

Schip & Werf - de Zee,
Juli & Augustus 1996.

Reprinted: 17-11-2000

Website: www.shipmotions.nl

Rapport 1053-P, 1996,
Delft University of Technology,
Ship Hydromechanics Laboratory,
Mekelweg 2, 2628 CD Delft,
The Netherlands.

Loodsboot m.s. "Voyager"

A.C.M. Baaten*, J.M.J. Journée**, J. Ooms** en Jakob Pinkster**

* Facilitair Bedrijf Loodswezen BV, Rotterdam

** Maritieme Techniek, Technische Universiteit Delft

Het m.s. Voyager [1] is een snelle 28 knopen varende aluminium-kunststof loodstender met waterjet voortstuwing van het Facilitair Bedrijf Loodswezen BV te Rotterdam. De aard van de met dit schip te verrichten werkzaamheden vereist dat ook onder zware weersomstandigheden nog veilig met hoge snelheden kan worden gevaren. In de ontwerpspecificaties was onder andere opgenomen dat het schip operationeel moet zijn tot een significante golfhoogte van 2.75 meter.

Hoofdgegevens:

Lengte o.a.:	18.56 m
Waterlijnlengte:	15.10 m
Breedte o.a.:	6.34 m
Breedte op mal:	5.49 m
Holte:	2.70 m
Diepgang:	1.00 m
Waternverpl.:	29.3 m ³
Snelheid:	28 kn

Dieselmotoren: Twee 12 cil. 4 takt Deutz/MWM dieselmotoren, type TBD 234 V12, elk met een vermogen van 626 kW bij 2200 omw/min

Voortstuwing: twee "Hamilton" waterjets, type HM571 met een "ZF" reductie-kast met een reductie 2:1

Classificatie: American Bureau of Shipping, Notatie: 100A1 Pilot Boat AMS

Vaargebied: Tot 30 mijl uit de Nederlandse Kust, zonder windkrachtbeperking

In december 1993 werd het vaartuig opgeleverd.

Het lag in de bedoeling om het vaartuig uitgebreid te beproeven, zodat met behulp van ware grootte proeven onder verschillende werkomstandigheden de ontwerp- en prestatieparameters konden worden onderzocht om zodoende een optimale loodstender te verkrijgen ter vervanging van de huidige loodstenders.

Er werden door het Loodswezen contacten gelegd met de Vakgroep Maritieme Techniek van de TU-Delft voor de uitvoering van een uitgebreid onderzoek.

Het uitgangspunt is dat het handhaven van een hoge snelheid onder extreme condities mogelijk blijft, omdat daarmee aan de

eisen van de markt, het handhaven van de dienstverlening, wordt voldaan.

Het doel van de metingen was het hydromechanisch gedrag van het vaartuig vast te leggen en in een later stadium het achterhalen van scheurvorming in het aluminium casco, die na ongeveer 6 maanden dienst waren ontstaan.

De volgende beproevingen zouden worden uitgevoerd:

- Trillingsmetingen.
- Gedrag van het schip in zeegang onder verschillende weersomstandigheden.
- Enquête en uitgebreide waarnemingen tijdens het varen en het beloodsen, om inzicht te verschaffen over de wijze waarop loodsen en bemanning onder bepaalde omstandigheden het schip ervaren, c.q. met het schip omgaan en om het beloodsingsproces goed in beeld te krijgen.
- Onderzoek naar het comfort aan boord.
- Spanningsmetingen in het aluminium casco.

In de referenties [2], [3], [4], [5] en [6] wordt een uitvoerig overzicht van alle resultaten gegeven.

Dit artikel bevat 3 delen:

- Deel I: Ontwerpaspecten,
door A.C.M. Baaten
- Deel II: Bewegingsgedrag,
door J. Ooms en J.M.J. Journée
- Deel III: Spanningsgedrag,
door Jakob Pinkster

Referenties

- [1] Schip & Werf de Zee.
- [2] S. Hengst, *Loodstender Voyager, Deel I: Operationele waarnemingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie Constructie en Productie, 1994.
- [3] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIa: Hydromechanisch gedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydromechanica, Rapport 1004-O, 1994.
- [4] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIb: Statistisch Zeegangsgedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydromechanica, Rapport 1005-O, 1994.
- [5] Jakob Pinkster, *Loodstender Voyager, Deel III: Trillingsmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie OEMO, Rapport 94-20-O, 1994.
- [6] A.H. Weertheim (TNO Technische Menskunde), *Loodstender Voyager, Deel IV: Comfortmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydromechanica, Rapport 1006-O, 1994.
- [7] J.M.J. Journée, *SEAWAY-DELFT, User Manual of Release 4.00*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydromechanica, Rapport 910, 1992.

Loodsboot m.s. “Voyager”

Deel I

Ontwerpaspecten

A.C.M. Baaten
Facilitair Bedrijf Loodswezen BV, Rotterdam

In dit deel van het artikel worden de specifieke ontwerpaspecten van de loodstender nader toegelicht.

Het loodswezen heeft de uitvoering van een investeringsprogramma overwogen met het doel de loodsdiensten efficiënter uit te kunnen uitvoeren.

De aanleiding daartoe is een veranderende markt en wetgeving. Tevens wordt aan de beloodsing van bepaalde typen zeeschepen nieuwe en hogere eisen gesteld.

Eén van de eisen is het reduceren van het tijdverlies voor de binnenkomende en uitgaande zeescheepvaart tijdens de beloodsingsoperaties. Het zeeschip dient zonder oponthoud van de loodsdiensten gebruik te kunnen maken. Uitgangspunt is dat de aanwezigheid van een loods aan boord noodzakelijk blijft gezien de dichtheid van de verschillende typen schepen in een beperkte ruimte. Om de operaties efficiënt uit te voeren dienen de vervoerstijden van de loodsen zo kort mogelijk te zijn.

Het vaartuig dient verder onder zware weersomstandigheden bij hoge golven nog een hoge snelheid te behalen en tevens geschikt te zijn om de beloodsing uit te kunnen voeren.

De loodsboot moest worden gebouwd volgens de Nederlandse Schepenwet voor zeegaande vaartuigen kleiner dan 24 meter. Deze strenge Nederlandse wettelijke eisen, onder andere eisen betreffende brandvertragende maatregelen

in de motorkamer zouden het gewicht van het vaartuig aanzienlijk verhogen.

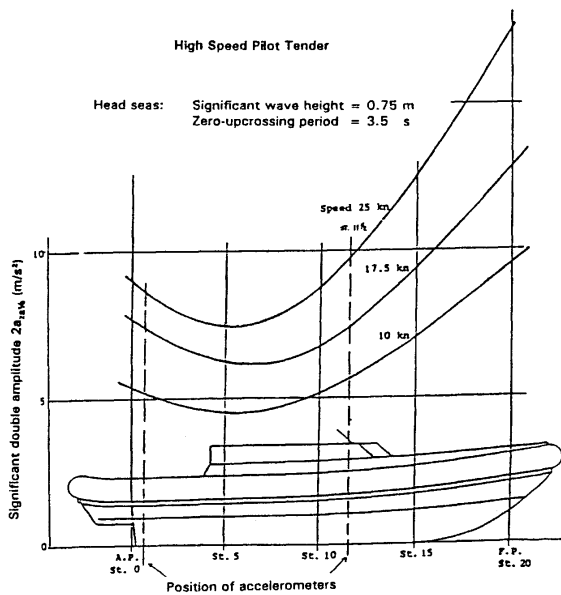
Ook enkele operationele eisen en eisen ten aanzien van geluid zouden het gewicht aanzienlijk verhogen.

Het ontwerp werd in diverse tussenstappen steeds verder ontwikkeld, waarbij de lengte van het vaartuig steeds weer werd vergroot en het vermogen verhoogd. Een voorlopige gewichtsberekening gaf aan dat het totaal gewicht van vaartuig bijna 32 ton zou gaan bedragen.

In november 1991 werd het ontwerp geaccordeerd en werd opdracht gegeven tot het uitvoeren van weerstandsproeven en het beproeven van het zeegangsgedrag bij het MARIN in Wageningen.

Voor de modelproeven werd een 1:4.5 houten model gemaakt, uitgerust met twee actieve waterjets. De proefcondities in zeegang waren gebaseerd op de golfgegevens van de operationele locaties voor de kust van Hoek van Holland en IJmuiden voor golfhoogten van 0.75 m, 1.50 m en 2.25 m.

De te verwachten versnellingsniveaus van de modelproeven worden getoond in figuur 1.



Figuur 1. Verdeling van de verticale versnelling over de scheeps lengte

Naar aanleiding van de modelproeven werden de volgende wijzigingen in het ontwerp uitgevoerd:

- Vergroting van de lengte over alles: minimaal 18.00 meter.
- Vergroting van de waterlijn lengte door velenging van het achterschip tot minimaal 15.00 meter.
- Vermindering van de waterlijn breedte om tot een betere lengte/breedte verhouding te komen en vermindering van de metacenterhoogte van 2.50 tot ca. 1.60 meter.
- Langsscheepse gewichtszwaartepunt op 9% achter de halve waterlijn lengte.
- Toepassing van instelbare trimflappen om de trimligging te kunnen optimaliseren.
- Kleinere vlaktiling in het achterschip ter verbetering van de scheepsweerstand in het hogere snelheidsgebied.
- Vermindering van het deplacement in geladen conditie: maximum 28 ton met 3 bemanningsleden, 6 passagiers en 50 % brandstof.
- Vermindering van het vermogen van 2 x 750 kW naar 2 x 630 kW bij 2200 omw/min in verband met de gewichtsreductie.

- Een waterjetinstallatie met toepassing van reductiekasten in verband met cavitatie.
- Toepassing van een slankere boegvorm om spray water aan dek en slamming te verminderen.
- In verband met de gewichtsproblematiek werd definitief beslist tot de toepassing van het "Popsafe" fendersysteem.
- De stuurhut 1.0 tot 1.5 meter naar achter verplaatsen, zodat vóór in de stuurhut de verticale versnellingen konden worden verminderd.
- Toepassing van een lichtgewicht constructie in zowel de romp als de opbouw in verband met de gewenste gewichtsreducties.

Nadat een prognose was uitgevoerd ten aanzien van het geluidsniveau werd besloten de complete stuurhut te plaatsen op zes stuks flexibele steunen op de scheepsromp. Een geluidsniveau van 78 dB(A) zou hierdoor haalbaar zijn in de stuurhut. Verder moest de stuurhut verwijderd kunnen worden voor eventuele de- en montage van de dieselmotoren.

Het ontwerp werd verder ontwikkeld, de definitieve specificaties werden door de technische afdeling van het Loodswezen geschreven.

Enige belangrijke ontwerpaspecten

De lastige aspecten bij kleine snelle vaartuigen zijn bijna altijd terug te vinden bij:

- scheepsvorm
- gewicht
- vermogen

waarbij hier enige aandacht wordt geschonken aan de scheepsvorm en de gewichtsaspecten.

Scheepsvorm

Voor de scheepsvorm is uiteindelijk gekozen voor een dubbele knikspantvorm met twee spray rails. Zie fig.2.

beperking van de lengte van de schroefassen.

In het ontwerp stadium is het gewicht van de aluminium romp geschat op 7 ton. Consequent terugrekenen tijdens het maken van de definitieve bouwtekeningen en het wegen van elk in te bouwen constructieonderdeel tijdens de fabricage hebben ervoor gezorgd dat er nog geen 1 % verschil was tussen de schatting en de feitelijke bouw.

Verder is tijdens de gehele bouwtijd continu de gewichtspronose bewaakt. Elk in te bouwen onderdeel is vooraf gewogen en de locatie exact vastgelegd. Zonder een dergelijk strakke en consequente controle van het gewicht en de ligging van het LCG is het onmogelijk om snelle geavanceerde kleine vaartuigen te bouwen.

Contractueel is zowel de scheepssnelheid als het lege scheepsgewicht vastgelegd, met daaraan verbonden een zeer zware boeteclausule.

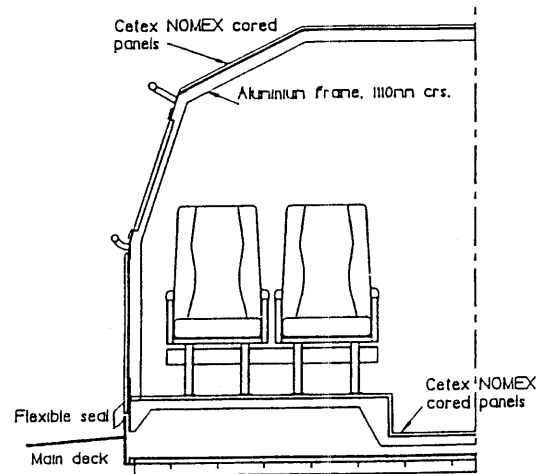
Uiteindelijk heeft dat geresulteerd in het ruimschoots behalen van de scheepssnelheid. Het uiteindelijke scheepsgewicht kwam iets lager uit dan het contractueel verplichte gewicht van 26.100 kg.

Een van de opmerkelijke besparingen in het scheepsgewicht is terug te vinden in de constructie van de stuurhut.

Een in aluminium gebouwde stuurhut betekent dat deze thermisch geïsoleerd en betimmerd moet worden, hetgeen uitkomt op grofweg een gewicht van 20 kg/m^2 .

Er werd uitgekeken naar een alternatieve constructiewijze. Uiteindelijk werd gekozen voor een sandwich honingraat paneel bestaande uit Cetex kunststofplaten van Ten Cate met Nomex honingraat materiaal. Cetex bestaat uit dunne glasvezel versterkte polyetherimide. Fokker Special Products produceert de sandwich panelen. De panelen hebben een totaaldikte van 14.5 mm met een gewicht van 3.6 kg/m^2 .

Een doorsnede van de stuurhut is gegeven in figuur 4.



Figuur 4 Kenmerkende doorsnede van de stuurhut

De sandwich panelen zijn in de stuurhut bekleed met een 2 mm dikke "Dibond" decoratieplaat met een gewicht van 2.9 kg/m^2 met daartussen steenwol isolatie materiaal.

Het totale gewicht per m^2 komt uit op 6.5 kg. Hierdoor werd op de stuurhut een gewichtsbesparing van 700 kg bereikt.

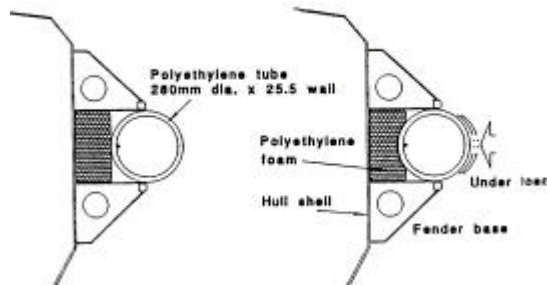
Verder zijn de sandwich panelen nog toegepast voor de bouw van kasten, schappen en allerlei binnenwerk, waarvoor normaal houtwerk wordt toegepast.

Voor de stuurhut werd gekozen voor een aluminium kooiconstructie, waarop de sandwich panelen werden verlijmd met een polyethyleen lijm. Alles in overleg en met de goedkeuring van ABS.

"Popsafe" Fendersysteem

Een andere opmerkelijke toepassing is het "Popsafe" fendersysteem. Het systeem is gebaseerd op standaard polyethyleen pijpen en bochten, die gebruikt worden voor ondergrondse drinkwaterleiding systemen. Het is een gepatenteerd fender systeem door Engelaer Scheepswerven, dat door het Loodswezen uitgebreid is beproefd op acht nieuw gebouwde loodsjollen op de grote loodsvaartuigen die permanent op zee op de kruisposten zijn gestationeerd.

De toe te passen diameter van de pijp is afhankelijk van de scheepsgrootte, het displacement en de operationele eisen. De pijp ligt in een U-vormige nis geïntegreerd in de scheepsconstructie of zoals bij de “Voyager” in een opgebouwde aluminium berghoutconstructie; zie figuur 5.



Figuur 5 Fender detail

In de U-vormige nis ligt een polyethyleen schuim, dat alle krachten absorbeert, die worden veroorzaakt door de pijp.

Boeg- en hekstukken van de polyethyleen pijp zijn gelast, zodat er een uit één stuk bestaande fender ontstaat. Door toepassing van gekromde deklijnen wordt de fender door middel van een staaldraad die door de pijp loopt door draadspanners aangehouden. De polyethyleen pijp heeft de afmeting van 280 x 25.5 mm en een gewicht van 750 kg, hetgeen overeenkomt met 20.4 kg/m. Een vergelijkbaar rubber D-profiel heeft een gewicht van 40 kg/m. Verder heeft polyethyleen de eigenschap dat het niet opstroopt, zoals bij de toepassing van rubber. Per dag moet rekening worden gehouden dat loodsboden maximaal 50 maal langszij schepen komen, dikwijls onder omstandigheden met golven oplopend tot 2.75 m, hetgeen hoge eisen stelt aan de toegepaste fendersystemen en de rompconstructie.

Resultaat

Na uitvoering van de uitgebreide beproevingen, inventarisatie van knelpunten en uitgebreide metingen kan het volgende worden gezegd.

In algemene zin voldoet het vaartuig aan de operationele verwachtingen. Bij het varen over korte afstanden is er een

gemiddelde tijdwinst van 30% te opzichte van de conventionele tenders. De frequentie van korte heen- en terugreizen ligt aanzienlijk hoger. Bij grote afstanden kan de tijdwinst oplopen tot bijna 50%.

Uiteindelijk heeft het onderzoek geresulteerd in een aantal aanpassingen aan het prototype “Voyager”.

Er is aan Engelaer Scheepsbouw opdracht gegeven voor de bouw van nog drie loodstenders, waarbij de volgende van belang zijnde wijzigingen zijn aangebracht:

1. Naar aanleiding van de ondervonden beweeglijkheid van het schip tijdens het beloodsen, dus varend als displacementsvaartuig met snelheden tussen de 7 en 10 knopen, is besloten het vaartuig met 2.40 meter te verlengen. Uit de berekeningen blijkt dat bij een dergelijke verlenging de versnellingen verminderen. Verder is geconstateerd dat indien het vaartuig wat koplendig wordt getrimd het gedrag in zeegang bij grotere snelheden wordt verbeterd. Het gewichtszwaartepunt wordt iets naar voor verplaatst.
2. Het motorvermogen zal bij een langer schip worden verhoogd van 2 x 626 kW naar 2 x ca. 720 kW om de snelheid van 28 knopen te handhaven.
3. Het fendersysteem wordt verzwaard ter plaatse van de schouders door een dikkere pijp ter plaatse en een zachter schuim achter de pijp in de nis om het absorptievermogen te vergroten.
4. Overstap ter plaatse van fender verminderen met 200 mm door het dek verder door te trekken.
5. Het railingwerk ter plaatse van het dek vóór ten behoeve van het overstappen verplaatsen, zodat de afstand van het railingwerk tot de loodsladder wordt verminderd.
6. Installatie van een airconditioning en vergroting van de ventilatiecapaciteit in de stuurhut.

7. Alle passagiersstoelen vervangen door lichtgewichtstoelen in een meer ergonomische uitvoering.
8. Aanpassing en versterking aluminium constructie als gevolg van vermoeiingsverschijnselen.
9. Grotere aandacht besteden aan de lasvolgorde en de vermindering van lasconcentraties.
10. Meer aandacht besteden aan de interne opleiding van schippers, vooral met betrekking tot het verkrijgen van behendigheid in de bediening van de jetinstallatie tijdens het beloodsen (het overstappen van de loods).

Referenties

- [1] Schip & Werf de Zee.
- [2] S. Hengst, *Loodstender Voyager, Deel I: Operationele waarnemingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie Constructie en Productie, 1994.
- [3] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIa: Hydro-mechanisch gedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 1004-O, 1994.
- [4] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIb: Statistisch Zeegangsgedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 1005-O, 1994.
- [5] Jakob Pinkster, *Loodstender Voyager, Deel III: Trillingsmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie OEMO, Rapport 94-20-O, 1994.
- [6] A.H. Weertheim (TNO Technische Menskunde), *Loodstender Voyager, Deel IV: Comfortmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 1006-O, 1994.
- [7] J.M.J. Journée, *SEAWAY-DELFT, User Manual of Release 4.00*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 910, 1992.

Loodsboot m.s. “Voyager”

Deel II

Bewegingsgedrag

J. Ooms en J.M.J. Journée
Maritieme Techniek, Technische Universiteit Delft

Er waren veelvuldig klachten van loodsen over het heftige bewegingsgedrag van het schip. In dit deel van het artikel worden de uitkomsten van het onderzoek naar het bewegingsgedrag gepresenteerd.

Inleiding

Het ms Voyager is een snelle loodstender van het Facilitair bedrijf Loodswezen BV. De aard van de met dit schip te verrichten werkzaamheden houdt in dat ook onder relatief zware weersomstandigheden nog met hoge snelheden gevaren moet worden. In de ontwerpspecificaties is opgenomen dat het schip operationeel moet zijn tot golfhoogten van 2,75 m. Teneinde na te gaan of aan deze eis voldaan kan worden zonder gevaar voor bemanning en schip zijn aan boord uitgebreide metingen verricht. Als onderdeel van dit meetprogramma werden in april, mei en juni 1994 metingen verricht door het Laboratorium voor Scheepshydronechanica van de TU Delft. Doel van deze metingen was het vastleggen van het hydronechanisch gedrag van het vaartuig. De uitgevoerde metingen bestonden uit drie delen. Het eerste deel omvatte een aantal proefnemingen op vlak water. Hiermee werd basisinformatie verkregen over het schip (snelheid, manoeuvreergedrag, enz.). Deel twee van de metingen bestond uit een aantal metingen in zeegang. Bij verschillende golfcondities, koersen en snelheden werd hierbij het gedrag in zeegang gemeten.

Het derde deel van de proeven bestond uit een lange termijn meting onder operationele omstandigheden. Hiervoor was een meetsysteem aan boord geplaatst waarmee twee maanden lang automatisch de scheepsbewegingen werden geregistreerd. Op deze wijze werd statistische informatie verkregen over de aan boord optredende scheepsbewegingen.

Naast de metingen werd voor de lagere snelheden een aantal berekeningen uitgevoerd aan het zeegangsgedrag met het door de TU Delft ontwikkelde scheepsbewegingenprogramma SEAWAY [7]. Dit programma is bestemd voor deplacementschepen en is om die reden niet geschikt voor de hogere snelheden waarbij het schip gaat planeren.

Na een korte beschrijving van de gebruikte instrumentatie zullen enige resultaten van de metingen worden besproken. Tevens worden enkele resultaten van de berekeningen gegeven. Op de lange duur metingen wordt niet ingegaan.

De meetinstrumentatie

Ten behoeve van de metingen werden diverse sensoren aan boord geplaatst. Voor het meten van de slinger-, stamp- en gierhoeken werd gebruik gemaakt van een

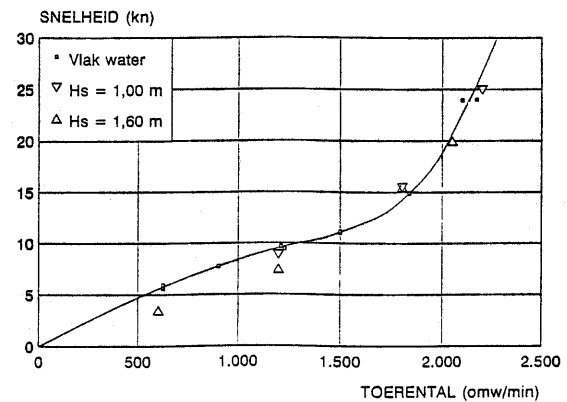
tweetal gyroscopen. De positie van het schip werd gemeten met behulp van een DGPS (Differential Global Positioning System) ontvanger. Met een drietal versnellingsopnemers achter de stoel van de roerganger werden de versnellingen langs de scheepsgebonden x-, y- en z-as gemeten. De verticale versnelling in het voorschip ter plaatse van het voopieschot werd eveneens gemeten met een versnellingsopnemer. Ook de "roerhoek" (= waterjethoek) werd gemeten. Tijdens de zeegangmetingen werden de golven gemeten met de door de TU Delft ontwikkelde WAVDEL golfmeetboei. De signalen van deze boei werden via een zender naar het schip verzonden en daar met de overige signalen geregistreerd. De DGPS data konden direct aan de meetcomputer worden toegevoerd. Alle overige signalen werden via een Analoog naar Digitaal omzetter aan de computer aangeboden. Na elke meting werden de meetdata in de computer opgeslagen.

De vlakwaterproeven

Tijdens de vlakwaterproeven werd onder andere het verband tussen motortoerental en scheepssnelheid vastgelegd. Daarnaast werden zigzagproeven, draaicirkelproeven en spiraalproeven uitgevoerd voor een aantal combinaties van relevante parameters zoals roerhoeken en snelheden. De resultaten van de snelheidsproeven zijn afgebeeld in Figuur 1.

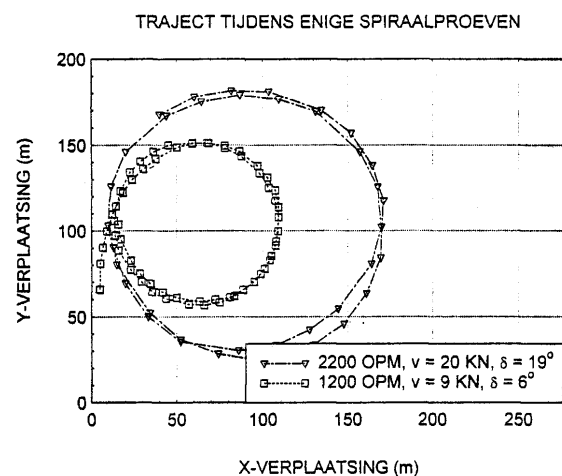
Deze figuur toont het verband tussen motortoerental en scheepssnelheid. Uit de grafiek blijkt dat het schip bij een snelheid van circa 13 knopen begint te planeren. Boven deze snelheid geeft namelijk een relatief geringe motortoerentalverhoging een forse snelheidstoename. Uit de figuur kon worden vastgesteld dat het programma SEAWAY gebruikt mag worden tot motortoerentalen van 1800 omw/min. Voor hogere snelheden moeten andere programma's worden gebruikt. In de figuur zijn ook een aantal (later) in zeegang

gemeten snelheden opgenomen. Uit de geplotte resultaten blijkt dat het snelheidsverlies in golven (met significante golfhoogte van 1 tot 2 m) gering is.



Figuur 1 Snelheid als functie van motortoerental in vlak water (getrokken lijn) en in zeegang (overige meetwaarden)

Een tweetal tijdens de uitgevoerde spiraalproeven gemeten baanregistraties is opgenomen in Figuur 2.



Figuur 2 Met behulp van DGPS gemeten banen tijdens spiraalproeven; data gecorrigeerd voor stroom

De getoonde data zijn gecorrigeerd voor de ter plaatse aanwezige stroom. Zoals valt te verwachten is de invloed van snelheid en roerhoek op het gevaren traject duidelijk zichtbaar. Het snelheidsverlies ten opzichte van rechtuit varen was tijdens de manoeuvre circa 7% voor de 1200

omw/min conditie en 25% voor de 2200 omw/min conditie. De gevaren banen werden gemeten met de DGPS ontvanger. De registraties tonen duidelijk aan dat deze ontvangers bijzonder bruikbaar zijn voor het uitvoeren van manoeuvreerproeven aan boord van schepen. Wel is het zo dat niet iedere DGPS ontvanger geschikt is voor dit werk. Speciaal bij metingen aan kleine snelle vaartuigen blijken veel typen te traag te zijn.

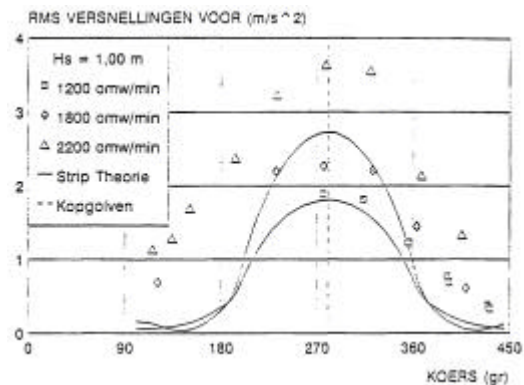
De zeegangsproeven

De zeegangsmetingen namen twee dagen in beslag. Op de eerste meetdag werden met de golfmeetboei significante golfhoogten gemeten tussen de 1,5 en 2,1 m. Op de tweede meetdag was de significante golfhoogte 1,0 m. De gemiddelde golfperiode varieerde tijdens de eerste meetdag tussen 5 en 7 s en op de tweede dag tussen 4,5 en 5,5 s. De richtings spreiding van de golven was op beide dagen vrij groot maar kan niet met de WAVDEL boei worden gemeten.

Onder de gegeven golfcondities werd op beide meetdagen een groot aantal metingen uitgevoerd. Met diverse combinaties van snelheid en relatieve koers ten opzichte van de golven werden gedurende perioden van elk 6,5 minuten de diverse signalen geregistreerd. Deze registraties leverden een groot aantal gegevens op. De beschikbare ruimte staat helaas niet toe deze allen te bespreken. Daarom wordt hier alleen ingegaan op een aantal resultaten van de verticale versnellingen. Deze keuze is niet willekeurig. In de verticale versnellingen komen slamingverschijnselen en andere niet-lineaire effecten het duidelijkst tot uiting. De hierdoor veroorzaakte klappen resulteren in hoge versnellingspieken, met name in het voorschip. Dit geeft grote piekbelastingen die voor de sterkte- en vermoeiingsaspecten van belang zijn. Daarnaast worden ook de veiligheid en het comfort aan boord (of het gebrek daaraan)

in hoge mate door de verticale versnellingen bepaald.

In Figuur 3 zijn de gemeten RMS (Root Mean Square) waarden gegeven van de verticale versnellingen in het voorschip tijdens de tweede meetdag. In de scheepvaart wordt in plaats van de RMS waarde vaak gebruik gemaakt van het begrip significante waarde. Voor scheepsbewegingen geldt hierbij dat de significante waarde ongeveer gelijk is aan twee maal de RMS waarde.

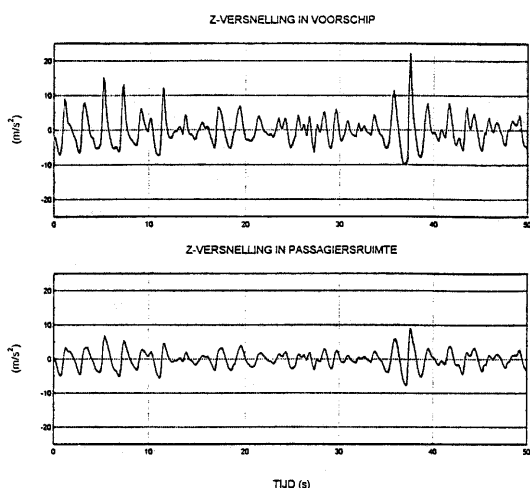


Figuur 3 Root Mean Square waarden van de verticale versnellingen in het voorschip als functie van de koershoek voor verschillende motortoerentallen; significante golfhoogte circa 1 m, gemiddelde golfperiode 4,6 sec.

In de figuur zijn als functie van de koers de bij verschillende motortoerentallen gemeten versnellingswaarden uitgezet. De getrokken lijnen geven de met het programma SEAWAY berekende waarden aan voor de condities (significante golfhoogte $H_s = 1$ m, golven komend uit richting 280) tijdens de metingen. Voor het toerental van 2200 omw/min zijn geen berekeningen uitgevoerd omdat het schip hierbij planeert. De schijnbaar te hoge gemeten waarden voor koersen tussen 360 en 450 graden zijn het gevolg van de grote golfrichtings spreiding tijdens de metingen. In het programma werd geen spreiding ingevoerd en dit verklaart de afwijkingen. Echter, bij voor en schuin van voren inkomende golven komen de waarden van

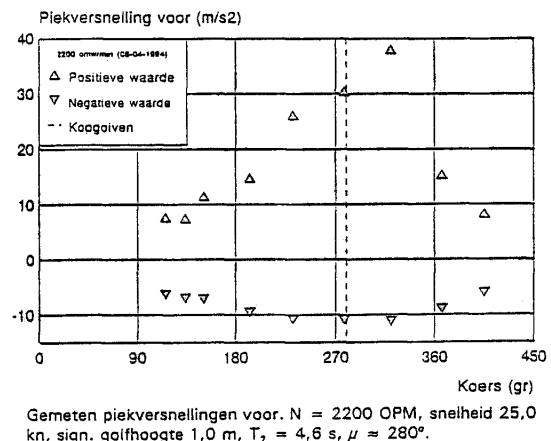
de berekeningen redelijk tot goed overeen met de gemeten grootheden. Dezelfde trend is ook zichtbaar bij de overige gemeten parameters. Uit de getrokken lijnen blijkt heel duidelijk de sterke invloed van de koers op de optredende versnellingsniveaus.

Aan het gebruik van de RMS waarde als maat voor de optredende versnellingen is een gevaar verbonden. Deze waarde zegt namelijk nog niets over de optredende piekversnellingen. En het zijn vaak deze pieken die schade veroorzaken. Bij langzaam varende deplacementschepen kan men, gegeven de RMS waarde, vaak met redelijk grote betrouwbaarheid de kans bepalen dat een bepaald versnellingsniveau wordt overschreden. Men gaat er dan van uit dat de momentane versnellingswaarde een normale amplitudeverdeling heeft. Voor zo'n verdeling kunnen de overschrijdingskansen eenvoudig worden berekend. Eén van de eigenschappen van een dergelijk signaal is dat de amplitudeverdeling boven en onder de gemiddelde waarde (die vaak nul is) symmetrisch is. Bij snelle planerende vaartuigen mag men echter niet zonder meer uitgaan van een normale verdeling. Dit is geïllustreerd in Figuur 4.



Figuur 4 Voorbeeld van gemeten verticale versnelling in voorschip en de passagiersruimte

In deze figuur zijn een deel van een versnellings signaal in het voorschip en de gelijktijdig in de passagiersruimte gemeten verticale versnelling weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de verdeling van het signaal in het voorschip niet symmetrisch is verdeeld. De positieve pieken in het signaal zijn gemiddeld smaller en hoger dan de negatieve pieken. Het in de passagiersruimte gemeten signaal toont dit effect nog wel in enige mate maar toch aanzienlijk minder. De optredende asymmetrie wordt nog duidelijker als naar de hoogste versnellingsklappen in positieve en negatieve richting van een aantal meetruns wordt gekeken. In Figuur 5 zijn deze voor een aantal metingen uitgezet als functie van de koers.



Figuur 5 Hoogste gemeten positieve en (absolute) negatieve versnellingspieken in het voorschip als functie van koers; snelheid 25 kn, sign. golfhoogte ca. 1,0 m, gem. golfperiode 4,6 sec.

Gemeten werd bij een snelheid van 25 knopen in golven met een significante golfhoogte van 1 m. De asymmetrie is hier zeer duidelijk te zien. De negatieve maxima hebben een waarde van circa $-11 m/s^2$. Dit is de vrije val conditie ($9,81 m/s^2$) plus een extra versnellingscomponent veroorzaakt door scheeps-trillingen. Bij de maxima werden waarden tot $4g$ gemeten. Het is bekend dat dit soort waarden in het voorschip van een snel vaartuig vaak voorkomen. Regelmatig

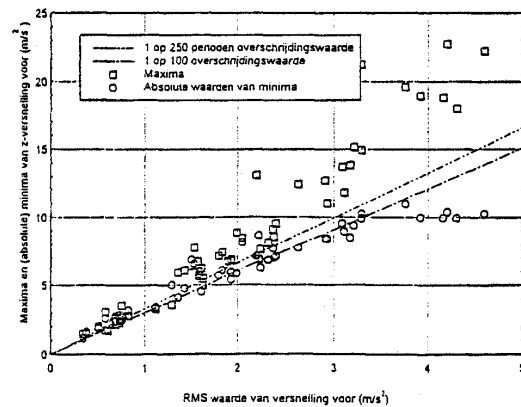
worden bij metingen waarden van 6g tot 7g geregistreerd. Bij lagere snelheden wordt de asymmetrie tussen positieve en negatieve maxima snel minder.

Uit Figuur 5 blijkt dat de asymmetrie sterk koersafhankelijk is. Het is echter universeler om te stellen dat de asymmetrie afhankelijk is van de RMS waarde van de verticale versnelling. In Figuur 6 zijn van een groot aantal metingen de maximale waarden en de (absolute) minimale waarden van de verticale versnelling getoond als functie van de RMS waarde van het signaal tijdens de meting. Afhankelijk van scheepsnelheid en koers werd tijdens elk van de metingen tussen de 100 en 250 bewegingsperioden van het schip gemeten. Als de RMS waarde van het signaal bekend is dan kan voor een normaal verdeeld signaal worden berekend welke waarde (gemiddeld) één maal per gegeven aantal perioden zal worden overschreden. Bij groter wordende waarde zal de overschrijdingskans snel afnemen.

Daarom zal het meetpunt voor een gegeven aantal perioden in het algemeen vrij dicht bij de 1 op n overschrijdingswaarde liggen. In de figuur geven een tweetal lijnen aan waar de 1 op 100 en 1 op 250 overschrijdingswaarden liggen. Als het signaal een normale verdeling zou hebben zouden alle meetpunten rond deze lijnen moeten clusteren. Uit de figuur blijkt dat dit alleen het geval is voor kleine RMS waarden van het signaal, tot ongeveer 2 m/s^2 . Voor RMS waarden van groter dan 2 m/s^2 gaan de (absolute) negatieve waarden begrenzen tot circa 10 m/s^2 , de vrije val conditie dus. De positieve piekwaarden komen echter steeds verder boven de lijnen te liggen. De kans op een grote positieve versnellingspiek is duidelijk groter dan bij een normale verdeling. Overigens moet nog worden bedacht dat de waarden in de tabel zijn verkregen van data waaruit perioden korter dan 0,5 s zijn weggefilterd. Hierdoor zijn de maximale piekwaarden ongeveer $2,5g$.

Zonder filteren zou dit ongeveer 4g zijn geweest. De weggefilterde waarden waren echter zeer kortstondig aanwezig en konden dan ook niet veel schade aanrichten.

De belangrijkste conclusie uit het voorgaande is dat voor de maxima tot $2,5g$ in Figuur 6 de gevolgen voor bemanning en schip niet langer mogen worden verwaarloosd.



Maxima en minima van de z-versnelling voor als functie van de RMS waarde. Frequenties > 2,0 Hz weggefilterd.

Figuur 6 Maximale positieve en negatieve versnellingspieken in het voorschip als functie van de Root Mean Square waarde van de versnelling

Bij sterkte- en vermoeingsberekeningen moet met de geconstateerde asymmetrie rekening worden gehouden. Bij het bepalen van de toelaatbare versnellingsniveaus waaraan de opvarenden mogen worden blootgesteld mag niet uitsluitend worden uitgegaan van de RMS waarden van de versnellingen. Ook de momentane versnellingspieken moeten binnen de daarvoor toegestane grenzen blijven.

Zoals uit Figuur 4 reeds bleek zijn in de passagiersruimte de verticale versnellingen aanzienlijk lager. Tijdens de metingen lag bij alle koersen en snelheden het minimum van de verticale versnellingen tussen 25% tot 40% van de scheepslengte, gerekend van de achterloodlijn. Ook bleek dat de in het voorschip geconstateerde asymmetrie in de verticale versnellingen in de passagiersruimte aanzienlijk minder was.

Hier kan dan ook, uitgaande van de (gemeten of berekende) RMS waarde, de kans op overschrijden van een zeker versnellingsniveau met redelijke nauwkeurigheid worden berekend. Wel is het zo dat de metingen zijn uitgevoerd bij golven van 1 tot 2 m. Bij de in de ontwerpeisen gestelde golfhoogte van 2,75 m zullen de versnellingen hoger worden en daarmee de kans dat ook in de passagiersruimte de in het voorschip waargenomen asymmetrie sterker gaat optreden. Het valt echter te verwachten dat door snelheid te verminderen en koers te wijzigen de versnelling binnen toelaatbare grenzen kan worden gehouden.

Slotopmerkingen

Uit de metingen is gebleken dat de Voyager ook bij vrij grote golfhoogten weinig snelheid verliest. Het in de praktijk optredende snelheidsverlies zal voor een groot deel worden bepaald door de in de passagiersruimte toelaatbare verticale versnellingen. Door snelheidsvermindering, gas terugnemen bij hoge golven en koersverandering kan het versnellingsniveau goed in de hand worden gehouden. Voorwaarde is daarbij dat bij de opleiding van de bemanningen aandacht aan deze aspecten wordt besteed.

Door de optredende niet-lineariteiten mag voor de verticale versnellingen aan boord niet alleen met RMS waarden worden gerekend. Zowel voor sterkte- en vermoeiingsberekeningen als voor de veiligheid van de opvarenden moet rekening worden gehouden met de door slaming veroorzaakte, grote en relatief lang durende, versnellingspieken

Het blijkt mogelijk te zijn om voor de snelheden waar het schip nog niet planeert de bewegingen te voorspellen met behulp van het computerprogramma SEAWAY. Hierdoor was het mogelijk om diverse varianten van het Voyager ontwerp door te rekenen. Dit heeft geresulteerd in een

aantal wijzigingen in het ontwerp voor het inmiddels bestelde tweede schip. Belangrijkste van deze wijzigingen is een 2,4 m grotere lengte waardoor de versnellingsniveaus naar verwachting aanzienlijk lager zullen komen te liggen. Ook de kans op het optreden van slamingklappen zal afnemen.

Referenties

- [1] Schip & Werf de Zee.
- [2] S. Hengst, *Loodstender Voyager, Deel I: Operationele waarnemingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie Constructie en Productie, 1994.
- [3] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIa: Hydro-mechanisch gedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydropneumica, Rapport 1004-O, 1994.
- [4] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIb: Statistisch Zeegangsgedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydropneumica, Rapport 1005-O, 1994.
- [5] Jakob Pinkster, *Loodstender Voyager, Deel III: Trillingsmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie OEMO, Rapport 94-20-O, 1994.
- [6] A.H. Weertheim (TNO Technische Menskunde), *Loodstender Voyager, Deel IV: Comfortmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydropneumica, Rapport 1006-O, 1994.
- [7] J.M.J. Journée, *SEAWAY-DELFT, User Manual of Release 4.00*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydropneumica, Rapport 910, 1992.

Loodsboot m.s. “Voyager”

Deel III

Spanningsgedrag

Jakob Pinkster
Maritieme Techniek, Technische Universiteit Delft

Aan boord van deze loodstender werden echter na ongeveer 6 maanden dienst reeds scheuren in de aluminium delen van de romp geconstateerd. In dit deel van het artikel worden de uitkomsten van het onderzoek naar het spanningsgedrag gepresenteerd.

Teneinde na te gaan of het schip aan de ontwerpeisen voldoet, zijn door de vakgroep Maritieme Techniek van de TU Delft uitgebreide metingen aan boord verricht. Hierbij werden de scheepsbewegingen en de mechanische spanningen in het schip onder operationele omstandigheden gemeten. Het doel van deze metingen was vastleggen van het hydromechanisch gedrag van het vaartuig en het achterhalen van de redenen van de scheurvorming. In de referenties [2], [3], [4], [5] en [6] wordt een uitvoerig overzicht van alle resultaten gegeven.

Dit artikel beschrijft de metingen van het mechanisch gedrag van de constructiedelen en de belangrijkste meetresultaten, alsmede een evaluatie hiervan. Voor de problemen met betrekking tot de scheurvorming worden mogelijke oplossingen gegeven. Tevens worden enkele aanbevelingen gegeven voor een volgend ontwerp.

Spanningsgedrag

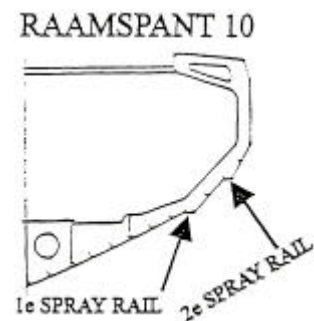
Aan boord van de loodstender Voyager werden na ongeveer 6 maanden dienst scheuren in de aluminium romp (AlMg4.5Mn, (5083)) geconstateerd. Om dit probleem te onderzoeken werd het spanningsniveau in delen van de romp door middel van aan boord (zowel tijdens het gesimuleerde beloadingsproces als in

zware zeegang) uitgevoerde ware grootte metingen geïnventariseerd en later geëvalueerd. Deze spanningsmetingen werden in opdracht van TU Delft door TNO-Bouw/CMC uitgevoerd.

Deze metingen en de bijbehorende belangrijkste meetresultaten, alsmede een evaluatie van het overall spanningsniveau van dit prototype, worden hier beschreven. Tevens wordt een mogelijke oplossing gegeven voor het probleem van de scheurvorming en in verband hiermede worden ook enkele aanbevelingen gegeven voor een volgend ontwerp.

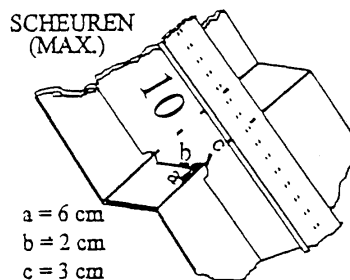
Scheuren bij de eerste spray rail

De constructietekening van een van de meest getergde raamsparanten van het vaartuig wat betreft scheurvorming, namelijk raamsparant nummer 10, wordt weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Constructie raamsparant 10, plaats van de spray rails

De geconstateerde scheuren (zie figuur 2) liepen in het algemeen in drie verschillende richtingen in de buurt van de eerste spray rail.



Figuur 2 Scheuren ter plaatse van de 1^e spray rail, raamspant 10

Een scheur (a) liep parallel aan en vlak naast de binnenste lasnaad van de spray rail in het vlak van de spray rail in de langsscheepse richting. Dit is ook de grootste tot nu toe geconstateerde scheur geweest. Een maximale lengte van ongeveer 6 cm trad op in raamspant 10.

Nog een scheur (b) liep parallel aan en vlak naast de lasnaad tussen het vlak van de spray rail in dwarsscheepse richting en de lijfplaat van het raamspant. Een maximale lengte van ongeveer 2 cm trad op in raamspant 10.

Een derde scheur (c) deed zich voor bij de binnenste lasuitsparing in de lijfplaat ter plaatse van de spray rail met, in raamspant 10, een maximale lengte van ongeveer 3 cm.

Opvallend was dat de grootste scheuren zich aan bakboordzijde voordeden, de kant waaraan grotendeels de beloodsing plaats vindt.

Een kritische beschouwing van de scheurvorming in alle gescheurde raamspanten en de onderste (1^e) spray rail levert het volgende op:

- Er is sprake van scheurvorming vanaf het voorste raamspant tot aan raamspant 8 in de machinekamer.
- Alle drie scheurtypen zijn aanwezig in de raamspanten 8, 9 en 10.

- De scheuren zijn het ergst in raamspanten 8, 9 en 10.
- Vanaf het voorschip naar raamspant 8 blijkt scheur b in alle raamspanten aanwezig te zijn.
- Vanaf het voorschip naar de machinekamer lijkt de scheurvorming te groeien.
- Scheur a doet zich in toenemende mate van raamspant 10 tot 8 voor.
- Scheur c doet zich in toenemende mate van raamspant 10 tot 8 voor, doch in mindere mate dan in het geval van scheur a.
- De meeste en grootste scheuren bevinden zich aan bakboord zijde.

Opmerkingen over de constructie van de raamspanten

In totaal zijn er 21 raamspanten in het vaartuig aanwezig, vanaf het achterschip genummerd van 0 tot 21.

De raamspant afstand is overal 1.0 meter. Met uitzondering van raamspant 7, bedraagt de lijfplaatdikte van alle raamspanten 5 mm. De dikte van de gordingplaat bedraagt 5 mm en de dikte van de vlakbeplating is grotendeels 5 mm. Alle raamspanten zijn als een gesloten ringconstructie uitgevoerd, dat wil zeggen dat elk raamspant voorzien is van een integraal in het raamspant opgenomen dwarsdekbalk.

Over de constructieve uitvoering van de raamspanten kunnen de volgende kritische opmerkingen geplaatst worden:

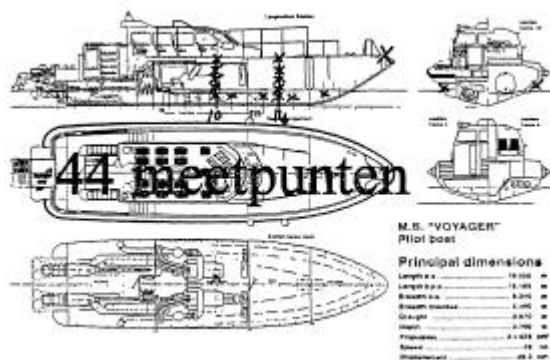
- Langs de raamspanten zijn ter plaatse van de ingebouwde eerste en tweede spray rails een aantal constructieve discontinuïteiten aanwezig.
- Er is ter plaatse van de spray rail - raamspant verbinding veel gelast; te weten 3 lasnaden. De breedte van de spray rail waarin en waarop deze drie lasnaden voorkomen bedraagt ca. 10 cm.
- Langs de dwarsdekbalk - raamspant verbinding is in veel gevallen sprake van enige constructieve discontinuï-

teiten die enigszins toenemen vanaf raamspant 17 tot en met raamspant 8.

- Vanaf het achterschip naar het voorschip neemt de vlaktiling toe. Dit heeft zeer waarschijnlijk haar uitwerking op het spanningsverloop ter plaatse van de eerder genoemde discontinuïteiten bij de eerste en de tweede spray rail, met alle gevolgen van dien.

Plaatsen der meetpunten

Rekening houdende met de bovengenoemde scheurvorming is er gekozen voor 44 meetpunten, zoals schematisch weergegeven wordt in figuur 3. Hiervan hebben nummers 5 t/m 44 betrekking op het meten van de spanningen met behulp van rekstrookjes.



Figuur 3 Plaatsen der meetpunten

Meetplaatsen 1, 2, 3 en 4 betreffen de registraties van het toerental van de stuurboord waterjet, de verticale versnelling van de fundatie van de stuurboord hoofdmotor, en de horizontale en verticale versnellingen in het voorste punt van het voorschip.

De overige meetpunten zijn voornamelijk aan stuurboordzijde gelegen, daar aan bakboordzijde reeds de meeste scheurvorming was opgetreden. Er werd in een enkel geval ook in een raamspant aan bakboordzijde gemeten, gezien het feit dat daar "gezond" en dus niet gescheurd, materiaal aanwezig was.

Omdat het schip in hoofdzaak symmetrisch is, wordt hiermee toch een

volledig beeld van de constructiespanningen in de desbetreffende raamspanten verkregen.

Metingen

De Voyager werd in vier dagen te IJmuiden beïnstureerd voor de spanningsmeting. De weersomstandigheden tijdens de meting waren bijzonder gunstig uit oogpunt van gewenste niveaus van excitatiestoten en de spanningsresponsie van de constructie.

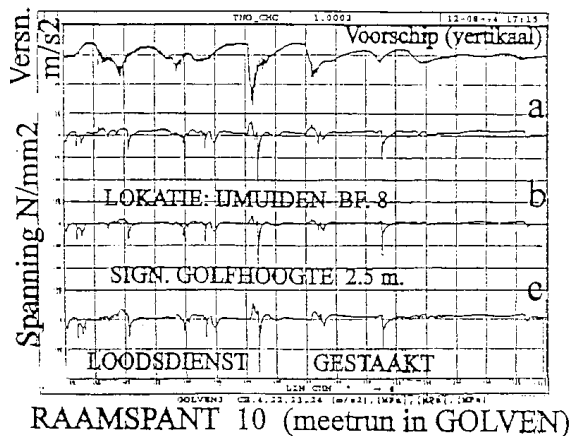
De loodsdiens was die dag gestaakt en de wind was Noord-West BF 8. De bijbehorende significante golfhoogte net buiten de havenmond van IJmuiden werd door de schipper van de Voyager geschat op ongeveer 2.5 meter.

Flinke stoten ten gevolge van extreem slamgedrag van het vaartuig werden veroorzaakt door het varen met hoge snelheden (18 knopen) in deze zeegang. Het beloodsingsproces werd gesimuleerd door vrij hard met het vaartuig de kade, voorlijk in dwarsrichting aan stuurboord zijde, te raken.

Boordeling van de meetsignalen in raamspant 10 ter plaatse van de 2^e spray rail

De digitale registraties van spanningen als functie van de meettijd werden per meetpunt opgeslagen. Omdat het hier in feite gaat om een transient gedrag van de rompconstructie werden deze responsies op grote aanstootkrachten geanalyseerd.

Het moment dat een grote verticale aanstoting van het systeem zich voordoet, een zogenaamde slamkracht, wordt gevonden uit het karakter van het signaal van de verticale versnellingen in het voorschip. Het moment dat een grote horizontale aanstoting van het systeem zich voordoet, de aanlegkracht, wordt gevonden uit het karakter van het signaal van de horizontale versnellingen in het voorschip. Een voorbeeld van een dergelijk versnellings signaal en de spanningsresponsie van de constructie hierop wordt weergegeven in figuur 4.



Figuur 4 Gemeten spanningen t.p.v. raamspant 10 en versnellingen in het voorschip

Bij deze klappen vindt men vaak een lokaal (sterk) ongedwongen gedempt trillingsgedrag, waarbij een trilling van de raamspant in het vlak van de lijfplaat ontstaat.

In vergelijking met de vloeigrens van 125 N/mm² zijn de gemeten spanningniveaus in het algemeen laag te noemen, zoals blijkt uit figuur 4.

De maximale spanning in meetpunt b was hier ongeveer 50 N/mm². In het algemeen bleken de spanningen ten gevolge van de aanlegkrachten tijdens het beloodsen ongeveer de heft te bedragen van spanningen ten gevolge van de slamkrachten tijdens het varen in golven.

Conclusies met betrekking tot de scheurvorming

Op grond van de beoordeling van de meetresultaten en de geraadpleegde literatuur over vermoeiing van aluminium, AlMg4.5Mn (5083), gelaste constructies worden de volgende conclusies met betrekking tot de scheurvorming van de Voyager getrokken:

- Direct na een slam- of stootbelasting van de constructie treedt een ongedwongen gedempte trilling op in het raamspant. Deze trilling leidt tot wisselspanningen, die na een aantal perioden uitdempen. Een dergelijke

stootbelasting leidt dan tot een groot aantal belastingswisselingen van de constructie (aantal slams x aantal wisselingen per duur van de uitdemping van de eigentrilling), waardoor de vermoeiing een extra aanslag pleegt op de levensduur van het materiaal. Verwacht mag worden dat de levensduur hierdoor omgekeerd evenredig met de periode van de eigentrilling wordt verkleind. Bij aluminium kunnen de aanwezige restspanningen na het lassen dezelfde orde van grootte hebben als de vloeigrens, 125 N/mm².

- Door de aanwezige (hoge) restspanningen in de gelaste constructiedelen is er lokaal sprake van een hoge gemiddelde spanning in de constructie. Uit materiaalproeven is gebleken dat de vermoeiingssterkte in negatieve zin wordt beïnvloed door de aanwezigheid van deze hoge restspanningen.
- Gelet op de gemeten, in het algemeen lage, lokale materiaal(wissel)spanningen en op het feit dat de scheuren niet direct na het in de vaart komen van het schip zijn opgetreden, zijn deze scheuren eerder een gevolg van vermoeiing dan van een overbelasting van het materiaal.
- De scheuren vinden steeds plaats in de zogenaamde "Heat Affected Zones" (HAZ) van de lasnaden. Aluminium heeft een warmtegeleidingscoëfficiënt die vele malen groter is dan die van staal, hetgeen leidt tot een grote HAZ na het lassen. Een grote HAZ leidt tot een verdere verslechtering van de vermoeiingssterkte.
- De scheuren worden waargenomen in gebieden waar veel en herhaaldelijk is gelast. Bij de spray rails zijn er ten minste 3 lasnaden in een gebied van slechts 10 x 2 cm. Dit geconcentreerde lassen leidt tot een sterke vergroting van een reeds aanwezige HAZ.
- De scheuren worden waargenomen in gebieden van constructieve disconti-

nuiteiten. Dit leidt tot grote spanningsconcentratie ter plaatse, hetgeen de vermoeiingssterkte van de constructie nadelig beïnvloedt.

- Het zeewatermilieu heeft ook een verslechtering van de vermoeiingssterkte van het aluminium tot gevolg.

Aanbevelingen inzake het vermijden van verdere scheurvorming

De gelaste verbindingen tussen de lijfplaat van het raamspant en de beide spray rails dienen van elkaar gescheiden te worden. Dit kan verwezenlijkt worden door de lasnaad aldaar voorzichtig weg te slijpen (zie figuur 5).



Hierbij dient er voor gezorgd te worden dat er bij het wegslijpen geen kerven worden geïntroduceerd in het achtergebleven materiaal. Immers, kerven kunnen nieuwe scheurgroei veroorzaken.

Om de HAZ, met al zijn nadelen, te beperken dient er door het slijpen zo weinig mogelijk warmte aan het materiaal te worden toegevoerd.

Alle plaatdelen, die in verband met scheurherstellende werkzaamheden in het verleden reeds een aantal keren extra zijn gelast, dienen voorzichtig verwijderd te worden en vervangen te worden door nieuw materiaal.

Bovengenoemde maatregelen dienen voor alle raamspant - spray rail verbindingen van raamspant 8 tot en met raamspant 19 genomen te worden.

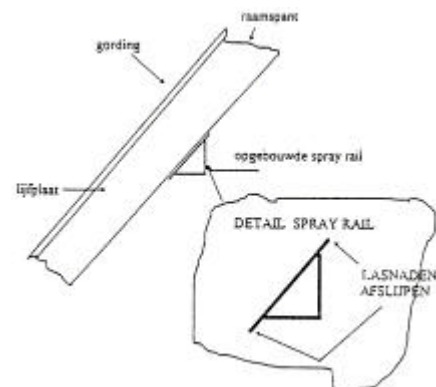
Voorkoming van scheurvorming in een volgende Voyager

Indien een nieuw te bouwen vaartuin in aluminium met ingebouwde spray rails

wordt uitgevoerd, dan dienen de raamspanten 8 t/m 19 als volgt te worden uitgevoerd:

- De lijfplaten uitvoeren in 7 en 5 mm dikte, conform raamspant 7.
- De verbinding spray rail - raamspant losmaken, conform figuur 5.
- Sterke discontinuïteiten tussen dwarsdekbalk en raamspant vermijden.
- In plaats van een gedeeltelijk doorlassen, de gording - lijfplaat verbinding van de raamspanten in de zijde volledig doorlassen. Dit gelet op de lokale scheuren van verschillende van dergelijke verbindingen in het huidige vaartuin.
- Dit voorgaande geldt ook voor de gording-lijfplaat verbinding van de dwarsdekbalken in de raamspanten.

Aanbevolen wordt om te overwegen een andere niet-ingebouwde spray rail constructie toe te passen in een volgend vaartuin uit de Voyager serie; zie figuur 6.



Figuur 6 Voorstel opgebouwde spray rail verbinding

Een opgebouwde spray rail zal zeker een aantal belangrijke voordelen met zich meebrengen, zoals het vermijden van sterke discontinuïteiten in de raamspant-constructie en het verminderen van HAZ problemen ter plaatse van de spray rail door minder lokaal laswerk.

Dankbetuiging

Met betrekking tot de spanningsmetingen is veel dank verschuldigd aan prof. dr. ir. S. Hylarides, oud hoogleraar TU Delft, als

externe adviseur betrokken bij dit onderzoek.

Referenties

[1] Schip & Werf de Zee.

[2] S. Hengst, *Loodstender Voyager, Deel I: Operationele waarnemingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie Constructie en Productie, 1994.

[3] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIa: Hydro-mechanisch gedrag*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 1004-O, 1994.

[4] J. Ooms en J.M.J. Journée, *Loodstender Voyager, Deel IIb: Statistisch*

Zeegangsgedrag, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 1005-O, 1994.

[5] Jakob Pinkster, *Loodstender Voyager, Deel III: Trillingsmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Sectie OEMO, Rapport 94-20-O, 1994.

[6] A.H. Weertheim (TNO Technische Menskunde), *Loodstender Voyager, Deel IV: Comfortmetingen*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 1006-O, 1994.

[7] J.M.J. Journée, *SEAWAY-DELFT, User Manual of Release 4.00*, TU Delft, Vakgroep Maritieme Techniek, Lab. voor Scheepshydronechanica, Rapport 910, 1992.