} = 0,697 (-)$$

$CW = \frac{AW}{L \times B}$ men AW er ikke oppgitt? Hvordan kan man beregne CW da? Formel for TPC=

$$\frac{AW \times 1,025 \frac{\text{tonn}}{\text{m}^3}}{100 \text{ m}^2}, \text{ da vil et uttrykk for AW bli } = \frac{TPC \times 100}{1,025 \text{ tonn/m}^3} = \frac{22,10 \frac{\text{tonn}}{\text{cm}} \times 100}{1,025 \text{ tonn/m}^3} = AW = 2156$$

$$CW = \frac{AW}{L \times B} = \frac{2156 \text{ m}^2}{142 \text{ m} \times 18,60 \text{ m}} = 0,817(-)$$

Srykkgodsskipet «prosjekt 1» skal øke sin lastekapasitet med omlag 30 %. LPP skal beholdes men det blir økning i Dybde i riss med 1,45 m og bredden med 2,8 m.

Prosjekt 1	Nye hoveddimensjoner
LPP	142 m
B1	21,4 m
Dybde i Riss 1	13,2 m

Bredden økes proporsjonalt overalt slik at CB blir uforandret og CW betraktes som det samme. På grunn av bredde økning vil T (dypgang) bli redusert (δT).

Setter opp en ligning som betrakter volumendringen på begge sider av likhetstegnet. Økning i bredde i er 2,8 m/18,60 m = 0,15 (15,05 %)

$$\delta T \times L \times B1 \times CW = L \times B \times T \times CB \times \delta B/B$$

$$\delta T = T \times CB \times \delta B / B1 \times CW = 9,03 \text{ m} \times 0,697 (-) \times 2,8 \text{ m} / 21,4 \text{ m} \times 0,817 (-)$$

$$\delta T = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{TPC til Prosjekt 1 blir} = 22,10 \text{ Tonn/cm} \times 21,4 \text{ m} / 18,60 \text{ m} = 25,42 \text{ Tonn/cm.}$$

Prosjekt 1: Det er antatt at vektøkningen blir på 800 Tonnes.

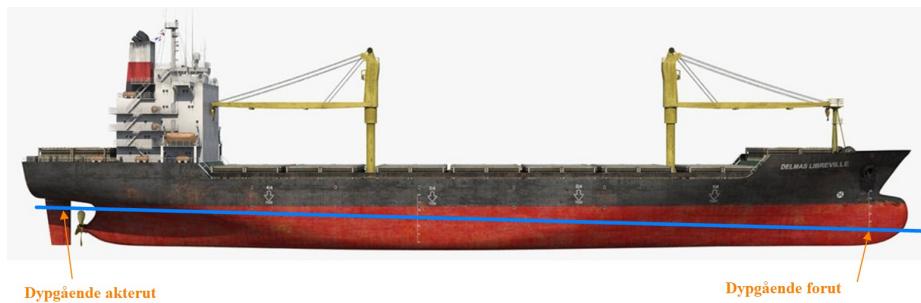
Hva blir T til Prosjekt1?

$$T \text{ Prosjekt1} = T - \delta T + 800 \text{ Tonnes} / \text{TPC} = 9,03 \text{ m} - 1,00 \text{ m} + 0,31 \text{ m} = 8,34 \text{ m}$$

Prosjekt 1	Hoveddimensjoner
Deplasement	17815 Tonnes
Lpp	142 m
B	21,40 m
Dybde i Riss	13,20 m
T	8,34 m
TPC	25,42 Tonn pr cm

Hvis stykkgodsskip «Utgangspunkt Harmoni» gjorde 16 knop fart på sin prøvetur og det er ønskelig at «Prosjekt 1» skal også holde 16 knop så må det økes maskinkraften slik at denne blir lik økningen i slepehesterkrefter ved 16 knop. (resultat i slepetank).

Trim



Figur 0216 definisjon av trim vist med blå vannlinje

Definisjon på trim er forskjell på dyppgående forut og akterut. Trim deles inn i forlig og akterlig. Ved forlig trim er dyppgående størst forut

Det er fire trimmomenter som det opereres med og de kan betegnes som:

Trimmoment (1): Vekt \times arm
Trimmoment (2): $\Delta \times GG1$
Trimmoment (3): $\Delta \times BG$
Trimmoment (4): Trim \times MTC

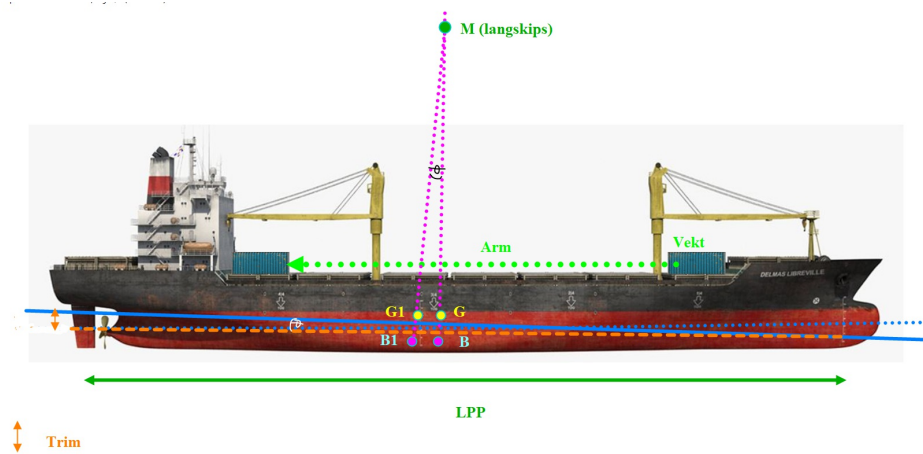
Fremgangsmåten blir som vist tidligere, setter to momenter imot hverandre:

Trimmoment (4) = Trimmoment (3)
 $\text{Trim} \times \text{MTC} = \Delta \times \text{BG}$
 $\text{Trim} = \Delta \times \text{BG} / \text{MTC}$

Trim kommer ut i dette tilfelle i cm fordi det deles på MTC (TM/cm). BG er forskjell i langskipsavstand mellom B (LCB) og G (LCG), LCB er oppgitt i ressurshefte ved 0 trim (Even keel) og LCG beregnes etter moment beregning, der $\text{LCG} = \text{Sum langskipsmoment} / \Delta$. Hvis $\text{LCB} = \text{LCG}$ så er det 0 trim, Hvis LCG er større enn LCB så er det forlig BG, forlig BG gir forlig trim. Dette er en kunstig metode fordi LCB og LCG vil i virkeligheten være plassert over hverandre i samme avstand i fra aktrependikulær. Når man setter Trimmoment (4) = Trimmoment (1) så kommer svaret ut med en trimforskjell (δ), og ikke en bestemt trim.

En nærmere titt på MTC.

MTC er TM/cm og det forteller hvor mye trimmoment det må til for å forandre trimmen med 1 cm.



Figur 0217 Utledning av enhetstrimmoment MTC.

Figur viser et bulkskip med fotmerker på forre og aktre perpendikulære, som lå uten trim (EK). Så blir en vekt (container) flyttet fra luke # 2 til luke # 7, som medfører at skipet får en akterlig trim. Det oppstår to formlike trekantene, bestemt av Trimvinkel θ . Tan θ til de to trekantene = Trim / LPP og BB1/BM. Det blir utgangspunktet for utledningen av MTC.

$$\text{Trim/LPP} = \text{BB1/BM}, \text{BB1 er ikke bare å finne ut av plansjer til skipet, men } \text{BB1} \approx \text{GG1}.$$

$$\text{Trim/LPP} = \text{GG1/BM}, \text{GG1} = \text{vekt} \times \text{arm}/\Delta$$

$$\text{Trim/LPP} = (\text{vekt} \times \text{arm}/\Delta)/\text{BM}, \text{BM} = I / \nabla \quad (I \text{ langskips})$$

$$\text{Trim/LPP} = (\text{vekt} \times \text{arm}/\Delta) / I / \nabla, \Delta = \nabla \times p, \text{ to brøker gir omvendt dividend.}$$

$$\text{Trim/LPP} = (\text{vekt} \times \text{arm} / \nabla \times p) \times \nabla / I, \nabla \text{ forkortes bort, blir } 1$$

$$\text{Trim/LPP} = (\text{vekt} \times \text{arm}/p) \times 1/I$$

$$(\text{vekt} \times \text{arm}/p) \times 1/I = \text{Trim/LPP}, \text{Vekt} \times \text{arm} \text{ er et trimmoment (trimmoment (1))}$$

$$\text{Trimmoment} = p \times I \times \text{Trim} / \text{LPP}, \text{setter trim lik } 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m eller } 1/100 \text{ m.}$$

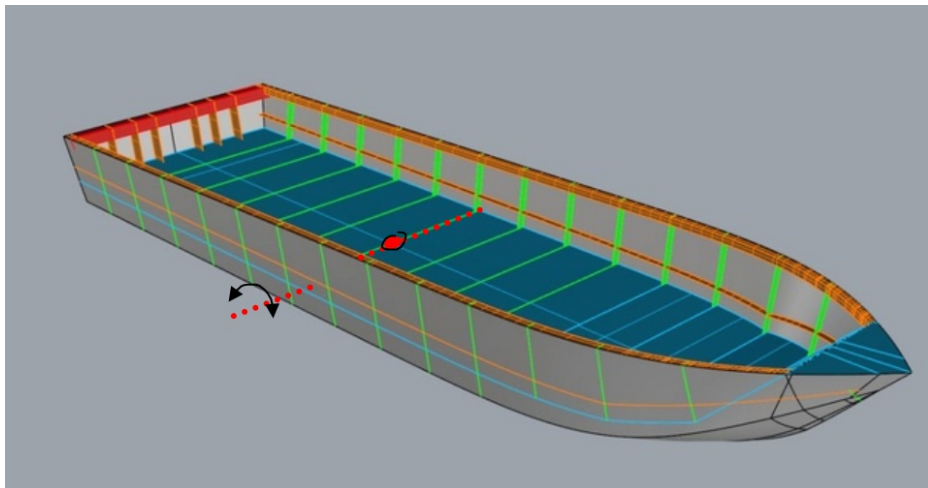
$$\text{Trimmoment/cm} = p \times I \times 0,01 / \text{LPP}, \text{når trim blir } 1 \text{ cm så vil trimmomentet} = \text{MTC}$$

$$\text{MTC} = \text{TM/cm}$$

$$p = \text{Tetthet (tonn/m}^3)$$

$$I = \text{Treghetsmoment i vannlinjeplanet i langskipsretning om LCF (m}^4). I \text{ langskips for en pram} = B \times L^3/12$$

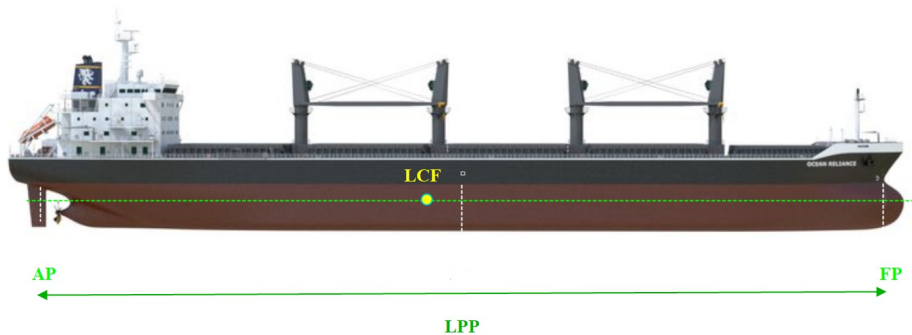
$$\text{LPP} = \text{Lengde mellom perpendikulærene, Forre Perpendikulære og aktre perpendikulære, (m)}$$



Figur 0218 LCF

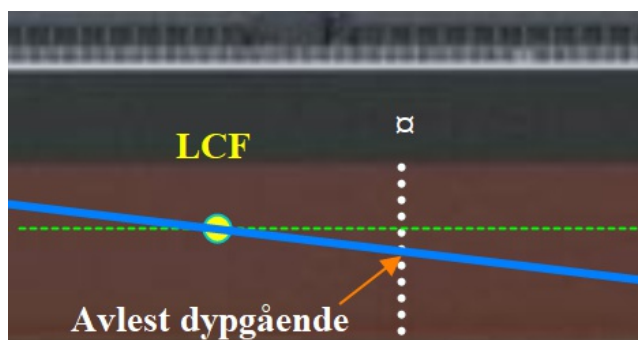
LCF (*longitudinal centre of flotation*) Langskips flotasjonsenter. Det er et punkt i vannlinjeplanet som skipet vil dreie seg om, forover eller akterover, betegnes også som vannlinjeplanet sitt tyngdepunkt. På figur så er LCF tegnet inn med et rødt punkt og med en tverrskips akse som går i gjennom LCF punktet. Den lyse blå linjen på utsiden av skroget indikerer vannlinjeplanet beliggenhet. I = Tregghetsmoment i vannlinjeplanet i langskipsretning om LCF (m^4), tregghetsmomentet forteller hvor vanskelig det er å få skipet til å rotere om den aksene som går i gjennom LCF punktet. I langskips, for et skip med normal skrogform, blir tregghetsmoment = $(B \times L^3/12) \times k$, k = faktor mindre enn 1, av formel ser man at det er lengden på skipet som bidrar mest, jo lengre skipet er jo vanskeligere er det å trimme det.

Figur LCF betydning for dyppgående



Figur 0219 LCF betydning for dyppgående

Vises et bulkskip med LPP = 180 meter, fotmerkene er tegnet inn på: Forre perpendikulær, på π (nullkrysspant) og på akter perpendikulær. Den grønne stiplede linjen er et teoretisk vannlinjeplan, LCF til det vannlinjeplanet er 2,5 meter aktenfor π .



Figur 0220 LCF og beregning av dypgående

Hvis trim og skrogbøyning er lik null så vil den blå vannlinjen dekke over den grønne teoretiske linjen. Hvis det er trim så vil den blå vannlinjen være skilt i fra den grønne teoretiske linjen, men den vil krysse den grønne linjen i et punkt og det vil være i LCF (eller rettere sagt tverrskipsaksen til LCF).

Teoretisk dypgående vil være der den grønne stiplede linjen krysser fotmerket ved π (nullkryss-spant), blir ofte kalt for referansedypgående. Avlestdypgående vil være der vannlinjen krysser fotmerket ved π , i dette tilfellet vil det være mindre enn referansedypgående. Den vertikale avstand i mellom dem lar seg beregne hvis man har kjennskap til LCF og trim. Den vertikale avstand kalles for trim korleksjon eller LCF korleksjon og betegnes som x .

Formel for $x = \text{trim} \times \text{LCF}/\text{LPP}$, hvis trim i dette tilfelle var 3 meter akterlig så kan x beregnes, $x = 3,0 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} / 180 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$.

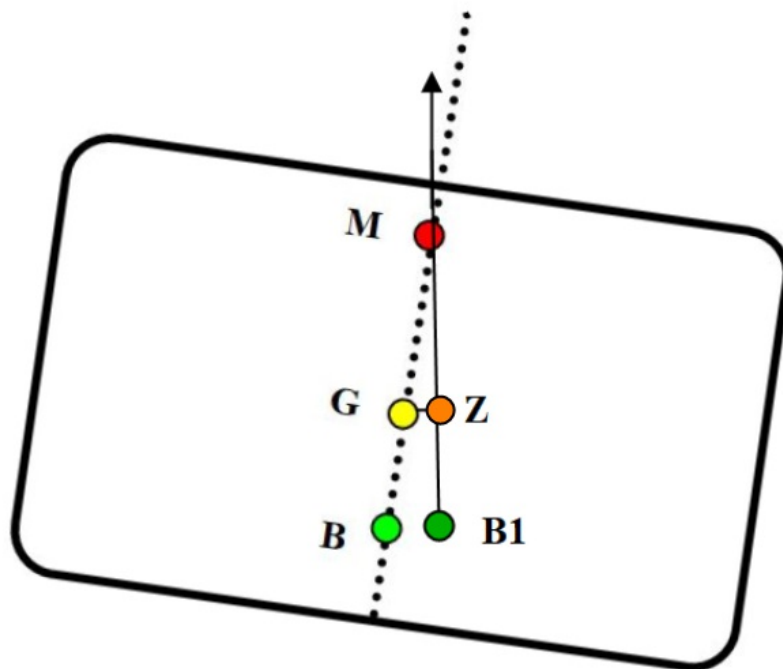
Referansedypgående er 12,0 meter, hentet i fra tabell til skipet på grunnlag av Δ størrelse, og avlestdypgående blir: $12,0 \text{ m} - 0,04 \text{ m} = 11,96 \text{ m}$. Fotmerket ved π er midt i mellom forre perpendikulær og akter perpendikulær, og avlest dypgående forut og akterut lar seg beregne med å fordele halve trimmen forut og akterut.

Avlest dypgående π		11,96 m		11,96 m
Trim/2		01,50 m		01,50 m
Avlest dypgående	Forut	10,46 m	Akterut	13,46 m

Når man skal beregne fra avlestdypgående til referansedypgående: Trim beregnes ut av avlestdypgående forut og akterut, avlestdypgående $\pi = \text{avlestdypgående forut} + \text{avlestdypgående akterut} / 2$. Vannlinjen tegnes inn med sin trim (forlig eller akterlig), mindre muligheter for å gjøre feil hvis man tegner styrbord siden hver gang, da blir baug alltid til høyre. Ved avlestdypgående π tar man ut LCF verdien og tegner den inn på vannlinjen forlig eller akterlig (i forhold til fotmerket ved π).

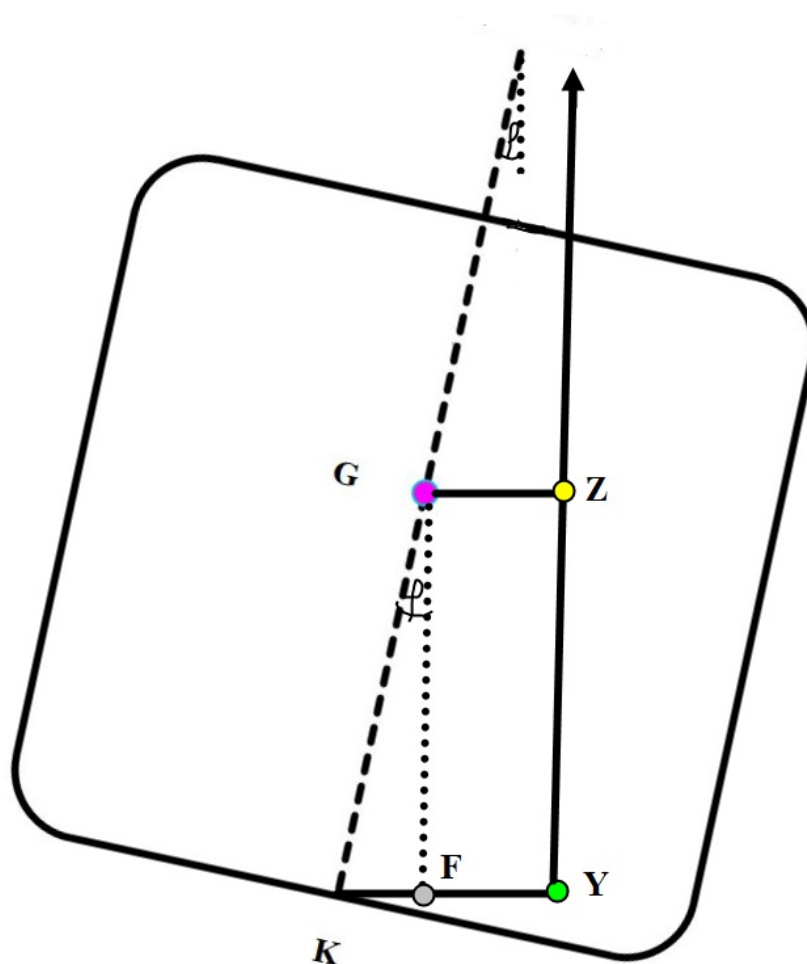
Når LCF er tegnet inn så faller resten av brikkene fort på plass. Referansedypgående vil alltid være på en horisontal linje som går i gjennom LCF og der hvor den krysser fotmerket ved π er referansedypgående. Trimkorleksjon x beregnes som ovenfor og det vil fremgå ut av skissen om den skal legges til avlestdypgående π eller om den skal trekkes ifra.

En nærmere titt på GZ



Figur 0221 Grunnskisse av GZ

Begynnelse stabilitet: Regnes når krenningsvinkel φ er under 12° , da står metasentre i samme punkt og oppdriftkraften går i gjennom det. Hva skjer når krenningsvinkel φ blir større enn 12° ? Ved utledning av BM så man at bredden av vannlinjeplanet er viktig for stabiliteten. Større bredde gir bedre stabilitet, når krenningsvinkel φ blir større enn 12° så økes bredden i vannlinjeplanet. Den økes helt til dekkshjørnet kommer i vannet og metasentre vil bevege seg høyere opp på senterlinjen, helt til dekkshjørnet kommer i vannet og da avtar den, forandrer retning og kommer nedover mot B1. Når metasentre flytter på seg så kan ikke formel for $GZ = GM \times \sin \varphi$ benyttes.



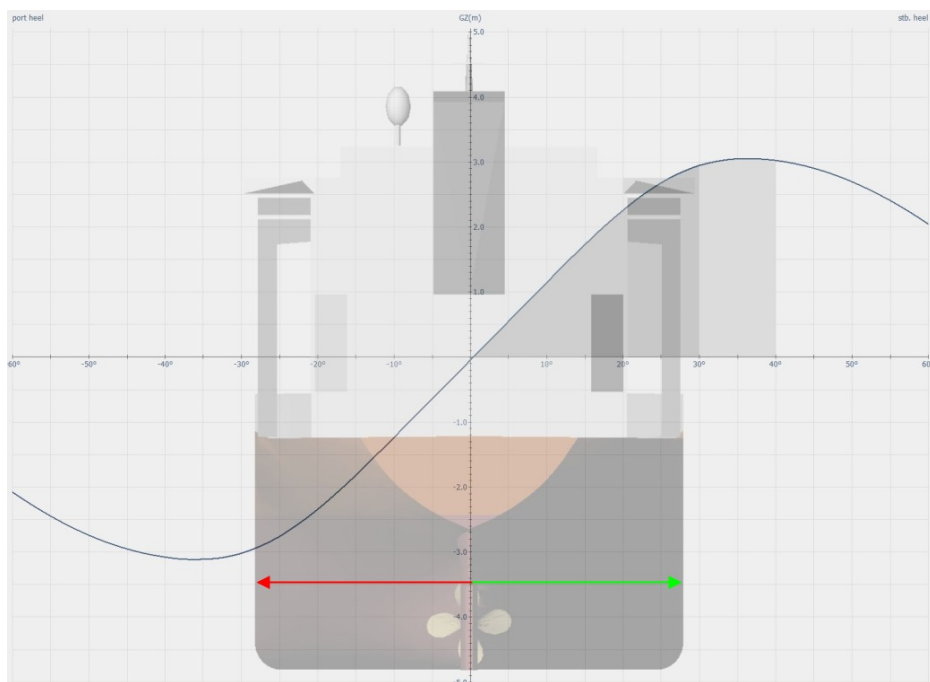
Figur 0222 Beregne GZ ved av KY (kurve)

Arm KY ble beregnet tidligere i fra en integrator, er et instrument, som med en bestemt krenningsvinkel for en modell av skipets skrog så ble det beregnet spantareal og arealmoment, volumdeplasement og Volummoment om en integratorakse. Når en kjenner Volummoment og volum, kan man finne volumets tyngdepunkt ved hjelp av avstand i fra intergratoraksen. Armen KY, er vinkelrett, vil forandre seg med forskjellige krenningsvinkler og ved forskjellige volumdeplasement. Oppdriftkraften er tegnet fra Y, men oppdriftpunkt B1 er mellom Y og Z en plass og er ikke tegnet inn. Der oppdriftkraften krysser senterlinjen vil ikke være metasentre men det falske metasentre (M~F~). Det er tegnet inn en hjelpelinje fra G loddrett på KY armen, der den treffer KY armen betegnes som F.

Ved hjelp av F kan GZ armen beregnes, fra figur ser man at $GZ = FY$, $FY = KY - KF$. KF er motstående katet til krenningsvinkel φ , $\sin \varphi = KF/KG \rightarrow KF = KG \times \sin \varphi$. $FY = GZ = KY - KG \times \sin \varphi$. For et gitt deplasement og KG er GZ ved en gitt $\varphi \rightarrow GZ (30^\circ) = KY (30^\circ) - KG \times \sin 30^\circ$.



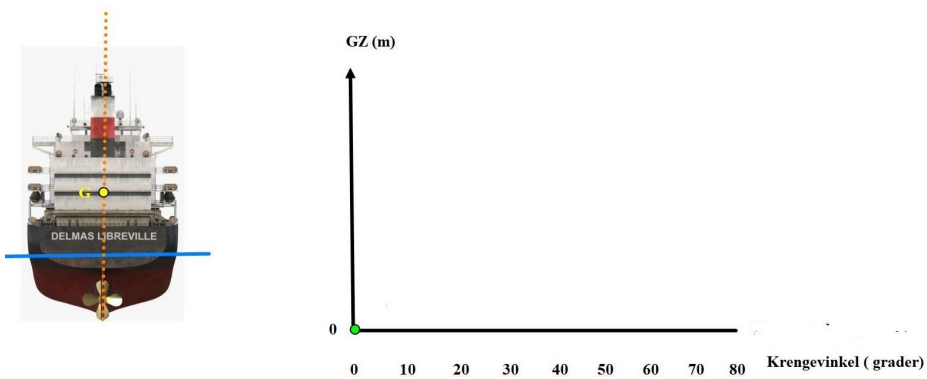
Figur 0223 Bilde av Saga Odyssey.



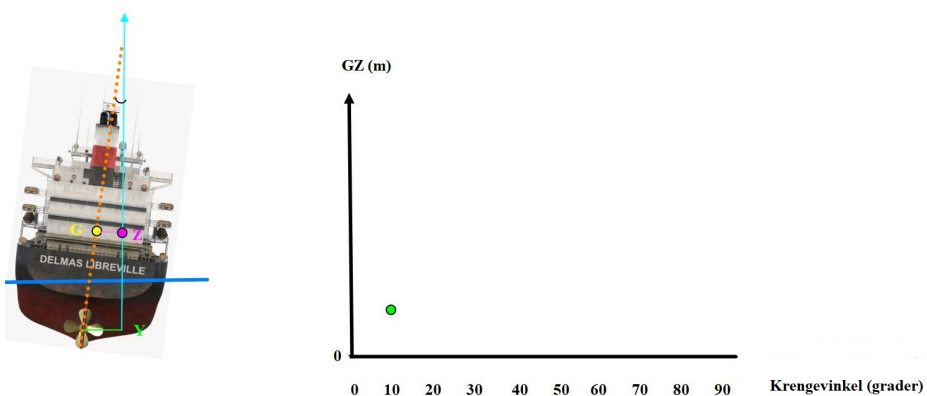
Figur 0224 GZ kurver til Saga Odyssey

Figur 0224 viser GZ kurver til Saga Odyssey. Skissen viser skipet sett akten ifra, her ser man hekken og undervannsskrog, litt av overbygningen med skorstein og satellitt-doom, og de ytterste deler av Gantry kranene. Det er GZ kurve til babord og til styrbord, helt like men de er speilvendt av hverandre. På skissen ser man det er tegnet inn to piler, en til styrbord side og en til babord side, begge er tegnet ut i fra senterlinjen. De er nøyaktig like stor og er da symmetrisk om senterlinjen. Man ser av skissen at skipet er symmetrisk om senterlinjen helt opp til skorsteinen.

Når skipet er symmetrisk om senterlinjen så trenger man bare å tegne en GZ kurve, normalt til styrbord side.

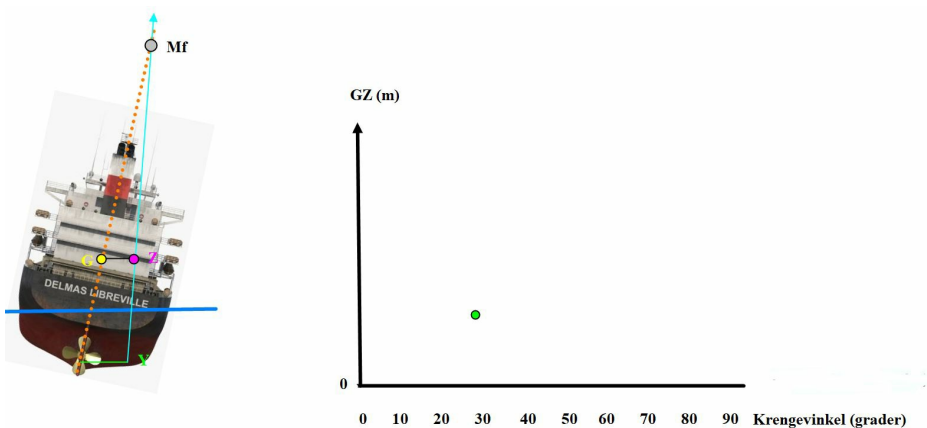


Figur 0225 Skipet er oppreist, 0 grader krenkning og dermed er GZ (arm)= 0.

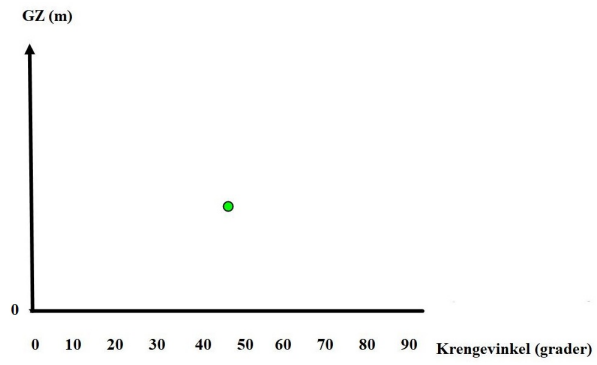
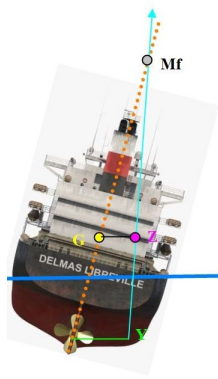


Figur 0226

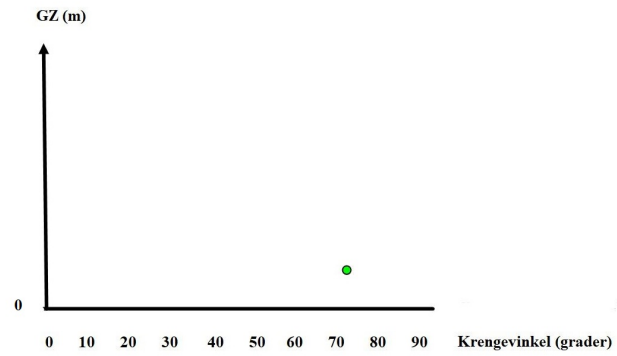
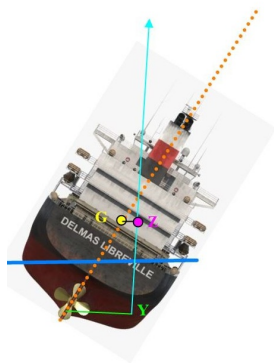
Figur 0226. Skipet har en krenkning på 10 grader til styrbord. GZ er tegnet med en verdi, referansepunkt til GZ verdi er den horisontale linjen under hvor GZ er = 0. På skipet er GZ armen tegnet i horisontal retning men i diagrammet er den tegnet i vertikal retning. Her blir GZ som y og krengvinkel blir som x. Det grønne rundingen blir punktet i koordinatsystemet, som er beregnet etter formel i figur 0222.



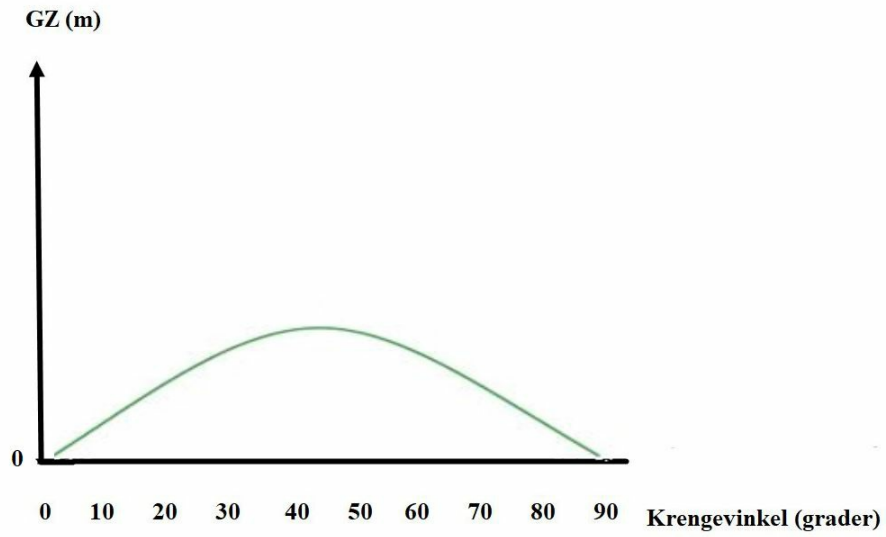
Figur 0227 Skipet har en krenkning på 30 grader til styrbord, GZ øker med større krenkning.



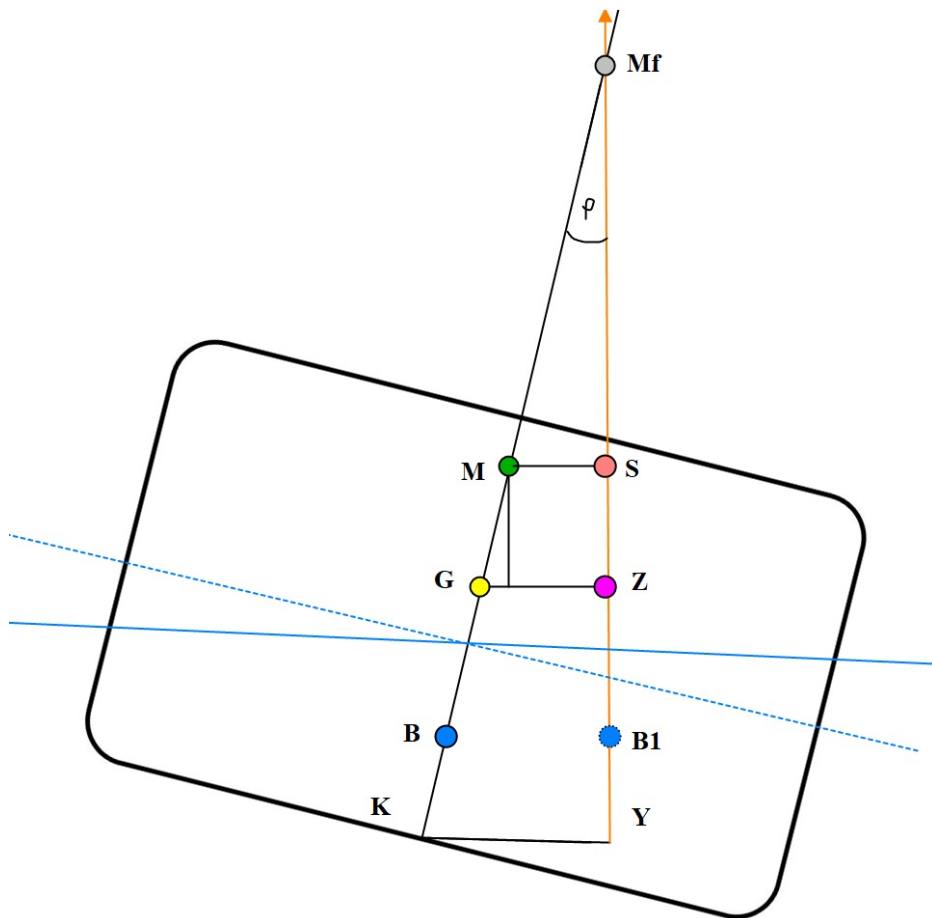
Figur 0228 Skipet har 45 grader krenkning til styrbord, dekkshjørnet er i vannet og da er bredden i vannlinjen størst. I dette punktet vil GZ (maksimum) være på sin største verdi.



Figur 0229 Skipet har om lag 70 grader krenkning til styrbord, bredden i vannlinjeplanet har avtatt og GZ verdien er mindre.

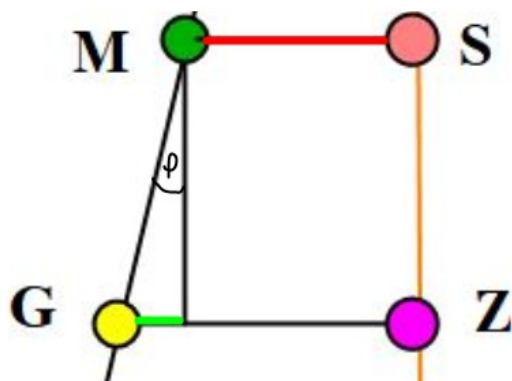


Figur 0230 GZ kurve. Det er tegnet en grønn strek i gjennom alle de grønne punktene som er angitt ovenfor, resultatet blir en komplett GZ kurve.



Figur 0231 komplett skisse av GZ

Skissen viser alle begrepene som er gjennomgått i tverrskipstabilitet. Her er M (metasentre til begynnelse stabilitet (initial)) tatt med, krengevinkelen er større enn 12° og der hvor oppdriftkraften skjærer senterlinjen er Mf (metasentre falsk). Avstand MS kalles for reststabiliteten, den økes med krengevinkel. I (tverrskips) økes med bredden, helt til dekkshjørnet er i vannet, det samme vil skje med MS som vil oppnå maksimumsverdi når dekkshjørnet kommer i vannet. Total stabiliteten = Begynnelse stabilitet(initial) + reststabilitet og den vil bli uttrykt ved hjelp av en GZ kurve.



Figur 0232 MS og beregning av GZ

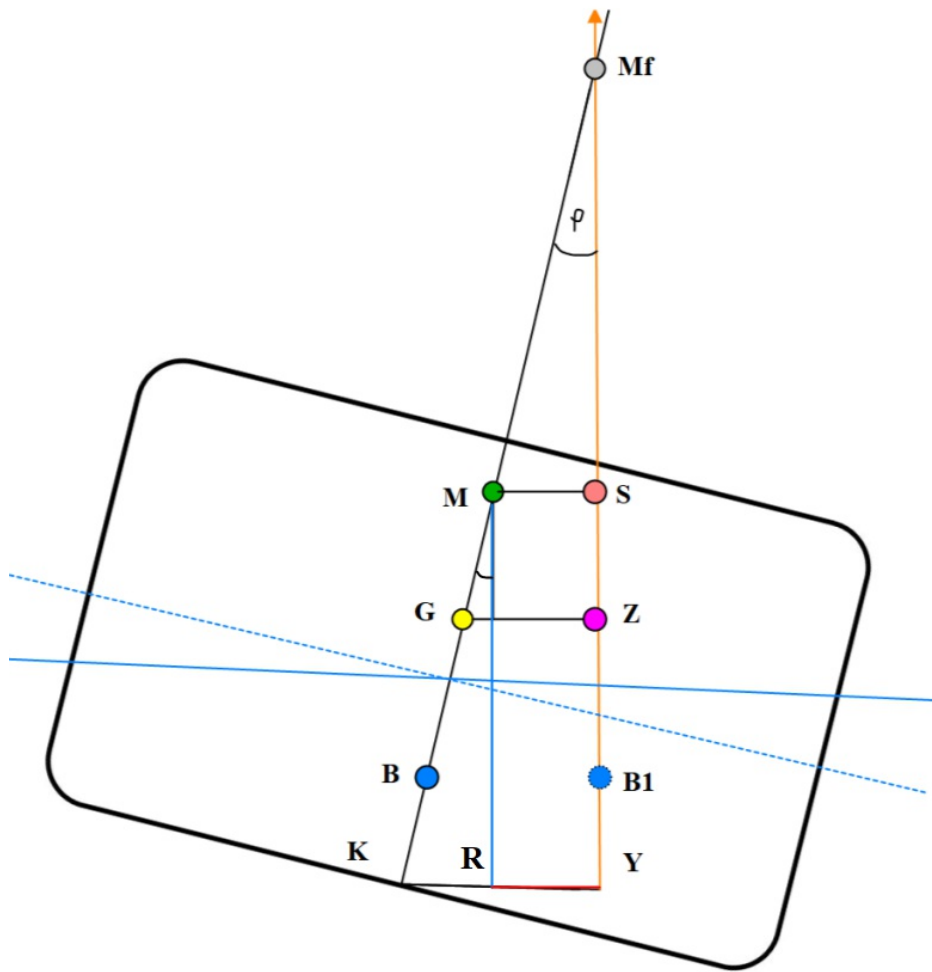
Av figur ser man at $GZ = \text{motstående katet til } GM \text{ trekant} + \text{avstand } MS$. $\sin \varphi = \text{motstående katet (lys grønn)} / GM \rightarrow \text{Motstående katet} = GM \times \sin \varphi$.

MS tas ut i fra tabeller til skipet ved Δ og krengevinkel. Skipet «Mercandian Importer» beregner GZ ved denne metoden, her blir MS betegnet som $M0s$.

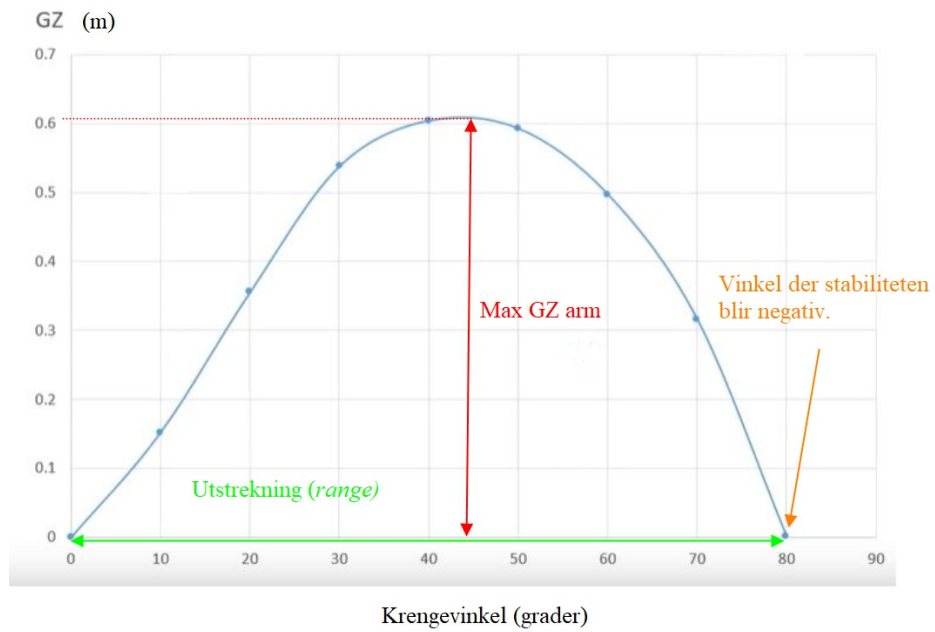
Totalstabilitet ved en bestemt krengevinkel φ vil bli : $GZ(\varphi) = GM \times \sin \varphi + MS(\varphi)$. For skipet «Linda» beregnes totalstabiliteten slik : $GZ(\varphi) = KY(\varphi) - KG \times \sin \varphi$.

Reststabiliteten fremstår ikke så tydelig som den gjør på skipet «Mercandian Importer». Ved å forleng den vertikale linjen fra metasentret helt ned til linjen KY, som blir punkt R og reststabiliteten til «Linda» blir RY.

$$RY = KY - KM \times \sin \varphi \text{ (se figur 0233)}$$

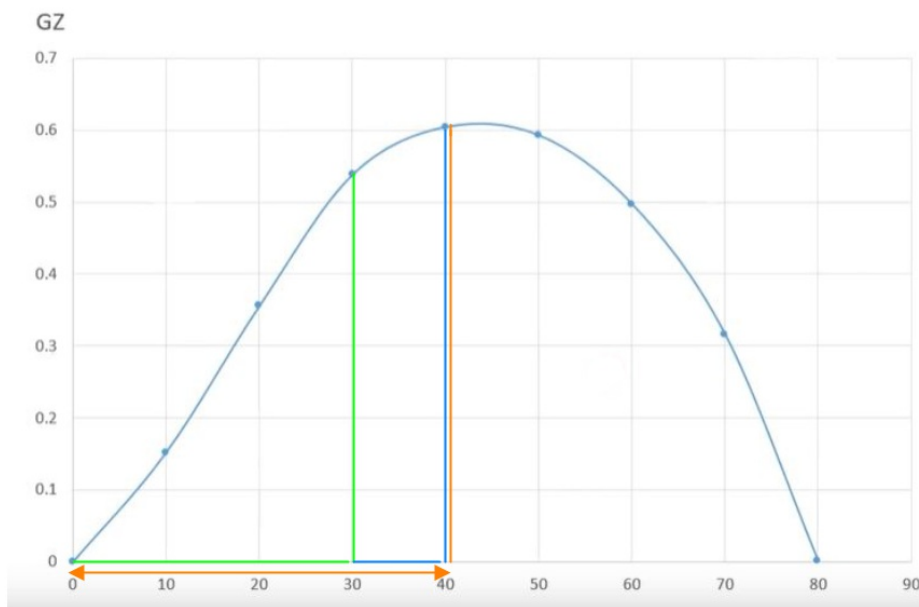


Figur 0233 Reststabilitet for Linda.



Figur 0234 Grunnleggende betegnelser for GZ kurver.

Ut fra GZ kurven ser man: Utstrekning (Engelsk *range*), er rekkevidden til kurven der den har positiv stabilitet. Her er utstrekningen 80 ° (oppgis 0 – 80 °), ved 80 grader vil også GZ kurven bli negativ. GZ maks er der hvor GZ armen har størst verdi, her er den 0,62 m ved 45°.



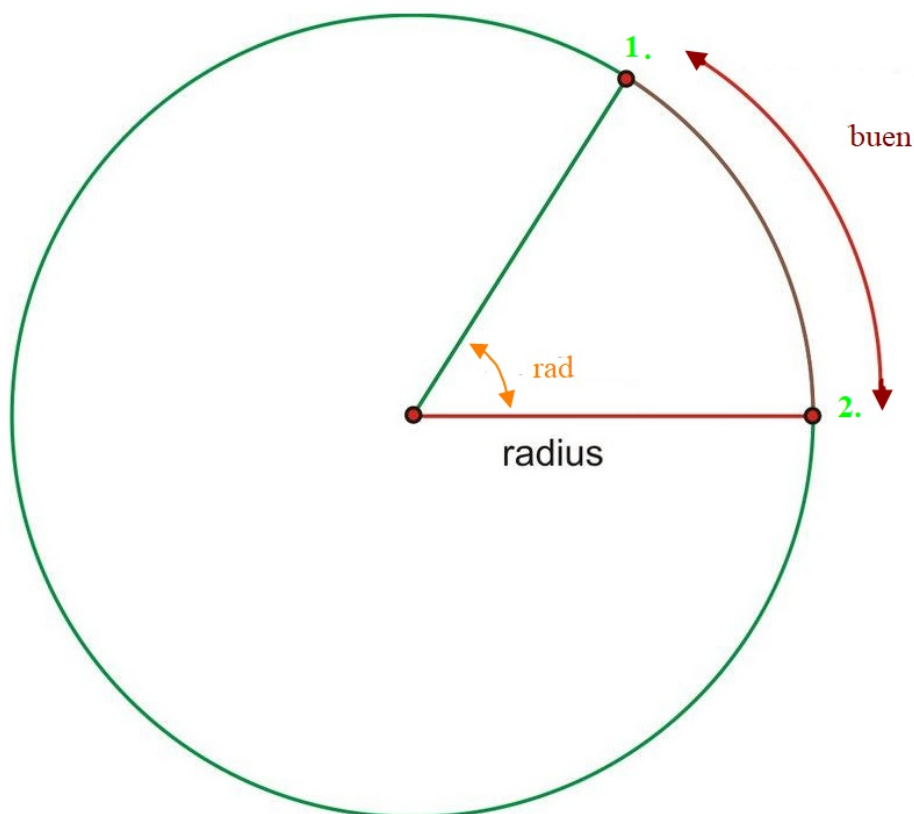
Areal under kurven

Figur 0235 areal til GZ kurven

Det er krav til areal under GZ kurven: ved 0-30°, 30-40° og 0-40°.

Krav til arealets størrelse: 0-30° = 0,055 meterradianer, 30-40° = 0,03 meterradianer og 0-40° = 0,09 meterradianer.

GZ kurven er konstruert med hjelp av grader og meter, arealet fremkommer først i meter × grader = metergrader, men omgjøres til meterradianer. Arealkravene til GZ kurven stammer i fra forskningen som en Finsk professor J. Rahola foretok seg i 1937 – 1939, Rahola anbefalinger til GM og GZ areal er stort sett tatt til følge av de fleste sjøfartsnasjoner



Figur 0236 Sirkelbue med vinkel i Radianer

Hvis man setter en passer med en fot på punkt 1., stiller den inn slik at den berører sentrum i sirkelen, og merker av et punkt på omkretsen (2.). Da vil vinkelbuen og radius være like stor og vinkelen vil bli 1 Rad (Rad er en forkortning av radianer).

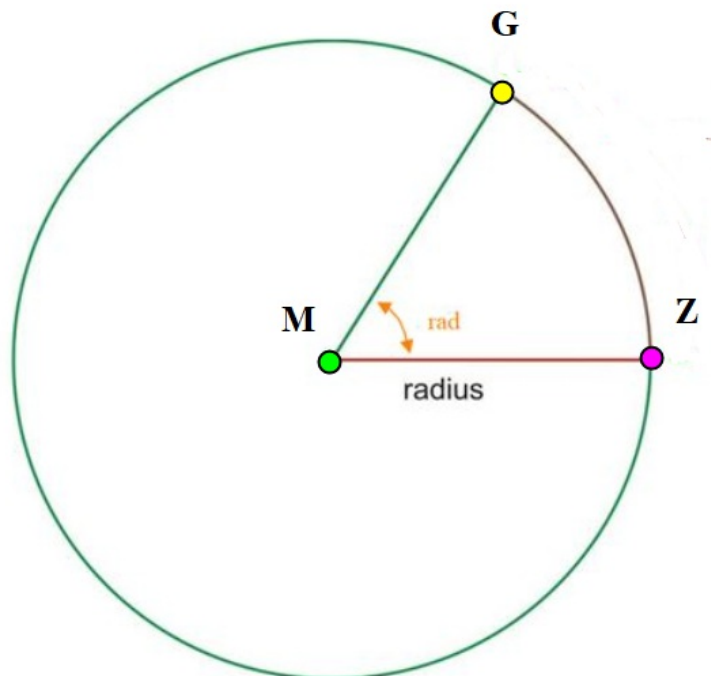
Omkretsen til en sirkel er 360° , i Rad : 2π Rad .

Setter man at disse to er lik: $360^\circ = 2\pi$ Rad \rightarrow Rad = $360^\circ / 2\pi = 180^\circ/\pi \approx 57,3^\circ$. 1 Rad er = $57,3^\circ$ og 1 grad = $1 / 57,3^\circ = 0,01745$ rad/grad.. 3,50 metergrader vil da bli: 3,50 metergrader \times 0,01745 rad/grader, grader blir forkortet bort, dermed blir uttrykket = 0,61 meterradianer. Hvorfor bergen i meterradianer? Før i tiden var det vanlig å oppgi størrelser i eksaktverdi, på den tiden var det ikke kalkulatorer. Hvis man på en matematikkprøve ikke oppga svarene i eksakt verdier (trigonometriske) så kunne man oppnå å få null poeng.

Hvorfor beregne i meterradianer? Før i tiden var det vanlig å oppgi størrelser i eksaktverdi, på den tiden var det ikke kalkulatorer. Hvis man på en matematikkprøve ikke oppga svarene i eksakt verdier (trigonometriske) så kunne man oppnå å få null poeng.

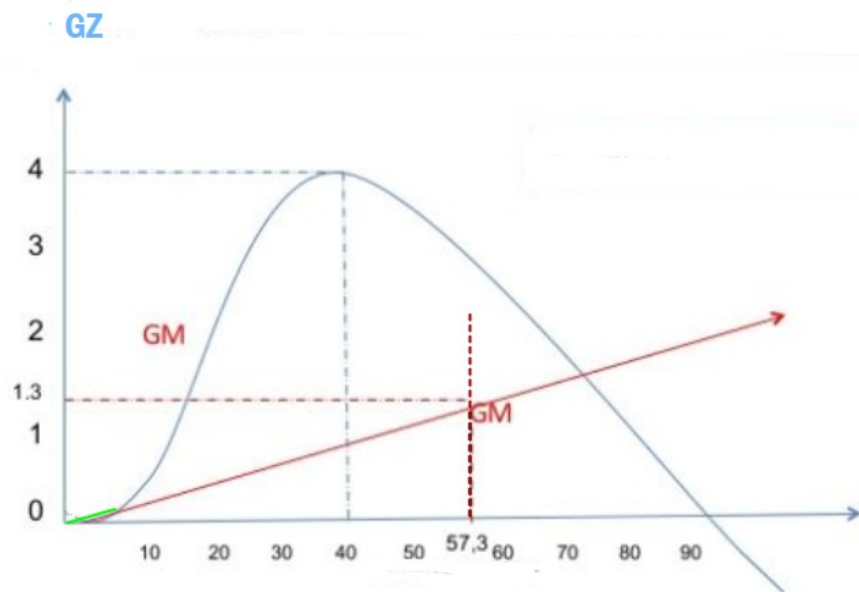
$\angle v$	$\angle v$			
Grader	Radianer	$\sin v$	$\cos v$	$\tan v$
0°	0	0	1	0
30°	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
45°	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1
60°	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\sqrt{3}$
90°	$\frac{\pi}{2}$	1	0	Ikke definert

Figur 0237 Tabell for eksaktverdier



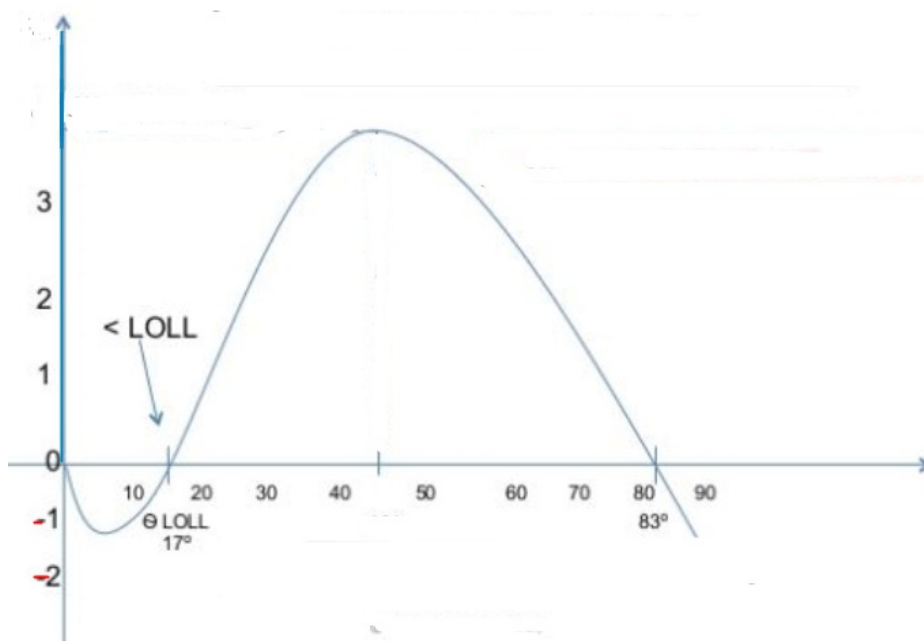
Figur 0238 Sirkelbue hvor skipets G, M og Z er tegnet inn.

Hvis vinkelen er 0 så vil GZ bli 0 men avstand GM vil bestå. Hvis vinkelen er 1 Rad så vil GZ og GM være like stor. Dette kan man dra nytte av se figur 0239.



Figur 0239 bestemme størrelsen på GM ved en ukjent GZ kurve.

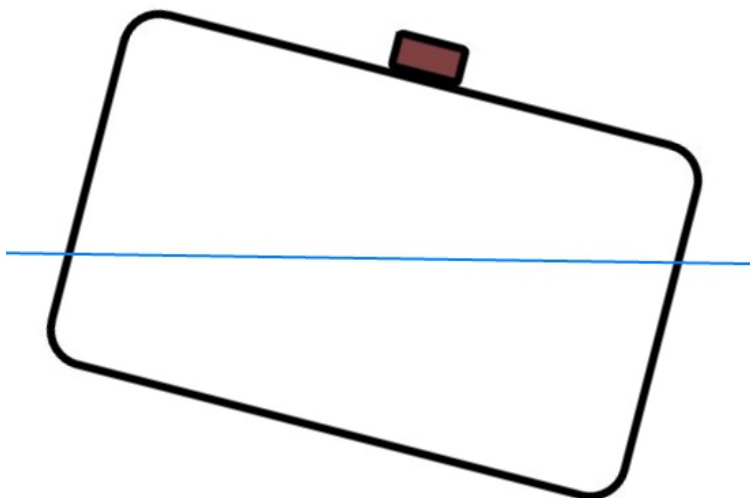
Vinkel 1 Rad $\approx 57,3^\circ$. Hvis man kommer over en GZ kurve, der man ikke kjenner til GM, så kan man ved hjelp av GZ kurven finne det ut. Tegner en linje som tangerer GZ kurven fra 0 - 5°, ved 57,3° tegner man en vertikal linje og der hvor tangentlinjen og den vertikale linje skjærer hverandre vil være punktet til GM. GM leses av på den vertikale GZ, i dette tilfelle er den 1,3 meter.



Figur 0240. Angle of loll

Loll, (Engelsk å betyr å sovne av i en avslappendestilling, der man lener seg mot noe). Angle of loll oppstår når GM er negativ, skipet vil krenge over til enten babord eller styrbord til den finner sin hvilestilling (vinkel). Grunnen til at skipet oppnår en hvilevinkel er at bredden i vannlinjeplanet blir større med økning av φ . Økning i bredden i vannlinjeplanet gir økning i BM slik at formstabiliteten kompenserer for vektstabiliteten. I figur 0240 er hvilvinkel 17° , utstrekningen er $17^\circ - 83^\circ$ (66°).

I figur 0240 er hvilvinkel 17° , utstrekningen er $17^\circ - 83^\circ$ (66°).



Figur 0241 skip med krenkning

Hvis man tenker seg til at man ankommer skipet, i figur 0241 som har krenkning til styrbord, uten å kjenne til tilstanden for stabiliteten om bord. Det er ønskelig å rette opp skip slik at det blir null list med å flytte den vekten på dekk ut til babord side. Ser på hva som skjer i to forskjellige tilfeller: 1. Hvis skipet har positiv GM og krenningen skyldes kreggende moment til styrbord. Ved å flytte vekten til babord vil skape et kreggende moment til babord. Ved å flytte på vekten i rolig hastighet så vil skipet rette seg opp sakte men sikkert. Hvis det kreggende moment til babord blir like stort som det til styrbord så vil skipet ligge med null list. 2. Hvis skipet har negativ GM og med en hvilevinkel like stor som visst på GZ kurven lengre opp (17° loll til styrbord). Det kritiske med dette tilfelle er at når man flytter vekten over til babord i rolig hastighet så vil skipet falle brått over til babord etter en kort forflytning av vekten. Skipet vil falle helt over til 17° loll til babord, eller retttere sagt noen grader mer alt etter hvor stor bevegelse energi som skapes men vil til slutt falle til ro i hvilevinkel 17° babord. Det vil bli en forandring i list på over 35° og det ville ha følt ubehagelig for de som er om bord da, med store sjanser for at noen ville ha blitt skadet?



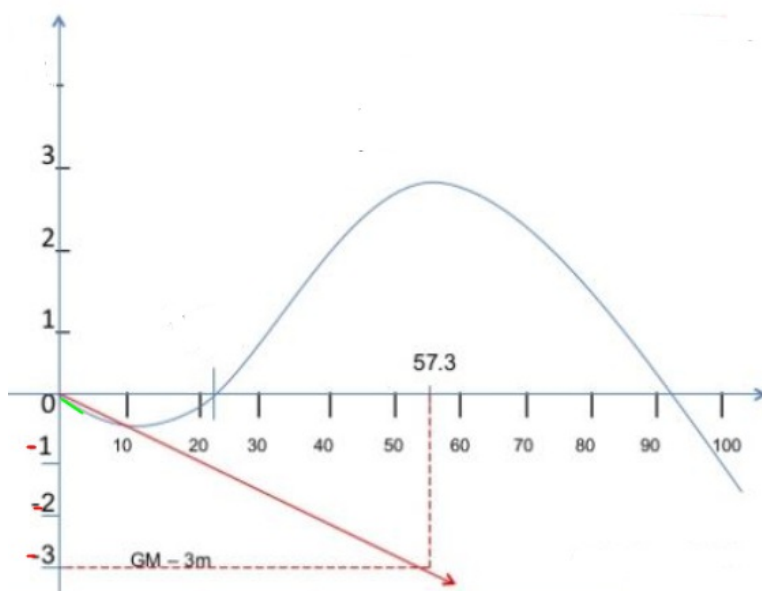
Figur 0242 Bilskip «Coucar Ace»

Bilskipet «Coucar Ace» kantret over under bytte av ballastvann i 2006 i henhold til BWM, litt over 100 NM utenfor Alaska. Skipet var på vei til Vancouver (British Columbia) fra Japan med 4812 personbiler om bord. På den tiden var skipet blant verdens største bilskip med en kapasitet på 5542 personbiler. Skipet mistet stabilitet ved bytte av ballastvann og at det samtidig ble truffet av en stor bølge. Bytte av ballastvann førte til fri væske overflate effekt som igjen medførte til negativ stabilitet. Skipet fikk en angle of loll som var nesten like stor som

kantringsvinkel. Den store bølgen skapte et kregende moment slik at Skipet fikk slagside med 60° til babord. Skipet ble senere tauet til dypere vann og rettet opp. Lasten med 4812 biler ble ødelagt.

SKIP MED ANGLE OF LOLL

Et skip med angle of loll i dønninger vil krenge fra den ene siden til den andre for hver dønning.



Figur 0243 Angle of Loll med negativt GM

På lik linje som med GZ kurven i figur 0243 så kan man finne GM ved en GZ kurve som har angle of loll og negativ GM. Angle of loll er 22° og utstrekning er $22^\circ - 92^\circ$ (70°). GM i dette tilfellet er -3 meter.

Oppgave til GZ kurver (fra kont- eksamen høst 2018 00TM01K)



Ovenfor er det tegnet opp illustrerende figurer for skip A, B, C & D.

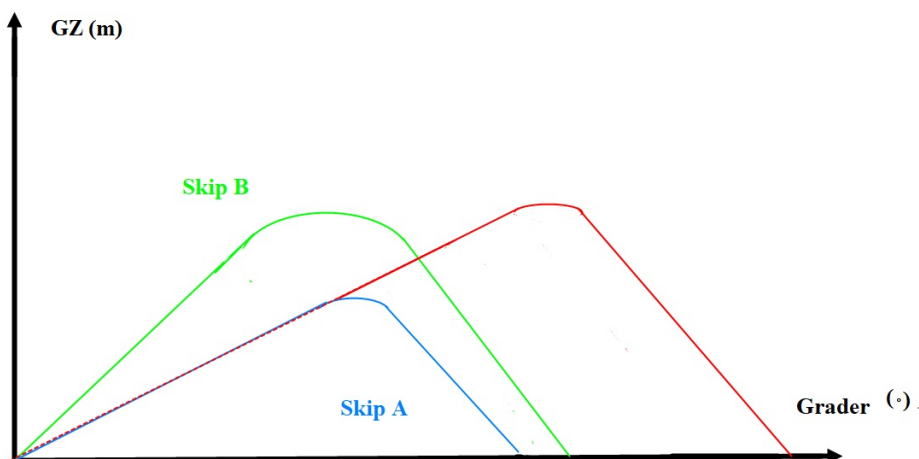
Skip B har samme KG og fribord som skip A, men har større bredde.

Skip C har samme KG og bredde som skip A, men har større fribord.

Skip D har samme bredde og fribord som skip A, men har en betydelig flenge i skroget under vannlinjen. Skipet har enkel hud (single skin). Flengen strekker seg over 40 % av skipets lengde.

- Tegn opp illustrerende GZ kurver for hvert av skipene.
Tegn alle kurvene innenfor samme GZ ramme.
Husk å merk tydelig hvilken GZ kurve som du henviser til (skip A, B, C og D).

Løsning på GZ oppgaven.



Figur 0244 Forskjellige GZ kurver til GZ oppgaven.

Skip A (blå linje) sin GZ kurve blir et referanse punkt til skip B og C.

Skip B (grønn linje) har samme KG som skip A men har større bredde. Større bredde gir bedre formstabilitet og dermed større GM. Større GM gir brattere stigning på GZ kurven men større bredde gjør at dekkshjørnet kommer i vannet tidligere enn skip A. Skip B får større maks GZ verdi enn skip A

Skip C har samme KG og bredde som skip A, GZ kurven til skip C vil følge kurven til skip A helt til dekkshjørnet kommer i vannet. Større fribord gjør at dekkshjørnet kommer senere i vannet enn skip A. Det medfører at skip C vil få en større krengevinkel før dekkshjørnet går i vannet (reststabilitet). Skip C vil dermed få en større utstrekning på GZ kurven og større maks GZ verdi enn skip A.

Skip D vil (mest sannsynlig) ikke ha noen GZ kurve på grunn av defekt volumdeplasement, etter en så stor betydelig flenge. Skip D vil sannsynlig kantre øyeblikkelig slik som «Rocknes» gjorde.

Statisk og dynamisk stabilitet. Begynnelse stabilitet (initial) betegnes som statisk stabilitet, statisk betyr å være i ro, og være i likevekt. Ved å betrakte et skip med null krenkning og ved en krenkning på F.eks. 10 grader, så betraktes kun disse to tilstander isolert hver for seg og ikke i en sammenheng. Betragtning av en likevekt mellom det kreggende moment og det rettende moment, når metasentre står fast i samme punkt så lar krenknings vinkel φ statisk seg lett beregnes, den kan også beregnes grafisk ved å tegne en GZ kurve og en kreggende arm kurve, der de skjærer hverandre i første punkt vil være φ statisk. Når φ statisk er større enn 10 -- 12 ° så må den beregnes kun grafisk. Dynamisk betyr å være i bevegelse, skipet får tilført en bevegelsesenergi av vind, bølger, som medfører en rullebevegelse. Vi skiller de to vinklene: φ statisk = φ_s og φ dynamisk = φ_d

Beregning av φ statisk med både beregning og grafisk for skipet «Linda»:

M/S Linda er i en havn hvor den skal laste både bulk og dekkslast.

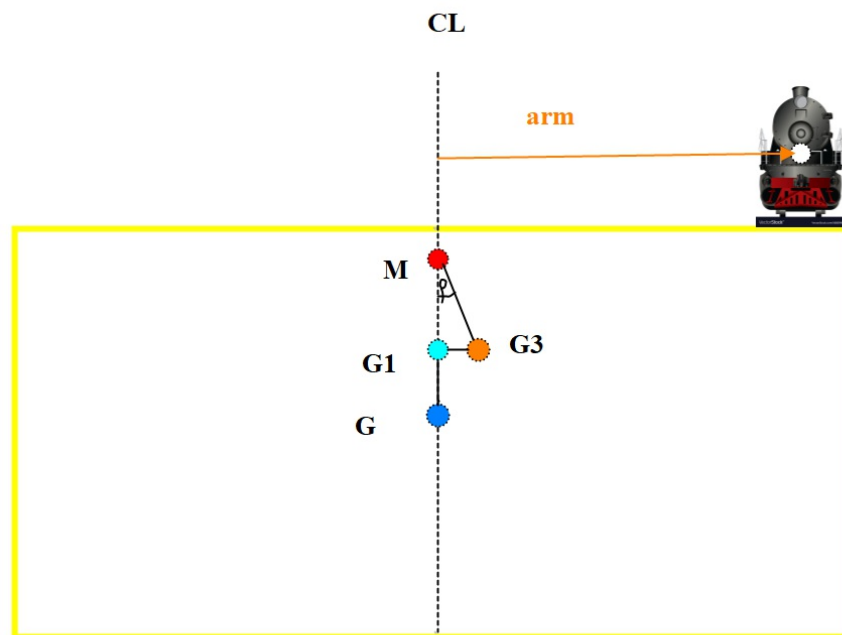
Det blir lastet om bord et lokomotiv ved hjelp av en landkran, den skal plasseres midt på lasteroms luke # 5 men landkranen får problemer under hivet, medfører at lokomotivet bli låret ned helt ute i bordet (rekka) ved lasteroms Luke # 5.

Hvor stor blir krenningen (i antall grader)? Man antar at lokomotivet belaster dekket med hele sin tyngde.

Opplysning om lokomotivet: Vekt = 175 Tonnes, bredde = 3,13 m, Høyde = 4,58 m. Tyngdepunktet beregnes midt i og 1,5 m opp (fra skinne).

Linda hadde $\Delta = 17500$ Tonnes og KG = 7,48 m og TCG = 0, før lokomotivet ble plassert på dekk.

Løsningsforslag:



Her blir det økning i Δ , vertikalt moment og kregende moment.

Beregner armene til lokomotivet:

Vertikalt: Dybde i riss + høyde fra dekk til tyngdepunkt til lokomotivet

$$12,5 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 14,0 \text{ m}$$

Kregende arm (tcg):

tcg: fra CL til tyngdepunktet til lokomotivet

$$B/2 - \frac{1}{2} \text{ bredde av lokomotivet: } 10,2 \text{ m} - 3,13 \text{ m}/2 = 8,63 \text{ m}$$

Plassering	Vekt (Tonnes)	Arm (m) fra K	Moment (TM)	Arm fra CL	KRM (TM)
Δ	17500	7,48	130900,00	0	0
Lokomotiv	175	14,0	2450,00	8,63	1511,12
Sum	17675	sum	133350,00	sum	1511,12

$$KG1 = \text{Sum momenter}/\Delta = 133350,00 \text{ TM} / 17675 \text{ Tonnes} = 7,54 \text{ m}$$

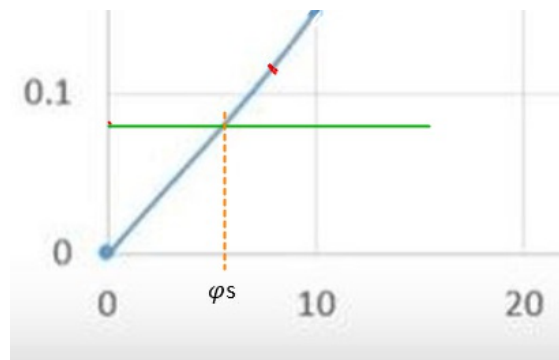
$$G1M = KM - KG1 = 8,51 \text{ m} - 7,54 \text{ m} = 0,97 \text{ m}$$

$$G1G3 \text{ (TCG)} = KRM / \Delta = 1511,12 \text{ TM} / 17675 \text{ Tonnes} = 0,088 \text{ m}$$

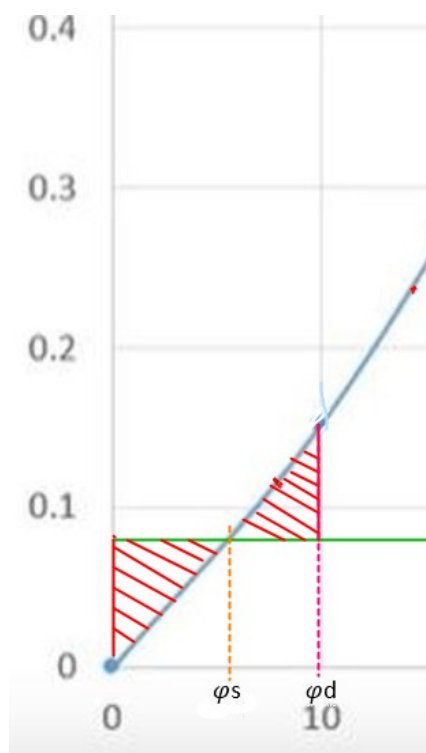
$$\tan \varphi = G1G3/G1M = 0,088 \text{ m} / 0,97 \text{ m} = 0,09072 \rightarrow \text{Arctan} = 5,18^\circ$$

Grafisk løsning:

Utsnitt av GZ kurven. Her er den grønne linjen den kreggende arm, beregnes ved hjelp av cosinus til φ : $G1G3 \times \cos \varphi$. Den er så lite avtagende at man trenger bare å benytte Cos når φ er større enn 10° og for hver tiende grad. Deretter plotter disse inn på skjemaet og der hvor den skjærer GZ kurven vil være φ_s , fordi der er den rettende arm og den kreggende arm er like store (likevekt).



Figur 0245 Grafisk beregning av φ_s (statisk)

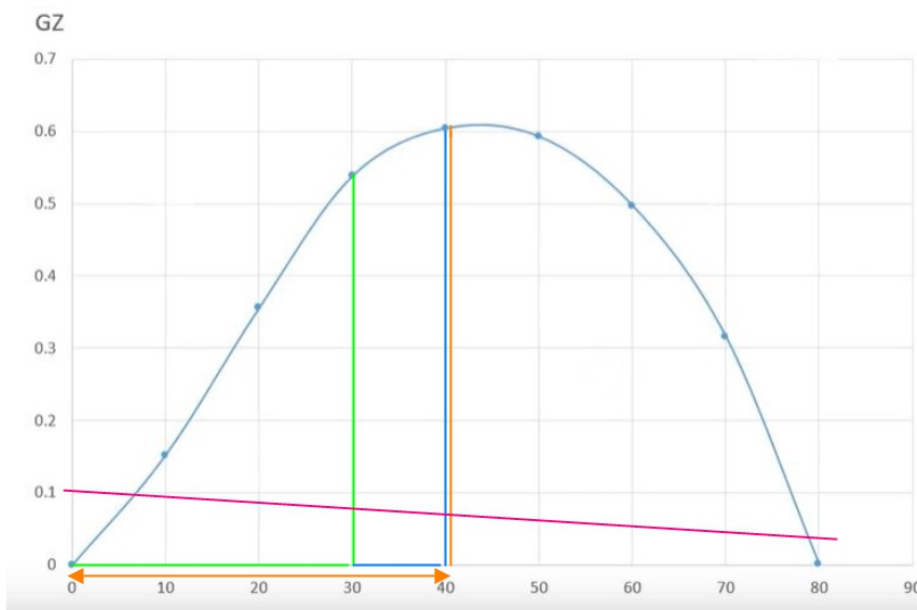


Figur 0246 Grafisk beregning av φ_d (dynamisk)

Betraktning til figur 0246 Hvis lokomotivet på Linda blir låret ned på dekk veldig forsiktig og at man bruker lang nok tid på denne operasjonen så vil skipet krenge til φ_S og ikke mer . Hvis lokomotivet blir låret ned rasket mulig eller at det nærmest faller fritt den siste meteren ned til dekk så vil figur bli gjeldende. Her ser man at den kregende arm er større enn den rettende arm helt til φ_S , og det røde skraverte feltet mellom den kregende arm og GZ kurven er tilført energi i fra det kregende moment. Det er bevegelse energi som blir tilført og som gjør at skipet krenger til en større φ enn φ_S .

Bevegelse energien blir «fanget opp» av det område av GZ kurven som er ovenfor den kregende arm (men under kurven). Her blir bevegelse energien omgjort til potensiell energi og ved et punkt vil skipet ligge i ro for et kort øyeblikk. Dette punktet vil bli φ_d og det kan beregnes ved hjelp av arealbetraktning. Når Arealet av bevegelse energien og den potensielle energien er like stor så vil φ_d være i høyrekant av den potensielle energien. Etter at skipet har vært i ro et kort øyeblikk vil det falle til babord og til φ mindre enn φ_S og vil vippe (rottere) om φ_S flere ganger til begge sider men vil til slutt falle til ro i φ_S . Arealet av bevegelse energien er under den kregende arm men over GZ kurven til φ_S , arealet av potensiell energien er over den kregende arm men under GZ kurven fra φ_S . Det som kommer under den kregende arm innenfor GZ kurven er tapt stabilitet.

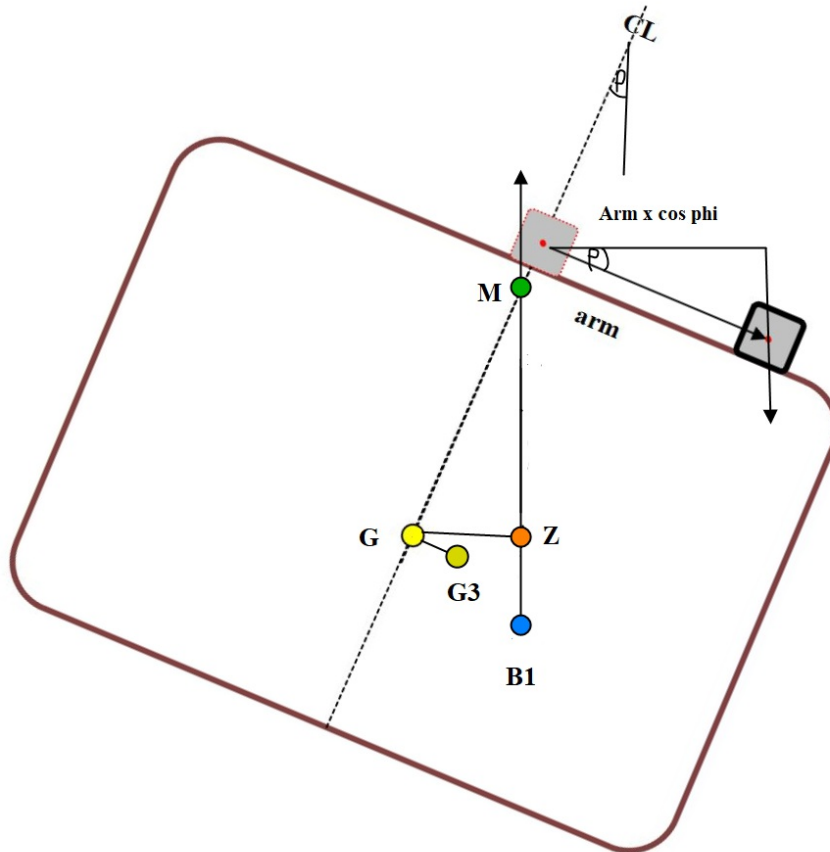
Den kregende arm beregnes for hver tiende grad og ved 60° er den halvert i størrelse fordi Cosinus til 60° er 0,5. Maks φ_d i GZ kurven (figur) er 78° , hvis kregningen blir større er skipet fortapt fordi kregende arm blir større enn rettende arm . Denne vinkelen betegnes også som kantringsvinkel. Dynamisk stabilitet defineres som den energi som må til for å krenge et skip fra 0° til en bestemt φ . Jo større areal en GZ kurve har dess vanskeligere er det å få krenget skipet. Arealet under GZ-kurven representerer størrelsen av dette potensielle arbeid.



Figur 0247 GZ kurve med kantringsvinkel

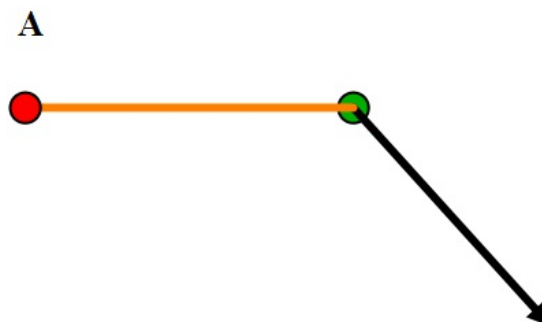
En nærmere titt på Krengende moment / krengende arm / forskyvning av last

Et skip vil få krengende moment av vind og sjø (bølger), men vil rette seg opp med moment rettende, hvis skipets G er i senterlinjen. Hva skjer med stabiliteten hvis en del av lasten forskyver seg ut til en av sidene?



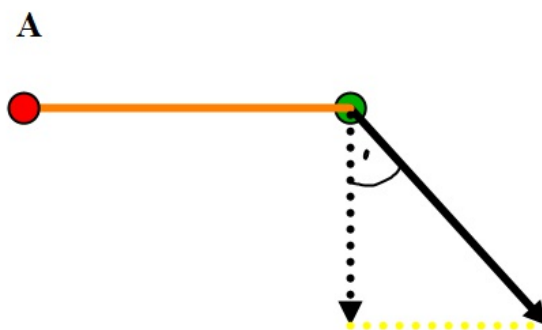
Figur 0248 forskyvning av last.

Moment: Betingelsene for et moment er at kraften virker 90° på kraften. På figur 0248 ser man at rettende moment innfrir disse betingelser.



Figur 0249 Kraft som ikke virker i 90 grader.

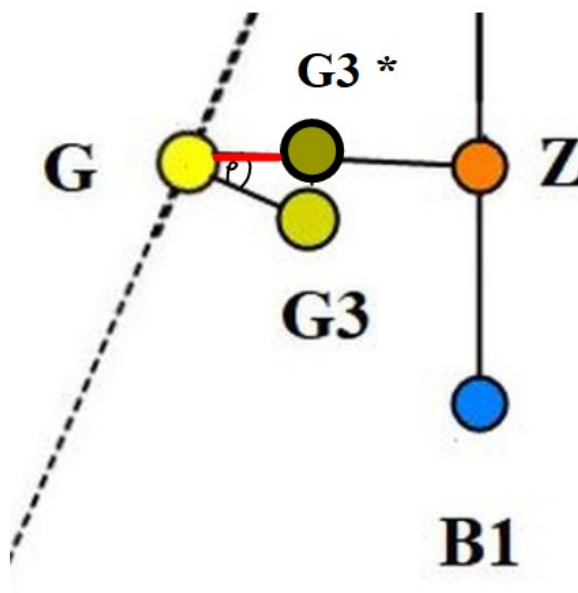
Hvis man skal beregne momentet om A i figur 0249 så må man kjenne til lengden av arm(orsnje) og størrelsen på kraften (sort). I tillegg så må man kjenne til retning Kraften virker i, her ser man at den ikke virker i 90°.



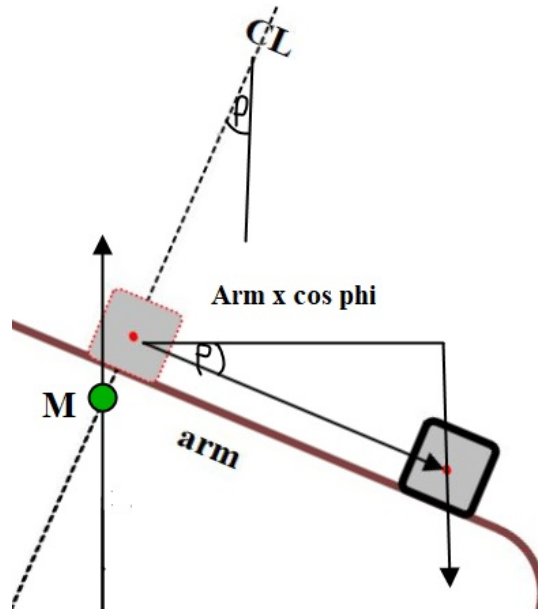
Figur 0250 Dekomponering av krefter

Den stiplete kraften er 90° på armen og vinkelen mellom begge kreftene måles til 40°. En gul hjelpelinje tegnes og den stiplete kraften kan beregnes ved hjelp av trigonometri. Cosinus til vinkel er den stiplete kraft dividert på den heltrukken kraft. Den stiplete kraft vil bli = heltrukken kraft \times Cosinus til vinkel. Vinkelen måles til 40°, arm er 2,0 meter og kraft er 20 kN. Momentet om A = 20 kN \times Cos 40° \times 2,0 m = 30,64 kNm.

Samme fremgangsmåte vil bli med skipet G., den må korrigeres slik : $GG3^* = GG3 \times \cos \varphi$. Her ser man at opprinnelig GZ arm er forkortet tilsvarende den røde linjen. Korrigert GZ arm vil bli: GZ -- GG3*, samme fremgangsmåte benyttes på Kanadisk kornskjema i tabell IX. Tabell IX skal anslå rest(gjenstående) areal av GZ kurven mellom den kreggende arm kurven og den rettende arm kurven.



Figur 0251 Korrigert GZ arm



Figur 0252 Kregende arm beregnes : $arm \times \cos \varphi$.

$$KRM = \Delta \times GG3 \times \cos \varphi, KRM = \text{Vekt} \times \text{arm} \times \cos \varphi. GG3 = TCG = \text{Vekt} \times \text{arm} \times \cos \varphi / \Delta.$$

Oppgave 7. (Kont eksamen høst 2018 00TM01K)

En kompis kommer på besøk til deg, han har kommet over et dokument til assurance selskapet VARD, men hendelsesforløpet er ikke fullstendig gjengitt fordi det skifter til uleselig skrift på slutten. Han er nysgjerrig på hva dette dreier seg om?

Han spør om ikke du kan foreta beregninger, komme til en konklusjon og kanskje noen forbedringstiltak? Han tilføyer: Du som er snart ferdig med D1 må jo klare dette?

VARD assurance selskap for skib & gods. Etablert 1894 Kristiania , din trygghet på alle hav
<p>Hendelse: Skip Mercandian Importer, skade på skip og personell i havn: Fønixa. Notater fra skipets dekkdagbok: Ankomst Terminal «Delta» avlest dypgående TF 5,55 m, TA 5,45 m. Saltgehalt/densitet tatt prøve av sjøvann ved terminal: avlest til 1,020. GM ved ankomst beregnet til 0,80 m. Kl. 14:05 Ferdig fortøyd styrbord side til kai. Loddsqudd foretatt midtskips, målt til 0,45 m under kjøll. Kun ballast på FP (fore Peak) som var helt full, det slippes ballast fra FP til ballasttank 3P slik at skipet ligger Even keel og babord list.</p> <p>Hendelsesforløp:</p> <p>Kl. 14:30 ankommer lastebil med en konteiner, sjåføren beslutter å plassere konteineren 3 m inne på kaien til tross for at skipets besetning ønsket den plassert mye nærmere. Det var anslått at det var 3 m i fra skutesiden til nærmeste sidevegg på Konteineren, den ble plassert i samme lengderetning som skipet, vekt av konteiner var oppgitt til å være 26 Tonnes, bredde av konteiner oppgitt til å være 2,44 m og med tyngdepunktet i senter. Skipet brukte sin egen krane midtskips til å foreta løftet, SWL = 30 Tonnes, på dekk under operasjonen var overstyrmann og to av dekkbesetningen, hvor en av dem opererte kranen.</p> <p>χβββφν φφφφ φφφ γαω σεΣΣ μμμμ λ κκκκκ κκκκκ κκκκκ κνννφκλ λλλλλλ λλλλ λλλλ λλλλ λλλλ λλλλ λλλλ λλλλ λλλλλλ λ λλ λλλλλλλλλλλλλ λλλλλλ λλλλ 12 κκκφφφ 445 οοοοο λχ μμχκκμλ.λ. φφκσ κδσκδν φννκκκ γγε υ ηγγ λλλ λλ ηηει υυ κλκκ λλλλσ λλλ λλλλ λλ λ λλ λ λλ λ λλλλλλ λλλλ λλλλλλλλλλλ λλλλλ λλλλ λλλλλλλλ λλλ λ λλλλλλ λλλλφ κκκλλκ κκφν νφ ν ν κκκκκκκκκκκκ κ κ κκ κκκ</p>

Konklusjon

Løsningsforslag: Oppgave 7 Kont eksamen høst 2018)

TF 5,55 m

TA 5,45 m Trim = 0,10 m forlig

T_x 5,50 m → LCF = - 1,55 m. (Hentet fra plansjen)

Beregner x (trim koeffisient) = LCF × trim / LPP

$X = 1,55 \text{ m} \times 0,10 \text{ m} / 70,8 \text{ m} = 0,002 \text{ m} \approx 0,00 \text{ m}$

TR 5,50 m → Δ 3913 Tonnes (b), MTC (b) = 41,53 TM/cm

$\Delta = \Delta b \times 1,020 / 1,025 = 3894 \text{ Tonnes}$,

MTC korrigeret = MTC (b) × 1,020 / 1,025 = 41,32 TM/cm

BG = Trim × MTC / Δ = 10 cm × 41,32 TM/cm / 3894 Tonnes = 0,106 m ≈ 0,11 m

LCG = LCB + BG = 35, 57 m + 0, 11 m = 35, 68 m

FP = lcg 68,97 m. db 3P = lcg 43,63 m, differanse = arm = 25,34 m

Må flytte ballast med vekt = Δ × GG1 / arm = 3894 Tonnes × 0,11 m / 25,34 m = 16,9 Tonnes = 17 Tonnes.

Arm for KRM (løft) = 6,5 m + 3 m + 2,44 m / 2 = 10,72 m

KG = KM - GM = 5,48 m - 0,80 m = 4,68 m

- = benyttet vcg fra plansjehefte for full tank

Art/plassering	Vekt (Tonnes)	Arm fra K (m)	Moment TM	Arm fra CL	KRM (TM)
Δ	3894	4,68	18223,92		
Ballast FP	-17	3,84	-65,28		
Ballast 3P	17	0,71*	12,07	-4,4	-74,8
FSM FP	FSM		150,7		
FSM 3P	FSM		48,7		
Løft	26	23	598	10,72	278,7
Sum velt	3920	Sum	19098,67	Sum	203,9

$$KG2 = \text{Sum momenter inklusiv FSM} / \Delta = 19098,67 \text{ TM} / 3920 \text{ Tonnes}$$

$$KG2 = 4,87 \text{ m}$$

$$\Delta b = \Delta \times 1,025/1,020 = 3920 \text{ Tonnes} \times 1,025 / 1,020 = 3939 \text{ (Tonnes)} \rightarrow T = 5,53 \text{ m}$$

$$KM = 5,487 \text{ m}$$

$$G2M = KM - KG2 = 5,487 \text{ m} - 4,87 \text{ m} = 0,617 \text{ m} \approx 0,62 \text{ m}$$

$$GG3 = TCG = KRM / \Delta = 203,9 \text{ TM} / 3920 \text{ Tonnes} = 0,052015 \text{ m}$$

$$\tan \phi = G2G3 / G2M = 0,052015 \text{ m} / 0,62 \text{ m} = 0,084304 \rightarrow \text{Arc Tan} = 4,81$$

$$T1 = B/2 \times \sin \phi + T \times \cos \phi = 6,5 \text{ m} \times \sin 4,81^\circ + 5,53 \text{ m} \times \cos 4,81^\circ = 6,05 \text{ m}$$

Dybde ved «Delta» = Opprinnelig T 5,50 m + loddskudd = 5,50 m + 0,45 m = 5,95 m

Konklusjon:



#KONKLUSJON

Skipet tok nedi siden beregnet dypgang ved $4,81^\circ$ er 6,05 m, mens at dybden kun var 5,95 m ved loddskudd midtskips ved ankomst. Trolig litt bunnskade, innbøyning av plater men har tilstrekkelig med GM til at den ikke kan bli nærheten av negativ (kraft P vil bli så liten), kanskje skadet en av deksbesetningen seg også med fall ol.? Om bunntouchen førte til at «løftet» røk fremgår ikke, lite trolig men sikkert en ubehagelig opplevelse for de som var involvert. Det ser ut som om at transferen fra FP til 3P kun tok hensyn til at skipet skulle ligge "Even Keel", og at løftet ikke var beregnet med hensyn på begrensningen i dypgående.

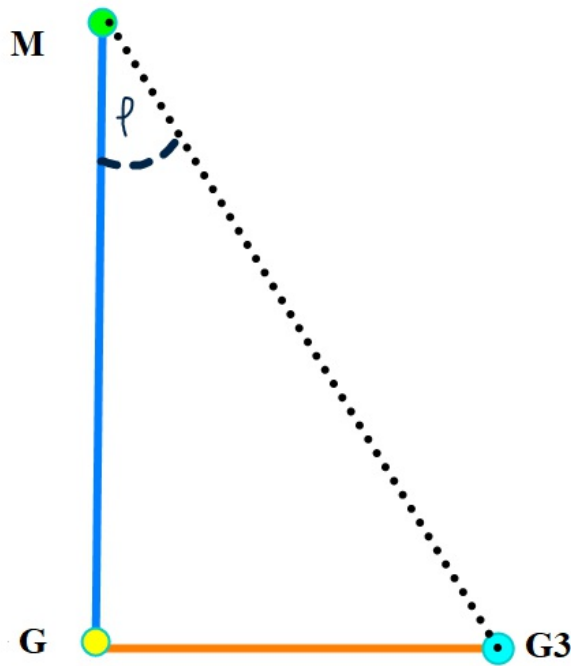
Forbedringstiltak:

Mer kontravekt i 3p eller / og at konteiner ble plassert så nært kaikanten som mulig. For å foreta et sikker løft: fyllt mer ballast når løftet starter og lenset ut etter hvert når den svinger inn over dekk (slik at list = tilnærmet lik 0° under mesteparten av løftet). Slik som det ble foretatt med list $4,8^\circ$, er en betydelig list, de fleste vanlige kraner har begrensinger med list over 5° .

(anmerking: Hensikten med denne oppgaven var å ta problemstillingen opp på et høyrere nivå (ledelsesnivå), der det ikke stiltes spørsmål slik som: Hva ble GM, Hva ble krenghningen og hva ble dypgangen (T1) under løftet OSV. Her skulle kandidatene få resonere og kunne stille alle relevante spørsmål selv)

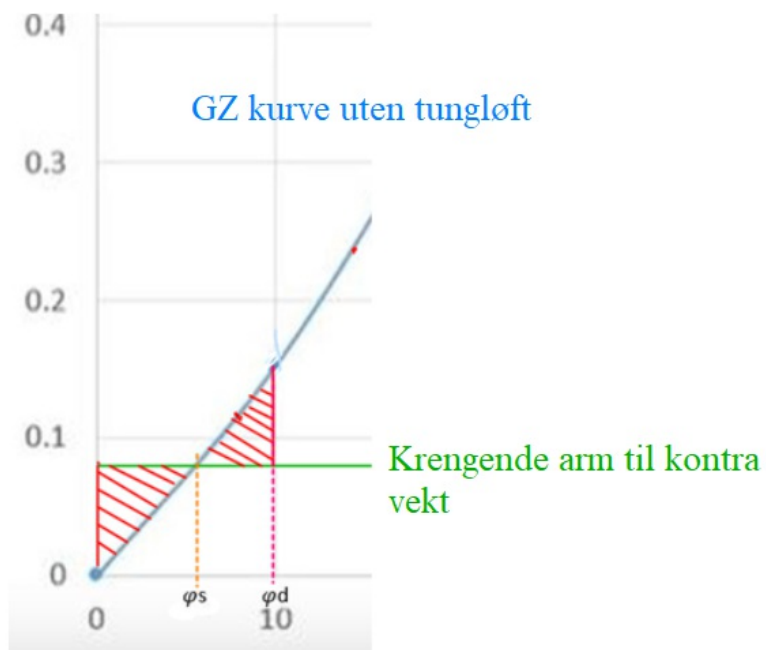
Tungløft og når løftet ryker.

Når et skip løfter last (vekt) med egen kran så vil det få innvirkning på tverrskipstabiliteten. Skipets tyngdepunkt vil få en vertikalt heving fordi vekten som blir løftet opptrer som den virker i «Bomnokken» til skipets kran. Når løftet blir svingt på utsiden av rekken så vil det krenghende moment bli større enn om vekten var plassert om bord. Virkningen av begge disse to vil bidra med at krenghvinkel blir større. Det krenghende moment $GG3 \times \cos \varphi$ virker uavhengig av høyden og med mindre GM på grunn av vertikalt heving av skipets G så vil det krenghende moment få mer innvirkning, slik at krenghvinkel φ bli større. Ved tungløft (vekt over 20 Tonnes) så er det anbefalt en GM på 1,0 meter eller mer.



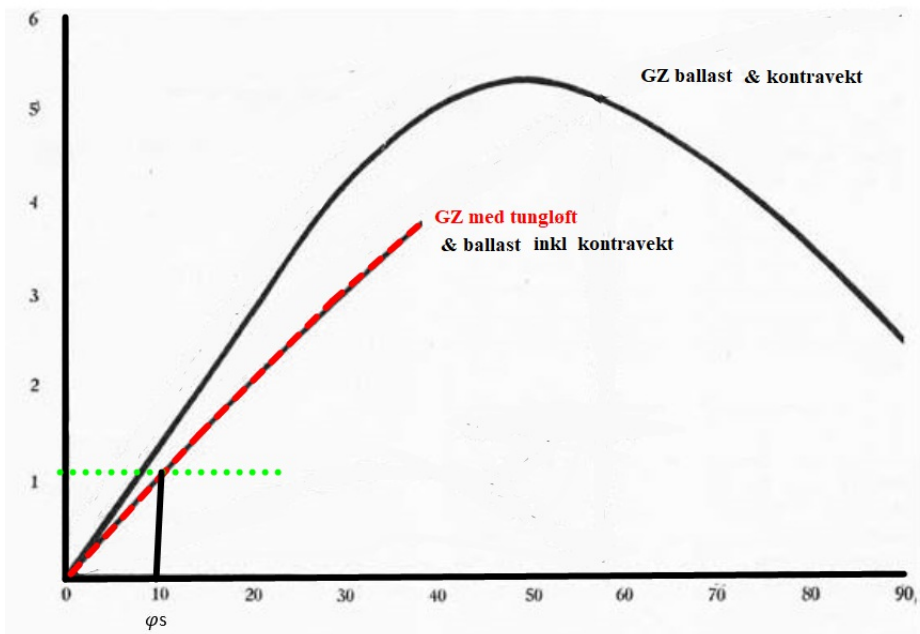
Figur 0253. Et skip sett akten ifra , med kregning til styrbord.

Når løftet ryker: Ser på to forskjellige tilfeller. 1. Skipet ligger oppreist (null list) når løftet ryker men har kontravekt (ballast). I dette tilfelle trenger man bare å tegne opp en GZ kurve uten tungløft og en kregende arm til kontravekten. Dette kan tegnes på styrbord side selv om kontravekten er på babord, hvis skipet er symmetrisk om senterlinjen. Beregning grafisk: se på φ_s og φ_d i figur0254.

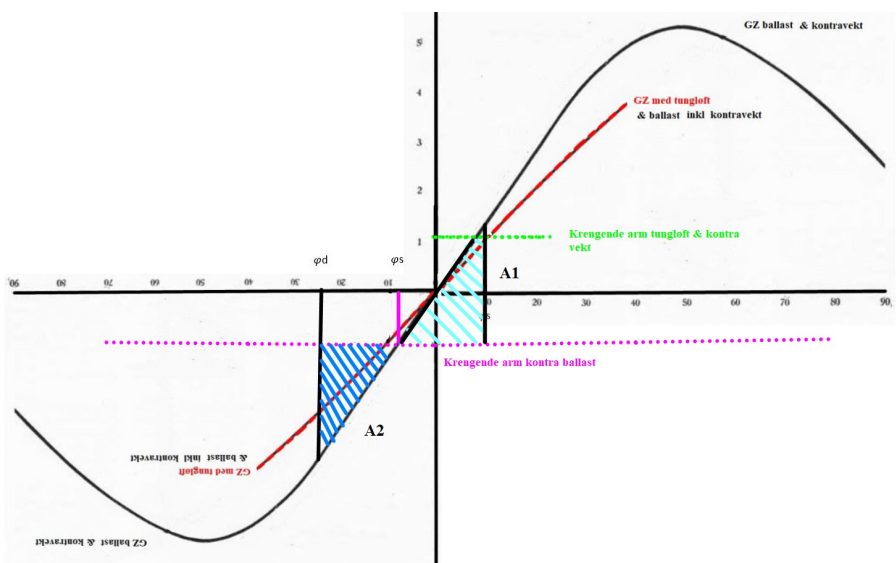


Figur 0254 grafisk beregning av φ_d

Tilfelle 2. Skipet ligger med styrbord list når løftet ryker.



Figur 0255 Grafisk beregning av φ_d når skipet ligger med styrbord list når løftet ryker. (første del)



Figur 0256 Grafisk beregning av φ_d når skipet ligger med styrbord list når løftet ryker. (siste del)

Lab forsøk på UIT «Når løftet ryker»:

Våren 2017 deltok D1 klassen ved Fagskolen i Troms (avdeling Tromsø) på lab forsøk ved Institutt for teknologi og sikkerhet (UIT). Lab oppgavene bestod i: Krengeprøve, Fri væske overflate effekt og tungløft «Når løftet ryker». Den siste oppgaven ble φ dynamisk (φ_d) beregnet grafisk på GZ kurve til 15,6 ° (babord). Forsøket ble målt med en mobiltelefon med klinometer som ble festet til modellen. Filmsnutten (figur 0259) viser hele rulleutslaget der φ dynamisk (φ_d) ble målt til 16° men det kan komme av litt fravik eller at klinometret viser 16° når 15,5° er passert?



Figur 0257 kun med kontravekt (φ s 5° Babord)

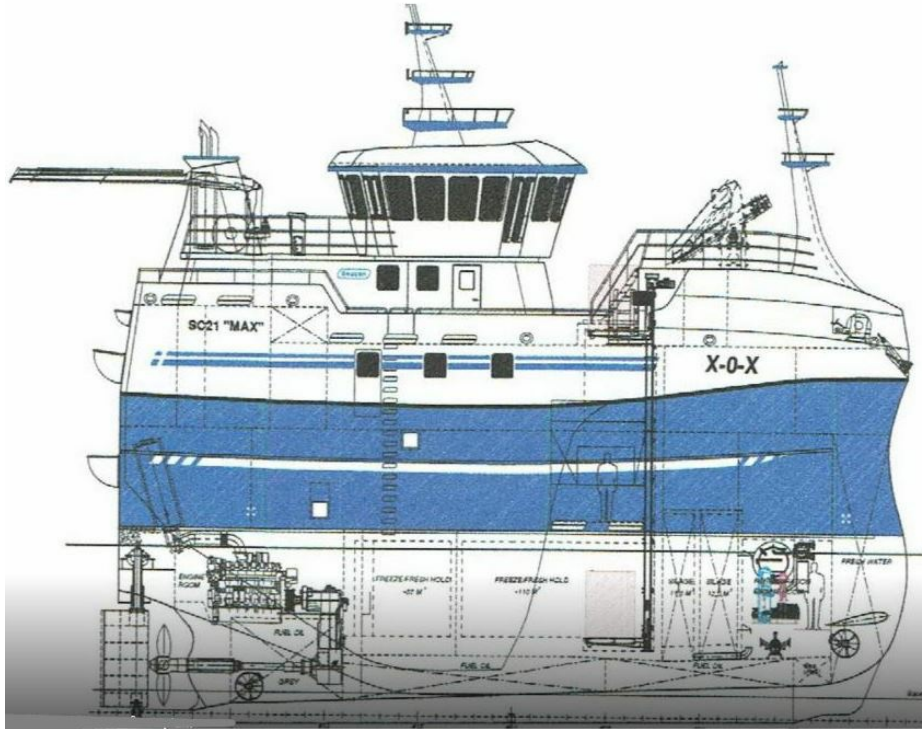


Figur 0258 med tungløft og kontravekt (φ s 5° Styrbord)



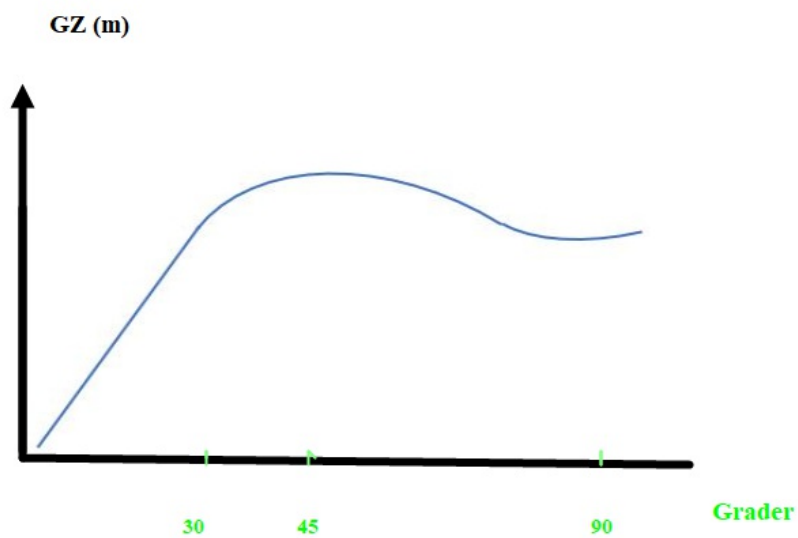
Figur 0259 Videosnutt av når løftet ryker. (<https://www.youtube.com/watch?v=ywhHJraomsq>)

En nærmere titt på stabilitet på fiskefartøy:



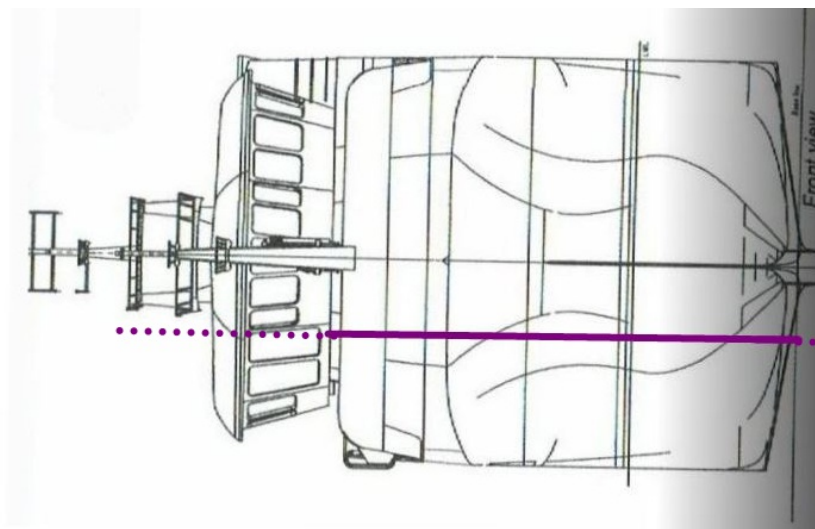
Figur 0260 Fiskebåt under 21,0 meter

I den senere tid har det forekommet flere fiskebåter med uvanlige konstruksjoner, de har fått betegnelsen «paragrafbåter». Det gjelder spesielt for fiskebåter med lengde under 21,0 meter, 15,0 meter og 10,67 meter, der disse lengdene angir kvotegrunnlaget. Båtene er bygget med større bredde og høyere skrog /overbygning enn normalt og derav betegnelsen «Paragrafbåt». Hvis man skal gjøre en generell betraktning om stabiliteten til båten på figur 0260 der stabiliteten er godt innenfor myndighetens krav. Bredden er halvparten av båtens lengde (20,99 meter) og høyde over vannlinjen til shelterdekk er i underkant av 7 meter.



Figur 0261 GZ kurve til fiskebåt i figur 0260.

GZ kurve stigning, stor bredde gir større BM, større BM gir større GM og brattere kurve, større GM gir større GZ. Hvordan kan det ha seg at GZ verdien er så stor ved 90 ° list? Det høye overbygget med shelterdekk gjør at bredden i vannlinjen forblir med stor verdi, selv med 90 ° krenkning. Se figur ..for antatt plassering av vannlinje og med antatt effektiv bredde i vannlinjen ved 90° list. Den prikkete linjen angir vannlinjen plassering men uten effektiv bredde.

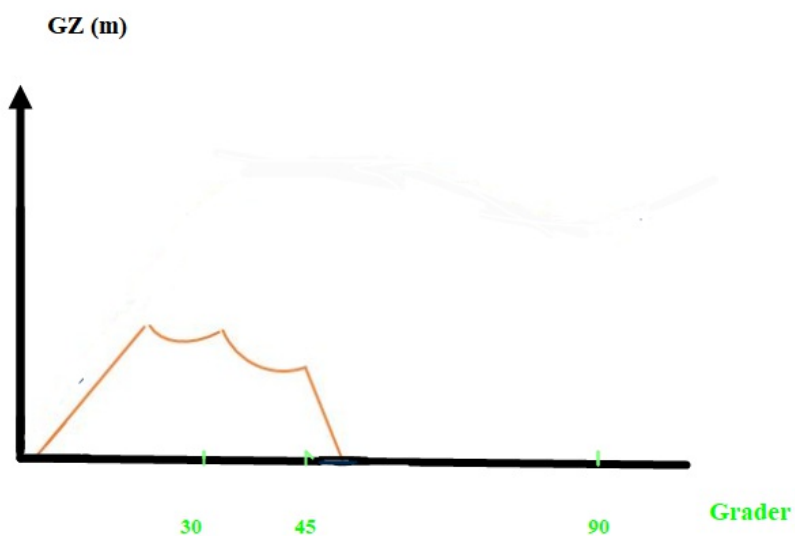


— Antatt plassering av vannlinje og med effektiv antatt bredde.

Figur 0262 Fiskebåt med 90 graders krenkning

Figur 0262 antatt plassering av vannlinje og med antatt effektiv bredde i vannlinjen ved 90° list.

Hvis man ser nøye etter på figur 0264 så er setterlukene åpne (i hekken) men dragelukken er lukket. Hvordan blir GZ kurven når de står åpne? Kanskje den blir sånn som i figur 0263? Med lukene åpne så blir stabiliteten kraftig endret.



Figur 0263 GZ kurve med settelukene åpne



Figur 0264 settelukene.

Skissen i figur 0260 har betegnelsen SC21 «MAX» og fikk navnet «Fay», tegnet og konstruert av Seacon (Måløy) og bygget av Stadyard på Raudeberg. Det var en kombinert line- og garnbåt, med lengde på 20,99 meter kom den inn under kvotegrunnlaget for fiskefartøy mellom 15 og 21 meter. Fay ble satt i drift november 2018 og i desember 2019 forliste den under setting av line nordøst for Honningsvåg. Værforhold var sterk kulling og 2 - 3 meter bølgehøyde da ulykken inntraff. Et strøbrudd førte til at styringssystemene og hydraulikken om bord sviktet (motorstans på hjelpemotor). Styremaskin fungerte ikke etter strømstansen og båten mistet styringen, ugunstig kursretning gjorde at båten begynte å krenge og det kom sjø inn setteluka. Med svikt i hydraulikksystemet så var det ikke mulig å få stengt settelukene. Hele besetningen ble reddet av redningshelikopters i tide før båten sank. Staten Havarikommisjon avdeling sjøtransport har iverksatt undersøkelse av forliset med type hendelser: Stabilitetssvikt, forsvunnet/savnet fartøy, teknisk svikt, fremdrift eller hjelpemaskineri.

Det foreligger ingen utarbeidet rapport i fra undersøkelsesmyndigheten ennå, men rapporten skal gjøres tilgjengelig innen 12 måneder etter at ulykken inntraff. Dersom dette ikke er mulig, skal undersøkelsesmyndigheten utgi en foreløpig rapport innen 12 måneder.

M/S Fay overlevering fra verftet ble to måneder forsinket på grunn av utfordring rundt stabilitetsberegningene. Det er hevdet at det ble tilført vekt i kjølen i dette tidsrommet. SC21 «MAX» var et nytt konsept og nytt fartøydesign, der lastevolumet var på 190 m³. M/S Fay ble ombygget i løpet av våren 2019 for å øke ballastkapasiteten men det er fortsatt uvisst om denne ombyggingen fikk innvirkning på stabiliteten? Det er allerede tatt til ord innenfor næringen som vil skrote begrensinger på lengde og bredde og heller legge begrensinger på lastevolum. Det er strenge krav til stabiliteten for fiskebåt med denne størrelsen, viser til *Forskrift om konstruksjon, utstyr, drift og besiktelser for fiske- og fangstfartøy med største lengde på 15 meter og derover* (Lovdata.no). Her kan nevnes: **Minstekrav til stabilitet som skal være oppfylt:** GM ikke mindre enn 0,35 meter, Arealet under GZ-kurven skal ikke være mindre enn 0,055 meterradianer opp til 30 graders krenningsvinkel og ikke mindre enn 0,090 meterradianer opp til 40 grader eller fyllingsvinkelen φ_f dersom denne vinkelen er mindre enn 40 grader. I tillegg skal arealet under kurven mellom krenningsvinklene på 30 grader og 40 grader eller mellom 30 grader og φ_f hvis denne vinkelen er mindre enn 40 grader, ikke være mindre enn 0,030 meterradianer. Den rettende arm skal være minst 200 millimeter ved en krenningsvinkel som er lik eller større enn 30 grader. Største rettende arm GZ_{max} skal inntreffe ved en krenningsvinkel som fortrinnsvis er større enn 30 grader men som ikke er mindre enn 25 grader. Fartøyets metasenterhøyde (GM) i lett tilstand skal være positiv. For fartøy med lengde (L) under 24 meter, skal i tillegg den rettende arm for krengevinkler mellom 40 og 65 grader ikke noe sted være mindre enn 100 millimeter, og positiv opp til 80 grader (utstrekning), når det ses bort fra fylling gjennom luker, dører, lenseventiler e.l. som må stå åpne under

drift, men som raskt kan lukkes værtett. **Værtette dører:** Alle adkomståpninger i skott til lukkede overbygninger og andre ytre oppbygninger som vann kan trenge inn gjennom og derved sette fartøyet i fare, skal være utstyrt med dører permanent festet til skottet. Dørene skal kunne lukkes værtett og være innrammet og avstivet slik at hele konstruksjonen er av tilsvarende styrke som skottet for øvrig. Innretningene til å sikre at disse dørene er værtette skal bestå av pakninger og tilsettingsanordninger eller andre likeverdige midler og skal være permanent festet til skottet eller dørene. Dørene skal være anordnet slik at de kan betjenes fra begge sider av skottet. **Vanntette dører:** Antall åpninger i vanntette skott som fastsatt i § 2-1 tredje ledd skal reduseres til det minimum som er forenlig med fartøyets arrangement og driftsmessige behov.

Åpninger skal være utstyrt med vanntette lukningsmidler i henhold til § 2-1 første ledd. Vanntette dører skal ha tilsvarende styrke som skottet de er anbrakt i. (2) På fartøy med lengde (L) under 45 meter kan slike dører være av hengslet type. Dørene skal kunne betjenes lokalt fra begge sider og normalt holdes lukket i sjøen. Et oppslag om at døren skal holdes lukket i sjøen, skal festes på begge sider av døren. Vanntette skyvedører skal kunne betjenes når fartøyet krenger inntil 15 grader til hver side. Vanntette skyvedører skal, enten de betjenes manuelt eller på annen måte, kunne betjenes lokalt fra hver side av døren. For fartøy med lengde (L) på 45 meter og derover skal disse dørene også kunne betjenes ved fjernstyring fra et tilgjengelig sted over arbeidsdekket, unntatt når dørene er anbrakt i innredningen for besetningen. **Vanntett integritet:** Utvendige åpninger skal kunne lukkes værtett for å forhindre at vann trenger inn i fartøyet. 1 Luker i dekk som kan være åpne under fiske, skal normalt være arrangert nær fartøyets senterlinje. I større lukedekslar, over 4 m², skal det til bruk under drift være anbrakt små lukedekslar nærmest mulig fartøyets senterlinje. Større lukedekslar skal ha tilsetninger også på eventuell hengselside. Hengslede lukedekslar skal kunne sikres i åpen stilling. Sjøfartsdirektoratet kan godkjenne andre arrangementer dersom sikkerheten ikke reduseres.) Fiskeluker på hekktrålere skal være kraftoperert og kunne betjenes fra et sted der det er fritt utsyn til lukene.

I tillegg skal det utarbeides sju forskjellige lastetilstander (driftstilstander), eget krav til ising, krengeprøve.

Ringnotsnurper: Ringnot er et fiskeredskap som brukes for å fange stimfisk. Den består av ei stor not som settes rundt stimen og snurpes sammen i bunnen. I norske farvann brukes ringnot for å fiske sild, brisling, makrell, lodde, sei og kolmule. Den eldste typen er snurpenot og ble brukt fra fartøyer kalt snurperer fram til midten av 60 tallet. Nota ble dratt sammen fra småbåter (doryer) og fortøyd langs sida av snurperen. Fangsten ble tatt om bord i snurperen ved hjelp av en håv. På midten av 1960-tallet overtok ringnotsnurperne. De setter og tar sammen nota fra hekken av båten med kraftblokk eller not vinsjer, kraftblokken gjorde sitt inntog i 1957. Nota har blylodd og flytelegemer av plast så den skal flyte riktig. Snurpelina er en stålvajer. I begynnelsen brukte de håv men etter hvert ble fisken pumpet ombord ved hjelp av ei fiskepumpe. Ringnot og kraftblokk ble introdusert i fiskeflåten på midten av sekstitallet som en videreutvikling av den eldre snurperen med doryer.



Figur 0265 M/S Hugo Trygvason

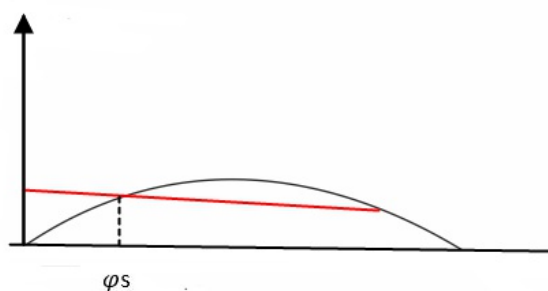
Hugo Trygvason ble ombygget til ringnotsnurper i 1965 BRT 593, opprinnelig en hvalbåt, fisket sild og lodde. Figur 0265 viser Hugo Trygvason inn fra feltet for å losse fangst, som bildet viser er det lite fribord og vann på dekk. Ved lastning av fangst på feltet, håv første år og senere pumpe, så ble det tilført vann i lasterommet men dette ble lenset ut med en pumpe i løpet av kort tid. Det første året brukte den posebåt og håv, på den første turen hadde den trebinger på dekk for fangst men det medførte at den ble for «tung» og disse ble fjernet. På den andre turen i Austhavet på vei til Honningsvåg for å losse, ble snurperen overasket med Nordøstlig storm rett nord om Berlevåg. Det kom sjøvann på oljetankene og motoren stoppet, snurperen drev på tvers i stormen og det ble besluttet og låre den ene posebåten. De fleste av mannskapet gikk om bord i båten mens noen få tok seg frem på bakken med livet som innsats, holdt på å bli skylt over bord, for å la gå det ene ankeret. Etter

en stund fikk ankeret feste i bunnen og baugen rettet seg opp mot været og til slutt fikk de start på motoren. Hugo Trygvason fikk assistanse av en redningsskøyte og et kystvaktskip. Det viste seg i ettertid at det var kommet 60 Tonnes med sjøvann på oljetankene.



Figur 0266 .M/S Grimsholm.

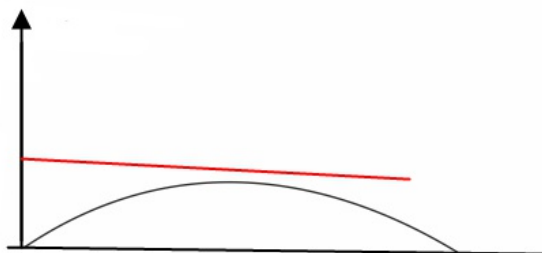
Figur 0266 viser M/S Grimsholm i Nordsjøen (1964) etter å ha fått et kast med 4000 hl makrell i nota. Dette var lenge det største kastet som var tatt opp. I følge skipperen så var det en ny og overdimensjonert not og i tillegg stod det folk klar med øks for å hogge av nota i kraftblokka. Det store kreggende moment skyldes at nota i kraftblokka har stor mengde, samt at det hives inn med håv. Bomnokken til håven har også høyt tyngdepunkt. Et annet faremoment er at makrell ikke har svømmeblære og den må holde seg i bevegelse hele tiden for unngå å synke Hvis nota strammes for mye inn, dras for tett sammen, synker makrellen og den vil medføre en kjempetyngde. Det er flere båter som har kantret og blitt dratt nedover i havet på grunn av dette slik som med M/S Kjellungen i 1972.



Figur 0267 Illustrerende GZ med kreggende arm for ringnotsnurper med not i kraftblokken og som håver inn fangst.

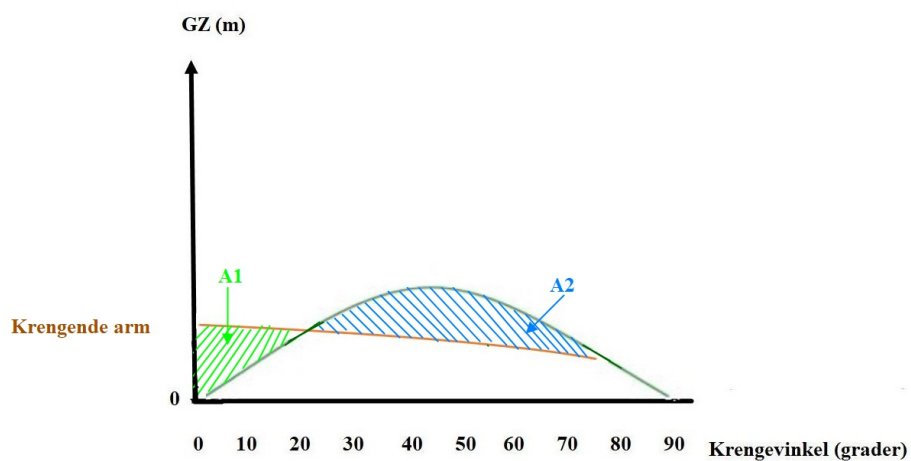
Ved å betrakte de to ringnotsnurpene ovenfor så ser man: Lite fribord, vann på dekk, vann i lasterommet (FSM midlertid), vekt av not i kraftblokken, våt og tung not som hales inn oppe på galgedekk, vekt av håv med høyt tyngdepunkt, og i tillegg bølger og vind. Resultatet blir en begrenset GZ kurve og et relativt stort kreggende moment som medførte at det var en del ringnotsnurpere som kantret over og gikk fortapt på 50 og 60 tallet.

Statisk stabilt: Fra figur 0267 er φ_s (φ statisk) tegnet inn. Her er rettende arm og kregende arm like stor (likevekt). Skipet er da statisk stabilt. Hva blir statisk ustabil? Figur 0268 viser eksempel på statisk ustabil.

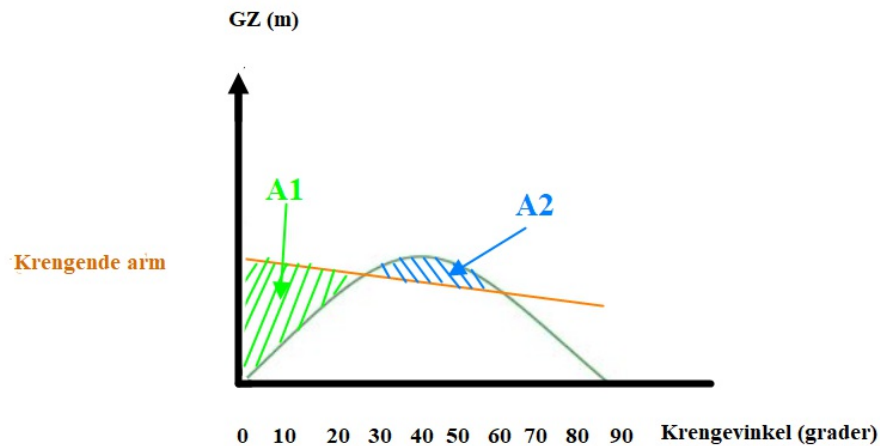


Figur 0268 Statisk ustabil

Dynamisk stabilt og dynamisk ustabil:



Figur 0269 Viser statisk stabilt og dynamisk stabilt



Figur 0270 Viser statisk stabilt og dynamisk ustabil.

Ulykkene med ringnotsnurpere og snurpere på 50 og 60 tallet som nevnt ovenfor skyldes som oftest at de var statisk stabil men dynamisk ustabil. Fra figur 0269 og figur 0270 ser man lett om det er dynamisk stabil eller ustabil, hvis arealene (A1 og A2) er omtrent like store så må de beregnes med hjelp av Simpson formel for å bestemme hvem som er størst



Figur 0271 viser cruiseskip Anthem of the Seas

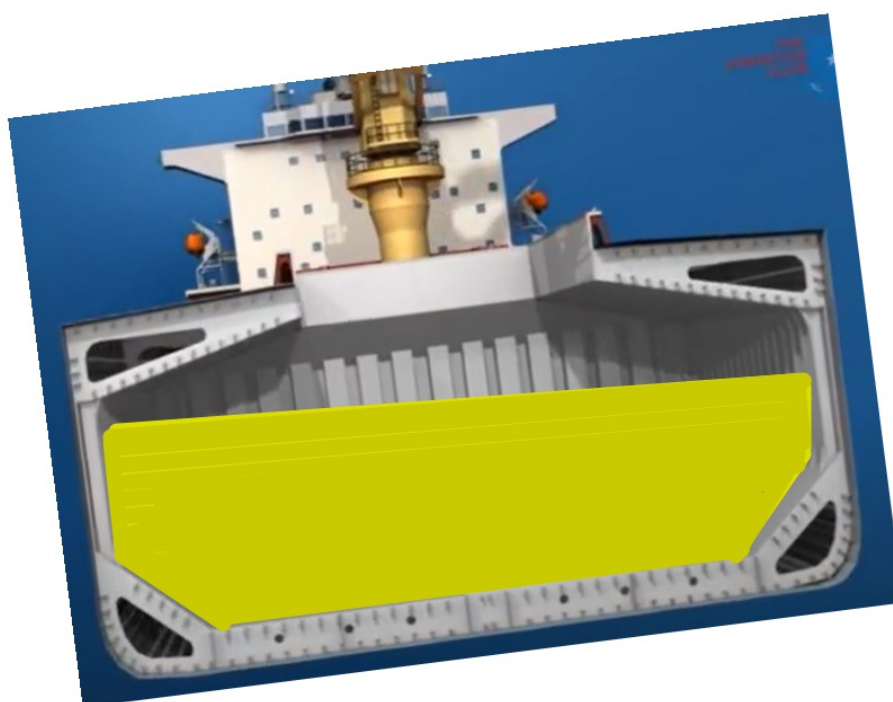
Moderne Cruiseskip og sjødyktighet:

Det er fra flere hold hevdet at store og moderne cruiseskip ikke er sjødyktige, er topptung og ustabil. I februar 2016 var cruiseskipet «Anthem of the Seas» på vei fra New York til Port Canaveral (Florida) da den kom ut i en forrykkende orkan. Det ble rapportert vindkast på 150 - 160 knop og bølgehøyde på 10 meter fra søndags ettermiddag til mandagsmorgen. Skipet returnerte tilbake til New York, det var kun fire passasjerer som fikk lettere skader. Det var 4529 passasjerer og 1616 mannskap om bord, bølger slo inn på femte promenadedekk og slo av deler av et glassfiberskott som landet i svømmebassenget. Skipet har Brutto tonnasje: 168,666, lengde: 347,06 meter, Bredde: 49,4 meter(maks) og 41,4 meter i vannlinjeplanet og dypgående er 8,80 meter. Et skip kan ikke bedømmes kun etter sitt utseende men Stabilitet avhenger av mange faktorer - skipets

vertikale tyngdepunkt, tregghetsmomentet til vannlinjeplanet, areal under rettende arm kurve (GZ), vindstyrke, fri væskeoverflate effekt og så videre. Skipet har stor bredde i vannlinjeplanet og dette gir meget god formstabilitet, samt at det er brukt lette konstruksjons elementer i øvre del av overbygning.

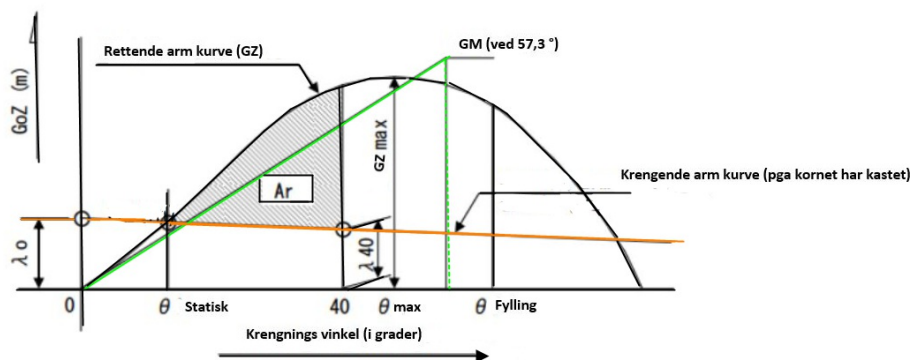
GZ kurve med korn (last) som har kastet

Etter den 2. verdenskrig så var det et stort behov for transport av matprodukter, spesielt til Japan som ikke har jordbruksland, her ble det fraktet store mengder med korn på bulkskip. Kornet har en glatt overflate og har en rasvinkel (hvilevinkel) på om lag 30 grader. Det medførte at det var mange ulykker med bulkskip på 40, 50 og 60 tallet. Figur 0272 illustrerer tilstanden til et lasterom hvor kornet har kastet, tyngdepunktet til lasterommet er skjøvet ut til siden og samtidig flytte seg vertikalt oppover. I SOLAS 1948 kom det krav til kornlasting, ved dannelsen av IMO så kom det regler for kornlasting i 1960 og 1969, men det var i SOLAS 1974 at det ble innført å beregne kreggende moment ved kornkasting med sikkerhetsmargin på 6 % på fylte rom og 12 % for delvis fylte rom. Senere kom en egen kode for lasting av korn i 1991 (International grain code). Kapittel VI i SOLAS omhandlet lenge bare om kornlasting.



Figur 0272 viser et delvis fylt lasterom med korn på et bulkskip som har kastet.

Et skip som foretar eksempelvis et tungløft vil få et kreggende moment i noen minutter men et bulkskip med lasterom der kornet har kastet vil få kreggende moment som vedvarer helt til lossehavnen. Et bulkskip som laster korn må ha null list etter at lastingen er komplett, φ statisk ved kasting kan maksimum være 12 grader. Det er krav til areal (gjenstående) på GZ kurven etter at kornet har kastet og det er 0,075 meterradianer.



Figur 0273 GZ kurve ved kornlasting

Figur 0273 viser GZ kurve ved kornlasting, Ar = Area Residual som betyr gjenstående areal. Alt som kommer under den krengende arm kurven er forspent stabilitet og det er derfor det er krav til Area Residual. Hvordan gjør man det? Det gjøres på et kornskjema (Kanadisk), først beregnes og tegnes en aktuell GZ kurve, så beregnes krengende arm for null grader og for førti grader ($\lambda 0$ og $\lambda.40$) og disse settes ut som to punkter på GZ kurven. Det tegnes en linje mellom disse to punktene, som er den oransje linjen på figur. Ved for eksempel på 15 grader måles den rettende arm og verdien av den setter man inn på 1st korrekted Gz verdi i 15 grader rubrikken. Det samme gjør man med den krengende arm for samme vinkel og den setter man inn i upsetting arm rubrikken. Den helt korrekte GZ verdi beregnes slik = Rettende arm (15 grader) - krengende arm (15 grader).

CORRECTION OF GZ VALUES									
Angles of heel	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Gz value from cross curves									
Corrections for diff. of Kg's									
1st corrected Gz values (see note III)			34						
Upsetting arm ordinates (see note II)			13						
Fully corrected Gz values			21						

Verdier oppgitt i millimeter

Figur 0274 Tabell i fra kornskjema der man beregner den gjenstående rettende arm

Siden alt av den rettende arm under den krengende arm er forspent så beregnes det gjenstående arealet mellom φ statisk og 40 grader. Krav for å beregne areal etter Simpsons formel er at antall ordinater er oddetall og at avstand (a eller intervall) mellom de er den samme. Hvis det er nødvendig med repetisjon for beregning av areal med Simpsons formel, se K12 Lærebok i lastbehandling kapittel 1 (www.marfag.no <http://www.marfag.no>)

SIMPSON'S PRODUCT FOR AREA		
Selected ordinate	S.M.	Product for area
	1	
	4	
	2	
	4	
	2	
	4	
	1	
Sum of products		▶

$$\text{Area under curve} = \frac{\text{selected interval} \times \text{sum of products}}{3}$$

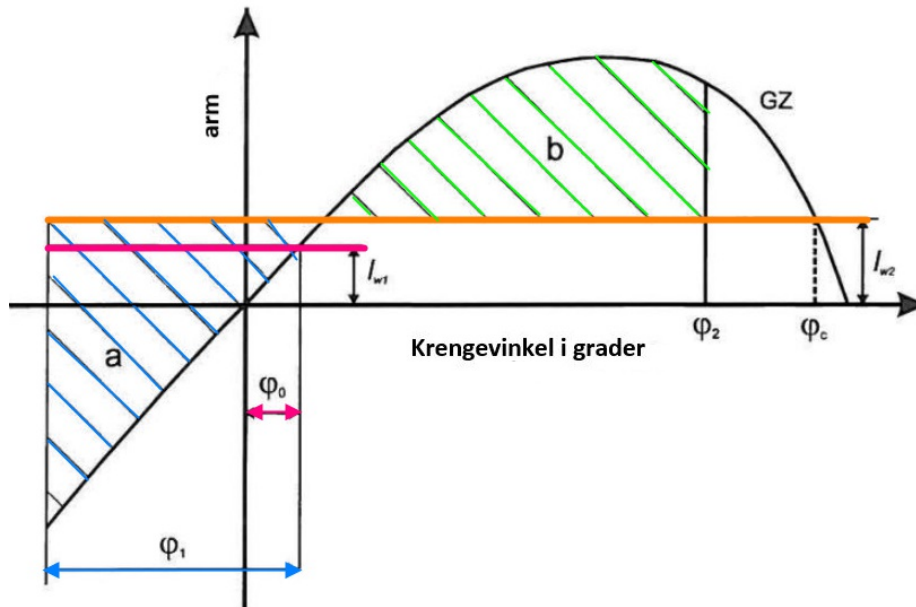
Figur 0275 viser tabell og Simpson faktor for beregning av produkt (kornskjema), den under er formel for Areal.

Fra IMO Internasjonale kode på intakt stabilitet 2008 (SOLAS 1974)

Kodens formål er å presentere obligatoriske og anbefalende stabilitetskriterier og andre tiltak for å sikre sikker drift av skip, for å minimere risikoen for bestemte typer skip, til personellet om bord og til miljøet. Del A av koden adresserer de obligatoriske kriteriene og del B inneholder anbefalinger og tilleggs retningslinjer. Fra kapittel 2 (del A): 2.3 Ekstrem vind og rulle kriterium.

Evnen til et skip å motstå de kombinerte virkningene av tverskips vind og rulling skal være demonstrert som følger:

1. Skipet utsettes for et konstant vindtrykk som virker vinkelrett på skipets senterlinjen som medfører et konstant kregende vind arm lw_1 (som er under den røde kregende arm kurven).
2. Fra likevekts vinkelen φ_0 , antas skipet å rulle over til babord på grunn av bølger for så å rulle i mot styrbord til en rullevinkel φ_1 med vinden. Denne rullevinkel med konstant vind skal ikke overstige 16 grader eller 80 % av vinkelen der dekkshjørnet kommer i vannet.
3. Skipet skal så bli utsatt for en kastevind som medfører kregende vind arm lw_2 (under den oransje kregende arm kurven)
4. Under disse omstendigheter skal areal av b være like stor eller større enn areal a (se figur ...). Der φ_2 er fyllings vinkel φ_f eller 50 grader, (der den som er minst gjelder).



Figur 0276 GZ kurve som har vind og kastevind, samt rullebevegelse (bølger).

Der formel for $l_{w1} = (P \times A \times Z) / 1000 \times g \times \Delta$, (m)

P = vindstyrke på 50 knop (504 Pascal) (Pa), men denne kan bli redusert av administrasjonen der skipet fører flagg)

A = prosjektert tverrskipsareal av skipet og dekklasten som er over vannlinjen (m^2)

Z = Vertikal arm fra senter av A til $T/2$ (dypgang/2) (m)

Δ = Vektdeplasement (Tonnes)

g = gravitasjons akselerasjon ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Formel for $l_{w2} = 1,5 \times l_{w1}$, (m)

Formel for $\varphi_1 = 109 \times k \times X1 \times X2 \times \frac{\sqrt{T \times s}}{1}$, (grader)

Faktor $X1$ tar man ut av en tabell med forholdet bredde/ dypgang, faktor $X2$ tar man ut av en tabell for CB, k tar man ut av en tabell som er beregnet etter formel $= Ak \times 100 / LWI \times B$. (Ak er total areal av slingringskjøl, LWI er lengde i vannlineplan og B er bredde på spant, $r = 0,73 + 0,6 \text{ OG}/d$ der $\text{OG} = \text{KG} - d$ (dypgang), s er faktor som man tar ut av en tabell på grunnlag av rulleperioden (T)).

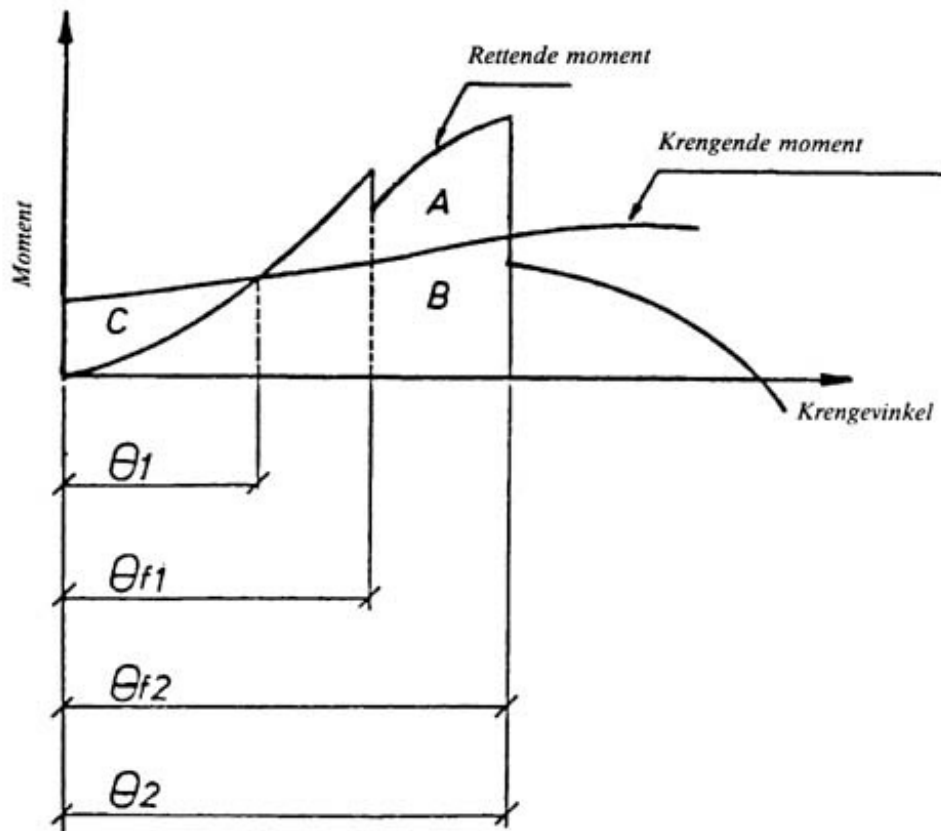
Fra lovdata: Forskrift om stabilitet, vanntett oppdeling og vanntette/værtette lukningsmidler på flyttbare innretninger

1. Generelle krav for innaktstabilitet.

$$\text{Krav: } (A + B) \geq k \cdot (B + C)$$

$k = 1,4$ for boreskip og oppjekkbare boreplattformar.

$k = 1,3$ for halvt nedsenkbare boreplattformar.



$\theta_1 =$ Statisk krengevinkel.

$\theta_{f1}, \theta_{f2}, \dots, \theta_{fn} =$ Krengevinkler der åpninger uten værtette lukningsmidler blir neddykket.

$\theta_2 =$ Andre kryssing mellom kurvene for rettende og kregende moment.

Fig. 1
Intakt stabilitet

- Statisk krengevinkel på grunn av vind (θ_1) skal i enhver tilstand ikke overstige 17° .
- «Andre kryssing» mellom kurven for rettende moment og kurven for vindmoment (θ_2) skal skje ved en vinkel som er 30° , eller større. «Andre kryssing» er definert som det punkt der kurven for rettende moment korrigeret for mulig progressiv fylling krysser kurven for vindmoment for annen gang.
- Kurven for rettende moment skal være positiv over hele området fra opprett til andre kryssing.

2. Tilleggskrav for innretninger av skipstype og oppjekkbare innretninger:

- Metasenterhøyden (GM) skal være 0,5 m eller større.
- Arealet under kurven for rettende moment opptil «andre kryssing», eller eventuelt til en mindre vinkel, skal minst være 40% større enn arealet under kurven for vindmoment regnet opp til den samme begrensende vinkel.

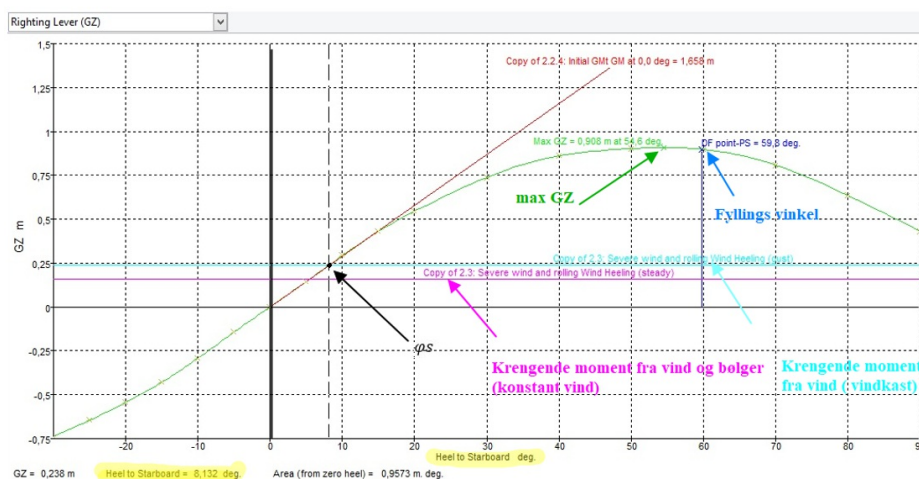
3. Tilleggskrav for halvt nedsenkbare innretninger.

a) Metasenterhøyden (GM) skal være minst 1,0 m for alle operasjons- og forflytningstilstander samt sikkerhetstilstanden. Metasenterhøyden skal aldri være mindre enn 0,3 m i temporære tilstander.

b) Arealet under kurven for rettende moment opp til «andre kryssing», eller eventuelt til en mindre vinkel, skal minst være 30% større enn arealet under kurven for vindmoment begrenset av den samme vinkel.

4. Forutsatt at en tilsvarende standard av sikkerhet er opprettholdt, kan alternative intaktstabilitetskrav tillates av Sjøfartsdirektoratet, for eksempel basert på modellprøver, jf. § 4.

Legg merke til at kurvene er tegnet opp som moment og ikke som arm. Rettende moment: $\Delta \times$ rettende arm.



Figur 0277 GZ kurve med konstant vind, kastevind og fyllingsvinkel.

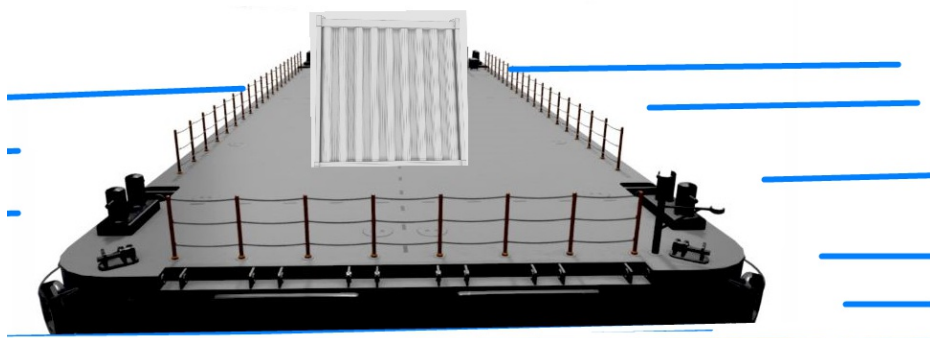
Fyllingsvinkel: Fyllingsvinkelen er den krengevinkel der den nederste kant av åpninger i skroget, overbygningen eller i dekkshus, som ikke kan lukkes værtett kommer under vann. Det er dette som gir begrensinger til «Si» (se kapittel 1 «probabilistiske metode»).

Kapittel 3: Oppvarming med pram beregninger

Oppgaver med pram / Oppvarming til lekkstabilitet

Oppgaver

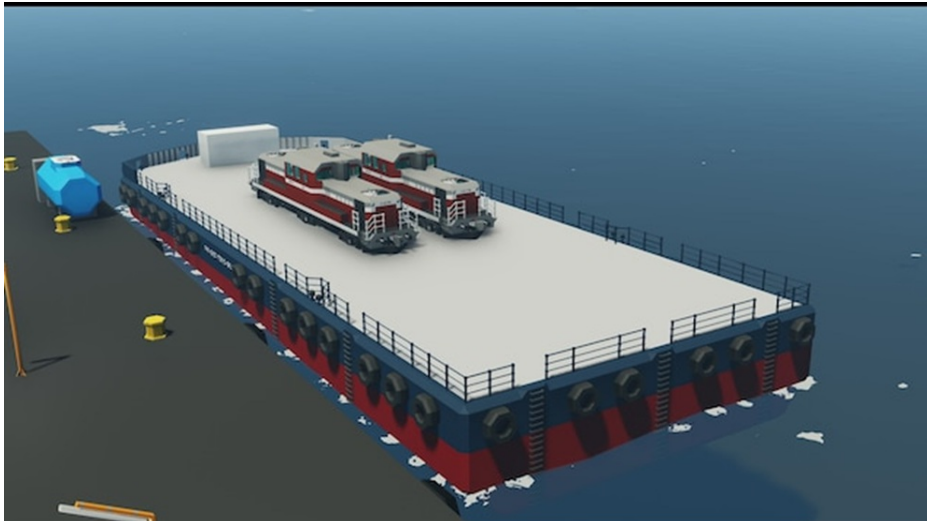
En pram har rektangulær form, CB (blokk-koeffisient) = 1, med å ha kjennskap til deler av hydrostatiske verdier så kan flere andre beregnes ved hjelp av dette. AW (vannlinjeareal) blir det samme for alle dypganger. Tykkelsen på bunnplater, sideplater osv tas ikke med i beregningene. Formstabilitet $KM = KB + BM$, $KB = \text{Dyppgående}/2$ og $BM = IT/\nabla$, IT (Tregghetsmoment i vannlinjeareal tverrskips) = $IT = \text{blir helt nøyaktig beregnet etter formel: } IT = (L \times B^3)/12$. Ved å kunne beregne nøyaktig AW, nedsynking og IT til enhver tilstand gjør at pram er mye benyttet til lekkstabilitet. Oppvarmingsoppgavene er i innaktstabilitet tilstand.



Oppgave 1.

En pram med mål: 35 m L, 10 m B og 7,5 m H. Fribord = 3m. KG = 3,50 m

- a) Hva er Δ ?
- b) Hva er GM?
- c) Hva er AW?
- d) Hva er TPC?
- e) Det plasseres en rektangulær kasse oppe på dekk (ingen trim eller list), vekt 25 Tonnes. Kassen mål: 4 m L, 2m B og 3 m H. Tyngdepunkt er i senter. Hva blir ny T? (Beregn ved hjelp av TPC)
- f) Hva blir ny GM?

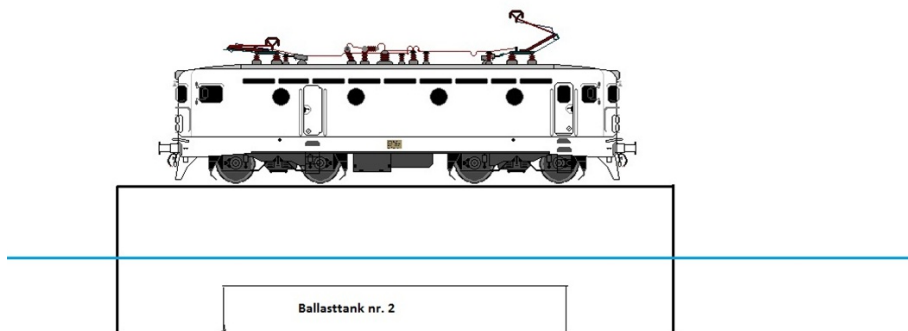


Oppgave 2

En pram med mål: 60 meter L, 20 m B og 7 m H. Det plasseres 2 like tunge lokomotiver om bord. Dypgangen økes med 13,33 cm. Prammen ligger i sjøvann (1,025 tonn/m³).

- a) Hva er vekten til 1 lokomotiv?
KG til prammen var 3,50 m før lokomotivene blir tatt om bord. Prammens dypgående var da 2,0 m. Tyngdepunktet til lokomotivene er 2,20 m over dekket.
- b) Hva var GM? (før lastingen)
- c) Hva blir GG1? (etter at lokomotivene er tatt om bord)

Oppgave 3



En pram (se figur over) har mål: 20 m L, 6 m B og er 5 m H. Lettskip data er $T = 2,0$ m og GM er = 1,0 m. Det skal transportere en jernbanevogn som har mål: 18 m L, 3,5 m H, vekt = 50 Tonnes og tyngdepunktet er 1,0 m fra skinnegangen, transporten blir foretatt i en sjø som har tetthet 1,025 tonn/m³. Vognen blir lastet om bord i prammen ved hjelp av en krane og plassert på jernbaneskinner (på dekk). Prammen har ingen trim etter at J. Banevognen er lastet om bord.

Det ønskes et fribord på 2,01 m når prammen ankommer kaien fordi den skal kjøres av (kaien er utstyrt med jernbaneskinner).

Det skal kun benyttes ballasttank nr. 2, fordi den forårsaker ikke trim, ballasttank nr. 2 mål er: 12 m L og 5,83 m B og 2 m H (er rektangulær i form).

Beregn hvor mye ballast som må fylles og hva er GM når prammen ankommer kaien?

Innfrir prammen myndighetene sine krav til GM? (0,15 m)

Løsningsforslag: oppgave 1

a) Hva er Δ ? Beregner volumdeplasement: $L \times B \times T \times (CB) = 35 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} = 1575 \text{ m}^3$

$$\Delta = \nabla \times p = 1575 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ t/m}^3 = 1614,37 \text{ Tonnes}$$

b) Beregner KB, $KB = T/2 = 4,5 \text{ m} / 2 = 2,25 \text{ m}$. $BM = I / \nabla = (L \times B^3 / 12) / \nabla$

$$BM = (35 \text{ m} \times (10 \text{ m})^3 / 12) / 1575 \text{ m}^3$$

$$BM = 1,85 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM = 2,25 \text{ m} + 1,85 \text{ m} = 4,10 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 4,10 \text{ m} - 3,50 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$$

c) $AW = L \times B \times CW = 35 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 1 = 350 \text{ m}^2$

d) $TPC = AW \times p / 100 = 3,58 \text{ tonn/cm}$

e) Endring i T (nedsynking) = $\text{Vekt} / \text{TPC} = 25 \text{ Tonnes} / 3,58 \text{ Tonn/cm} = 6,96 \text{ cm} \approx 0,07 \text{ m}$.

$$\text{Ny } T = T + \text{nedsynking} = 4,5 \text{ m} + 0,07 \text{ m} = 4,57 \text{ m}$$

f) $GG1 = \text{vekt} \times \text{arm} / \Delta + \text{vekt} = 25 \text{ Tonnes} \times (9 \text{ m} - 3,50 \text{ m}) / 1614,37 \text{ Tonnes} + 25 \text{ Tonnes}$

$$GG1 = 0,08 \text{ m}$$

$$KG1 = KG + GG1 = 3,50 \text{ m} + 0,08 \text{ m} = 3,58 \text{ m}$$

Økning i Δ gir forandring i BM og KB

$$KB = T/2 = 4,57 \text{ m} / 2 = 2,285 \text{ m}$$

$$BM = I / \nabla = (L \times B^3 / 12) / \nabla$$

$$BM = 1,82 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM = 2,285 \text{ m} + 1,82 \text{ m} = 4,105$$

$$G1M = KM - KG1 = 4,105 \text{ m} - 3,58 \text{ m} = 0,52 \text{ m}$$

Løsningsforslag: oppgave 2

a)

Ved TPC: $TPC = \text{Tonn/cm}$, $TPC = AW \times \rho / 100 = 60 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 100 = 12,30 \text{ Tonn/cm}$. $TPC = \text{Vekt/cm} \rightarrow \text{Vekt} = TPC \times \text{cm} = 12,30 \text{ Tonn/cm} \times 13,33 \text{ cm} = 163,95 \text{ Tonnes} \approx 164 \text{ Tonnes}$.

1 lokomotiv veier = $164 \text{ Tonnes} / 2 = 82 \text{ Tonnes}$. Ved metode: $\nabla = AW \times h$, $h = \text{økning i dypgående (m)}$. $\text{Økning i } \nabla = 60 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 0,1333 \text{ m} = 159,96 \text{ m}^3$.

Økning i vekt: $\text{Økning i } \nabla \times \rho = 159,96 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 163,95 \text{ Tonnes} \approx 164 \text{ Tonnes}$. 1 lokomotiv = $164 \text{ Tonnes} / 2 = 82 \text{ Tonnes}$.

b)

$GM = KM - KG$, $KM = KB + BM$. $KB = T/2$. $BM = I/\nabla$. $KB = 2 \text{ m} / 2 = 1 \text{ m}$. $BM = (L \times B^3 / 12) / \nabla = (60 \text{ m} \times 20 \text{ m}^3 / 12) / 2400 \text{ m}^3 = 16,66 \text{ m}$

$KM = 1,0 \text{ m} + 16,66 \text{ m} = 17,66 \text{ m}$. $GM = KM - KG = 17,66 \text{ m} - 3,50 \text{ m} = 14,16 \text{ m}$.

c)

$GG1 = \text{Vekt} \times \text{arm} / \Delta + \text{vekt}$. $GG1 = 164 \text{ Tonnes} \times (9,20 \text{ m} - 3,50 \text{ m}) / 2460 \text{ Tonnes} + 164 \text{ Tonnes}$. $GG1 = 0,356 \text{ m} \approx 0,36 \text{ m}$.

Løsningsforslag: oppgave 3

$$\nabla = \text{Til Lettpram} = L \times B \times T = 20, \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 240 \text{ m}^3, \Delta = 240 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 246 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Beregner KG ved hjelp av } GM = KM - KG, KG = KM - GM$$

$$KM = KB + BM$$

$$KB = T/2 = 2/2 = 1,0 \text{ m}$$

$$BM = I/\nabla = L \times B^3 / 12 / \nabla = 20 \text{ m} \times (6\text{m})^3 / 12 / 240 \text{ m}^3 = 360 \text{ m}^4 / 240 \text{ m}^3 = 1,5 \text{ m}$$

$$KM = 1,0 \text{ m} + 1,5 \text{ m} = 2,5 \text{ m}$$

$$KG = 2,5 \text{ m} - 1,0 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

$$\Delta \text{ med jernbanevogn} = 246 \text{ Tonnes} + 50 \text{ Tonnes} = 296 \text{ Tonnes}$$

$$T \text{ med fribord } 2,01 \text{ m} = 5,00 \text{ m} - 2,01 \text{ m} = 2,99 \text{ m}$$

$$\Delta \text{ ved } T \text{ } 2,99 \text{ m} = \nabla \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 20 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2,99 \text{ m} = 358,8 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 367,77 \text{ Tonnes.}$$

$$\text{Må fylle ballast: } 367,77 \text{ Tonnes} - 296 \text{ Tonnes} = 71,77 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Volum ballast} = 71,77 \text{ Tonnes} / 1,025 = 70 \text{ m}^3, \text{ høyde i ballasttank: } 70 \text{ m}^3 / 12 \text{ m} \times 5,83 \text{ m} = 1,0 \text{ m}$$

$$\text{Tyngdepunkt} = 1,0 / 2 = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{FSM for ballast tank} = I \times \rho = 12 \text{ m} \times (5,83 \text{ m})^3 / 12 \times 1,025 = 203,10 \text{ TM}$$

$$\text{Beregner KG, tyngdepunkt til j. banevogn} = 5 \text{ m} + 1,0 \text{ m} = 6 \text{ m}$$

Plassering	Vekt (Tonnes)	Arm (m)	Moment (TM)
Pram	246	1,5	369
J. Vogn	50	6	300
ballast	71,77	0,5	35,85
Ballast FSM			203,10
Nytt Δ	367,7	Sum momenter =	907,98

$$KG_2 = \text{sum momenter (inkludert FSM)} / \Delta = 907,98 \text{ TM} / 367,7 \text{ Tonnes} = 2,469 \text{ m} \approx 2,47 \text{ m}$$

$$G_2M = KM - KG_2$$

$$KM = KB + BM, KB = T/2 = 2,99 \text{ m} / 2 = 1,495 \text{ m}$$

$$BM = I/\nabla = L \times B^3 / 12 / \nabla = 360 \text{ m}^4 / 358,73 \text{ m}^3 = 1,0 \text{ m}$$

$$KM = 1,495 \text{ m} + 1,0 \text{ m} = 2,495 \text{ m}$$

$$G_2M = 2,495 \text{ m} - 2,47 \text{ m} = 0,025 \text{ m (ikke ok) (krav} = 0,15 \text{ m)}$$

Kapittel 4: Deterministisk beregninger: «tapt oppdrift» og «Tilført vekt» metodene

Hva skjer med et skip som har fått skade etter for eksempel en kollisjon? Tap av volum under vannlinjen, dypgående økes, fribord minkes, forandring i trim eller i list. Det vil bli forandring i stabiliteten til skipet.

Her er det to metoder som blir benyttet: tapt oppdrift- og tilført vekt-metoden. Begge metodene de kommer under betegnelsen: deterministiske beregninger. Deterministisk kommer av det engelske ordet to determine = «å bestemme». Hvis et skip skal foreta en sjøreise og vi vet distanse, skipets hastighet, vind og strøm, da kan vi forutse forløpet ved hjelp av kjente lover fra fysikken og kan beskrive det som skjer presist, for eksempel ved å bruke uttrykk fra matematikken til å anslå ankomsttid. Det som skjer, kan kalles deterministisk, resultatet er gitt fra betingelsene.

Kjenner man til alle egenskaper ved ett tidspunkt, så kan man forutsi alle egenskaper ved et senere tidspunkt. Krav til stabilitet med et begrenset antall skadede avdelinger. Beregningene er basert på standard dimensjon av skade som strekker seg overalt langs skipets lengde eller mellom tverrgående vanntette skott, avhengig av de relevante kravene. Det deterministiske konseptet er basert på gitte skadeforutsetninger (skadelengde, tverrgående utbredelse, vertikal utstrekning). Avhengig av skipstype, antall passasjerer eller potensiell risiko for miljøet av lastebåt, overholdelse av regelverk sitt krav om avdelinger. I tilfeller med tankskip: Det store utvalget av produkter (stoffer) som skal transporteres, og deres fordeling i skipet krever en omfattende, systematisk analyse for å få så mange tillatte lastinger som mulig. Generelt er det bare disse lastebetingelser som er tillatt. Ulike deterministiske metoder i skadestabilitet er utviklet avhengig av skips type.

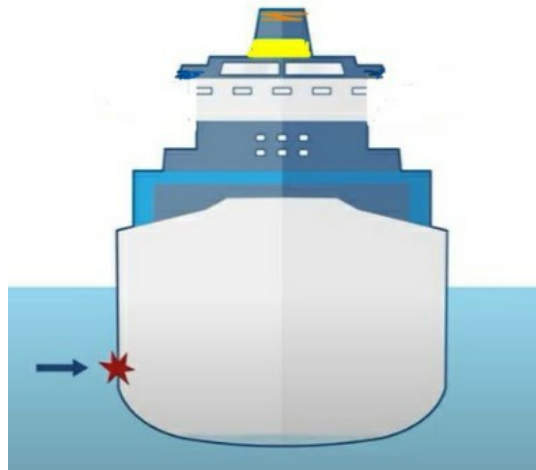
Enkel beskrivelse av begge metodene:



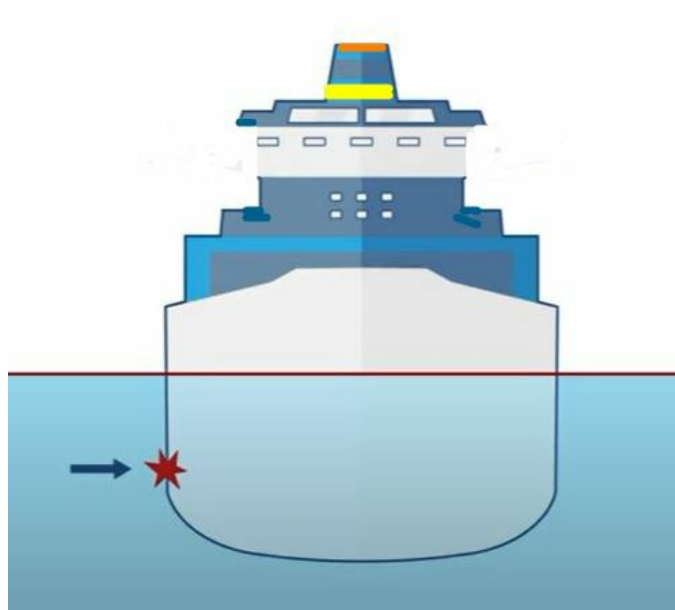
Figur 0401 Et lasteskip som ikke har trim eller list



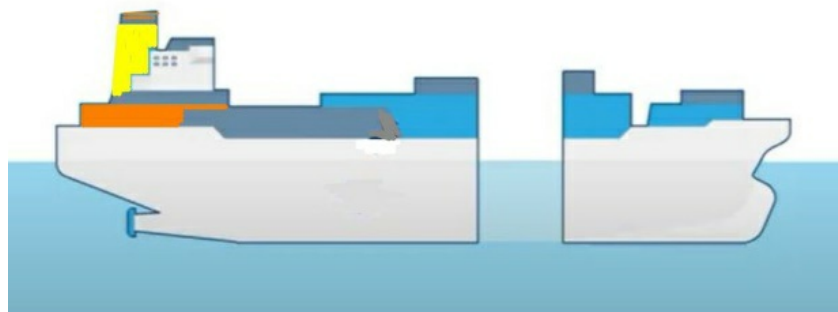
Figurur 0402 Lasteskipet får skade i en avdeling. Skade merket med rød stjerne



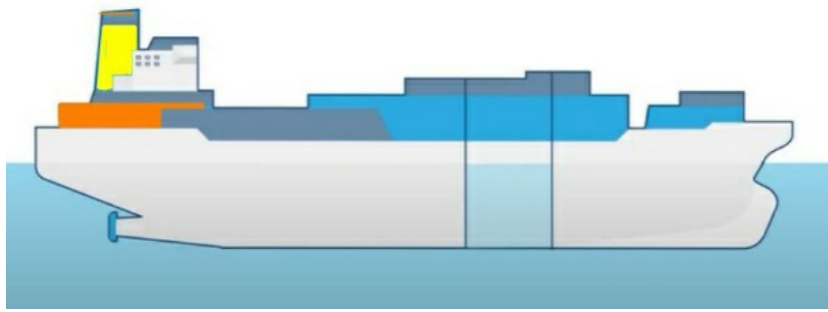
Figurur 0403 Her er et tverrsnitt av avdelingen som blir fylt opp av sjøvann. Det er ikke last i denne avdelingen og avdelingen betraktes som helt tomt.



Figurur 0404 Så lenge det er forskjell i trykk på begge sider og at luften inne i avdelingen slippes ut, så vil fylling av sjøvann fortsette helt til det er samme nivå som på utsiden av avdelingen. Trykkforskjellen blir lik null når det er oppnådd balanse og det vil ikke komme sjøvann hverken ut eller inn. Det kan da gjøres skadestabilitets beregninger etter to metoder.



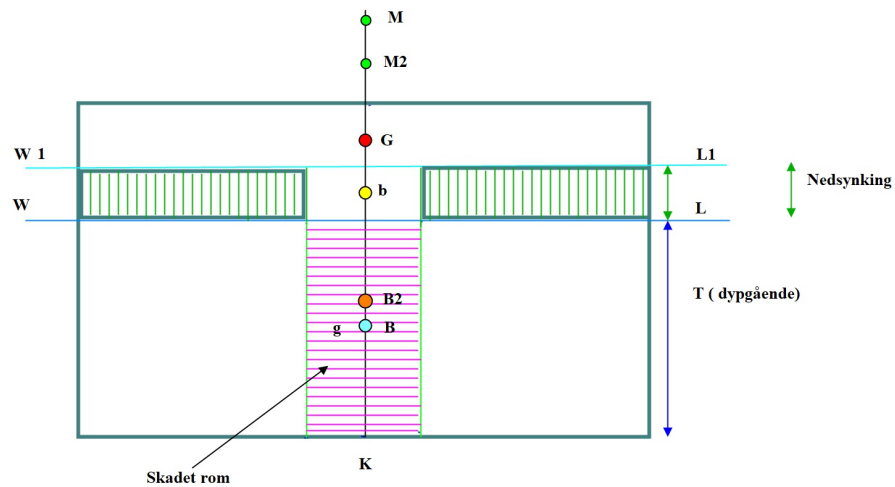
Figurur 0405 «Tapt oppdrift» metoden. Her betraktes den avdelingen som er fylt som tapt, det skadete rommet er ansett som åpen til sjøen og bidrar derfor ikke til skipets oppdrift.



Figurur 0406 «Tilført vekt» metoden. Her betraktes den tilførte fyllingen av sjøvann som tilført vekt. Den tilførte vekten tilsvarer den tapte oppdriften. Den tilførte vekt metoden er mer egnet i den tidlig fasen av fyllingen mens den tapte oppdrift metoden er mer egnet i slutfasen av fyllingen.

Tapt oppdrift metoden innebærer at:

- Vektdeplasement Δ blir uendret
- Volumdeplasement ∇ blir uendret i størrelse men endres i form.
- Endring i dypgang, opprinnelig T benyttes i beregningene.
- KG uendret
- KB og BM endres.



Figurur 0407 Pram sett akten ifra som har **symmetrisk fylling**. Symmetrisk fylling innebærer at det blir ingen trim eller list forandring men synker rett ned.

WL er opprinnelig vannlinje og WL1 er vannlinje etter nedsynking.

Ved beregning GM2 (GM etter skade) så benyttes formel:

$$GM2 = KM2 - KG = KB + BB2 + B2M2 - KG$$

$$\text{Da } KB - KG = -BG$$

$$GM2 = B2M2 - BG + BB2.$$

Prammen mister vannlinjeplanetets treghetsmoment i det rommet som det er skade..

IT (treghetsmoment tverrskips) = $(L \times B^3)/12$..

EKSEMPEL 1

En pram med mål: Lengde 45 meter, Bredde 15 meter og dypgående T er 4,5 meter, KG er = 6,0 m. Prammen får en skade i et rom som ligger midtskips og som har mål: Lengde 10 meter, bredde 15 meter og $\mu = 0,70$ (μ = permeabilitet (fyllingsgrad), forteller om hvor mye av et rom som kan fylles opp med vann (m^3)).

Løsningsforslag:

Beregner vannlinjeareal $AW1 = A - a$

A = ordinært vannlinjeareal, a = skadet vannlinjeareal

$AW1$ = Vannlinjeareal etter skade

$$AW1 = A - a = (45 \text{ m} \times 15 \text{ m}) - (10 \text{ m} \times 15 \text{ m}) = 675 \text{ m}^2 - 150 \text{ m}^2 = 525,0 \text{ m}^2$$

Beregning av volum av tapt oppdrift = $10 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 0,7$

Volum av tapt oppdrift = $472,5 \text{ m}^3$

Vekt av tapt oppdrift = Volum $\times 1,025 \text{ tonn/m}^3$ (sjøvann)

Vekt av tapt oppdrift = $472,5 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 484,3 \text{ Tonnes}$

Beregning av nedsynking (S) = Vekt av tapt oppdrift / TPCL1

$$TPCL1 = \text{TPC etter skade} = AW1 \times 1,025 / 100 = 5,38 \text{ Tonnes/cm.}$$

Nedsynking (S) = $484,3 \text{ Tonnes} / 5,38 \text{ Tonnes /cm} = 90 \text{ cm} (0,90 \text{ m})$

$$\Delta = L \times B \times T \times CB \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = (45 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}) \times 1 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 3131,4 \text{ Tonnes}$$

(CB for en pram = 1)

BM (tverrskips) = $IT \sqrt{\nabla}$ men her følges de klassiske lekkstabilitets formlene og da blir

BM (tverrskips) slik = $IT \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / \Delta$ (er det samme)

IT1 = IT etter skade

IT1 = IT - it =, IT = Vannlinjetreghetsmomet før skade (opprinnelig), it = skadet Vannlinjetreghetsmomet.

$$IT1 = IT - it = (45 \text{ m} \times 15 \text{ m}) / 12 - (10 \text{ m} \times 15 \text{ m})/12 = 9843,75 \text{ m}^4$$

$$B2M2 = IT1 \times \rho / \Delta$$

$$GM2 = B2M2 - BG + BB2$$

$$B2M2 = IT1 \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 / \Delta = 9843,75 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 / 3131,4 \text{ Tonnes}$$

$$B2M2 = 3,24 \text{ m}$$

$$- BG = KB - KG = 2,25 \text{ m} - 6,0 \text{ m} = - 3,75 \text{ m}$$

$$BB2 = (\text{vekt av tappt oppdrift} \times bg/\Delta)$$

bg = arm mellom b og g, se figur 0407, g = T/2 (dypgående halve), b = nedsynking halve + T

$$g = 2,25 \text{ m}, b = 4,50 \text{ m} + 0,45 \text{ m} = 4,95 \text{ m}. \text{ bg} = 4,95 \text{ m} - 2,25 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$$

$$BB2 = 484,3 \text{ Tonnes} \times 2,70 \text{ m} / 3131,4 \text{ Tonnes}$$

$$BB2 = 0,42 \text{ m}$$

(BB2 formel kan sammenlignes med GG1 formel ved internforflytning = GG1 = vekt \times arm / Δ)

$$GM2 = B2M2 - BG + BB2$$

$$GM2 = 3,24 \text{ m} - 3,75 \text{ m} + 0,42 \text{ m}$$

$$GM2 = - 0,09 \text{ m}$$

Kort foreløpig oppsummering om «tappt oppdrift» metoden:

Den er mest benyttet til beregninger vedrørende slutfasen av en fylling, når det ikke strømmer mer vann inn i skipet. Tidligere så måtte passasjerskip kun benytte tappt oppdrift metoden, tilført vekt metoden var ikke tillat, fordi denne metoden ble ansett som mer nøyaktig. Det er en grei metode fordi mange av parameterne som inngår i beregningen holder seg uforandret og dermed unngår man å forveksle disse med andre? Hva som blir uforandret er: Δ vektdeplasement, KG, Dypgang (T), ∇ volumdeplasement blir uendret i størrelse men endres i form. Hvordan kan det ha seg til at volumdeplasementet blir uendret i størrelse når det er tappt oppdrift? Det er fordi den tapte oppdriften medfører at det blir nedsynking og økingen i volum ved nedsynkingen vil tilsvare det tapte oppdriftvolumet. Hva som gjør at det endres form? Det er tilleggs volumet på grunn av nedsynkingen som forårsaker dette.

Hva med Fri væskeoverflate effekt i det skadete avdelingen? Den tapte oppdrift avdelingen som har fylling blir ikke regnet som en del av skipet og derfor ingen Fri væskeoverflate effekt. Det skadete avdeling vannlinjeareal er fortapt og dermed blir det en reduksjon av Vannlinjetregghetsmomentet.

$AW1 = A - a$ $AW1 =$ Vannlineareal etter skade (m^2)

$A =$ Opprinnelig vannlinjeareal (m^2)

$a =$ skadet vannlinjeareal (m^2)

Volum av tapt oppdrift = lengde \times bredde $\times T \times \mu$ Volum av tapt oppdrift (m^3) lengde = lengde av skadet rom (m)

bredde = bredde av skadet rom (m)

$T =$ Dypgang (m)

$\mu =$ Fyllingsgrad (-)

Vekt av tapt oppdrift = volum av tapt oppdrift $\times p$ Vekt av tapt oppdrift (Tonnes) Volum (m^3) $p =$ Tetthet ($Tonn/m^3$)

$TPCL1 = AW1 \times p / 100$ $TPCL1 =$ TPC etter skade (Tonn/ cm neddykking)

$p =$ Tetthet ($Tonn/m^3$)

$AW1 =$ Vannlineareal etter skade (m^2)

Nedsynking (s) = (Vekt av tapt oppdrift)/TPCL1 Nedsynking = cm, (s) = sinkage

$\Delta =$ Vektdeplasement = $LPP \times B \times T \times CB$ $\Delta =$ Vektdeplasement (Tonnes)

$LPP =$ Lengde mellom perpendikulære (m)

$B =$ Bredde på spant (m) $T =$ Dypgang (m) $CB =$ Blokk-koeffisient (-)

$IT1 = IT - it$ $IT1 =$ Vannlinjetregghetsmoment etter skade (m^4)

$IT =$ Vannlinjetregghetsmoment opprinnelig (m^4) $It =$ skadet Vannlinjetregghetsmoment (m^4)

$B2M2 = (IT1 \times p) / \Delta$ $B2M2 =$ BM etter skade (m)

$IT1 =$ Vannlinjetregghetsmoment etter skade (m^4)

$p =$ Tetthet ($Tonn/m^3$)

$\Delta =$ Vektdeplasement (Tonnes)

$-BG = KB - KG$ $-BG =$ arm mellom oppdriftssenter og tyngdepunkt (m)

$KB =$ arm mellom K og B (m), (dypgang/ 2) $KG =$ arm mellom K og G (m)

$BB2 = (vekt av tapt oppdrift \times bg) / \Delta$ $BB2 =$ arm mellom B og B2 (m)

Vekt av tapt oppdrift (Tonnes)

$bg =$ arm mellom b og g (m)

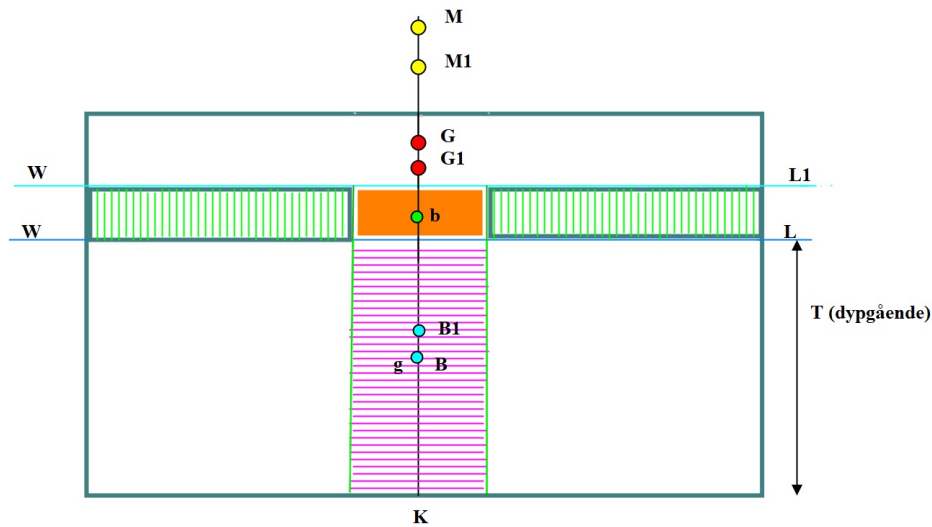
$b =$ oppdriftspunkt i nedsunket tillegsvolum

$g =$ tyngdepunkt til væske av skadet rom

$\Delta =$ vektdeplasement (Tonnes)

Tilført vekt metoden medfører at:

- Forandring i vektdeplasement Δ
- Forandring i volumdeplasement ∇
- Forandring i Dypgang T
- Forandring i beliggenhet av tyngdepunkt KG
- Forandring i beliggenhet av oppdrift senteret KB
- Forandring i beliggenhet av BM



Figurur 0408 Pram sett aktenfra som har symmetrisk fylling. Symmetrisk fylling innebærer at det blir ingen trim eller list forandring men synker rett ned.

En pram med mål: L 45 m B 15 m og T 4,5 m. KG = 6,0 m

Den får en skade i et rom som ligger midtskips med mål: L 10 m B 15 m og $\mu = 0,70$.

Beregn G1M1 (GM etter skade).

Vekt av tilført vekt:

$$V \times \mu \times \rho = (10 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}) \times 0,7 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3.$$

$$v = 484,3 \text{ Tonnes.}$$

Beregner nytt TPC = TPCL1 (etter skade)

$$AW1 \text{ etter skade} = A - a = (45 \text{ m} \times 15 \text{ m}) - (10 \text{ m} \times 15 \text{ m}) = 525 \text{ m}^2$$

$$TPCL1 = (AW \times 1,025)/100 = 5,38 \text{ Tonn/cm}$$

Kan nå beregne nedsynkingen(s) = $v / TPCL1 = 484,3 \text{ Tonnes} / 5,38 \text{ tonn/cm}$ nedsynking (s) = 90 cm (0,90 m)

$$G1M1 = KM1 - KG1 = KB + BB1 + B1M1 - (KG - GG1)$$

$$G1M1 = KM1 - KG1 = KB + BB1 + B1M1 - KG + GG1$$

Da $KB - KG = -BG$ kan vi skrive:

$$G1M1 = B1M1 - BG + BB1 + GG1$$

$$B1M1 = (IT1 \times p) / \Delta + v$$

$$IT1 = I - i = (45 \text{ m} \times 15 \text{ m}^3) / 12 - (10 \text{ m} \times 15 \text{ m}^3) / 12 = 9843 \text{ m}^4$$

$IT1$ = Tregghetsmomentet etter skade

$$\Delta = (L \times B \times T) \times 1,025 = 3113,4 \text{ Tonnes}$$

$$v = 484,3 \text{ Tonnes}$$

$$B1M1 = 9843 \text{ m}^4 \times 1,025 / 3113,4 \text{ Tonnes} + 484,3 \text{ Tonnes} = 2,80 \text{ m}$$

$$-BG = KB - KG = T/2 - 6,0 \text{ m} = 4,5 \text{ m}/2 - 6,0 \text{ m} = -3,75 \text{ m}$$

$$BB1 = (v \times Bb) / \Delta + v = (484,3 \text{ Tonnes} \times 2,70 \text{ m}) / 3113,4 \text{ Tonnes} + 484,3 \text{ Tonnes} = 0,36 \text{ m}$$

$$\text{Armen } Bb = Kb - KB = (T + s/2 - T/2) = (4,5 \text{ m} + 0,45 \text{ m} - 4,5 \text{ m}/2) = 2,70 \text{ m}$$

$$GG1 = (v \times Gg) / \Delta + v = (484,3 \text{ Tonnes} \times 3,75 \text{ m}) / 3113,4 \text{ Tonnes} + 484,3 \text{ Tonnes} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Armen } Gg = KG - Kg = 6,0 \text{ m} - 4,5 \text{ m}/2 = 3,75 \text{ m}$$

$$G1M1 = B1M1 - BG + BB1 + GG1$$

$$G1M1 = 2,80 \text{ m} - 3,75 \text{ m} + 0,36 \text{ m} + 0,50 \text{ m} = -0,09 \text{ m}$$

Samme oppgave som benyttet med tapt oppdrift metoden og oppnår samme løsningen på oppgaven. Her er alle parametere i forandring og man må være mer påpasselig med disse ved beregning. Den tilførte vekten tilsvarer den tapte oppdriften. Her er det heller ikke tatt med fri væske overflate effekt og det er fordi den skadete overflaten er fjernet i beregningen.

$$IT1 = IT1 = I - i = (45 \text{ m} \times 15 \text{ m}^3) / 12 - (10 \text{ m} \times 15 \text{ m}^3) / 12 = 9843 \text{ m}^4.$$

Hvis man hadde beregnet BM til $\Delta +$ tilført vekt, for så å beregne GG2 for det skadet området, subtraksjonen $BM - GG2$ ville ha blitt = $B1M1$. Resultatet for $G1M1$ ville ha blitt det samme hvis man foretok subtraksjonen $G1M1 = G1M - GG2$, som medfører at tilført vekt metoden blir helt lik den metode man bruker ved intakt beregning, som igjen bidrar til at det er trolig flere som benytter tilført vekt metoden på grunn av dette.

Tilført vekt metoden er derfor antatt å være den enkleste men er også den mest unøyaktige metoden. I oppgaven ovenfor ble resultatet det samme med utregninger av begge metoder men når skadeomfanget blir større så blir det forskjeller også.

Dermed fungerer de to metodene tapt oppdrift og tilført vekt som en todelt vurdering av den skadete tilstanden til et fartøy. Det er faktisk en god praksis å verifisere resultatet av vurderingen av den skadete tilstanden til fartøyet med å benytte begge metodene. IMO / SOLAS anbefaler imidlertid bruk av tapt oppdriftsmetoden for alle beregninger.



VED SKADE I FLERE AVDELINGER

Ved skade i flere avdelinger blir beregningene komplekse og mer unøyaktige, dette viste man om allerede da RMS Titanic sank.

f(x)

FORMLER FOR SYMMETRISK FYLLING «TILFØRT VEKT» METODEN

$AW1 = A - a$ $AW1$ = Vannlineareal etter skade (m^2) A = Opprinnelig vannlinjeareal (m^2)

a = skadet vannlinjeareal (m^2)

Volum av tapt oppdrift = lengde \times bredde \times $T \times \mu$ Volum av tapt oppdrift (m^3)

lengde = lengde av skadet rom (m)

bredde = bredde av skadet rom (m)

T = Dypgang (m)

μ = Fyllingsgrad (-)

Vekt av tilført vekt (tapt oppdrift) = v = volum av tapt oppdrift \times p

Vekt av tilført vekt = (Tonnes)

Volum (m^3)

p = Tetthet (Tonn/ m^3)

$TPCL1 = AW1 \times p / 100$ $TPCL1$ = TPC etter skade (Tonn/ cm neddykking)

$AW1$ = Vannlineareal etter skade (m^2)

p = Tetthet (Tonn/ m^3)

$AW1$ etter skade = $A - a$ $AW1$ = Vannlineareal etter skade (m^2)

A = Opprinnelig vannlinjeareal (m^2)

a = skadet vannlinjeareal (m^2)

Nedsynking (S) = (Vekt av tapt oppdrift)/ $TPCL1$ Nedsynking = cm, (s) = sinkage

Δ = Vektdeplasement = $LPP \times B \times T \times CB$ Δ = Vektdeplasement (Tonnes)

LPP = Lengde mellom perpendikulære (m)

B = Bredder på spant (m) T = Dypgang (m)

CB = Blokk-koeffisient (-)

$IT1 = IT - it$ $IT1$ = Vannlinjetreghetsmoment etter skade (m^4)

IT = Vannlinjetregghetsmoment opprinnelig (m^4)

I_t = skadet Vannlinjetregghetsmoment (m^4)

$G1M1 = B1M1 - BG + BB1 + GG1$ $G1M1 = GM$ etter skade (m)

$B1M1 = (IT1 \times \rho) / \Delta + v$

$IT1$ = Vannlinjetregghetsmoment etter skade (m^4)

ρ = Tetthet ($Tonn/m^3$)

Δ = Vektdeplasement (Tonnes)

v = Vekt av tilført vekt (Tonnes)

$-BG = KB - KG$ $-BG$ = arm mellom oppdriftssenter og tyngdepunkt (m)

KB = arm mellom K og B (m)

KG = arm mellom K og G (m)

$BB1 = (v \times Bb) / \Delta + v$ $BB1$ = arm mellom B og B1 (m)

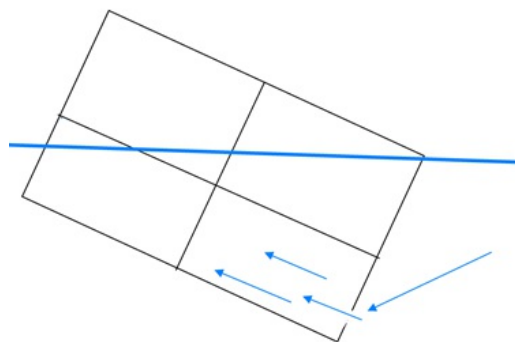
Bb = arm mellom B og b (m)

$GG1 = (v \times Gg) / \Delta + v$ $GG1$ = tyngdepunkts forandring (m)

Armen $Gg = KG - Kg$

KG = arm mellom K og G (m)

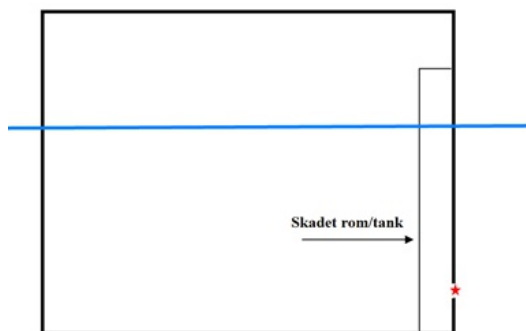
Kg = arm mellom K og g, normalt = KB (m)



Figurur 0409 Fri vannflyt

Frivannflyt:

Det er vel kjent at fri væske overflate har innvirkning på stabiliteten. Når et skip får skade i skroget vil det fylle vann inn, hvis skaden er usymmetrisk vil det medføre krenkning, som igjen fører til mer fylling. Dette vil gi reduksjon av Metasenterhøyden og reduksjon av rettende arm. Effekten av fri vannflyt medfører på skipets stabilitet vil være i tillegg til fri væskeoverflate effekten.



Figurur 0410 skadet rom/tank som inngår i vannlinjearealet.



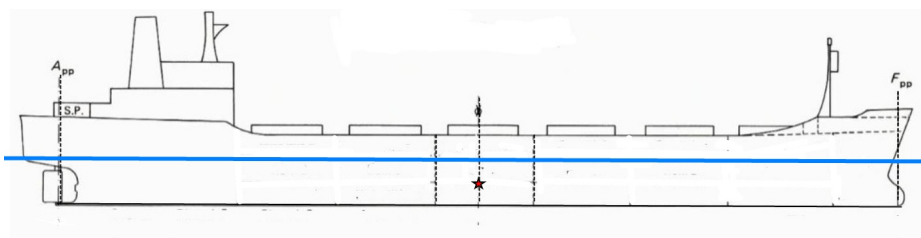
Figurur 0411 skadet rom/tank som ikke inngår i vannlinjearealet.

Skader som inngår og ikke inngår i vannlinjearealet:

Kravet til at en skadet rom/tank på et skip skal gi reduksjon av vannlinjearealet, og dermed reduksjon av Vannlinjetregghetsmoment, er at rommet/tanken rekker opp til vannlinjenivået. Skipet i figur 0411 vil ikke få redusert sitt vannlinjeareal.

 δ BM (forandring i BM):

Når det blir forandring (redusering) av vannlinjearealet så medfører det at blir forandring i vannlinjetregghetsmoment (IT). Dette reduserer formstabiliteten og som igjen medfører tap av stabilitet.

Oppgave til MS Linda symmetrisk fylling ved tapt oppdrift metoden.

Figurur 0412

M/S Linda har dypgående 7,0 meter, ingen trim eller list. KG = 7,50 m. Skipet får en skade på styrbord side i lasterom # 4, som er full lastet med tørrlast, $\mu = 0,70$. Db. Tank 4 blir ikke berørt av denne skaden og høyde av ballasttank settes til 2,0 meter. Tetthet sjøvann er 1,025 tonn/m³

- Beregn AW før skaden.
- Beregn a til skadet området.
- Beregn δ BM
- Beregn TPCL1
- Beregn vekt av tapt oppdrift.
- Beregn nedsynkingen (s)
- Beregn GM2
- Alternativ metode (vises kun)

Løsningsforslag:

MS Linda ble bygget i 1962 (M/S Ross Mount), har mangelfull opplysninger om de hydrostatiske verdier, men oppgavene lar seg løses likevel.

a) TPC for T = 7,0 m er 25,89 Tonn/cm. Formel for TPC = AW \times p /100 \rightarrow AW = TPC \times 100 / p = 25,89 Tonn/cm \times 100/1,025 tonn/m³

$$AW = A = 2525,85 \text{ m}^2$$

b) a = l \times b = 17,5 m \times 20,40 m = 357,00 m² (setter bredde på lasterom lik bredde på skip, ved T = 7,0 m så berører ikke det skadete vannlinjeareal skuldertankene (øvrevingtanker)

c) δ BM = it \times p / Δ = (l \times b³/12 \times 1,025 Tonn/m³) / 16131 Tonnes. δ BM = 0,786 m

d) TPCL1 = (A - a) \times p /100 = (2525,85 m² - 357,00 m²) \times 1,025 Tonn/m³/100 = 22,23 Tonn/cm

e) Vekt av tapt oppdrift = l \times b \times (7 m - 2 m) \times 0,7 \times 1,025 tonn/m³ = 1280,7 Tonnes

f) Nedsynking (s) = vekt av tapt oppdrift / TPCL1 = 1280,7 Tonnes /22,23 Tonn/cm = 57,61 cm

g) GM₂ = B₂M₂ - BG + BB₂



PROBLEMET MED LINDA

Problemet med Linda er at vi ikke har tabeller for B (KB), da blir ledd 2 og 3 usikker (- BG + BB₂). ~ B₂M₂ er mellom B₂ og M₂ og denne kan la seg beregne, dvs. det vi taper i vannlinjeareal (forskjell i BM)

Bruker opprinnelig GM som utgangspunkt.

$$GM_2 = GM - \delta BM + S/2 \text{ (S/2 = nedsynking/2 = tilnærmet = BB}_2\text{)}$$

$$GM = KM - KG = 8,51 \text{ m} - 7,50 \text{ m} = 1,01 \text{ m}$$

$$\delta BM = 0,786 \text{ m} \text{ Nedsynking (S)/2 (tilnærmet BB}_2\text{)} = 0,57 \text{ m} /2 = 0,235 \text{ m}$$

$$GM_2 = 1,01 \text{ m} - 0,786 \text{ m} + 0,235 \text{ m} = 0,459 \text{ m} \approx 0,46 \text{ m}$$

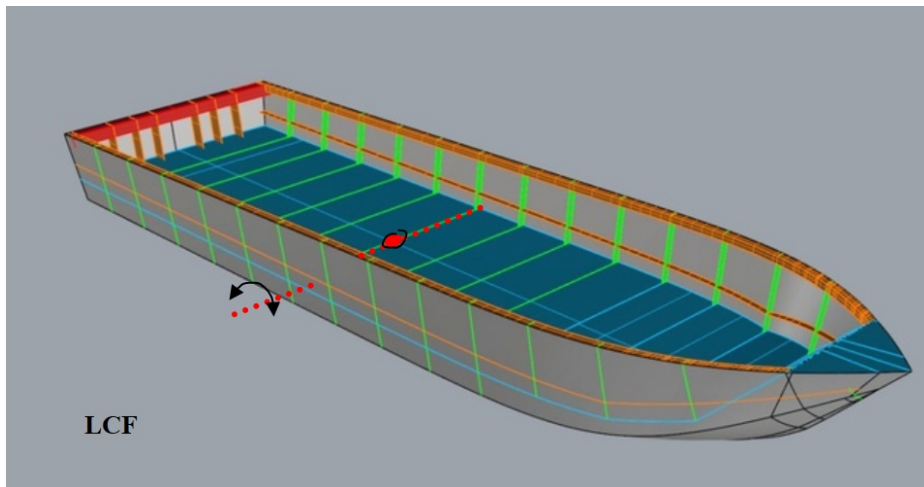
h) Ved å sammenligne flere skip som er i nærheten av form og størrelse som Linda så kan KB beregnes etter denne formel og faktor: KB = 0,523 \times T (dypgående).

Formel = GM₂ = KM₂ - KG = KB + BB₂ + B₂M₂ - KG. KB ved T = 7,0 m = 0,523 \times 7,0 m = 3,66 m, BB₂ = Nedsynking/2.

$$GM_2 = KB + BB_2 + B_2M_2 - KG = 3,66 \text{ m} + 0,235 \text{ m} + (8,51 \text{ m} - 3,66 \text{ m} - 0,786 \text{ m}) - 7,50 \text{ m} = 0,459 \text{ m} \approx 0,46 \text{ m.}$$

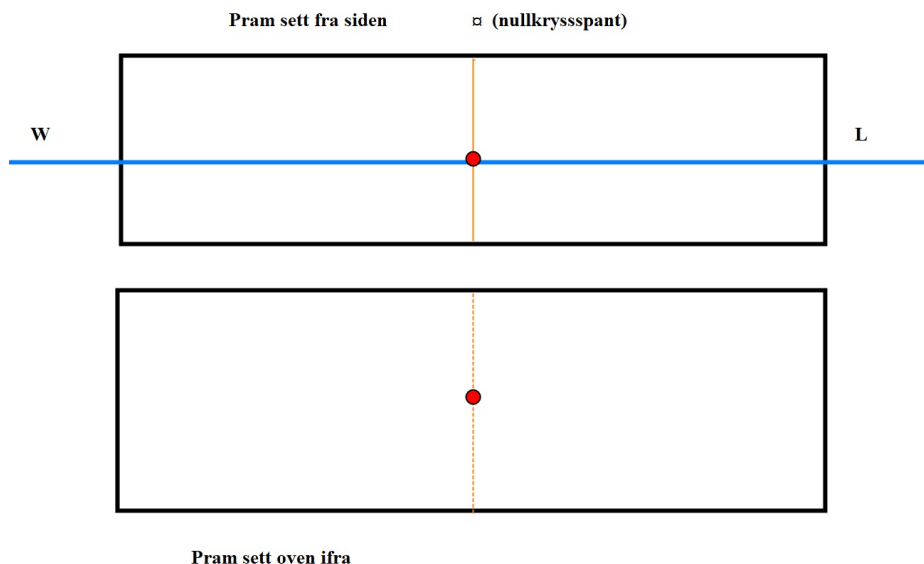
Usymmetrisk fylling

Trim endring.



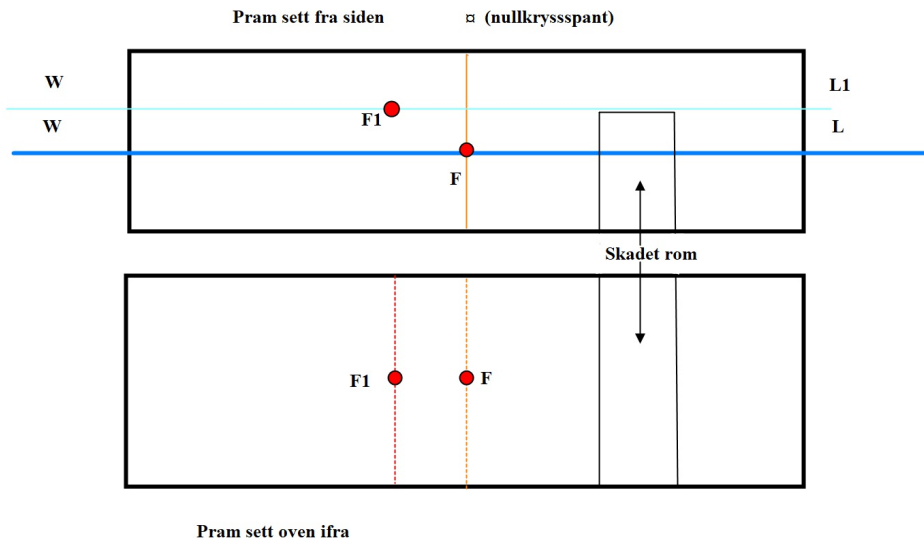
Figurur 0413 LCF i vannlinjeplanet

LCF (longitudinal centre of flotation) Langskips flotasjonsenter. Det er et punkt i vannlinjeplanet som skipet vil dreie seg om, forover eller akterover, betegnes også som vannlinjeplanet sitt tyngdepunkt. På figur så er LCF tegnet inn med et rødt punkt og med en tverrskips akse som går i gjennom LCF punktet. Den lyse blå linjen på utsiden av skroget indikerer vannlinjeplanet beliggenhet. IL = Treghetsmoment i vannlinjeplanet i langskipsretning om LCF (m^4), treghetsmomentet forteller hvor vanskelig det er å få skipet til å rotere om den akse som går i gjennom LCF punktet. I langskips, for et skip med normal skrogform, blir treghetsmoment $IL = (B \times L^3/12) \times k$, k = faktor mindre enn 1, av formel ser man at det er lengden på skipet som bidrar mest, jo lengre skipet er jo vanskelig er det å trimme det.

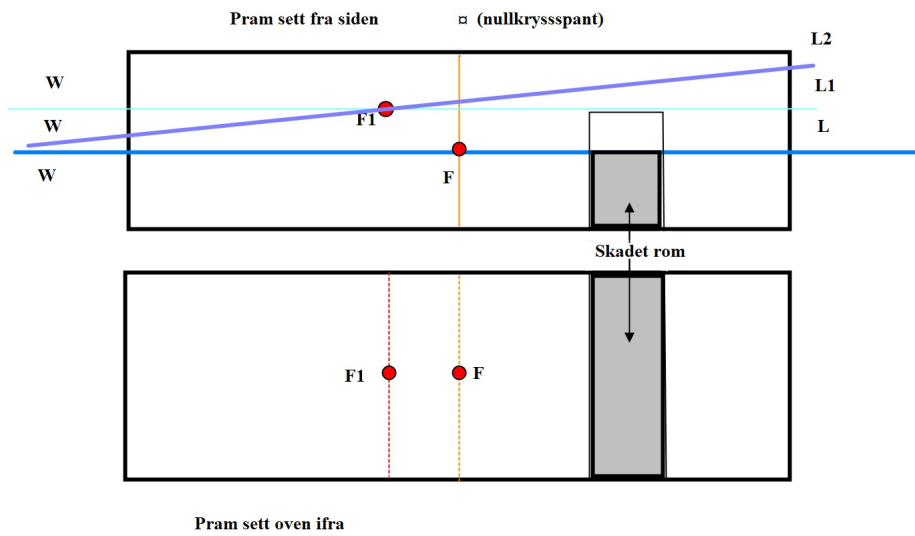


Figurur 0414 Pram sett fra siden og oven ifra med LCF punkt angitt

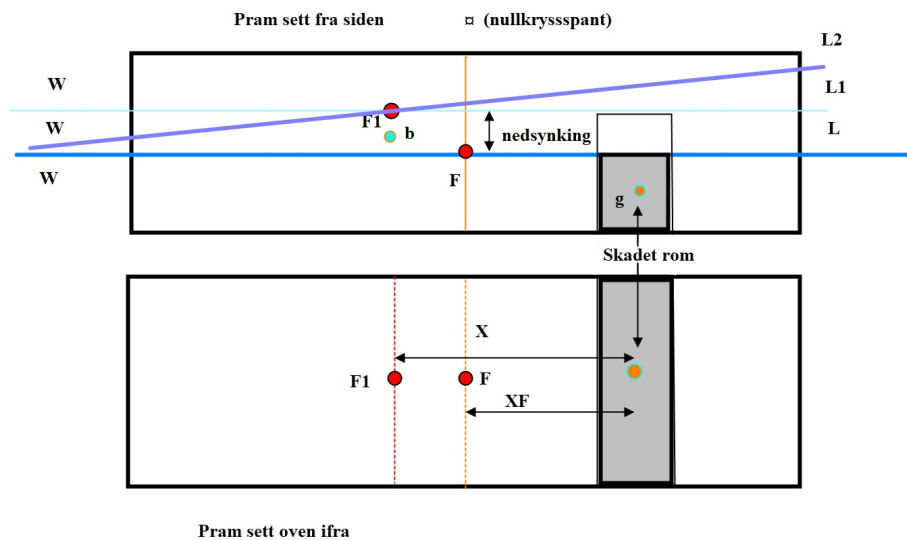
En pram som er intakt, vil alltid LCF være i x (nullkryss-spantet) og i CL (senterlinjen).



Figurur 0415 Pram som har fått skade i et rom fremfor nullkrysspantet. Man ser at betingelser for tapt vannlinjeareal er oppfylt, Det skadete området går over hele bredden av prammen og aksen til F (LCF) forandrer posisjon på grunn av det tapte vannlinjearealet.



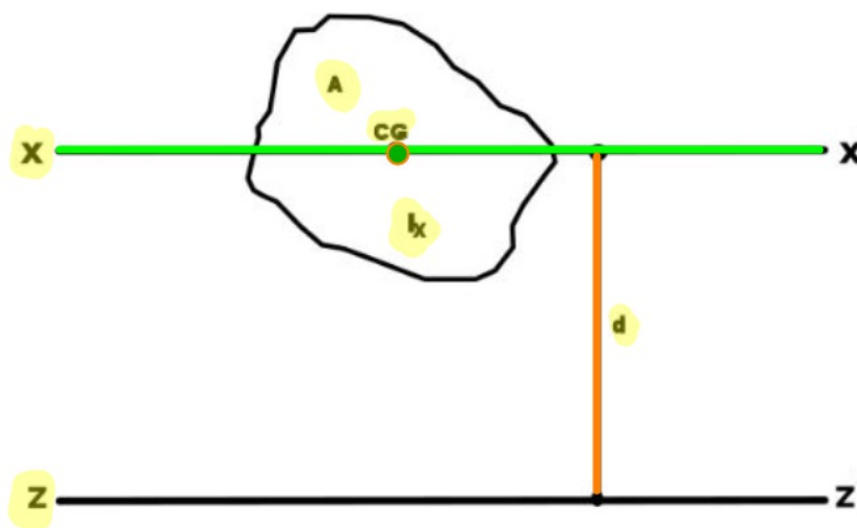
Figurur 0416 Prammen synker ned til WL1 og aksen til F (flotasjonspunktet) forflytter seg til F1.



Figur 0417 Tyngdepunktene er tegnet inn og armene kan defineres.

Beregningene blir etter denne rekkefølgen:

- Beregne vekten av tapt oppdrift
- Beregne TPCL1
- Beregne nedsynking
- Beregne forflytningen av flotasjonspunktet (FF1 arm) etter formel: $FF_1 = (a \times XF)/A - a$
- Beregne IL1 (Vannlinjetreghetsmoment i langskipsretning) etter formel: $IL1 = IL + A (FF1)^2 - a (FF1 + XF)^2$
- Steiner sats (formel): $IZ = IX + Ad^2$, der I_x er annet arealmoment (treghetsmoment) for arealet som ligger på en parallell akse utenfor arealsenteret (i akse z), d er avstanden fra arealsenteret i akse z til arealsenteret av A (tyngdepunkt).

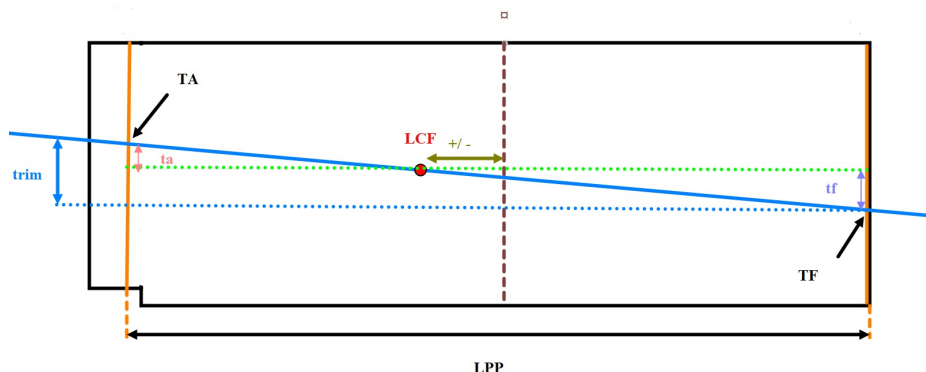


Figurur 0418 Steiner sats

- Ved beregning av IL1 så blir det tapte vannlinjeareal \times avstanden fra arealsenteret (tyngdepunktet) subtrahert fra det totale arealmomentet.
- IL1 får benevnelse m^4
- Beregner MTCL1 etter formel: $MTL1 = (IL1 \times \rho)/100 \times LPP$, på grunn av ny IL1.

- Beregner trim (trimendring): vekt av tapt oppdrift $\times X$ (arm til F1)/MTCL1
- Beregner trim til fordeling etter formel: trim $(LPP/2 \pm LCF) / LPP$
- Beregner dypgående forut og akterut, og midtskips.

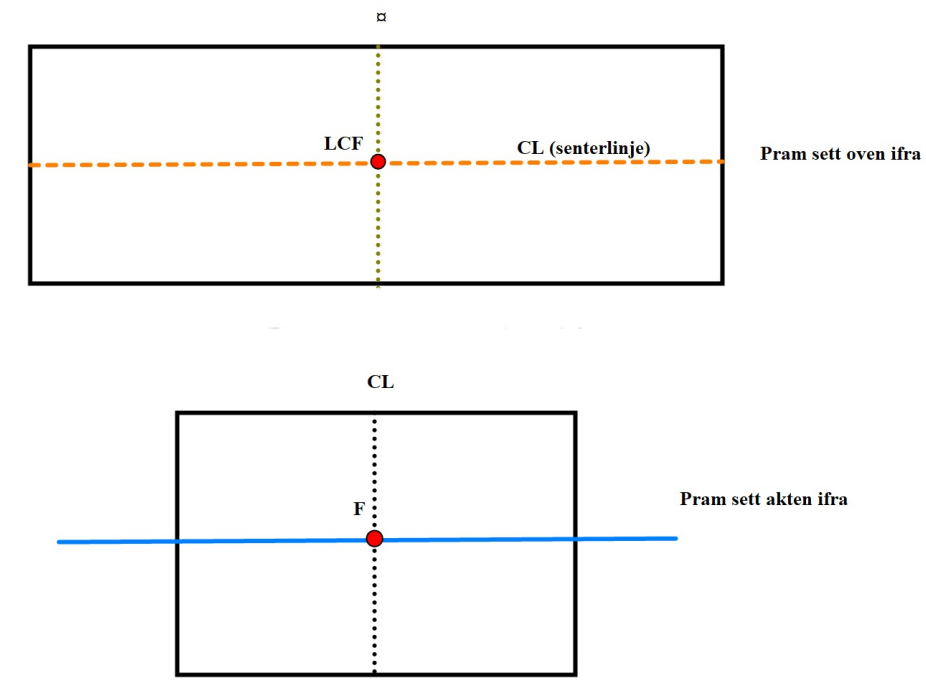
Trim til fordeling:



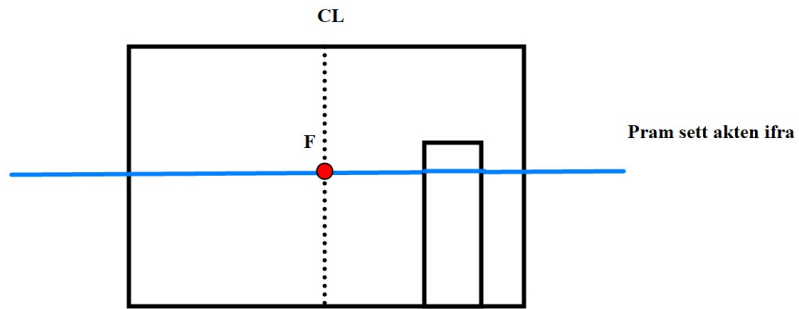
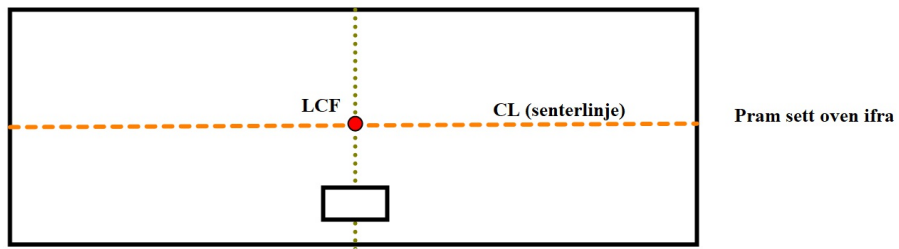
Figurur 0419 trim til fordeling.

Trim er definert som forskjell på dypgang forut og akterut (TF og TA). Ved å stille seg i flotasjonspunktet så kan trimmen deles inn en forlig trim og akterlig trim (tf og ta) om F, må ikke forveksles med forlig og akterlig trim. α (nullkryss-spantet) = $LPP/2$ og trimvinkel ϑ kan settes slik $\tan \vartheta = \text{Trim}/LPP = tf/LPP/2 + LCF = ta/LPP/2 - LCF$. Slåes sammen til et felles uttrykk: Trim til fordeling = trim $(\pm LCF)/LPP/2/LPP$. Det blir to verdier og den største hører til den siden som har lengst avstand til F. I dette tilfelle blir det tf som er lengst i fra F. $TF = TR$ (Dypgående Referanse) - tf, TA blir = $TR + ta$ og $T\alpha = (TF + TA)/2$. Dypgående referanse er på den grønne prikkete linjen i det punkt der den skjærer α , dypgående referanse blir dermed like stor som dypgående LCF.

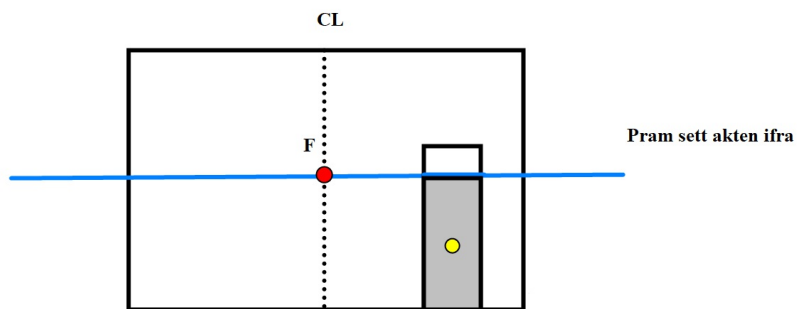
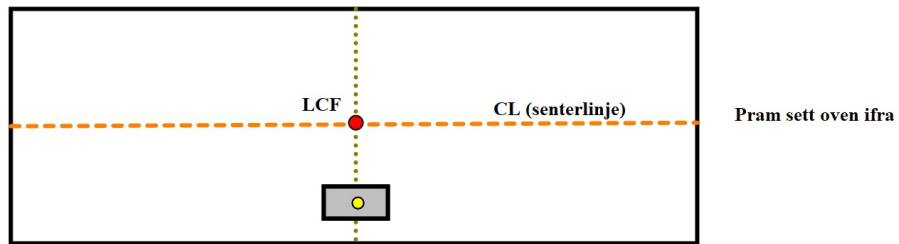
List endring (krengeing):



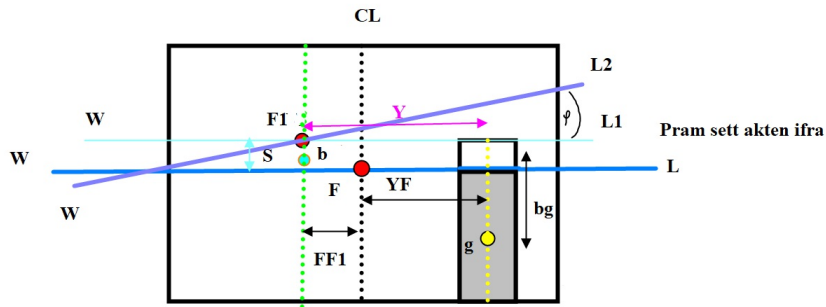
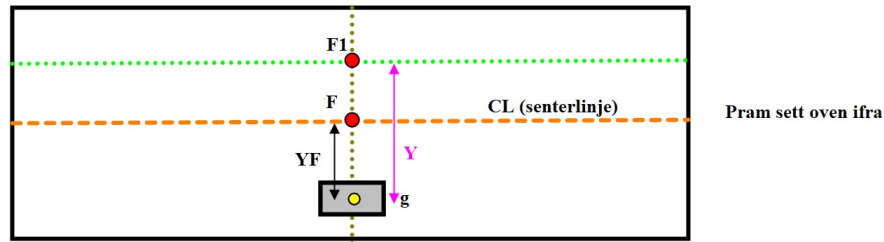
Figurur 0420 Viser en pram i uskadet tilstand



Figurur 0421 Viser en pram i skadet tilstand. Skade og fylling i en tank på styrbord side



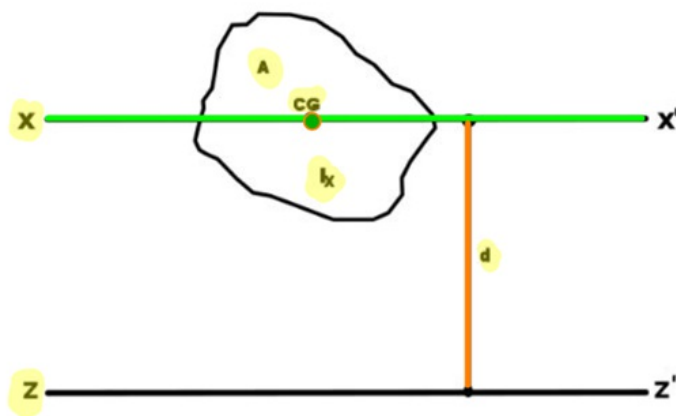
Figurur 0422 Tyngdepunktene tegnet inn



Figurur 0423 Tyngdepunkter og armer kan defineres.

Beregningene blir etter denne rekkefølgen:

- Beregne vekten av tapt oppdrift
- Beregne TPCL1
- Beregne nedsynking
- Beregne forflytningen av flotasjonspunktet (FF1 arm) etter formel: $FF1 = (a \times YF) / A - a$
- Beregne IT1 (Vannlinjetregghetsmoment i tverrskipretning) etter formel: $IT1 = IT + A (FF1)^2 - a (FF1 + XF)^2$
- Steiner sats (formel): $I_Z = I_X + Ad^2$, der I_x er annet arealmoment (tregghetsmoment) for arealet som ligger på en parallell akse utenfor arealsenteret (i akse z), d er avstanden fra arealsenteret i akse z til arealsenteret av A (tyngdepunkt).



Figurur 0424 Steiner sats

- Beregne $GM2 = BM2 - BG + BB2$
- Beregne krenkning
- $KRM = v \times Y \times \cos \varphi$, v = vekt av tapt oppdrift, $Y = FF1 + YF$
- $KRM = TCG / GM2$, TCG = tverrskipstyngde punkt fra CL
- $\tan \varphi = (v \times Y) / GM2 \times GM2$. (Arc tan)

Beregning av φ er tilnærmet riktig men nøyaktig nok, tilnærmet fordi det vi strømme mer vann inn på grunn av krenningen men IMO aksepterer beregning av φ slik den fremstår.

Oppgaver og løsningsforslag

lekkstabilitet

Oppgave 1

En pram med mål: $L = 25$ m $B = 9$ m $T = 2$ m. KG er 3,90 m.

Prammen har et rom (midtskips) med mål: $l = 6$ m, $B = 9$ m og $\mu = 0,70$.

Rommet får skade og symmetrisk fylling.

- Beregn GM2

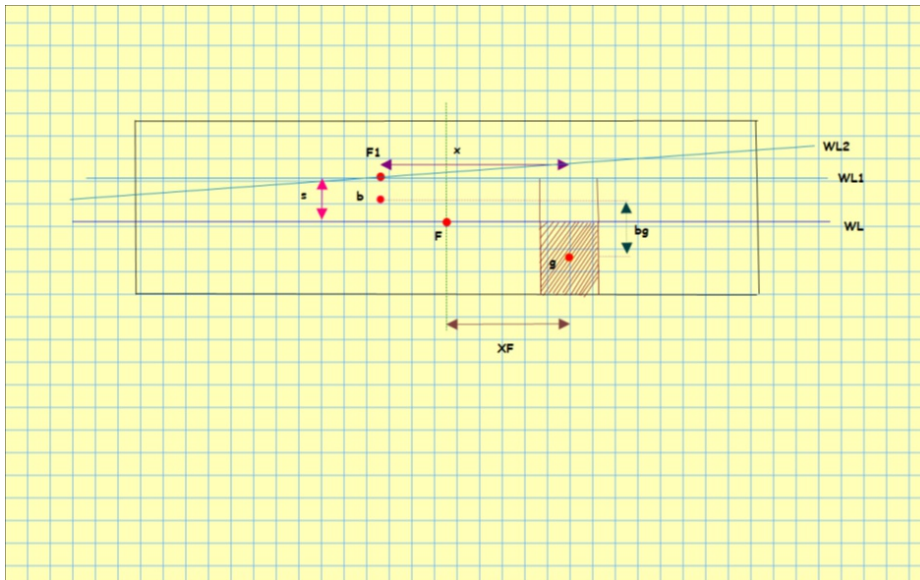
Oppgave 2.

En pram med mål: $L = 50$ m, $B = 9$ m og $T = 4,4$ m får en skade med etterfølgende fylling i forskipet. (ingen trim eller list før skaden)

Tyngdepunktet i det skadet volum ligger 8 m foren for nullkryss. Det skadet rommet har $L = 10$ m og går over hele bredden. $\mu = 0,70$

- Beregn nedsynking og trim etter skaden

Se skisse under, pram sett fra styrbord siden.



Oppgave 3.

En pram med mål $L = 40$ m ellers at likt som ovenfor.

- Beregn nedsynking og trim etter skaden

Oppgave 4

En pram med mål: L 80 m B 20 m $T = 7,50$ m (ikke trim eller list). Får en skade på styrbord side midtskips som medfører fylling i en tank men som ikke fører til trim endring.

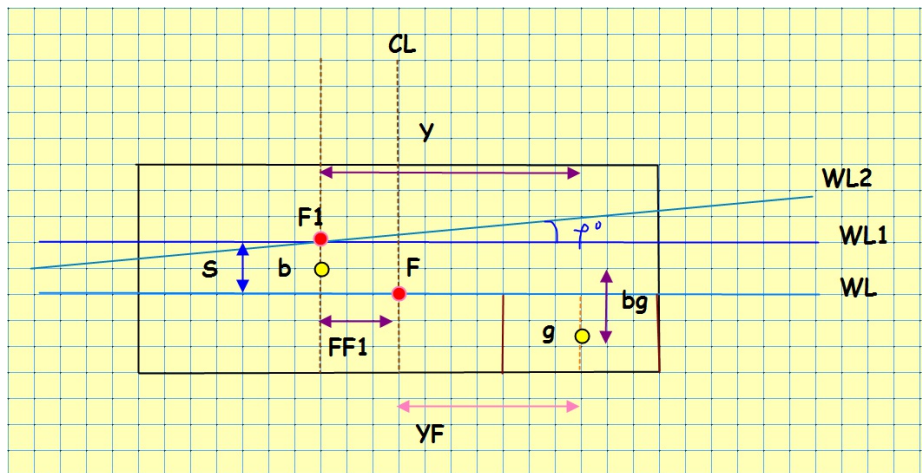
Tankens mål er 10 m lang og 6 m bred og går opp til vannlinjen. Tyngdepunktet til det skadete volum ligger 7 m fra senterlinjen. $\mu =$ fyllingsgrad = 0,95

KG var før skaden = 5,5 m.

a) Beregn GM_2

b) Beregn krengingen

Se skisse under (prammen sett akten i fra)



Oppgave 5 Linda

MS Linda har $T = 8,0$ m, ingen trim & list, $KG = 7,50$ m. Det blir en skade i lasterom # 3 og db. Tank 3 stb. Fyllingsgraden i lasterom # 3 er $0,70$ (μ). Db tank 3 var tom før hendelsen (høyde settes til $2,0$ m)

- Beregn trim, dypgående forut og akter, GM og krenkning etter fylling
- Hvordan bør man rette opp skipet?

Oppgave 6 Golar Patricia

«GP» er i US Gulf på vei til Galveston off-port (lektring), det har nettopp vært et kraftig uvær i området, skipet går med redusert fart. Plutselig berører «GP» en undervannsplattform (som har driftet av i uværet), lastetank 2ws blir skadet, er uten last.

Data for GP: $T = 16,00\text{m}$ (EK), GM effektiv = $5,5\text{ m}$.

- Beregn trim, dypgående forut og akter etter skaden.
- Beregn GM og krenkning etter fylling

Oppgave 7 Sidus

M/S Sidus seiler i gjennom en krigssone. Det kommer et helikopter inn fra styrbord siden, avfyrer en rakett som treffer under vannlinjen i lasterom # 5. Den penetrerer i gjennom ballasttank 3 WSB og inn i lasterom # 5.

Dypgående er $T = 11,00\text{ m}$ EK og KG er beregnet til 12.0 m

- Foreta beregning om hvor stor trimendringen blir?
- Foreta beregning om hvor stor krenkningen blir?

Løsningsforslag til oppgaver i Lekkstabilitet

Oppgave 1

En pram med mål: $L = 25 \text{ m}$ $B = 9 \text{ m}$ $T = 2 \text{ m}$. KG er $3,90 \text{ m}$.

Prammen har et rom (midtskips) med mål: $l = 6 \text{ m}$, $B = 9 \text{ m}$ og $\mu = 0,70$.

Som får skade / med fylling (symmetrisk)

- Beregn GM2

Løsningsforslag:

Beregner vekt av tapt oppdrift: $v = V \times \mu \times \rho = (6 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 2 \text{ m}) \times 0,7 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3$.

vekt = 77,49 Tonnes

Beregner TPCL1 (etter skade): $TPCL1 = (AW \times 1,025)/100 = 1,75 \text{ tonn/cm}$

AW etter skade = $A - a = (25 \text{ m} \times 9 \text{ m}) - (6 \text{ m} \times 9 \text{ m}) = 171 \text{ m}^2$

Nedsynkingen $s = v / TPCL1 = 77,4 \text{ Tonnes} / 1,75 \text{ tonn/cm}$

$s = 44 \text{ cm}$

$GM2 = B2M2 - BG + BB2$

$B2M2 = (IT1 \times \rho) / \Delta$

$IT1 = I - i = (25 \text{ m} \times 9 \text{ m}^3)/12 - (6 \text{ m} \times 9 \text{ m}^3)/12 = 1154,25 \text{ m}^4$

$IT1 =$ Treghetsmomentet etter skade

$\Delta = (L \times B \times T) \times 1,025 = 461,25 \text{ Tonnes}$

$- BG = KB - KG = T/2 - 3,9 \text{ m} = 2 \text{ m}/2 - 3,9 \text{ m} = - 2,9 \text{ m}$

$BB2 = (v \times bg) / \Delta = (77,49 \text{ Tonnes} \times 1,22 \text{ m}) / 461,25 \text{ Tonnes} = 0,20 \text{ m}$

Armen $bg = Kb - Kg = (T + s/2 - T/2) = (2 \text{ m} + 0,22 \text{ m} - 2 \text{ m}/2) = 1,22 \text{ m}$

Setter alt inn i formelen:

$$GM2 = B2M2 - BG + BB2$$

$$GM2 = (1154,25 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ tonnes} / \text{cm}) / 461,25 \text{ Tonnes} - 2,9 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = -0,138 \text{ m}$$

Oppgave 2

En pram med mål: L 50m, B 9 m og T 4,4 m får en skade med etterfølgende fylling i forskipet. (prammen har ikke trim eller list før skaden)

Tyngdepunktet i det skadet volum ligger 8 m foren for nullkryss. Det skadet rommet har L 10 m og går over hele bredden. $\mu = 0,70$

- Beregn nedsynking og trim etter skaden

Løsningsforslag:

Finner vekten av tapt oppdrift: $v = V \times \mu \times p = (10\text{ m} \times 9\text{ m} \times 4,4\text{ m}) \times 0,70 \times 1,025\text{ tonn/m}^3$

$v = 284,1\text{ Tonnes}$

$TPCL1 = (A - a) \times 1,025 / 100 = (50 \times 9 - 10 \times 9)\text{ m}^2 \times 1,025 / 100 = 3,69\text{ Tonnes/cm}$

Nedsynkingen $s = v / TPCL1 = 284,1\text{ Tonnes} / 3,69\text{ tonn/cm}$

$s \approx 77\text{ cm}$

Forflytting av floatasjonspunktet:

$FF1 = (a \times XF) / A - a = (10 \times 9 \times 8)\text{ m}^3 / (50 \times 9 - 10 \times 9)\text{ m}^2$

$FF1 = 2,00\text{ m}$

$IL1 = IL + A (FF1)^2 - a (FF1 + XF)^2$

Finner:

$$IL = (B \times L^3) / 12 = (9 \times 50^3) / 12 = 93750\text{ m}^4$$

$$A (FF1)^2 = (50 \times 9)\text{ m}^2 \times 22 = 1800\text{ m}^4$$

$$a (FF1 + XF)^2 = (10 \times 9)\text{ m}^2 \times 10^2 = 9000\text{ m}^4$$

$$IL1 = 93750\text{ m}^4 + 1800\text{ m}^4 - 9000\text{ m}^4 = 86550\text{ m}^4$$

$$MTCL1 = (IL1 \times p) / 100 \times LPP = (86550\text{ m}^4 \times 1,025) / 100 \times 50 = 17,74\text{ TM/cm}$$

$$\text{trim} = v \times X / MTCL1 = 284,1\text{ Tonnes} \times (8 + 2)\text{ m} / 17,74\text{ TM/cm}$$

$$\text{trim} = 160,1\text{ cm}$$

$$\text{trim til fordeling} = \text{trim} (LPP/2 \pm LCF) / LPP$$

$$\text{trim til fordeling} = 160,1\text{ cm} (50\text{ m}/2 \pm 2,0) / 50\text{ m} = 86,4\text{ cm} / 73,6\text{ cm}$$

$$t_f = 0,864\text{ m}, t_a = -0,736\text{ m}$$

$$TF = T + s + t_f = 4,4\text{ m} + 0,77\text{ m} + 0,864\text{ m} = 6,034\text{ m}$$

$$TA = T + s - t_a = 4,4\text{ m} + 0,77\text{ m} - 0,736\text{ m} = 4,434\text{ m}$$

Oppgave 3

En pram med mål $L = 40$ m ellers at likt som ovenfor.

- Beregn nedsynking og trim etter skaden

Løsningsforslag:

Finner vekten av tapt oppdrift: $v = V \times \mu \times \rho = (10\text{ m} \times 9\text{ m} \times 4,4\text{ m}) \times 0,70 \times 1,025\text{ tonn/m}^3$

$v = 284,1$ Tonnes

$TPCL1 = (A - a) \times 1,025 / 100 = (40 \times 9 - 10 \times 9)\text{ m}^2 \times 1,025 / 100 = 2,765\text{ Tonnes/cm}$

Nedsynkingen $s = v / TPCL1 = 284,1\text{ Tonnes} / 2,765\text{ tonn/cm}$

$s \approx 102,6\text{ cm}$

Forflytting av floatasjonspunktet:

$FF1 = (a \times XF) / A - a = (10 \times 9 \times 8)\text{ m}^3 / (40 \times 9 - 10 \times 9)\text{ m}^2$

$FF1 = 2,66\text{ m}$

$IL1 = IL + A (FF1)^2 - a (FF1 + XF)^2$

Finner:

$$IL = (B \times L^3) / 12 = (9 \times 40^3) / 12 = 48000\text{ m}^4$$

$$A (FF1)^2 = (40 \times 9)\text{ m}^2 \times 2,66^2 = 2547,21\text{ m}^4$$

$$a (FF1 + XF)^2 = (10 \times 9)\text{ m}^2 \times 10,66^2 = 10227,2\text{ m}^4$$

$$IL1 = 48000\text{ m}^4 + 2547\text{ m}^4 - 10227,2\text{ m}^4 = 40320\text{ m}^4$$

$$MTCL1 = (IL1 \times \rho) / 100 \times LPP = (40320\text{ m}^4 \times 1,025) / 100 \times 40 = 10,33\text{ TM/cm}$$

$$\text{trim} = v \times X / MTCL1 = 284,1\text{ Tonnes} \times (8 + 2,66)\text{ m} / 10,33\text{ TM/cm}$$

$$\text{trim} \approx 293\text{ cm}$$

$$\text{trim til fordeling: trim } (LPP/2 \pm LCF) / LPP$$

$$\text{trim til fordeling} = 2,93\text{ m } (40\text{ m}/2 \pm 2,66) / 40\text{ m} = 166,1\text{ cm} / 127, \text{ cm}$$

$$t_f \approx 166, \text{ m}, t_a = -1,27\text{ m}$$

$$TF = T + s + t_f = 4,4\text{ m} + 1,026\text{ m} + 1,66\text{ m} = 7,086\text{ m}$$

$$TA = T + s - t_a = 4,4\text{ m} + 1,026\text{ m} - 1,27\text{ m} = 4,156\text{ m}$$

Oppgave 4

En pram med mål: L 80 m B 20 m T= 7,50 m (ikke trim eller list). Får en skade på styrbord side midtskips som medfører fylling i en tank men som ikke fører til trim endring.

Tankens mål er 10 m lang og 6 m bred og går opp til vannlinjen. Tyngdepunktet til det skadete volum ligger 7 m fra senterlinjen. μ = fyllingsgrad = 0,95

KG var før skaden = 5,5 m.

a) Beregn GM2

b) Beregn krenghningen

Løsningsforslag:

a)

Beregner vekt av tapt oppdrift = $V \times \mu \times \rho = l \times b \times T \times 0,95 \times 1,025$

Vekten blir $v = (10 \times 6 \times 7,5) \text{ m} \times 0,95 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 438,18 \text{ Tonnes}$

Beregner TPC etter skade = $TPCL1 = (A - a) \times p / 100$

A = vannlinjeplan for hele prammen a = vannlinjeplan for skadet tank

$A = (80 \times 20) \text{ m} = 1600 \text{ m}^2$, $a = (10 \times 6) \text{ m} = 60 \text{ m}^2$

$TPCL1 = (A - a) \times p / 100 = (1600 - 60) \text{ m}^2 \times 1,025 / 100 = 15,78 \text{ tonn/cm}$

Nedsynking = $s = \text{vekt av tapt oppdrift} / TPCL1 = 438,18 \text{ Tonnes} / 15,78 \text{ Tonn/cm}$

Nedsynking = $s = 27,7 \text{ cm} \approx 28 \text{ cm}$

Beregner nå akse for treghetsmomentet: FF1T (forflytning av F tverrskips)

$FF1T = (a \times YF) / A - a$

YF = arm mellom opprinnelig F og tyngdepunkt tank = 7 m

$FF1T = (a \times YF) / A - a = (60 \text{ m}^2 \times 7 \text{ m}) / (1600 - 60) \text{ m}^2$

$FF1T = 0,27 \text{ m}$

Beregner ny I =

$IT = I1 + A (FF1T)^2 - a (FF1T + YF)^2$

$$I1 = (L \times B^3/12) = (80 \times 20^3) \text{ m} / 12 = 53333,33 \text{ m}^4$$

$$+ A (FF1T)^2 = 1600 \text{ m}^2 \times (0,27 \text{ m})^2 = 116,64 \text{ m}^4$$

$$- a (FF1T + YF)^2 = 60 \text{ m}^2 (0,27 \text{ m} + 7 \text{ m})^2 = 3171,17 \text{ m}^4$$

$$IT = 50270,8 \text{ m}^4$$

$GM2 = BM2 - BG + BB2$

$GM2 = ((IT) \times p / \Delta) - BG + (v \times bg) / \Delta$

$\Delta = L \times B \times T \times \rho = 80 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 7,5 \text{ m} \times 1,025 = 12300 \text{ Tonnes}$

$$BG = KB - KG = 3,75 \text{ m} - 5,5 \text{ m} = -1,75 \text{ m}$$

Beregner $bg = Kb - Kg$

$$\text{Beregner } Kb = T + s/2 = 7,5 \text{ m} + 0,28/2 = 7,64 \text{ m}$$

$$\text{Beregner } Kg = KB = T/2 = 3,75 \text{ m}$$

$$\text{Følgelig er } bg = 3,89 \text{ m}$$

$$GM2 = ((IT) \times p / \Delta) - BG + (v \times bg) / \Delta$$

$$GM2 = ((50270, 8m^4) \times 1,025 / 12300 \text{ Tonnes}) - 1,75 \text{ m} + (438,18 \text{ Tonnes} \times 3,89 \text{ m} / 12300 \text{ Tonnes})$$

$$GM2 = 2,57 \text{ m}$$

Beregner krenning:

KRM = Kreggende moment = $v \times b \times \cos \varphi$ (ser bort ifra $\cos \varphi$ når φ er mindre enn 10°)

$$\text{arm for kreggende moment} = y = FF1T + YF = 0,27\text{m} + 7 \text{ m} = 7,27\text{m}$$

$$KRM = TCG \times \Delta \quad (\text{TCG} = \text{tverrskips forflytning av tyngdepunktet})$$

$$\tan \varphi = TCG/GM2 = KRM / \Delta / GM2 = (v \times b) / \Delta \times GM2$$

$$\tan \varphi = (v \times y) / \Delta \times GM2$$

$$\tan \varphi = (438,18 \text{ Tonnes} \times 7,27 \text{ m}) / 12300 \text{ Tonnes} \times 2,57 \text{ m} \quad \tan \varphi = 0,100774 \rightarrow \text{Arc tan} = 5,75^\circ \quad (\text{tilnærmet men nøyaktig nok})$$

Oppgave 5 Linda

MS Linda har $T = 8,0 \text{ m}$, ingen trim & list, $KG = 7,50 \text{ m}$. Det blir en skade i lasterom # 3 og db. Tank 3 stb. Fyllingsgraden i lasterom # 3 er $0,70 (\mu)$. Db tank 3 var tom før hendelsen (høyde settes til $2,0 \text{ m}$)

a) Beregn trim, dypgående forut og akter, GM og krenning etter fylling

b) Hvordan bør man rette opp skipet?

Løsningsforslag:

$$\Delta = 18770 \text{ Tonnes}, \text{ TPC} = 26,87 \text{ tonn/cm}, \text{ KM} = 8,54 \text{ m}$$

$$\text{Lasterom \# 3, (ut av skisse): Lengde} = 17,5 \text{ m}, \text{ bredde} = 20,0 \text{ m}, \text{ lcg} = 93,88 \text{ m}$$

$$\text{Tappt vannlinje areal} = 17,5 \text{ m} \times 20,0 \text{ m} = 350 \text{ m}^2$$

$$\text{Db. Tank nr. 3: volum} = 328 \text{ m}^3, \text{ tankens høyde} = 2,0 \text{ m}, \text{ lcg} = 93,39 \text{ m}$$

Beregner trim endring først:

$$TPC = A_w \times p / 100 \rightarrow A_w = 100 \times TPC / p = 100 \times 26,87 \text{ tonn/cm} / 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 2621 \text{ m}^2$$

$$A - a = 2621 \text{ m}^2 - 350 \text{ m}^2 = 2271 \text{ m}^2$$

$$(\text{Tilnærmet}) TPC1 = (A - a) \times p / 100 = 2271 \text{ m}^2 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 100 = 23,27 \text{ tonn/cm}$$

Beregning av tapt oppdrift:

$$(\text{tilnærmet}) \text{ Vekt i lasterom \# 3} = L \times B \times H \times \mu \times p = 17,5 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,025 \text{ tonn/m}^3$$

$$= 1506,75 \text{ Tonnes. (husk at høyde av fylling i lasterom \# 3} = T - \text{høyde av ballasttank} = 8 \text{ m} - 2 \text{ m} = 6 \text{ m})$$

$$\text{Vekt av vann i db.nr 3} = \text{volum} \times p = 328 \text{ m}^3 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 336,2 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Total vekt} = 1506,75 \text{ Tonnes} + 336,2 \text{ Tonnes} = 1842,95 \text{ Tonnes} \approx 1843 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Neddykking } s = v/TPC1 = 1843 \text{ Tonnes} / 23,27 \text{ tonn/cm} = 79,19 \text{ cm} \approx 79 \text{ cm}$$

$$\text{Ny } T = 8,00 \text{ m} + 0,79 \text{ m} = 8,79 \text{ m}$$

$$TPC1 = 27,53 \text{ tonn/cm}$$

$$LCF1 = 2,45 \text{ m aktenfor } \alpha$$

$$MTC(l1) = 276,5 \text{ TM/cm}$$

$$LPP/2 = 74,67 \text{ m}$$

$$LCF1 = LPP/2 - 2,45 \text{ m aktenfor } \alpha = 72,22 \text{ m (i fra AP)}$$

Flytting av flotasjonscenter:

$$XF = Lcg \# 3 - LCF1 = 93,88 \text{ m} - 72,22 \text{ m} = 21,66 \text{ m}$$

$$FF1 = (a \times XF) / (A - a) = (350 \text{ m}^2 \times 21,66 \text{ m}) / 2271 \text{ m}^2$$

$$FF1 \approx 3,34 \text{ m}$$

$$\text{Flotasjonscenteret } F1 \text{ beliggenhet er } = 2,45 \text{ m} + 3,34 \text{ m} = 5,79 \text{ m aktenfor } \alpha \text{ (LPP/2)}$$

$$\text{Beregner } IL1 = IL + A (FF1)^2 - a (FF1 + XF)^2$$

$$I_L = (MTC1 \times 100 \times LPP) / p = (276,5 \text{ TM/cm} \times 100 \times 149,35 \text{ m}) / 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 4028807,3 \text{ m}^4$$

$$A (FF1)^2 = 2621 \text{ m}^2 \times (3,34 \text{ m})^2 = 29238,8 \text{ m}^4$$

$$a (FF1 + XF)^2 = 350 \text{ m}^2 \times (3,34 \text{ m} + 21,66 \text{ m})^2 = 218750,0 \text{ m}^4$$

$$IL1 = 3839296,1 \text{ m}^4$$

$$\text{Beregner } MTCL1 = I_L1 \times p / 100 \times LPP = 3839296,1 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 100 \times 149,35 \text{ m}$$

$$MTCL1 \approx 263,5 \text{ TM/cm}$$

$$(\text{Trimendring}) t = (V1 \times X1) + (V2 \times X2) / MTCL1$$

$$\text{Lasterom \# 3} = X1 = 93,88 \text{ m} - 72,22 \text{ m} + 3,34 \text{ m} = 25,00 \text{ m}$$

$$\text{Db.nr.3} = X2 = 93,39 \text{ m} - 72,22 \text{ m} + 3,34 \text{ m} = 24,51 \text{ m}$$

$$t = (1506,75 \text{ Tonnes} \times 25,00 \text{ m}) + (336,2 \text{ Tonnes} \times 24,51 \text{ m}) / 263,5 \text{ TM/cm}$$

$$t = 174,22 \text{ cm}$$

trim til fordeling = $t (LPP/2 \pm LCF_{L1}) / LPP$

1,74 m (149,35 m/2 \pm 5,79 m) / 149,35 m = $t_f = 0,937 \approx 0,94$ m, $t_a = 0,80$ m

TF = 8,0 m + 0,79 m + 0,94 m = 9,73 m

TA = 8,0 m + 0,79 m - 0,80 m = 7,99 m

Beregning av GM2:

$$GM_2 = B_2M_2 - BG + BB_2$$

Problemet med Linda er at vi ikke har tabeller for B (KB), da blir ledd 2 og 3 usikker (- BG + BB₂). B₂M₂ er mellom B₂ og M₂ og denne kan la seg beregne, dvs. det vi taper i vannlinjeareal (forskjell i BM)

Bruker opprinnelig GM som utgangspunkt.

$$GM_2 = GM - \delta BM + S/2 \quad (S/2 = \text{nedsynking}/2 = \text{tilnærmet} = BB_2)$$

$$GM = KM - KG = 8,54 \text{ m} - 7,50 \text{ m} = 1,04 \text{ m}$$

$$\delta BM = \text{Forskjell i BM} = l_T \times \rho / \Delta = 17,5 \text{ m} \times (20 \text{ m})^3 \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 / 12 \times 18800 \text{ Tonnes} = 0,636 \text{ m}$$

$$S/2 \text{ (tilnærmet } BB_2) = 0,79 \text{ m} / 2 = 0,395 \text{ m}$$

$$GM_2 = 1,04 \text{ m} - 0,636 \text{ m} + 0,395 \text{ m} = 0,799 \approx 0,80 \text{ m}$$

Beregner krenghingen:

$$\text{Arm} = b = Y = B/2 \times 0,5 = 5,1 \text{ m}$$

$$TCG = \text{vekt} \times b / \Delta = 336,2 \text{ Tonnes} \times 5,1 \text{ m} / 18770 \text{ Tonnes} = 0,0913 \text{ m}$$

$$\tan \varphi = GG_3 / GM_2 = 0,114004 \rightarrow \text{Arc tan} = 6,5^\circ$$

b)

Linda har fortsatt god stabilitet. Man kan fylle db tank 4 BB (samme størrelse og på motsatt side), trimmen blir redusert. T økes med ca. 15 cm (fylling av ballast)

Oppgave til GP

«GP» er i US Gulf på vei til Galveston off-port (lektring), det har nettopp vært et kraftig uvær i området, skipet går med redusert fart. Plutselig berører «GP» en undervannsplattform (som har driftet av i uværet), lastetank 2ws blir skadet, er uten last.

Data for GP: T = 16,00m (EK), GM effektiv = 5,5 m (anslått)

c) Beregn trim, dypgående forut og akter etter skaden.

d) Beregn GM og krenghing etter fylling

Løsningsforslag:

Ved T = 16,0 m: $\Delta = 202756 \text{ Tonnes}$, TPC = 136,3 Tonn/cm, KM = 19,95 m

Data for 2ws: 2ws: 27,4 m l, 9,6 m b, lcg = 207,00 m.

Tapt vannlinjeareal (a): $27,4 \text{ m} \times 9,6 \text{ m} = 263,04 \text{ m}^2$

$$A_w(A) \text{ ved } T = 16 \text{ m} = 13296,5 \text{ m}^2 \text{ (hentet ut fra de hydrostatiske tabeller)}$$

$$A - a = 13296,5 \text{ m}^2 - 263,04 \text{ m}^2 = 13033,45 \text{ m}^2$$

$$TPCL1 = 13033,45 \text{ m}^2 \times 1,025 \text{ t/m}^3 / 100 = 133,59 \text{ tonn/cm}$$

Beregning av tapt oppdrift:

$$\text{Vekt i lastetank 2ws} = L \times B \times H \times \mu \times \rho = 27,4 \text{ m} \times 9,6 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 0,95 \text{ m} \times 1,025 \text{ tonn/m}^3$$

$$\text{Vekt i lastetank 2ws} = 4098,16 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Nedsyning (S)} = \text{Vekt} / \text{TPCL1} = 4098,16 \text{ Tonnes} / 133,59 \text{ tonn/cm} = 30,67 \text{ cm}$$

$$T = 16,0 + 0,31 \text{ m} = 16,31 \text{ m}$$

$$\text{MTCL1} = 2893 \text{ TM/cm}$$

$$\text{LCF11} = 2,67 \text{ m foren foran } \alpha$$

$$\text{LPP/2} = 156,5 \text{ m}$$

$$\text{LCF11 i fra AP} = 156,5 \text{ m} + 2,67 \text{ m} = 159,17 \text{ m}$$

Flytting av flotasjonscenter:

$$\text{XF} = \text{Lcg 2ws} - \text{LCF11} = 207,00 \text{ m} - 159,17 \text{ m} = 47,83 \text{ m}$$

$$\text{FF1} = (a \times \text{XF}) / (A - a) = (233,4 \text{ m}^2 \times 47,83 \text{ m}) / 13033,45 \text{ m}^2$$

$$\text{FF1} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Flotasjonscenteret F1 beliggenhet er} = 2,67 \text{ m} + 0,85 \text{ m} = 3,52 \text{ m foren for } \alpha \text{ (LPP/2)}$$

$$\text{Beregner IL1} = \text{IL} + A (\text{FF1})^2 - a (\text{FF1} + \text{XF})^2$$

$$\text{IL} = (\text{MTCL1} \times 100 \times \text{LPP}) / \rho = (2893 \text{ TM/cm} \times 100 \times 313 \text{ m}) / 1,025 \text{ tonn/m}^3 = 88342341,46 \text{ m}^4$$

$$A (\text{FF1})^2 = 13296,5 \text{ m}^2 \times (0,85 \text{ m})^2 = 96067,57 \text{ m}^4$$

$$a (\text{FF1} + \text{XF})^2 = 263,04 \text{ m}^2 \times (0,85 \text{ m} + 47,83 \text{ m})^2 = 623337,04 \text{ m}^4$$

$$\text{IL1} = 87815071,99 \text{ m}^4$$

$$\text{Beregner MTCL1} = \text{IL1} \times \rho / 100 \times \text{LPP} = 87815071,99 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 100 \times 313 \text{ m}$$

$$\text{MTCL1} \approx 2875,73 \text{ TM/cm}$$

$$\text{(Trimendring) } t = (\text{V1} \times \text{X1}) / \text{MTCL1} = 4098,16 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Lastetank 2ws} = \text{X1} = 207,0 \text{ m} - (159,17 \text{ m} + 0,85 \text{ m}) = 46,98 \text{ m}$$

$$\text{(Trimendring) } t = (\text{V1} \times \text{X1}) / \text{MTCL1} = (4098,16 \text{ Tonnes} \times 46,98 \text{ m}) / 2875,73 \text{ TM/cm} =$$

$$\text{(Trimendring) } t = 66,9 \text{ cm} = 0,67 \text{ m}$$

$$\text{trim til fordeling} = t (\text{LPP/2} \pm \text{LCF}_{L1}) / \text{LPP}$$

$$0,67 \text{ m} (313 \text{ m/2} \pm 3,52 \text{ m}) / 313 \text{ m} = \text{tf} = 0,327 \approx 0,94 \text{ m}, \text{ ta} = 0,342 \text{ m}$$

$$\text{TF} = 16,0 \text{ m} + 0,31 \text{ m} + 0,327 \text{ m} = 16,637 \approx 16,64 \text{ m}$$

$$\text{TA} = 16,0 \text{ m} + 0,31 \text{ m} - 0,342 \text{ m} = 15,968 \text{ m} \approx 15,97 \text{ m}$$

b)

$$GM_2 = GM - \delta BM + BB_2$$

$$\delta BM = IT \times \rho / \Delta = 27,4 \text{ m} \times (9,6 \text{ m})^3 \times 1,025 \text{ Tonn/m}^3 / 12 \times 202756 \text{ Tonnes}$$

$$\delta BM = 0,12 \text{ m}$$

På GP har man B oppgitt i de hydrostatiske tabeller men man kjenner ikke til formen på vannlinjeplanet og ikke koeffisienten heller, må derfor beregne δBM . BB_2 lar seg beregne.

$$BB_2 = 8,368 \text{ m} - 8,23 \text{ m} = 0,156 \text{ m}$$

$$GM_2 = 5,5 \text{ m} - 0,12 \text{ m} + 0,156 \text{ m} = 5,536 \text{ m}$$

F = Flotasjonsenter om CL, FF_1 = Flotasjonsenter forandring pga av skade

$$FF_1 = a \times YF / A - a =$$

$$YF = B/2 - 9,6 \text{ m} / 2 = 24 \text{ m} - 9,6 \text{ m} / 2 = 19,2 \text{ m}$$

$$a = 263,0 \text{ m}^2$$

$$A - a = 13296,5 \text{ m}^2 - 263,04 \text{ m}^2 = 13033,45 \text{ m}^2$$

$$FF_{1T} = 263,04 \text{ m}^2 \times 19,2 \text{ m} / 13033,45 \text{ m}^2 = 0,387 \text{ m (flyttes ut l fra senter mot babord)}$$

$$Y = YF + FF_{1T} = 19,2 \text{ m} + 0,387 \text{ m}$$

$$Y = 19,587 \text{ m}$$

$$\tan \phi = (v \times Y) / \Delta \times GM_2 = 4098,16 \text{ Tonnes} \times 19,587 \text{ m} / 202756 \text{ Tonnes} \times 5,536 \text{ m}$$

$$\tan \phi = 0,07151$$

$$\text{Arc Tan} = 4,09^\circ$$

Oppgave Sidus Lekkstabilitet

M/S Sidus seiler i gjennom en krigssone. Det kommer et helikopter inn fra styrbord siden, avfyrer en rakett som treffer under vannlinjen i lasterom # 5. Den penetrerer i gjennom ballasttank 3 WSB og inn i lasterom # 5.

Dypgående er T = 11,00 m EK og KG er beregnet til 12.0 m

e) Foreta beregning om hvor stor trimendringen blir?

f) Foreta beregning om hvor stor krenghingen blir?

Løsningsforslag:

$$\Delta = 47837 \text{ Tonnes, TPC} = 50,42 \text{ tonn/cm, KM} = 13,26 \text{ m}$$

Lasterom # 5, (ut av skisse for containere): Lengde = 12,10m, bredde = 24,5 m, lcg = 97,26 m

$$\text{Tapt vannlinje areal} = 12,10 \text{ m} \times 24,5 \text{ m} = 296,45 \text{ m}^2$$

Db. Tank nr. 3Ws: 21,60 m l, bredde = 2,1 m

$$\text{Tapt vannlinje areal} = 21,60 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} = 45,36 \text{ m}^2$$

Fra part 2 siste del (Sidus) : A = 4918,9 m²

Beregner trim endring først:

$$A - a = 4918,9 \text{ m}^2 - 341,8 \text{ m}^2 = 4577 \text{ m}^2$$

$$(\text{Tilnærmet}) \text{ TPCl1} = (A - a) \times p / 100 = 4577 \text{ m}^2 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 100 = 46,91 \text{ tonn/cm}$$

Beregning av tapt oppdrift:

$$(\text{tilnærmet}) \text{ Vekt i lasterom \# 5} = L \times B \times H \times \mu \times p = 12,1 \text{ m} \times 24,5 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 + 21,6 \text{ m} \times 2,1 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 0,95 = 1914,3 \text{ Tonnes} + 387 \text{ Tonnes} = 2302,1 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Vekt av vann i db.nr 3SB} = 502 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Total vekt} = 2302,1 \text{ Tonnes} + 502 \text{ Tonnes} = 2804,1 \text{ Tonnes}$$

$$\text{Neddykking } s = \sqrt{\text{TPCl1}} = 2804,1 \text{ Tonnes} / 46,91 \text{ tonn/cm} = 59,77 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$\text{Ny } T = 11,0 \text{ m} + 0,60 \text{ m} = 11,60 \text{ m}$$

$$\text{TPCl1} = 50,98 \text{ tonn/cm}$$

$$\text{LCFl1} = 4,45 \text{ m aktenfor } \alpha$$

$$\text{MTC(l1)} = 646,5 \text{ TM/cm}$$

$$\text{LPP/2} = 88 \text{ m}$$

$$\text{LCFl1} = \text{LPP/2} - 4,45 \text{ m aktenfor } \alpha = 83,55 \text{ m (i fra AP)}$$

Flytting av flotasjonscenter:

$$\text{XF} = \text{Lcg \# 5} - \text{LCFl1} = 97,26 \text{ m} - 83,55 \text{ m} = 13,71 \text{ m}$$

$$\text{FF1} = (a \times \text{XF}) / (A - a) = (296,45 \text{ m}^2 \times 13,71 \text{ m}) / 4577 \text{ m}^2$$

$$\text{FF1} = 0,88 \text{ m}$$

$$\text{Flotasjonscenteret F1 beliggenhet er} = 4,45 \text{ m} + 0,88 \text{ m} = 5,33 \text{ m aktenfor } \alpha (\text{LPP/2})$$

$$\text{Beregner } I_{L1} = I_L + A (\text{FF1})^2 - a (\text{FF1} + \text{XF})^2$$

$$I_L = \text{hentet i fra part 5 (ressurshefte)} = 110999444 \text{ m}^4$$

$$A (\text{FF1})^2 = 4918,9 \text{ m}^2 \times (0,88 \text{ m})^2 = 3809,1 \text{ m}^4$$

$$a (\text{FF1} + \text{XF})^2 = 341,8 \text{ m}^2 \times (0,88 \text{ m} + 13,71 \text{ m})^2 = 72750,31 \text{ m}^4$$

$$I_{L1} = 11031002,79 \text{ m}^4$$

$$\text{Beregner } \text{MTCL1} = I_{L1} \times p / 100 \times \text{LPP} = 110980520,79 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ tonn/m}^3 / 100 \times 176 \text{ m}$$

$$\text{MTCL1} \approx 642,4 \text{ TM/cm}$$

$$\text{Trim endring} = (V1 \times X1) + (V2 \times X2) + (V3 \times X3) / \text{MTCL1} =$$

$$\text{Lasterom \# 5} = X1 = 97,26 \text{ m} - 83,55 \text{ m} + 0,88 \text{ m} = 12,83 \text{ m}$$

$$\text{BT 3WS} = X2 = 93,39 \text{ m} - 83,55 \text{ m} + 0,88 \text{ m} = 8,96 \text{ m}$$

$$\text{BT 3S} = X3 = 90,17 \text{ m} - 83,55 \text{ m} + 0,88 \text{ m} = 5,74 \text{ m}$$

$$(2302,1 \text{ Tonnes} \times 12,83 \text{ m}) + (387 \text{ Tonnes} \times 8,96 \text{ m}) + (502 \text{ Tonnes} \times 5,74 \text{ m})$$

$$\Sigma \text{TM} = 35884,9 \text{ TM, trimendring} = \Sigma \text{TM} / \text{MTCL1} = 35884,9 \text{ TM} / 642,4 \text{ TM/cm}$$

Trimendring blir 55 cm forlig

$$\text{Trim til fordeling} = t (\text{LPP/2} \pm \text{LCFl1}) / \text{LPP}$$

$$0,55 \text{ m} (176 \text{ m/2} \pm 5,33 \text{ m}) / 176 \text{ m} = t_f = 0,29, t_a = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{TF} = 11 \text{ m} + 0,60 \text{ m} + 0,29 \text{ m} = 11,89 \text{ m}$$

$$TA = 11 \text{ m} + 0,60 \text{ m} - 0,25 \text{ m} = 11,34 \text{ m}$$

(Ikke korrigeret for kjøplate)

b)

FT = Flotasjonsenter om CL, FF1 = Flotasjon senter forandring pga av skade

$$Y_f = B/2 - 2,1 \text{ m} / 2 = 15,5 \text{ m} - 1,05 \text{ m} = 14,45 \text{ m}$$

$$FF_{1T} = a \times Y_f / A - a = 45,36 \text{ m}^2 \times 14,45 \text{ m} / (4918,9 \text{ m}^2 - 45,36 \text{ m}^2) - a = 0,134 \text{ m} \text{ (flyttes ut l fra senter mot babord)}$$

$$I_{T1} = I_T + A (FF_{1T} - I_T)^2 - a (FF_{1T} + Y_f)^2$$

$$I_T = \text{tas ut i fra part 2 (siste del)} = 357538 \text{ m}^4$$

$$IT1 = 357538 \text{ m}^4 + 4918,9 \text{ m}^2 (0,134 \text{ m})^2 - 45,36 \text{ m}^2 (14,45 \text{ m} + 0,134 \text{ m})^2 = 347978,56 \text{ m}^4$$

$$GM2 = KM2 - KG =$$

$$KM2 = B2M2 + BB2 + KB = 7,45 \text{ m} + 0,21 \text{ m} + 5,66 = 13,32 \text{ m}$$

$$GM2 = KM2 - KG = 13,32 \text{ m} - 12,0 \text{ m} = 1,32 \text{ m}$$

$$BB2 = 5,77 \text{ m} - 5,56 \text{ m} = 0,21$$

$$B2M2 = (IT1) \times \rho / \Delta = 347978,56 \text{ m}^4 \times 1,025 \text{ t/m}^3 / 47837 \text{ Tonnes}$$

$$B2M2 = 7,45 \text{ m}$$

$$\text{Krengende moment} = (V1 \times Y1) + (V2 \times Y2) = (387 \text{ Tonnes} \times (14,45 + 0,134) \text{ m}) + (502 \text{ Tonnes} \times (7,69 + 0,134) \text{ m})$$

$$\text{Krengende } \Sigma TM = 9571,65 \text{ TM}$$

$$TCG = \text{Krengende } \Sigma TM / \Delta = 9571,65 \text{ TM} / 47837 \text{ Tonnes} = 0,2000 \text{ m}$$

$$\tan \phi = TCG / GM2 = 0,2000 \text{ m} / 1,32 \text{ m} = 0,151$$

$$\text{Arc Tan } \phi = 8,61^\circ \text{ (tilnærmet)}$$

