

# Veiligheid containerfeeders

## Onderzoek naar het kapseizen van de "Dongedijk"

Het gebruik van de Gross Tonnage waarde als maatstaf voor haven- en andere gelden staat al heel lang ter discussie. De koppeling van de GT met te betalen gelden leidt volgens diverse ontwerpers tot een veiligheidskwestie. Optimalisatie (of beter: minimalisatie) van de GT heeft over het algemeen een reductie van het reservedrijfvermogen en beperking van de stabiliteitsomvang tot gevolg. De laatste generatie containerfeeders laten deze minimalisatie goed zien.

Een voorbeeld van een schip waarbij de GT-waarde door middel van verlaging van het vrijboord tot een minimum is beperkt, is de "Dongedijk"; het schip dat op 15 augustus 2000 nabij Port Said kapseisde in gunstige weersomstandigheden. Hoewel het kapseizen primair te wijten was aan onvoldoende stabiliteit als gevolg van een overbelading van het schip, hebben er secundair nog een aantal andere factoren een rol gespeeld.

In dit artikel wordt een reeks van gebeurtenissen beschreven die vermoedelijk heeft geleid tot het kapseizen van de feeder. De resultaten van dit onderzoek diende als basis voor verder onderzoek naar de stabiliteitsgevoeligheid van feeders met een laag vrijboord. Beide onderzoeken passeren in dit artikel de revue.

### Inleiding

Het onderzoek is uitgevoerd door de TU Delft en het MARIN en komt voort uit een voorstel voor een risicoanalyse van de containervaart. Het Directoraat Generaal Goederenvervoer heeft het project, dat onder de vleugels van het MKC (Maritiem Kennis Centrum) is uitgevoerd, grotendeels gefinancierd. Het MKC is een samenwerkingsverband van de TU-Delft, MARIN, TNO en het KIM.

Dat het onderzoek zich vooral heeft gericht op de kleine containerschepen (feeders) heeft te maken met de uitspraak van de Raad voor de Scheepvaart in de zaak 'Dongedijk' in april 2002. In deze uitspraak doet de Raad aanbevelingen voor verder onderzoek met betrekking tot dit scheepstype.

### Het 'Dongedijk- ongeval'

Over het ongeval met de feeder "Dongedijk" is al veel gezegd en geschreven, echter de technische achtergronden van het kapseizen hebben weinig aandacht gehad. In dit artikel wordt een reeks van gebeurtenissen beschreven die vermoedelijk heeft geleid tot het kapseizen van het schip. Voor de feiten en de uitspraak van de Raad voor de Scheepvaart in de zaak "Dongedijk" wordt verwezen naar eerdere artikelen gepubliceerd in Schip en Werf de Zee en de uitspraak van de Raad gepubliceerd in de Staatscourant. (Schip & Werf de Zee, juni 2002, artikel: 'Raad voor de Scheepvaart: Dongedijk' en voor de uitspraak van de Raad voor de Scheepvaart: Bijvoegsel van de Nederlandse Staatscourant van woensdag 1 mei 2002, nr.82, nummer 8.)

In ieder geval was er sprake van een overbelading. Ten tijde van het kapseizen was er 150 ton extra, bovenop de ontwerpdeadweight,

aan boord. Het verschil tussen het werkelijke gewicht en het gewicht vermeld in de ladingdocumentatie bedroeg 177 ton. Dat is een overbelading van 5,6% op het totale gewicht van de lading. Van de 143 geladen containers waren er 52 meer dan een ton zwaarder dan in de ladingbrieven was vermeld. Opvallend was dat vooral de lichtere containers de grootste afwijking in gewicht vertoonden. Deze containers stonden hoog aan boord gepland, met als gevolg een aanzienlijke verschuiving van de verticale positie van het zwaartepunt. Samen met een trim van 1,6 meter achterover betekende dit dat het effectieve vrijboord vlak voor de kampanje was gereduceerd tot 0,70 meter. De verticale ligging van het zwaartepunt was wat onduidelijker. Zonder correcties voor vrije vloeistof invloeden is een conservatieve GM-waarde van 0,77 meter bepaald. De resulterende stabiliteitscurve laat een tijdelijke afname van de oprichtende arm zien rond een hellingshoek van 12 graden (zie figuur 1). Verder voldoet, zelfs met een conservatieve GM-waarde van 0,77 meter, deze stabiliteitscurve niet aan vier van de zes door het IMO opgestelde en door de Scheepvaartinspectie verplicht gestelde intacte stabiliteits-eisen (zie tabel).

Opvallend is echter wel dat er wordt voldaan

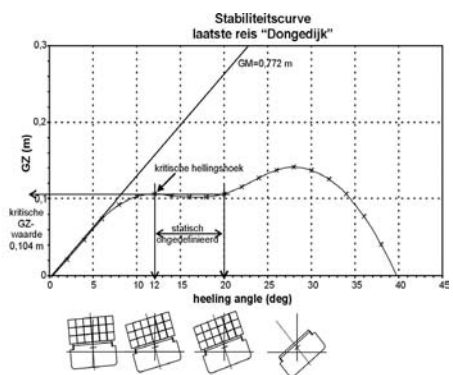


Fig. 1: Aangenomen GZ-curve ten tijde van kapseizen.

aan de criteria voor kleine hellingshoeken (het voorschrift m.b.t. het oppervlak tot 30 graden hellingshoek en de minimale GM eis). Toch is het schip, ondanks de relatief grote GM-waarde en een dynamische stabiliteit tot 30 graden hellingshoek overeenkomstig de regelgeving, in vlak water en bij rustig weer gekapseisd. Hoe dit heeft kunnen gebeuren wordt hieronder beschreven.

In vlak water, zonder voorwaartse snelheid, verdwijnt in de gegeven beladingsomstand de dekrand vlak voor de kampanje al bij vijf graden onder water. Echter, doordat het schip een voorwaartse snelheid heeft, zal door het

Rule	Criteria	Units	Required	Actual	Status
1	IMO Area 0. to 30.	m.Radians	0,055	0,056	Pass
2	IMO Area 0. to 40. or Downflooding Point	m.Radians	0,09	0,072	Fail
3	IMO Area 30. to 40. or Downflooding Point	m.Radians	0,03	0,017	Fail
4	IMO GZ at 30. or greater	m	0,2	0,152	Fail
5	IMO Angle of GZ max	Degrees	30	28,768	Fail
6	IMO GM	m	0,15	0,772	Pass

Tabel : Mate van overeenstemming met de IMO-'intact stability' criteria.

opgewekte golfpatroon, inzinking (squat) en trimverandering het effectieve vrijboord veranderen en dus ook de hoek waarbij de dekrand onder het wateroppervlak verdwijnt. Berekeningen laten zien dat er een kleine toename van het vrijboord, zo'n zes centimeter, te verwachten valt. Door de invloed van de voorwaartse snelheid zal de hellingshoek waarbij de dekrand nat wordt, toenemen tot 5,5 graden.

Wordt deze hoek bereikt als het schip van koers verandert? Om dit te kunnen bepalen zijn dynamische berekeningen uitgevoerd met behulp van het MARIN manoeuvreerprogramma SurSim. Als we uitgaan van een snelheid van 11 knoop en een metacenterhoogte van 0,77 meter, dan is minimaal een hellingshoek van 6 graden te verwachten bij een roeruitslag van tien graden. Dit betekent dus dat bij een koersverandering onder deze condities het dek onder water zal verdwijnen.

Op zich is water aan dek geen groot probleem, zolang het er ongehinderd weer vanaf kan lopen. Echter, de waterloospoorten in de verschansing verdwijnen bij een hellingshoek van 6 graden ook onder het wateroppervlak. De afvoer van water van het dek is hierdoor beperkt (de mate van afvoer is nu afhankelijk van het verschil in waterniveau tussen het water aan dek en de omgeving). Het ontwerp laat toe dat water tussen de verschansing en de coaming door, bij een snelheid van 11 knoop, aan dek wordt gestuwd (zie figuur 2). Door de waterloosopeningen in de doorgetrokken coaming tussen de kampanje en de luikopeningen kan water zich verspreiden over de gehele breedte van het achterdek.

Om te kunnen bepalen of het mogelijk is genoeg water aan dek te verzamelen om te kapseizen en hoe snel dit eventueel plaats vindt, is een simulatiemodel opgesteld. Het model, opgesteld met behulp van het programma Matlab/Simulink, gaat uit van een volumestroom die afhankelijk is van de volgende drie variabelen:

- De grootte van de instroomopening
- De voorwaartse snelheid van het schip
- De hellingshoek

Alleen extra aan dek gestuwd water zal een hellend moment veroorzaken. Water aan dek bij een statische hellingshoek is al meegenomen in de stabiliteitscurve. Als de nieuwe hellingshoek aan de hand van deze curve wordt bepaald, dan dient deze hoeveelheid water niet te worden meegenomen bij het bepalen van het hellend moment. Op een gegeven tijdstip wordt de totale hoeveelheid water aan dek bepaald (de hoeveelheid die tot dat tijdstip aan dek is gestuwd met aftrek van het geloosde water door de waterloospoorten),

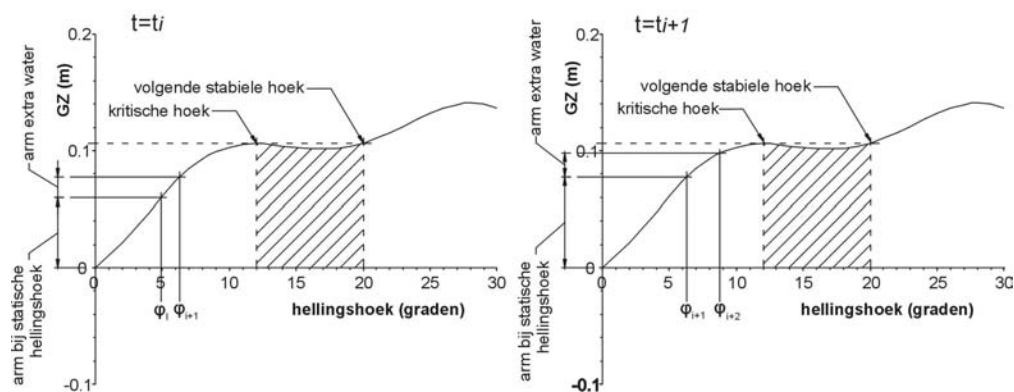


Fig. 3: Een stap in de simulatie; het bepalen van de nieuwe hellingshoek.

evenals de statische hoeveelheid horende bij de hellingshoek van dat moment. De uitstroom door de waterloospoorten wordt bepaald aan de hand van het niveauverschil tussen het water aan dek en de omgeving. Het verschil van de twee volumes (het totale en het statische volume) bepaalt het hellende moment. Aan de hand van dit moment wordt de nieuwe hellingshoek bepaald waarna het proces opnieuw wordt doorlopen. Overigens is bij het bepalen van de hellingshoek alleen gekeken naar de statische hoek, aangezien het aan dek verzamelen van water gezien kan worden als een statisch belastingsgeval. Dynamische verschijnselen, zoals een ontwikkelde rolsnelheid wanneer het oprichtende moment reduceert, zijn niet meegenomen in het model. Wanneer het maximale oprichtende moment is bereikt, wordt het schip namelijk beschouwd te zijn gekapseisd en stopt de simulatie.

De simulaties wijzen uit dat de snelheid waarmee water wordt verzameld sterk afhankelijk is van de hellingshoek (de minimale te verwachten hoek volgens de SurSim simulaties). Deze initiële hellingshoek wordt in dit geval veroorzaakt door de koersverandering bij een snelheid van 11 knoop. Bij een initiële hoek van 6 graden is het mogelijk voldoende water (zo'n 40 m<sup>3</sup> in totaal) aan dek te laten stromen om het schip voorbij de kritische hoek van het statisch ongedefinieerde gebied te doen hellen.

Zodra deze kritische hellingshoek van 12 graden is bereikt zal het schip, omdat het aan dek stromen van water een statisch belastingsgeval is, doorvallen naar een grotere hellingshoek. Statisch zal deze hoek ongeveer 20 graden zijn. Echter zal door de rolsnelheid de maximale hoek groter zijn. Dit verloop van de helling komt overeen met de getuigenverklaringen. Het schip zou eerst plotseling naar een hellingshoek van meer dan 20 graden zijn geheld en daarna langzaam verder zijn doorgerold.

### Koppeling ongeval met verder stabiliteitsonderzoek

Het onderzoek naar het kapseizen van de "Dongedijk" wees op een gevoeligheid van de stabiliteit op variaties in waterverplaatsing en zwaartepuntligging. Een ander belangrijk punt is het verloop van de stabiliteitsarm bij toenemende hellingshoek. Het ontstaan van een zogenaamd statisch ongedefinieerd gebied bij bepaalde beladingcondities heeft een belangrijke rol in het gebeuren rond de "Dongedijk" gespeeld.

De gevoeligheid van de stabiliteit is terug te voeren op het lage vrijboord. Doordat veel

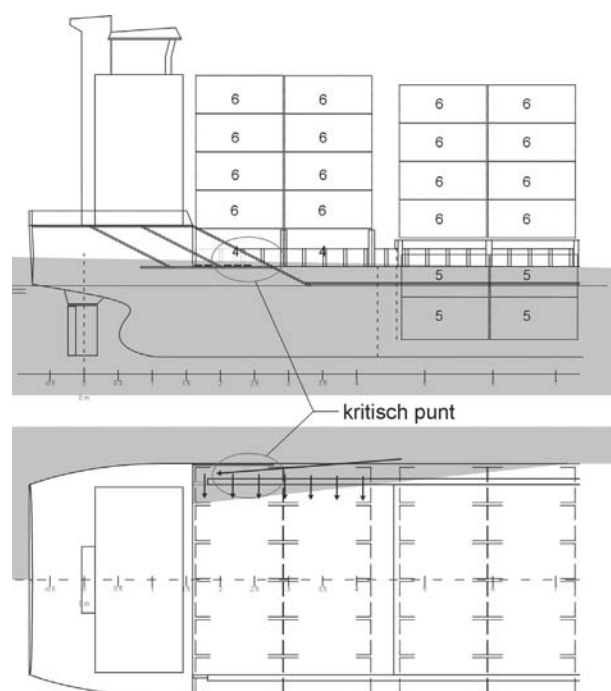


Fig. 2: Kritisch punt tussen de verschansing en de coaming waar water aan dek kan worden gestuwd; het schaduwgebied geeft het waterniveau aan bij een hellingshoek van 6 graden en een trim van 1,6 meter.

havens hun gelden baseren op de Gross Tonnage waarde van een schip, wordt bij het ontwerpen van het schip gepoogd deze waarde zo laag mogelijk te houden. De meest effectieve manier is het vrijboord te verlagen en, in het geval van containerschepen, de hoeveelheid deklading in verhouding tot de hoeveelheid lading in het ruim te vergroten. Figuur 4 laat de ontwikkeling van de GT-waarde zien voor containerfeeders met een maximale containercapaciteit van 200 tot 600 teu. De laatste tien jaar is een geleidelijke daling in de gemiddelde Gross Tonnage per teu te zien. De spreiding daarentegen is groter geworden. De laatste paar jaar is de daling enigszins afgeremd. Waarschijnlijk omdat de geldende minimale vrijboords- en stabiliteiteisen worden benaderd.

De reductie in GT wordt, zoals gezegd, hoofdzakelijk bereikt door het vrijboord te reduceren. Samen met relatief geringe diepgangen levert dit grote breedte/diepgang en breedte/holte verhoudingen op, zoals in figuur 5 te zien is. Deze keuze van breedte, diepgang en holte resulteert in een minimale ontwerpstabiliteit (voor de verscheidene ontwerpcondities) die overigens wel aan alle gestelde stabiliteits-eisen voldoet.

### Stabiliteitscurve

Bij het ongeval was er sprake van een statisch ongedefinieerd deel in de stabiliteitscurve. Figuur 1 laat de stabiliteitscurve zien zoals die is bepaald tijdens het onderzoek naar het kapseizen van de "Dongedijk". Daarbij is overigens van een metacenterhoogte van 0,77 meter uitgegaan. Het extra drijfvermogen van de containers aan dek is niet meegenomen bij de bepaling van deze curve.

Bij een toenemende statische belasting zal de hellingshoek, zodra het kritische hellende moment is bereikt, een sprong maken naar het volgende stabiele niveau behorende bij die belasting. Dit gebeurt echter alleen maar bij een geleidelijke opbouw van de belasting, zoals bijvoorbeeld het verzamelen van water aan dek of het vullen van een tank.

In het voorliggende geval zal, als een hellende arm van 0,104 meter (of een hellingshoek van 12 graden) is bereikt, het schip een stabiele hellingshoek van 20 graden aannemen. Doordat het schip, als het van 12 graden naar 20 graden rolt, een rolsnelheid ontwikkelt zal de maximale dynamische hellingshoek groter zijn dan de statische 20 graden.

Het besproken statisch ongedefinieerde gebied ontstaat overigens niet alleen bij overbelastingcondities. Ook de stabiliteitscurves van

belastinggevallen goedgekeurd door de Scheepvaartinspectie vertonen een dergelijk verloop van het oprichtend moment. Zelfs de ontwerpconditie van de "Dongedijk", gelijklastig beladen met een verticaal zwaartepuntpositie gelimiteerd door de zes IMO 'intact stability criteria', vertoont ditzelfde verloop.

Uit voorlopig aanvullend onderzoek blijkt overigens dat het ontstaan van dergelijke curves sterk afhankelijk is van de gekozen rompvorm en hoofdafmetingen. Vooral de verhoudingen tussen deze factoren bepalen of er een ongedefinieerd gebied ontstaat. Voor de rompvorm is daarbij vooral te denken aan de blokken de prismatische coëfficiënt en voor de hoofdafmetingen aan bijvoorbeeld de lengte van het vrijboorddek, de bakdekhogte en de breedte van het gangboord.

### Gevoeligheid voor deadweight en zwaartepuntvariatie

Zeker bij containerschepen is er per reis een grote variatie in het gewicht van de te vervoeren lading en de verdeling van dit gewicht. Een containerschip zal dus een oneindig aantal beladingsituaties kennen. Bij het ontwerp en de keuring ervan wordt uitgegaan van een aantal standaard beladingsituaties met homogene beladen containers met allen hetzelfde gewicht. Deze beladingcondities zijn beschreven in het stabiliteitsboek. In werkelijkheid is er een grote variatie in gewicht en zwaartepuntligging per container. Daar komt de onzekerheid over de correctheid van de bijgeleverde ladingbrieven nog bij (als gevolg van fraude of fouten).

De ladingplanning en stabiliteitsbepaling gebeurt aan de hand van deze ladingbrieven. Het werkelijke gewicht van de lading aan boord wordt gecontroleerd aan de hand van een diepgangmeting. De verticale positie van het zwaartepunt is moeilijker te controleren. Het is mogelijk dit te doen aan de hand van een slingerproef, echter deze proef dient zeer nauwkeurig te worden uitgevoerd (het schip moet vrij drijven, het gewicht en de locatie van het ballastgewicht moeten nauwkeurig bekend zijn en de slingerijd dient nauwkeurig gemeten te worden) willen de resultaten betrouwbaar zijn.

Het is dus van groot belang de stabiliteitberekening met gecorrigeerde gewichten nogmaals uit te voeren als er sprake is van een verschil tussen het displacement, bepaald aan de hand van de ladingbrieven, en het werkelijke displacement. Daarbij dient het extra gewicht op de minst gunstige positie toegevoegd te worden. Zeker wanneer een ontwerp gevoelig is voor variaties in deadweight en positie van het zwaartepunt moet niet alleen worden gekeken naar de behaalde GM-waarde. Tevens het verloop van het oprichtend moment moet worden bepaald en beoordeeld.

Fig. 4: GT/teu ontwikkeling voor feeders.

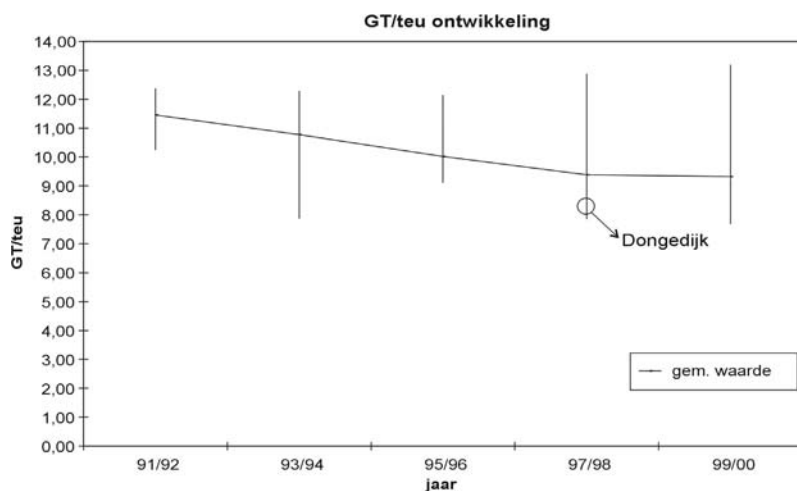
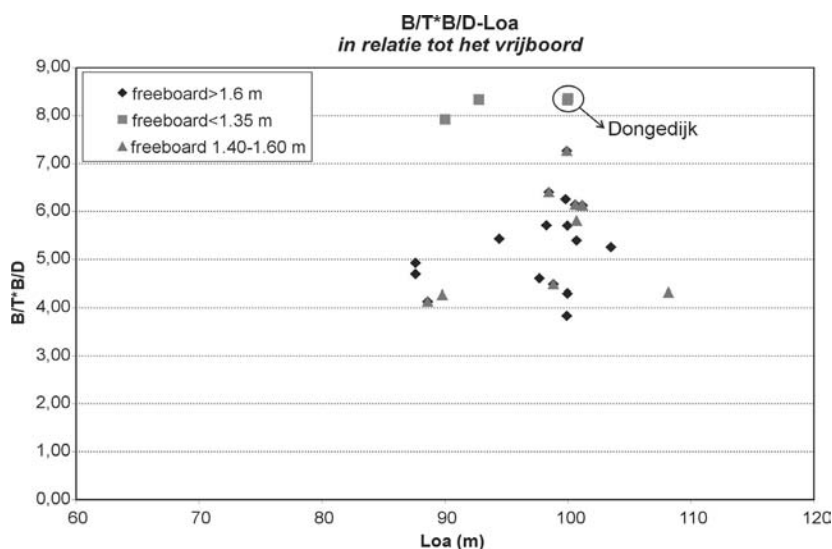


Fig 5: Breedte/diepgang en breedte/holte verhoudingen per vrijboord groep.



Er is dus een bepaalde mate van onzekerheid met betrekking tot, voor de stabiliteit, zeer belangrijke parameters. Dit maakt het belangrijk om te weten hoe de stabiliteit verandert bij variatie van ladinggewicht en positie van het zwaartepunt (vooral in hoogte maar ook in lengte positie). Om de mate van stabiliteitsvariatie in relatie tot de vrijboordhoogte te kunnen bepalen zijn twee ontwerpen met elkaar vergeleken. Eén ontwerp heeft een vrijboord beperkt tot het wettelijke minimum voor dit schip van 1,3 meter (twee lagen containers onderdeks). Het andere ontwerp heeft dezelfde rompvorm en afmetingen, echter het vrijboord is vergroot tot 4,0 meter (drie lagen containers onderdeks), zie figuur 6. Beide ontwerpen zijn onderzocht op een variatie van de deadweight, de verticale positie van het zwaartepunt en de trim. De stabiliteitscurves van de beide ontwerpen in ontwerpconditie (ontwerpleadweight en een maximale KG volgens de IMO-stabiliteitscriteria) zijn te zien in figuur 7.

Als eerste is er een deadweightvariatie van 0 tot +8% op de ontwerpleadweight genomen. Daarbij is de positie van het zwaartepunt constant gehouden. Vervolgens is de kromme van armen berekend voor een variatie van de verticale positie van het zwaartepunt, waarbij een GM-range van 0,2 meter tot 1,0 meter is bekeken en de deadweight constant is gehouden. Vergeleken met de hoge vrijboord versie reduceert de stabiliteit, bij variatie van de deadweight, bij de lage vrijboord variant sneller bij kleinere hellingshoeken. Het oppervlak onder de GZ-curve tot 30 graden hellingshoek (één van de stabiliteitscriteria) reduceert 3,5 keer zo snel als bij het hoge vrijboord schip. De andere twee oppervlakten onder de curve volgens de oppervlakte-eisen zoals die door het IMO zijn opgesteld (die van 0 tot 40 graden en van 30 tot 40 graden), reduceren ongeveer 2 maal zo snel. Bij variatie van de verticale positie van het zwaartepunt is vooral een verandering in de vorm van de stabiliteitscurve te zien. Wanneer de metacenterhoogte onder de 0,8 meter komt, ontstaat er een curve met twee lokale maximale waarden van de stabiliteitsarm (statisch ongedefinieerd gebied). De afname van de stabiliteit bij afname van de GM-waarde is absoluut gezien gelijk aan het hoge vrijboord schip. Relatief gezien is de afname (door de kleinere stabiliteitsomvang) wel flink groter bij de lage vrijboord versie. De invloed van de lengteligging van het zwaartepunt (oftewel de trim) op de stabiliteit is gunstiger. In het geval van het lage vrijboord schip verdwijnt, bij toenemende trim (achterover), het statisch ongedefinieerde deel in de stabiliteitscurve. De stabiliteitsomvang neemt echter wel enigszins af. Toch zijn grotere trimniveaus bij lage vrijboord schepen af te raden. In het bekeken geval vermindert weliswaar de

negatieve invloed die de vorm van de stabiliteitscurve heeft op het stabiliteitsgedrag, echter de optredende reductie van het effectieve vrijboord verhoogt de kans van waterovername aanzienlijk. Vooral het onder water verdwijnen van de dekrand bij een koersverandering is een gevaarlijke situatie en dient ten alle tijde vermeden te worden.

### Aanvulling statisch onderzoek

Een belangrijke beperking van het voorgaande is dat een groot deel statisch is bepaald. Het is echter interessant om ook meer te weten te komen over het gedrag in zeegang. Daarbij is te denken aan de invloed van waterovername en de invloed van de vorm van de GZ-curve op de kapseis kans. Op het ogenblik worden berekeningen (met behulp van het, door het MARIN ontwikkelde, simulatiemodel FREDYN) aangevuld met modelproeven door het MARIN uitgevoerd. Daarbij wordt vooral gekeken naar belastingcondities die wel aan de huidige (intacte) stabiliteitscriteria voldoen. Op die manier wordt geprobeerd een inzicht te krijgen in de grootte van de marges binnen deze stabiliteitscriteria.

### Discussiepunten

Uit het onderzoek komen een aantal punten naar voren die een discussie of verder onderzoek waard zijn.

- Bij veel ontwerpen wordt het ontwerp vrijboord bepaald in gelijklastige conditie. In de praktijk blijken schepen vaak met een trim achterover te worden gevaren. In het geval van containerfeeders komen trimliggingen van meer dan een meter voor. Bij schepen met een minimaal gelijklastig gemeten vrijboord wordt het effectieve vrijboord dusdanig gereduceerd dat al bij kleine hellingshoeken de dekrand onder het wateroppervlak verdwijnt. De gevolgen dat dit kan hebben komen duidelijk naar voren in het kapseizen van de "Dongedijk".
- Gezien de soms drastische reductie in stabiliteit bij relatief kleine veranderingen in lading positie en gewicht, zou het interessant zijn bij de beoordeling van de stabiliteit van een nieuw ontwerp naast de standaard condities, ook verscheidene operationele belastingcondities (met variatie van deadweight en zwaartepuntpositie) mee te nemen. Zeker in de containervaart gebeurt het dat de lading zwaarder is dan waarop gerekend is. Een te groot ladinggewicht zou bij diepgangcontrole opgemerkt moeten worden, echter de exacte positie van het zwaartepunt (met name de verticale positie) van diezelfde lading is moeilijk te bepalen. Er bestaat dus enige onzekerheid omtrent de aanvangsstabiliteit (metacenterhoogte).
- Het is gebleken dat zelfs binnen de huidige stabiliteitsregulering er ongewenste vormen

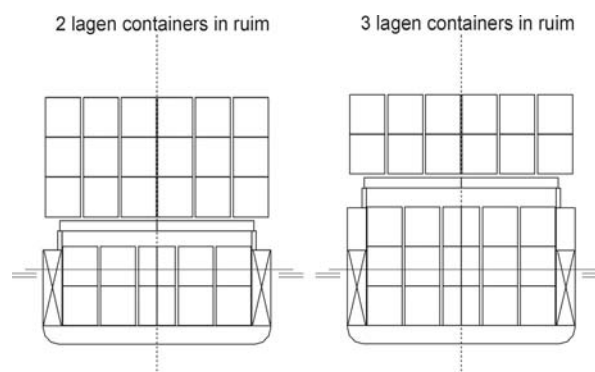


Fig 6: Twee concepten met minimaal en verhoogd vrijboord.

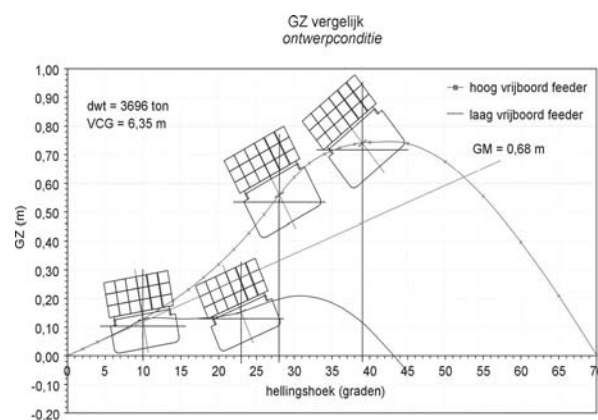


Fig 7: GZ-curve vergelijk hoog en laag vrijboord ontwerp bij ontwerpconditie.

in de stabiliteitscurve voor kunnen komen. Met name curves met twee lokale maximale waarden kunnen, zeker bij statische belastinggevallen, leiden tot grote plotselinge veranderingen in hellingshoek. Exacte waarden voor de minimale stijging van het oprichtende moment binnen het stabiliteitsgebied is moeilijk aan te geven. In ieder geval dienen stijgingen kleiner dan of gelijk aan nul links van het maximale oprichtend moment vermeden te worden.

- Door de ontwikkeling van nieuwe scheepstypen en moderne rompvormen sinds de invoering van de huidige stabiliteitscriteria, is er onzekerheid ontstaan met betrekking tot de marge van veiligheid binnen deze stabiliteitscriteria. Zeker naarmate de ontwerpen en de operationele condities steeds kritischer worden, is het van belang meer informatie over deze marges te vergaren. Op het ogenblik is internationaal de discussie gaande om bestaande regelgeving op korte termijn aan te passen aan de huidige vloot. Op lange termijn wordt er gewerkt aan een compleet nieuw opgezet pakket van stabiliteitscriteria, waaronder dynamische eisen.

Martijn de Jongh, Hotze Boonstra  
TU/Delft