



Stabiliteit en drijfvermogen van ronde- en platbodemjachten

Pieter van Oossanen en Niels Moerke
Van Oossanen & Associates b.v.

Als scheepsbouwkundige ontwerpers krijgen wij vaak vragen over de stabiliteit en veiligheid van traditionele ronde- en platbodemjachten. De belangstelling voor het varen met deze jachten neemt toe en het is gewoon geworden met deze schepen grote tochten te ondernemen.

ISO norm 12217-2, waarin de stabiliteitseisen voor zeiljachten tot 24 m lengte beschreven zijn, is specifiek ontwikkeld t.b.v. de (CE) Wet Pleziervaartuigen. De eerste auteur van dit artikel is nauw bij de opstelling van deze internationale norm betrokken geweest. Soms wordt er kritiek op deze norm uitgeoefend door personen die menen dat de betreffende eisen waar het gaat om ronde- en platbodemjachten te zwaar zouden zijn. Enkele grote Lemsteraken bijvoorbeeld worden op basis van deze norm ingedeeld in vaargebied B (geschikt voor gebieden waarin de significante golphoogte niet hoger is dan 4 m en de windsnelheid niet hoger is dan 41 knoop - ca. 76 km/h), terwijl het merendeel van deze schepen ingedeeld wordt in vaargebied C (geschikt voor gebieden waarin de significante golphoogte niet hoger is dan 2 m en de windsnelheid niet hoger is dan 33 knoop - ca. 61 km/h). Het toekennen van vaargebied C betekent in de praktijk dat het betreffende vaartuig niet geschikt is om tochten te ondernemen ver uit de kust.

In het voorjaar van 2002 heeft de tweede auteur van dit artikel op ons kantoor een onderzoek uitgevoerd naar de "totale" stabiliteit en het drijfvermogen van een Lemsteraak. Het doel van deze studie was de invloed te bepalen op de stabiliteit en het drijfvermogen van de opbouw, de kuip, de mast, de zwaarden, de zwaardklamp, het roer, enz. Normaal gesproken zal de ontwerper slechts de romp en het dek in rekening brengen (en een enkel bureau ook de opbouw en de kuip), maar nooit het complete schip. Elk object dat een zekere mate van drijfvermogen heeft en aan de buitenszijde van het schip permanent vast gemaakt is, zal echter het oprichtend vermogen van het schip bij indompeling beïnvloeden. Zo zal de opbouw en de mast in het algemeen een positieve bijdrage aan het oprichtend moment leveren, terwijl de kuip een negatieve bijdrage levert. Tevens is er onderzocht op welke manier het volledig kenteren (inverteren) van het schip kan worden voorkomen nadat het door een windvlaag of een brekende golf is plat geslagen (in het Engels een "knock-down" genaamd), in het geval dat de stabiliteit onvoldoende is om het schip bij ca. 90 graden helling weer op te kunnen richten. In een dergelijk geval is het van belang dat het schip in ieder geval blijft drijven en niet zinkt, bij voorkeur bij een hellingshoek van ca. 90 graden en niet in de geïnverteerde ligging, in verband met het gevaar van het instromen van water in het interieur van het vaartuig. Statistieken van de Royal National Lifeboat Institution (de Engelse reddingsmaatschappij) geven aan dat in het geval dat een vaartuig blijft drijven nadat het is gekapseisd, alle opvarenden meestal worden gered terwijl dat niet het geval is indien het vaartuig nadat het is omgeslagen vrijwel direct zou zinken.

In dit artikel worden de resultaten van het uitgevoerde onderzoek gegeven en becommentarieerd. Alvorens dit te doen is het nodig vanwege de aard van de materie (waar veel lezers niet vertrouwd mee zullen zijn) uitleg te geven over de stabiliteitsberekening en de begrippen die daarbij een rol spelen.

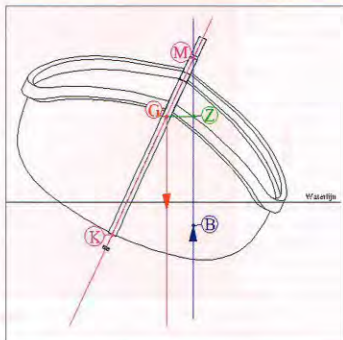
DE STABILITEITSBEREKENING

Nadat een schip is gebouwd kan de werkelijke stabiliteit van het schip berekend worden. Dan pas is het mogelijk de exacte ligging van het zwaartepunt te bepalen. In het ontwerpstadium is dit niet voldoende nauwkeurig te berekenen. De ligging van het zwaartepunt in hoogte wordt bepaald aan de hand van een zgn. hellingproef. Tijdens de hellingproef wordt met behulp van een geïjkt gewicht een hellingshoek aan het vaartuig gegeven, die vervolgens nauwkeurig gemeten wordt. Met de gegevens van de hellingproef en de 3-dimensionale beschrijving van het betreffende schip (zie figuur 1) kan m.b.v. de computer de zgn. kromme van het oprichtend moment worden berekend.



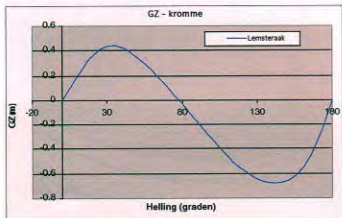
Figuur 1. Computermodel van de Lemsteraak die voor de uitgevoerde studie is gebruikt, voorzien van een fictief dek, zoals gebruikelijk is bij veel stabiliteitsberekeningen.

Meestal wordt niet het oprichtend moment als zodanig in een kromme uitgezet doch alleen de arm van dit moment. Deze kromme wordt de GZ-kromme genoemd. De arm GZ is gedefinieerd in figuur 2.



Figuur 2. Definitie van de arm GZ van het oprichtend moment.

In feite is de arm GZ de horizontale afstand tussen de werklijn van de zwaartekracht, verticaal naar beneden gericht door het zwaartepunt G en de werklijn van de oprichtende kracht, verticaal naar boven gericht door het volumezwaartepunt B (het drukkingpunt genaamd). Indien het punt B verder naar "buiten" is gesitueerd dan het punt G (GZ is dan positief) betekent dit dat er op het vaartuig een oprichtend moment werkt dat de hellingshoek van het schip zal willen reduceren. De grootte van de GZ-arm verschilt per hellingshoek. In figuur 3 wordt de GZ-kromme van de Lemsteraak als in figuur 1 gedefinieerd, weergegeven.



Figuur 3. Kromme van de arm GZ van het oprichtend moment voor de Lemsteraak als getoond in figuur 4.

In figuur 3 is duidelijk te zien dat GZ positief is tot een hellingshoek van ca. 78°. Bij grotere hellingshoeken is de arm GZ

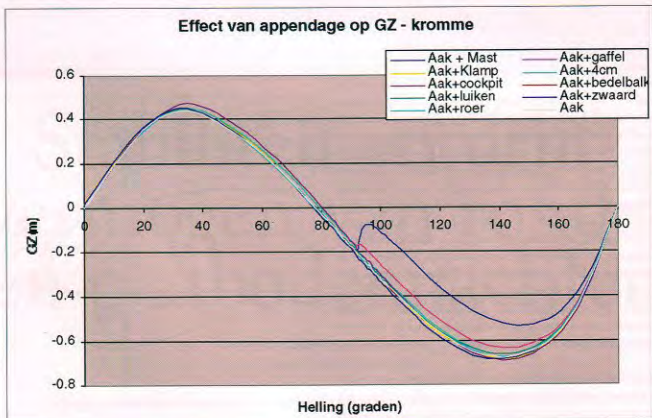
negatief. Dit betekent dat als er door de wind of door een golf het schip een grotere hellingshoek zou krijgen dan 78° het schip zal kapseizen. De hellingshoek waarbij GZ nul is (in dit geval ca. 78°) wordt in het Engels de "angle of vanishing stability" genoemd - wellicht een meer aansprekende term dan de betreffende Nederlandse term "kenterhoek". Het Engelse symbool voor deze hoek (ϕ_v) zal hier verder worden gebruikt.

STABILITEITSBEREKENINGEN MET EEN KOMPLEET MODEL

Zoals vermeld worden vaak alleen de romp en het dek in de berekening meegenomen. Op sommige ronde- en platbodem-jachten zijn echter een grote kuip en opbouw aanwezig die een belangrijk effect op de arm GZ hebben, bij de (grotere) hellingshoeken waarbij de kuip en de opbouw deels onder water komen. Om die reden is het de standaard gewoonte bij Van Oossanen & Associates de kuip (zonder banken) en de opbouw in de analyse mee te nemen. Het "standaard" 3-dimensionaal model dat wij gebruiken voor een dergelijke analyse is weergegeven in figuur 4.

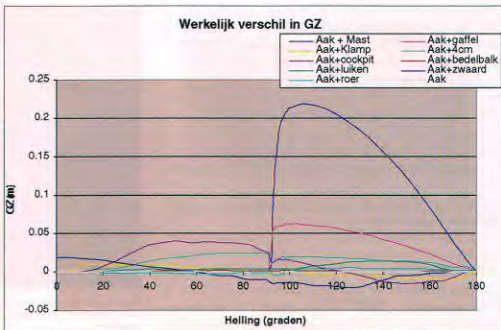


Figuur 4. Drie-dimensionaal model gebruikt als basis voor het bepalen van de invloed van diverse componenten op de stabiliteit.



Figuur 6. Afzonderlijke invloed van roer, zwaard, zwaardklamp, kuipbanken, bedelbalk, uit het dek stekende luiken en koekoeken, mast en gaffel op de GZ-kromme.

Figuur 7. Afzonderlijke invloed van roer, zwaard, zwaardklamp, kuipbanken, bedelbalk, uit het dek stekende luiken en koekoeken, mast en gaffel, op de GZ-kromme, waarbij de stabiliteitsarm GZ voor de basisconfiguratie op nul is gesteld.



Figuur 5. Drie-dimensionaal model gebruikt voor het bepalen van het (cumulatieve) effect op de stabiliteit van zwaard, zwaardklamp, roer, dikte van het houten dek, kuipbanken, luiken en koekoeken, mast en gaffel.

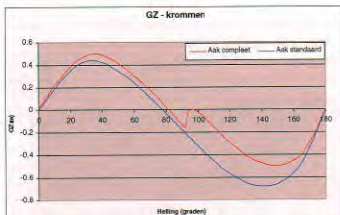
Een Lemsteraak heeft in werkelijkheid echter meer onderdelen met drijfvermogen die in het water komen als het schip gaat hellen. Dit zijn onder andere het zwaard, de zwaardklamp, het roer, het teak dek, de kuipbanken (indien waterdicht uitgevoerd), uit het dek omhoogstekende luiken en koekoeken en uiteindelijk ook de mast en de gaffel. Bij het onderzoek van de "totale" stabiliteit moeten derhalve ook deze onderdelen meegenomen worden in de analyse. Om het effect van deze onderdelen op de GZ-kromme te kunnen bepalen moeten ook deze in een 3-dimensionaal model worden gemodelleerd (zie figuur 5).

In figuur 5 is duidelijk te zien dat er een waargetrouw model is gebruikt. In eerste instantie is het afzonderlijke effect van elk van deze onderdelen bestudeerd en is er een reeks van computermodellen gemaakt.

Het effect op de GZ-kromme van elk van de hierboven genoemd onderdelen wordt gegeven in figuur 6. (linker pag.) De basisconfiguratie voor deze analyse omvatte romp, stalen dek, loefbijter, scheg, kuip, opbouw, boeisel en berghout, zoals wij standaard deze berekeningen uitvoeren. Vervolgens is er steeds aan deze basisconfiguratie één van de volgende onderdelen/componenten toegevoegd: roer, zwaard, zwaardklamp, kuipbanken, bedelbalk, uit het dek stekende luiken en koekoeken, mast en gaffel.

Om het werkelijke effect op de grote van de GZ-kromme beter te kunnen identificeren is het volgende figuur gemaakt (figuur 7). In figuur 7 is de configuratie, zoals deze gebruikt wordt bij de "standaard" analyse van de stabiliteit (romp, stalen dek, loefbijter, scheg, lege kuip, opbouw, boeisel en berghout), als nul lijn genomen en is het verschil in GZ weergegeven. In deze figuur is goed te zien dat met name de mast en de gaffel een belangrijk positief effect hebben op de stabiliteitsarm GZ als deze eenmaal zijn ondergedompeld. Hierbij moet worden opgemerkt dat slechts het volume van het hout van de betreffende hol-verlijmde mast is verdisconteerd. De waterdichte kuipbanken zijn vervolgens belangrijk (tot een hellingshoek van ca. 120 graden), gevolgd door de invloed van het houten dek (in dit geval totaal 40 mm dik) en de zwaardklamp (tot ca. 80 graden). Het roer heeft vervolgens grotendeels een negatief effect hetgeen verklaard wordt door het feit dat in het gebied van 0 tot ca. 90 graden (het roer komt boven water bij ca. 90 graden helling) het ondergedompelde volume van het roer de ligging van het drukingspunt B ongunstig beïnvloedt (zie figuur 2). Tot een hellingshoek van ca. 60 graden geeft ook het zwaard een positieve bijdrage. Bij grotere hellingshoeken zal het volume van het zwaard eveneens de locatie van het drukingspunt nadelig beïnvloeden.

Tot slot is er een berekening uitgevoerd voor het model waarin alle componenten tegelijkertijd begrepen zijn. De vergelijking van de betreffende GZ-kromme met die van het basismodel is te zien in figuur 8. Hieruit volgt dat de werkelijke stabiliteit van het betreffende schip belangrijk groter is dan hetgeen uit de "standaard" berekening volgt. De GZ-waarde is zelfs bij ca. 96 graden weer even positief. Theoretisch betekent dit dat het schip bij die hellingshoek in evenwicht is en op het water in die situatie zou kunnen blijven liggen. In de praktijk is dit niet het geval omdat de golven en de wind het schip vanaf de kenterhoek (ca. 82 graden) zullen doen inverteren.

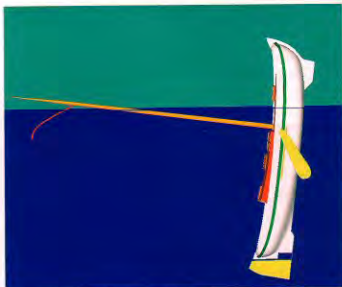


Figuur 8. Cumulatief effect op de stabiliteit van alle componenten in vergelijking met het "standaard" model.

HET KAPSEIS GEDRAG

Uit figuur 8 volgt dat de betreffende Lemsteraak een "angle of vanishing stability" f_v heeft van ca. 82 graden. Als derhalve het schip in een windvlaag of door een golf wordt "plat geslagen" (in het Engels een "knock-down" genaamd), waardoor het schip een hellingshoek zal aannemen van ca. 90 graden, zal het schip niet meer overeind kunnen komen. De meeste ronde- en platbodemjachten vertonen dit gedrag. Het is een gevolg van het niet laag genoeg kunnen aanbrengen van de ballast. Bij scherpe jachten wordt de ballast meestal ondergebracht in de kiel die onder de romp uitsteekt. Deze jachten hebben dan ook meestal een angle of vanishing stability f_v die varieert tussen 100 en 130 graden, met het gevolg dat die schepen wel weer overeind komen nadat zij plat geslagen zijn. De vraag is nu, wat gebeurt er met onze Lemsteraak als die is omgeslagen en op haar zij ligt? Als het schip plat geslagen wordt door de wind, zal zij niet gelijk doordraaien naar een hoek van 180°. Wanneer de zeilen het water raken zorgt dit voor een grote vertraging in de rolbeweging van het schip. In de meeste gevallen zal dan eerst water aan boord stromen, het schip verder inzinken en vervolgens langzaam doordraaien naar een hoek van 180°, als de waterdiepte dat toestaat. Het vollopen van een schip kan ook al in een eerder stadium beginnen, als een zgn. "down-flooding point" in het water komt. Een "down-flooding point" is een punt op het schip waar water van buiten naar binnen kan stromen bij een bepaalde hellingshoek. Een "down-flooding point" kan bijvoorbeeld een luik of een luchtventilatie-opening zijn. Bij het analyseren van de stabiliteit van een schip kunnen deze punten in het rekenprogramma ingegeven worden. Het programma geeft dan aan bij welke hellingshoeken deze "down-flooding points" in het water komen. Bij de Lemsteraak die gebruikt is voor deze analyse is dat 62,1°. Bij die hellingshoek komt een luik van de opbouw in het water. Het is van groot belang tijdens het zeilen in zwaar weer de luiken en patrijspoorten gesloten te houden om te voorkomen dat het schip onnodig water aan boord krijgt, hetgeen een belangrijk negatief effect heeft op de stabiliteit.

De meeste ronde- en platbodemjachten hebben onvoldoende drijfvermogen in de volgelopen toestand. Indien deze schepen omslaan zullen zij na enige tijd zinken vanwege het water dat door de diverse openingen naar binnen stroomt. De Lemsteraak



Figuur 9. Ligging van de Lemsteraak indien het waterdichte compartiment op tijd is "afgesloten" en de salon, de machinekamer en de voorpiek uiteindelijk volstromen.



Figuur 10. Ligging van de Lemsteraak indien het waterdichte compartiment op tijd is "afgesloten" en ook de ventilatieopeningen van de machinekamer en de voorpiek waterdicht/afsluitbaar zijn.

waarvoor deze studie is uitgevoerd heeft echter een waterdicht compartiment. Het salonschot en het voorpiekschot zijn waterdicht uitgevoerd. In het salonschot is een waterdichte deur aangebracht. Voorts zijn de koekoeken en het luik op het voordek eveneens waterdicht gemaakt. Als het schip omgeslagen op het water ligt en de betreffende openingen dicht zijn, zal het schip kunnen blijven drijven. De salon zal vollopen en hoewel de voorpiek en de machinekamer eveneens waterdicht zijn uitgevoerd,

zullen in de praktijk deze ruimten ook vollopen als de ventilatieopeningen onder water raken. In ons computerprogramma hebben wij berekend hoe het schip in dit geval na enige tijd op het water zal komen te liggen. Dit is te zien in figuur 9

In figuur 9 is duidelijk te zien dat, mocht het schip volledig vollopen, met uitzondering van het waterdichte compartiment, het schip met de boeg recht omhoog komt te liggen. In deze positie is het voor de opvarenden echter moeilijk uit het water op het schip te klimmen, om redding in betrekkelijke veiligheid af te wachten.

Indien voorts ook de ventilatieopeningen van de voorpiek en de machinekamer waterdicht/afsluitbaar gemaakt zouden worden, zal het schip nog meer drijfvermogen hebben. Voor deze situatie is weer een analyse uitgevoerd. Het resultaat van deze analyse is te zien in figuur 10. Nu ligt het schip ondersteboven, doch horizontaal. De opvarenden zullen nu in staat zijn uit het water op het schip te klimmen.

CE EN REGISTER HOLLAND EISEN

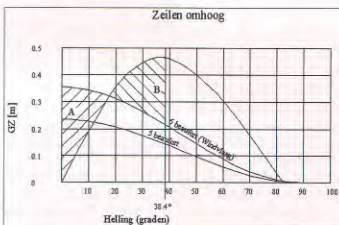
Sinds enkele jaren moeten nieuw gebouwde pleziervaartuigen voldoen aan eisen in het kader van de CE wetgeving. Deze eisen zijn uitgewerkt in ISO normen (uiteindelijk zullen dit NEN normen worden). Nieuwgebouwde schepen die gebruikt worden voor de chartervaart moeten vervolgens tevens voldoen aan de eisen van Register Holland. De betreffende eisen en normen hebben onder meer betrekking op de constructie en de stabiliteit van het schip.

In de reeds genoemde norm ISO 12217-2 wordt een vaartuig ingedeeld in een vaargebied. Er zijn vier vaargebieden, elk met hun eigen zwaarte qua eisen en normering. De zwaarste klasse is A, gevolgd door B, C, en D. Als de eigenaar van een nieuw te bouwen vaartuig overal ter wereld wil varen is het wenselijk dat het schip voldoet aan de eisen van categorie A. Ronde- en platbodemjachten zijn hiervoor niet geschikt, tenzij er bijzondere maatregelen worden getroffen. Ook de eisen gesteld aan vaarwater B zijn voor de meeste ronde- en platbodemjachten te hoog gegrepen. De oorzaak ligt, zoals vermeld, in het niet oever-eind kunnen komen van het schip na een "knock-down". Slechts indien het schip voldoende drijfvermogen heeft, zoals in het voorbeeld hierboven behandeld (middels een bijzondere waterdichte indeling) is het mogelijk aan de gestelde eisen van dit vaarwater te voldoen. Derhalve zullen de meeste grote ronde- en platbodemjachten in aanmerking komen voor vaarwater C en de kleinere voor vaarwater D. Hierover is kritiek geuit, maar dat is o.i. niet terecht. Het feit dat deze schepen geen oprichtend vermogen hebben als deze door de wind of een golf plat geslagen op het water liggen, moet zwaar wegen.

Bij de toekening van het vaargebied speelt naast de minimale waarde van de kenterhoek φ_v de Stabiliteitsindex STIX een belangrijke rol. De STIX-waarde wordt berekend op basis van een groot aantal stabiliteitseisen. Een lage waarde van φ_v beïnvloedt de STIX waarde in hoge mate. Voor een Lemsteraak bedoeld voor vaarwater B met een waterverplaatsing van meer dan 10 ton wordt de eis gesteld dat de kenterhoek tenminste 90

graden moet zijn. Indien er voldoende drijfvermogen aanwezig is (15% meer dan de waterverplaatsing, uitgedrukt in m^3) dan behoeft de waarde van φ_v slechts 75 graden te zijn. In beide gevallen moet echter de minimale waarde van STIX 23 zijn. Voor vaarwater C en D worden er door ISO 12217-2 geen aparte eisen gesteld aan de waarde van φ_v . De STIX waarden voor vaargebied C en D moeten zijn 14, resp. 5.

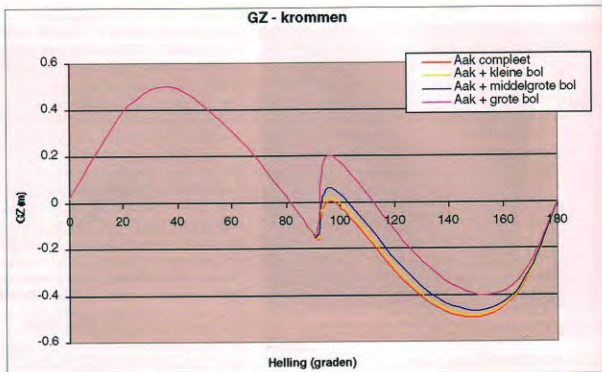
De bepalende stabiliteitseisen van Register Holland hebben betrekking op de hellingshoek die wordt bereikt in een windvlaag. Zowel de situatie met gehesen als met gestreken zeilen moet worden geanalyseerd. Met de voorgeschreven winddrukken en het geprojecteerde oppervlak van het zijaanzicht wordt een windmoment berekend, hetgeen omgezet wordt in een "kromme van windarmen". Deze kromme moet in de GZ-grafiek van het schip worden ingetekend (zie figuur 11).



Figuur 11. De voornaamste stabiliteitseisen van Register Holland hebben betrekking op de maximale waarde van de hellingshoek die bereikt wordt in een windvlaag (in deze figuur is die 38,4 graden).

In figuur 11 is het eerste gedeelte van de GZ- kromme van figuur 8 te zien (tot waar deze nul wordt) met de berekende windarmen, in overeenstemming met het zeilplan, voor zowel een constante windsnelheid als ook de windsnelheid in een windvlaag (resp. $68.7 N/m^2$ en $103 N/m^2$ voor het geval de zeilen gehesen zijn en resp. $504.2 N/m^2$ en $756.4 N/m^2$ op het bovenwaterschip - inclusief mast en tuigage - bij gestreken zeilen). In de figuur zijn twee oppervlakken gearceerd. Oppervlak A is het oppervlak onder de windvlaagkromme vanaf nul helling tot de hellingshoek waar de lijn van de windarmen en de GZ- kromme elkaar snijden. Vervolgens moet een oppervlak B worden gedefinieerd waarvan het oppervlak gelijk moet zijn aan oppervlak A, als aangegeven. Het idee hierachter is dat in een windvlaag het schip een hellingshoek zal aannemen gelijk aan de hellingshoek waarbij juist oppervlak B gelijk is aan oppervlak A. Daarbij mag de hellingshoek niet groter zijn dan 50° . Het is interessant te vernemen dat de eis dat een hellingshoek van 50 graden niet mag worden overschreden bij een winddruk als opgegeven door Register Holland, ongeveer overeenkomt qua zwaarte aan de eisen die ISO 12217-2 stelt voor het behalen van categorie B, althans voor een aantal Lemsteraken door ons met beide methoden geanalyseerd.

Figuur 12. Het effect op de stabiliteit van een bolvormig drijflichaam bevestigd aan de hoogste val van de mast.



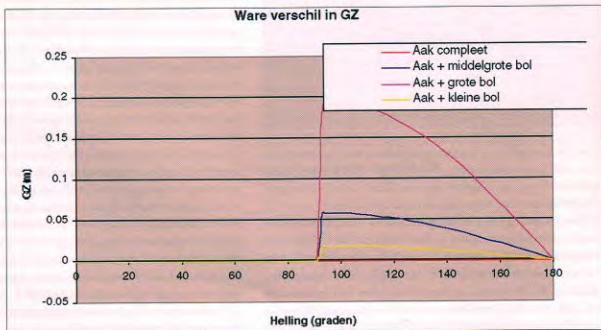
EEN DRIJFLICHAAM IN DE MAST

Sommige zeilschepen die een onvoldoende grote kenterhoek hebben, maken gebruik van een drijflichaam in de mast. Vooral toercatamarans maken gebruik van een "bal" in de mast. Zodra de loefdrijver van een catamaran geheel uit het water komt, is het gevaar van kenteren immers aanwezig. Hoewel het aanbrengen van een drijflichaam in de mast van een Lemsteraak er minder fraai uitziet, hebben wij nochtans deze mogelijkheid van het vergroten van de veiligheid van dit type schip (bij het ondernemen van lange tochten) onderzocht.

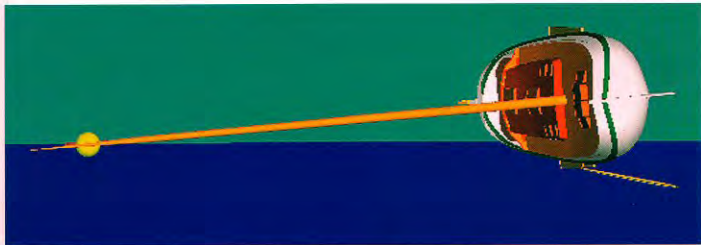
Bij dit onderzoek zijn drie verschillende bolvormige drijflichamen aan de hoogste val van de mast geplaatst. Voor elke bol is een analyse van de stabiliteit uitgevoerd. Uit deze analyses volgen weer een aantal GZ-krommen. Deze zijn in figuur 12 getekend.

In figuur 12 is duidelijk te zien dat zodra het betreffende drijflichaam het water raakt de GZ sterk toeneemt. Bij een hellingshoek van ca. 96° wordt de maximale GZ bereikt. De boldiameter is systematisch vergroot. Het oprichtend moment van een dergelijk drijflichaam heeft een zeer grote arm (gelijk aan de afstand van het middelpunt van de bol tot het drukkingspunt). Het volume van het drijflichaam kan derhalve relatief gering zijn.

De vergroting van GZ is ook weergegeven in een grafiek waarin de "Aak compleet" als nul-lijn is gepresenteerd. Hierin is duidelijk te zien wat het ware effect van de bol op GZ is (zie figuur 13).



Figuur 13. Toename in GZ van een bolvormig drijflichaam in de mast (met diameters van 0,4 m, 0,6 m en 0,9 m) voor de hier beschouwde Lemsteraak



Figuur 14. Ligging van het plat geslagen schip bij toepassing van een bolvormig drijflichaam in de mast.

Als de GZ-kromme voor de grote bol in figuur 12 nader wordt beschouwd dan is het duidelijk dat het oprichtend moment vanaf ca. 92 tot ca. 112 graden helling weer belangrijk positief is geworden. In de praktijk betekent dit dat, na het betreffende schip is omgeslagen, het zal blijven liggen op een hellingshoek als aangegeven in figuur 14.

In de omgeslagen ligging als aangegeven in figuur 14 zullen de belangrijke down-flooding points nog niet onder water zijn gedompeld (behalve af en toe in hoge golven). Dit betreft de toegangsdeur naar de accommodatie en de ventilatiepijpen van de machinekamer en de voorpiek, indien die midscheeps zijn gelegen. Liggend in deze situatie is het belangrijk dat deze openingen gesloten kunnen worden. Het is ook van belang in deze situatie nog een lenspomp met een grote capaciteit in werking te kunnen stellen.

Het is bekend uit ervaringen met scherpe jachten, dat liggend in de plat geslagen houding, bij een hellingshoek van ca. 90 graden, een golf soms het schip weer doet oprichten. Bij toepassing van een drijflichaam in de mast zal bij het passeren van een golf onder het drijflichaam door, het schip tijdelijk op een kleinere hellingshoek worden gebracht. Het is dan mogelijk dat het negatieve GZ-gebied, dat in ons geval tussen een hellingshoek van ca. 82 en 92 graden ligt, "overbrugd" wordt, zodat het schip zelf zich weer opricht. Dit zal echter in belangrijke mate afhangen van het al of niet ondergedompeld zijn van de zeilen en andere zaken die het oprichtend moment kunnen beïnvloeden.

De grootte van het bolvormig drijflichaam dat minimaal nodig is, is van een aantal factoren afhankelijk. Voor een schip, zoals de hier beschouwde Lemsteraak dat een kenterhoek heeft van ca. 82 graden, is de minimum diameter van een bolvormig drijflichaam:

$$D_{\text{bol}} = [0.38 \nabla_{\text{schip}} / \text{ARM}_{\text{bol}}]^{1/3}$$

Hierin is ∇_{schip} de waterverplaatsing van het schip in m^3 en is ARM_{bol} de afstand in meters vanaf het dek tot aan het punt waar de bol in de mast komt te hangen.

CONCLUSIES

Uit het hier beschreven onderzoek komen een aantal resultaten naar voren die de moeite waard zijn algemeen bekend te maken. Deze zijn als volgt:

- Voor schepen met een marginale stabiliteit is het zinvol een totaal computermodel te gebruiken bij het bepalen van de belangrijke karakteristieken van de GZ-kromme. In het geval van ronde- en platbodemjachten is het gewenst minimaal de opbouw en de kuip te modelleren, alsmede de kuipbanken (indien waterdicht), de houten mast en de dikte van het houten dek;
- In het geval dat een schip niet oprichtend is nadat het is omgeslagen door een windvlaag of een golf, is het zeer gewenst het drijfvermogen en de uiteindelijke ligging van het schip in het water te onderzoeken;
- Het drijfvermogen van het schip kan aanzienlijk worden verbeterd middels het aanbrengen van een goede waterdichte indeling. Hierbij moet vooral aandacht worden geschonken aan de waterdichtheid van afsluitbare openingen en zouden belangrijke ventilatie openingen (bijvoorbeeld van de voorpiek en de machinekamer) afgesloten moeten kunnen worden;
- ISO standaard 12217-2 en de eisen van Register Holland zijn niet onnodig "zwaar" waar het gaat om de toetsing van de stabiliteit en het drijfvermogen van ronde- en platbodemjachten;
- Een afdoend middel tijdens een lange reis om te voorkomen dat een schip invertteert, nadat het is omgeslagen, bestaat uit het aanbrengen van een drijflichaam boven in de mast;
- Indien alle belangrijke (grote) openingen midscheeps zijn geplaatst, is het mogelijk in bepaalde gevallen te voorkomen dat er water aan boord stroomt indien in de plat geslagen ligging het schip niet invertteert.