

## **Brandstofbesparing door Bewaking en Simulatie van de Prestaties van het Schip**

**J.M.J. Journée**  
**Delft University of Technology**

### **1 Inleiding**

De energiekosten vormen een groot deel van de variabele kosten van het scheepstransport. Hiervan neemt de hoofdmotor met ongeveer 90 procent het overgrote deel voor zijn rekening. Dat betekent dat besparingen in eerste instantie daar gezocht zullen worden.

In het scheepsbedrijf wordt brandstof omgezet in tonmijlen. Daarbij dient de gebruikte hoeveelheid brandstof per mijl gemiddeld over de route zo laag mogelijk te zijn. Dit is de prestatiegrootheid die dan van belang is. Deze kan op twee plaatsen aan boord beïnvloed worden: in de machinekamer en op de brug.

Afhankelijk van de beladingstoestand van het schip en de omgevingsomstandigheden ten aanzien van wind, zeegang en deining vraagt de brug aan de machinekamer een schroeftoerental of een te leveren asvermogen. In de machinekamer wordt brandstof bij het gevraagde toerental omgezet in een asvermogen. Hierbij wordt getracht om de gebruikte hoeveelheid brandstof per tijdseenheid in relatie tot het geleverde vermogen (ton/kWh) bij het gevraagde toerental zo laag mogelijk te houden.

Hiertoe krijgt men in toenemende mate de beschikking over apparatuur die de konditie van de voortstuwingsinstallatie en haar prestaties bewaakt. Veel aandacht wordt besteed om besparingen - hoe gering soms ook - te bereiken. Het door de brug gevraagde toerental wordt met het geleverde askoppel, dus het geleverde vermogen, door het systeem schroef-schip omgezet in een vaarsnelheid waarbij de weerstand van het schip door het water overwonnen wordt. Daarbij dient de verhouding tussen het asvermogen en de resulterende snelheid (kW/kn = kWh/mijl) zo laag mogelijk te zijn. Apparatuur die deze prestatiegrootheid en de factoren die hierop van invloed zijn betrouwbaar registreert en bewaakt zijn tot op heden slechts zeer ten dele op de brug aanwezig. Juist op de brug kan men de prestaties van het schip sterk beïnvloeden.

Daartoe is daar een goed inzicht in de prestaties van het schip een vereiste. De totale prestatiegrootheid, die van belang is, is dan ton/mijl.

In dit artikel wordt eerst ingegaan op de mogelijkheden die men op de brug heeft om het brandstofverbruik te beïnvloeden. Daarna wordt een systeem beschreven dat

de prestaties van het schip bewaakt en dat tevens een hulpmiddel voor de gezagvoerder is bij het nemen van operationele beslissingen ten aanzien van de koers, de vaart, e.d. van het schip. Dit systeem is geplaatst aan boord van een 23.000 tdw containerschip, m.s. Nedlloyd Zeelandia. In zijn huidige versie is het systeem ontwikkeld voor motorschepen met een enkele vaste spoed schroef.

Het project is een onderdeel van de door de Minister van Economische Zaken (Dir. Gen. van Energie) aan de Stichting Coördinatie Maritiem Onderzoek te Rotterdam gegeven opdracht: "Energiebesparing door een betere informatieverwerking, scholing, voorlichting en bedrijfsvoering voor de energiehuishouding van de machineinstallatie" (EBSS 1.01). Het project is uitgevoerd in samenwerking met Van Rietschoten en Houwens te Rotterdam.

## 2 Beïnvloedingsmogelijkheden van het brandstofverbruik

Met betrekking tot het operationele gebruik van zeegaande schepen worden op de brug beslissingen genomen die van grote invloed kunnen zijn op het brandstofverbruik. Ten aanzien van de vrijheid van handelen, die de gezagvoerder in deze heeft, kan onderscheid gemaakt worden tussen directe en indirecte vrijheidsgraden in handelen aan boord.

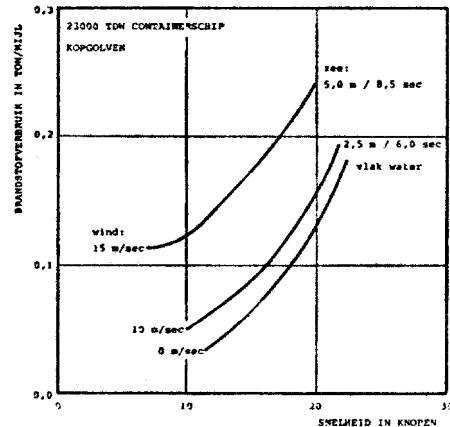
### 2.1 Direkte vrijheidsgraden

Dit zijn handelingen die volledig op gezag van de gezagvoerder uitgevoerd worden en betrekking hebben op de in de volgende subparagrafen genoemde grootheden.

#### 2.1.a Momentane scheepssnelheid

De snelheid van het schip door het water is van zéér grote invloed op het brandstof-

verbruik. Afhankelijk van de zeetoestand kan een geringe reductie van de snelheid soms een aanzienlijke vermindering van het brandstofverbruik tot gevolg hebben, zoals Figuur 1 laat zien.



Figuur 1

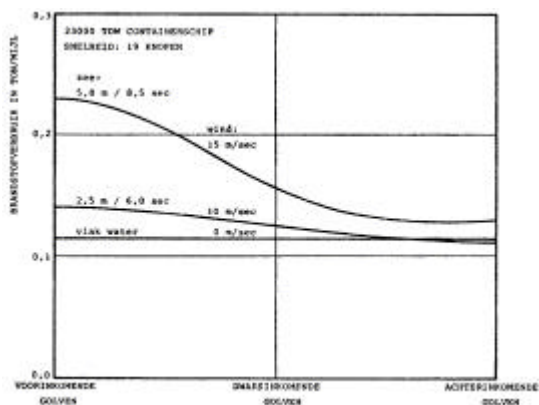
De toegestane vaartijd is hierbij een randvoorwaarde. Binnen deze opgelegde begrenzing heeft men de mogelijkheid om de momentane snelheid uit oogpunt van minimaal brandstofverbruik aan te passen aan de wisselende zeetoestand op de route. Hiermee zijn in het algemeen, mede door de onzekere weersverwachtingen, slechts geringe besparingen te bereiken. Het voorkomen van te vroeg aankomen levert echter wel aanzienlijke besparingen op.

#### 2.1.b Koers van het schip

Deze is van directe invloed op de invalshoek van de wind en de golven, die weer van invloed zijn op de totale weerstand van het schip en dus op het brandstofverbruik. Figuur 2 laat een berekend voorbeeld zien van de invloed van de koers op het brandstofverbruik per gevaren mijl.

Een koerswijziging kan resulteren in een lager brandstofverbruik per gevaren mijl. Dit wordt echter in een homogeen golfveld weer grotendeels teniet gedaan door de langere vaarweg. Het vermijden van gebieden met ongunstige golven is een geheel ander geval en kan wel resulteren in

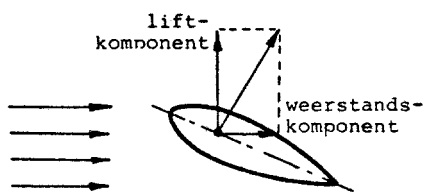
een lager brandstofverbruik. Op dit routeren van schepen wordt verderop nader ingegaan.



Figuur 2

### 2.1.c Afstelling van de stuurautomaat

Bij de weerstandstoename ten gevolge van het op koers houden van een schip in zeeang spelen de roer-, gier- en driftbewegingen een belangrijke rol. Deze worden gekonditioneerd door de stuurautomaat.

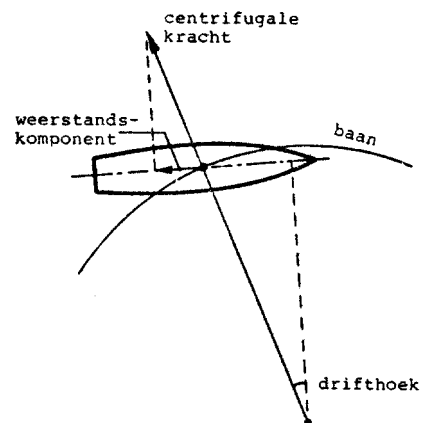


Figuur 3

Het roer werkt als een vleugelprofiel in een stroming, zie Figuur 3. De hierbij ontstane kracht heeft een achterwaarts gerichte component en verhoogt derhalve weerstand van het schip. Deze weerstandstoename verloopt ongeveer kwadratisch met de roerhoek en is in het algemeen relatief klein.

Door de gierbewegingen van het schip ontstaan centrifugaalkrachten waarbij de drifthoek een component in achterwaartse langsscheepse richting veroorzaakt; zie Figuur 4. Deze weerstandstoename neemt kwadratisch toe met de koershoeksnelheidsamplitude en kan soms aanzienlijk zijn.

De weerstandstoename ten gevolge van de driftbeweging is in het algemeen gering. Door de gier- en driftbewegingen wijkt de baan van het schip af van een rechte; de vaarweg wordt dus verlengd. Ook deze effecten zijn in het algemeen relatief gering.



Figuur 4

Tenslotte beïnvloeden deze bewegingen ook nog in geringe mate het voortstuwingsrendement van het schip.

### 2.1.d Gebruik van antislingervinnen

De antislingervinnen werken evenals het roer als een vleugelprofiel. Afhankelijk van de momentane slingerrichting worden de vinhoeken zo geregeld dat er een de beweging tegenwerkende kracht naar boven of beneden ontstaat. Ook ontstaat hier, net als bij het roer, weer een component in achterwaartse richting. In relatief geringe mate neemt de weerstand iets af door de nu kleinere slingerbeweging.

Het gebruik van de vinnen kan aanzienlijke extra brandstofkosten tot gevolg hebben. Aan boord van m.s. Nedlloyd Zeelandia zijn metingen verricht in het grensgebied tussen wel en niet noodzakelijk geacht vingebruik. Het gebruik van de vinnen bleek bij dezelfde snelheid een 6 tot 10 procent hoger brandstofverbruik tot gevolg te hebben.

In werking zijnde antislingervinnen beogen de slingerbeweging zoveel mogelijk te reduceren. Besparingen kunnen bereikt worden door een minimaal gebruik van de vinnen. In gebruik dienen de vinnen echter zodanig geregeld te worden dat een drempelwaarde voor de slingerhoek of de slingerhoekversnelling zo weinig mogelijk overschreden wordt; dit in plaats van het minimaliseren van deze beweging. Dit heeft kleinere liftkrachten maar ook een geringe weerstandstoename tot gevolg.

### **2.1.e Trim**

De trim van het schip kan, in het bijzonder bij schepen met bulbstevens, van grote invloed op de weerstand zijn. De optimale trim is afhankelijk van de waterverplaatsing en de snelheid.

Het maximaal toegestane buigend moment kan echter een randvoorwaarde zijn bij de bepaling van de optimale trim.

In de literatuur worden bereikbare verminderingen van de weerstand van 5 tot 10 procent genoemd. In één gekonstateerd geval aan boord van m.s. Nedlloyd Zeelandia bleek de optimale trim te resulteren in een 8 procent lager brandstofverbruik ten opzichte van de gelijklastige toestand bij dezelfde snelheid van het schip.

## **2.2 Indirekte vrijheidsgraden**

Hieronder worden die handelingen verstaan die in overleg met of in opdracht van de walorganisatie uitgevoerd worden. Ze hebben betrekking op de in de volgende subparagrafen genoemde grootheden.

### **2.2.a Toegestane vaartijd**

Zoals eerder opgemerkt heeft de snelheid en dus ook de vaartijd een zéér grote

invloed op het brandstofverbruik. Dit betekent dat een goede walorganisatie van groot belang is. Als door een alerte walorganisatie een kortere haventijd en het voorkomen van wachtend voor anker liggen bereikt kan worden en dit een langer verblijf op zee met een langzamere vaart tot gevolg heeft levert dit aanzienlijke besparingen op. Hieraan wordt mede door de sterk gestegen brandstofprijzen meer en meer aandacht besteed. In dit verband kan een citaat aangehaald worden uit Nedlloyd Fleet News van oktober 1981.

Citaat: "Door aangepaste vaarschema's en nauw overleg tussen schip en agentschap wordt aan boord de best gemiddelde snelheid over het te varen traject berekend. Dit 'verstandig varen' resulteerde in een besparing van maar liefst negen procent." Dit citaat spreekt voor zich zelf.

Te vroeg aankomen in de haven van bestemming betekent het accepteren van een hoog brandstofverbruik. Ter gedachtebepaling: voor een containerschip zoals m.s. Nedlloyd Zeelandia kost één uur te vroeg aankomen, afhankelijk van de zeetoestand, 2500 tot 6000 gulden of meer aan extra brandstofkosten. Eén dag voor anker liggen na een zeereis kost voor dit soort schepen evenveel als het jaarsalaris van één man aan boord.

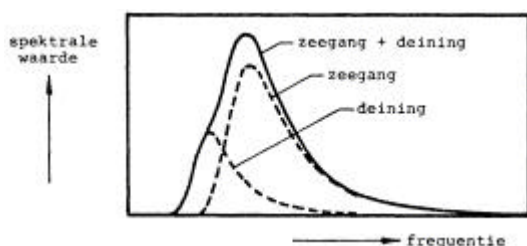
Uit oogpunt van minimaal brandstofverbruik moet een schip zo lang mogelijk op zee vertoeven; dit uiteraard binnen de grenzen van het toerenbereik van de motor. Dit betekent dat er een goede communicatie moet zijn tussen een zéér alerte walorganisatie en het schip. Wanneer blijkt dat het schip, om wat voor reden dan ook, later kan aankomen dient dit onmiddellijk aan het schip gemeld te worden. De gezagvoerder kan dan zijn vaart onmiddellijk aanpassen aan de gewijzigde aankomsttijd. Iedere minuut levert een besparing op.

De verantwoordelijkheid voor deze vrijheidsgraad ligt dus voor een zeer groot deel bij de walorganisatie.

## 2.2.b Routeren van schepen

De mate waarin de wind en de zee van invloed zijn op de scheepsweerstand, het vaartverlies en het brandstofverbruik kunnen door het routeren van het schip beïnvloed worden. Deze routeadviezen worden door, veelal aan meteorologische instituten verbonden, routeerbureaux gegeven. Hierbij wordt getracht om, bij bekende of verwachte golf- en windvelden, een optimale route te adviseren met betrekking tot de vaartijd of het brandstofverbruik.

Het golfbeeld op zee bestaat uit combinaties van zeegang en deining, elk met hun eigen hoofdrichting, richtings-spreiding en frequentie-afhankelijke energieverdeling. Deze energieverdelingen worden ten behoeve van berekeningen vaak benaderd door mathematisch gedefinieerde frequentie-afhankelijke energieverdelingen met een ten aanzien van de frequentie uniforme richtings-spreiding volgens een cosinus-kwadrant verdeling. De twee kenmerkende parameters van deze spektra zijn de significante golfhoogte en de gemiddelde periode. Het puntspektrum van een dergelijke verdeling kan er voor een gekombineerde zeegang en deining als in Figuur 5 uitzien.



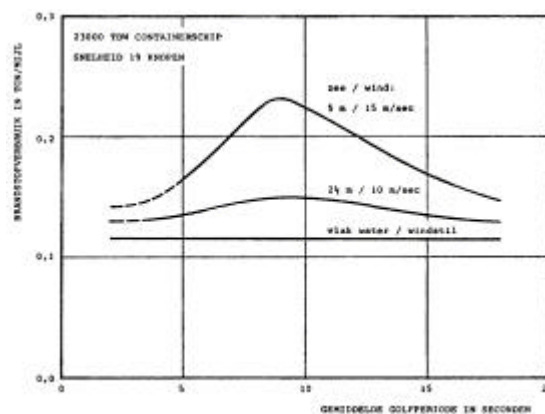
Figuur 5

De weerstandstoename neemt kwadratisch toe met de significante golfhoogte van de zeegang en de deining.

Ook speelt de gemiddelde periode van de zeegang en de deining een niet onaanzienlijke rol.

In Figuur 6 wordt de berekende invloed getoond van de golfhoogte en de periode op het brandstofverbruik per gevaren mijl bij een konstante snelheid van het schip. De figuur laat zien dat de invloed van de golfperiode op het brandstofverbruik van dezelfde orde kan zijn als die van de golfhoogte.

Door het routeren van schepen kunnen aanzienlijke brandstofbesparingen bereikt worden bij een oceaan oversteeek. Betrouwbare langere termijn wind- en golfverwachtingen zijn hiervoor echter noodzakelijk. Ook dient hierbij een goede periodeverwachting ter beschikking te staan, hetgeen momenteel nog niet algemeen is.



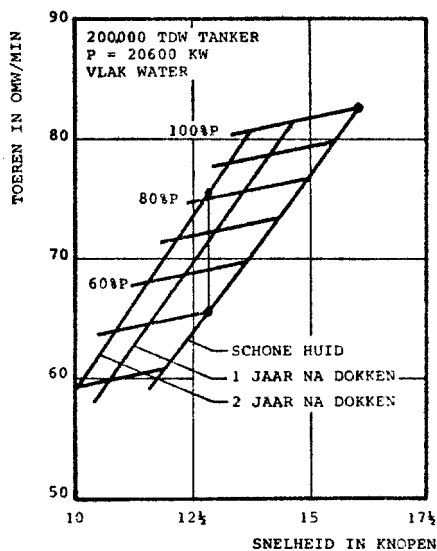
Figuur 6

## 2.2.c Konditie van de scheepshuid

Door de aangroeiing van de scheepshuid kan de weerstand van het schip aanzienlijk vergroot worden. Aangroeiing is een biologisch proces. De mate waarin dit plaats vindt hangt af van de verfsoort, de vaarroutes en de tijd gedurende welke het schip in gebieden waar sterke aangroeiing optreedt vertoeft. Ook is de dokperiode en de tijd sinds de laatste dokbeurt van belang.

Dat aangroeiing een aanzienlijke weerstandsverhoging kan veroorzaken blijkt uit de volgende resultaten van een onderzoek in dit verband bij 200.000 tdw tankers die van Europa naar de Perzische Golf voeren. Ten gevolge van de

aangroeiing was de weerstand in vlak water één jaar na de dokbeurt toegenomen met ongeveer 30 procent. Na twee jaar was dit 50 procent. Na de energiecrisis reduceerden deze schepen hun normale geleverde machinevermogen met 50 procent, hetgeen bij een schone huid resulteerde in een snelheidsvermindering van 16 naar 13 knopen. Twee jaar na de dokbeurt moest om de snelheid van 13 knopen te handhaven het af te leveren machinevermogen verhoogd worden van 50 procent tot ruim 80 procent. Dat betekende een toename van het brandstofverbruik met ongeveer 60 procent ten opzichte van de situatie met een schone huid. Eén en ander wordt getoond in de figuur 7.



Figuur 7

Aangroeiing speelt in versterkte mate een rol bij langzame schepen omdat hier het wrijvingsaandeel in de totale weerstand in vlak water relatief groot is.

Door de zoepassing van zelfslijpende anti-fouling verven kunnen zeer goede resultaten bij het verminderen van het brandstofverbruik geboekt worden. Ondermeer heeft Nedlloyd Rederijdiensten hieraan de laatste jaren veel aandacht besteed. Een groot aantal Nedlloyd schepen die wel en geen speciale huidbehandeling gehad hadden zijn in een onderzoek met elkaar vergeleken. Een

behandeling tijdens een dokbeurt met gewone verf leverde een gemiddelde besparing op in het brandstofverbruik van 3 procent terwijl een speciale huidbehandeling een brandstofbesparing van 16 procent tot gevolg had. In beide gevallen was de snelheid gelijk. Een zéér aanzienlijke besparing.

### 2.2.d Waterverplaatsing

Deze is vanzelfsprekend ook van invloed op het brandstofverbruik maar kan slechts zeer gering beïnvloed worden door de noodzakelijk geachte brandstofvoorraad en de inhoud van de ballasttanks.

## 3 Bewakingsapparatuur voor brandstofverbruik

Om tot besparingen op het brandstofverbruik van de hoofdmotor op een schip te kunnen komen, is een goed inzicht in de prestaties van het betrokken schip een eerste vereiste. Dit betekent dat er op de juiste plaats een overzicht gepresenteerd moet worden van de hoeveelheid brandstof die er momentaan gebruikt wordt, de externe omstandigheden waaronder dit verbruik plaats vindt en wat het resultaat van dit verbruik is.

Op de brug wordt aan boord de beslissing ten aanzien van het operationele gebruik van het schip genomen. Dat betekent dat dáár de relevante gegevens en het verloop ervan met de tijd betrouwbaar en overzichtelijk voorhanden dienen te zijn. Het brandstofverbruik per gevaren mijl wordt in sterke mate beïnvloed door de snelheid van het schip, die weer direct afhankelijk is van het ingestelde schroeftoental. Het brandstofverbruik per gevaren mijl neemt kwadratisch - of nog sterker - toe met de snelheid en het schroeftoental. Ook is de snelheid van directe invloed op de vaartijd van het schip. Het toerenbereik wordt begrensd door maximaal en minimaal toelaatbare

waarden. Snelheid en toeren zijn dus zeer belangrijke grootheden ten aanzien van het brandstofverbruik. Ook speelt het door de machineinstallatie geleverde askoppel, en dus het afgegeven vermogen, een rol. Het brandstofverbruik is direkt afhankelijk van dit vermogen en het toerental. Er worden beperkingen opgelegd aan het maximaal te leveren vermogen.

Uit het voorgaande volgt dat de volgende vier aan boord meetbare grootheden van hoofdzakelijk belang zijn ten aanzien van het energieverbruik:

- het toerental van de hoofdmotor, c.q. scheepsschroef,
- het door de hoofdmotor geleverde, c.q. het door de scheepsschroef gevraagde askoppel of asvermogen,
- het hiertoe benodigde brandstofverbruik en
- de resulterende snelheid van het schip door het water.

Op de brug van de meeste schepen is deze informatie niet voldoende betrouwbaar en volledig aanwezig.

Het toerental is in principe de meest eenvoudige en ook meest nauwkeurig te meten grootheid aan boord. Het meetresultaat wordt via een wijzer of digitaal in de machinekamer en op de brug weergegeven. Door toepassing van een toerenregling zijn de variaties in het toerental in het algemeen gering. In verband met de bereikbare meetnauwkeurigheid is het toerental dan ook een zeer goede basisgrootheid bij beschouwingen over het energieverbruik. De nauwkeurigheid waarmee deze grootheid b.v. op de brug aanwezig is laat echter vaak veel te wensen over. Hierbij moet bedacht worden dat het brandstofverbruik per gevaren mijl ongeveer met het kwadraat van het toerental toeneemt.

Askoppelmeters ontbreken nog op de meeste schepen. Nieuwe schepen worden in toenemende mate uitgerust met een askoppelmeter. Het gemeten askoppel en toerental wordt elektronisch in een

aanwijzing voor het geleverde vermogen omgezet. In die gevallen waarin dit gemeten wordt is deze informatie meestal alleen in de machinekamer beschikbaar. In zeegang worden fluktuerende waarden gepresenteerd; goede gemiddelde waarden over bijvoorbeeld 10 minuten ontbreken.

Voor de aanwezigheid van een brandstofverbruikmeter geldt hetzelfde als voor de askoppelmeter. Indien deze meter aanwezig is wordt de informatie slechts zelden op de brug gepresenteerd.

De snelheid van het schip door het water wordt op de brug via een logaanwijzer weergegeven. Deze meter laat in zeegang fluktuaties van één knoop of meer zien en geeft geen goede gemiddelde waarden weer. Via satelietnavigatie, hetgeen steeds meer ingang vindt, wordt wel nauwkeurig de gemiddelde snelheid verkregen. Dit is echter de snelheid over de grond, dus inclusief een stroomkomponent. Ook is het tijdsinterval tussen de presentaties erg groot.

Samenvattend kan gesteld worden dat deze meters in het algemeen vaak niet alle vier aanwezig zijn, de presentatie niet altijd op de brug plaats vindt en ze in zeegang sterk fluktuerende waarden laten zien. Ook geven ze niet het verloop met de tijd weer. Op de nauwkeurigheid van deze meters wordt hier niet nader ingegaan. Van groot belang is echter een goede reproduceerbaarheid, die sterk afhankelijk is van het type meter.

Om een goed inzicht in de prestaties van het schip te verkrijgen moet dus op de brug, bij voorkeur op de kaartentafel, een systeem geplaatst worden dat op een overzichtelijke wijze het verloop met de tijd van het gemiddelde van de toeren, de snelheid, het vermogen en het brandstofverbruik per gevaren mijl laat zien en dit tevens vastlegt. Met behulp van een dergelijk registratiesysteem kan een goed inzicht verkregen worden in de invloed van koerswijzigingen, toerenredukties, vertrimming, al of niet gebruik van de stabilisatievinnen, e.d. op het brandstof-

verbruik. Een nadeel is echter dat dan eerst de wijziging uitgevoerd moet worden om pas na enige tijd de invloed hiervan op het brandstofverbruik geconstateerd kan worden.

De wens komt nu naar voren om van te voren de invloed van genoemde wijzigingen op het brandstofverbruik to kunnen voorspellen. Dit betekent dat er een rekenmoduul ontwikkeld moet worden dat, bij bekende uitwendige omstandigheden ten aanzien van de wind, de zeeegang en de deining, berekent wat de invloed van de voorgenomen actie is op de snelheid en het brandstofverbruik per gevaren mijl. De berekende resultaten kunnen dan b.v. middels een printer weergegeven worden. Dit rekenmoduul moet de prestatie-eigenschappen van het schip zo goed mogelijk kennen of kunnen berekenen, het moet afgestemd zijn op de resultaten van de in een vroeger stadium verzamelde registraties. Dit betekent dat hoge eisen gesteld dienen te worden aan de reproduceerbaarheid van de betrokken meters.

Met dit rekenmoduul kunnen nu allerlei soort van berekeningen uitgevoerd worden, zoals:

- de bepaling van de invloed van koerswijzigingen, toerenredukties, e.d. op de snelheid en het brandstofverbruik,
- de berekening van de verwachte tijd van aankomst in een haven of - als deze vastligt - het konstant vol te houden toerental om op de gewenste tijd te arriveren,
- de berekening van een optimale route bij bekende weersverwachtingen of
- het verloop met de tijd van het effect van de aangroeiing van de scheepshuid.

Deze wensen zijn voor een groot deel verwerkt in een hiertoe ontwikkeld prestatiebewaking systeem, dat oorspronkelijk de naam "Energieklok" droeg. Door Van Rietschoten en Houwens

te Rotterdam wordt dit systeem nu in de handel gebracht onder de naam PERSUS (Performance Surveillance System).

#### 4 Prestatiebewakingssysteem

De "hardware" van het ontwikkelde systeem bestaat uit:

- een INTEL SBC-computer,
- een Texas Instruments Terminal, type Silent KSR 743, met een aangepast toetsenbord en een printer ten behoeve van het uitvoeren van berekeningen en
- een DATEL printer, type APP 48, ten behoeve van het registreren van de relevante grootheden.

De computer is verbonden met vier sensoren: de toerenteller van de schroef, het snelheidslog van het schip, de koppelmeter op de schroefas en de brandstofverbruikmeter van de hoofdmotor.



Foto "PERSUS"

In de computer zijn momenteel vier modulen ondergebracht:

- I. Een registratiemodul, dat op een overzichtelijke wijze gemiddelde waarden op tijdbasis presenteert van schroeftoerental, machinevermogen, brandstofverbruik en scheepssnelheid.



- II. Een rekenmoduul, dat voor elke gewenste conditie bij elk gewenst in te stellen schroeftoerental het machinevermogen, het brandstofverbruik en de scheepssnelheid berekent.
- III. Een plotmoduul, dat in grafische vorm de invloed van het schroeftoerental op het brandstofverbruik en de snelheid presenteert.
- IV. Een reisplanningsmoduul, dat de verwachte aankomsttijd van het schip in de haven van bestemming of - indien dit tijdstip vastligt - de hiertoe vol te houden toeren van de schroef berekent.

In het hiernavolgende wordt een korte beschrijving van elk der modulen gegeven.

#### 4.1 Registratiemoduuil

In dit moduuil komen de elektrische signalen binnen van:

- het toerental van de schroef, c.q. hoofdmotor,
- het aan de schroef geleverde askoppel door de hoofdmotor,
- het hiertoe benodigde brandstofverbruik en
- de resulterende snelheid van het schip door het water

Deze grootheden worden gemiddeld over een te kiezen periode, bijvoorbeeld 20 minuten.

Na het verstrijken van elk tijdsinterval worden de gemiddelde waarden gedurende dit interval afgedrukt:

- de tijd,
- het toerental van de schroef,
- de snelheid van het schip door het water,
- het door de hoofdmotor geleverde vermogen,
- het brandstofverbruik per uur en

- het brandstofverbruik per gevaren mijl.

Figuur 8 laat een voorbeeld van deze registraties zien.

14:15	117.8	19.4	17250	3.92	227.0	.202
14:00	118.3	19.4	17450	3.92	224.6	.202
13:45	118.5	19.5	17450	3.92	224.6	.201
13:30	118.9	19.5	17550	3.92	223.1	.201
13:15	118.6	19.5	17500	3.91	223.9	.201
13:00	118.9	19.5	17550	3.92	223.3	.201
12:45	119.2	19.6	17650	3.92	222.2	.200
12:30	118.9	19.5	17550	3.91	222.9	.200
12:15	118.3	19.4	17400	3.90	223.9	.201
12:00	119.0	19.5	17600	3.92	222.9	.201
GMT	RPM	KN	KW	T/H	GR/KWH	T/NM
TIME	REV	SPEED	POWER	FUEL	COMS	CONS
DATE 02-10-82 (FUEL: .9500 T/CUB.M)						

Figuur 8

Doordat de printer iedere bijvoorbeeld 20 minuten nieuwe gemiddelde waarden geeft wordt op de brug steeds weer de aandacht op het brandstofverbruik gevestigd.

#### 4.2 Rekenmoduuil

Het rekenmoduuil berekent - gegeven de beladingstoestand van het schip, de wind, de zeegang en de deining - voor elk gewenst schroeftoerental de snelheid van het schip, het hiertoe te leveren motorvermogen en het benodigde brandstofverbruik.

De snelheid wordt berekend uit de evenwichtsvoorwaarde dat de totale weerstand van het schip gelijk moet zijn aan de weerstand die door de stuwkracht van de schroef overwonnen kan worden.

De totale weerstand van het schip bestaat uit drie delen:

- de weerstand in vlak water, inclusief het effect van aangroeiing van de scheepshuid,
- de windweerstand van het bovenwater schip en
- de weerstandstoename in zeegang en deining.

De weerstand die door de stuwkracht van de schroef bij het ingestelde toerental overwonnen kan worden volgt uit de stuwkrachtkarakteristiek van de schroef. Beide grootheden worden als functie van

de snelheid berekend en de evenwichtsvoorwaarde levert dan de resulterende snelheid van het schip door het water. Uit het schroeftoental, de snelheid en de askoppelkarakteristiek van de schroef volgt het door de hoofdmotor te leveren asvermogen.

Bij een bekend specifiek verbruik van de hoofdmotor (gr/kWh) is dan ook het brandstofverbruik per uur bekend waaruit met de berekende snelheid het brandstofverbruik per gevaren mijl volgt. In het rekenmoduul is het schroeftoental steeds uitgangspunt daar dit in principe de meest nauwkeurig te meten grootheid in dit verband aan boord is. De kenmerkende grootheden ten aanzien van de beladingstoestand, de wind, de zeegang en de deining dienen zo goed mogelijk geschat te worden door de dienstdoende officier op de brug.

In het rekenmoduul bevinden zich een groot aantal scheepsgebonden coëfficiënten, die deels door externe rekenprogramma's berekend worden en deels met behulp van empirische formules geschat worden. Door tevens gebruik te maken van reeds verkregen registraties aan boord van het schip levert het ontwikkelde rekenmoduul berekeningsresultaten die vooral in kalm weer zeer betrouwbaar zullen zijn.

De benodigde gegevens voor het rekenproces, voor wat betreft de beladingstoestand van het schip en de externe omstandigheden, worden via een toetsenbord in de computer ingevoerd. De bediening is zo eenvoudig mogelijk gehouden.

Als het rekenmoduul opgeroepen wordt vraagt de computer middels een tweede printer zelf alle benodigde gegevens voor de berekening op.

Deze in te voeren grootheden zijn:

- het toental van de schroef,
- de diepgang van het schip voor en achter,
- de koers,
- de windrichting en de windsnelheid,

- de richting, hoogte en periode van de zeegang en
- de richting, hoogte en periode van de deining.

Na het invoeren of wijzigen van deze gegevens levert de computer na enkele seconden de volgende berekeningsresultaten aan de printer:

- de snelheid van het schip door het water,
- het door de hoofdmotor te leveren vermogen,
- het brandstofverbruik per uur en
- het brandstofverbruik per gevaren mijl

Deze berekende resultaten worden daarna vergeleken met de laatste registratie. Als de berekening voor de actuele toestand ingevoerd wordt, moeten de hierbij afgedrukte relatiecoëfficiënten ongeveer de waarde één hebben. In geval van vaart of koerswijziging geeft de afwijking van deze relatiecoëfficiënten van het getal één de prestatieverbetering of -verslechtering weer.

Een voorbeeld van een dergelijke berekening wordt in Figuur 9 getoond.

CALCULATION OF SHIP SPEED, ENGINE POWER AND FUEL CONSUMPTION. (FOULING COEFFICIENT .000)						
ENGINE: SPEED (RPM) = 119.0						
SHIP: DRAUGHT FORWARD (M) = 9.00, AFT (M) = 9.00						
HEADING (DEG) = 95.0						
WIND: DIRECTION (DEG) = 70.0, SPEED (M/SEC) = 15.0						
SEA: DIRECTION (DEG) = 85.0, HEIGHT (M) = 4.0, PERIOD (SEC) = 8.0						
SWELL: DIRECTION (DEG) = 150.0, HEIGHT (M) = 2.5, PERIOD (SEC) = 12.0						
TIME	REV	SPEED	POWER	FUEL	CONS	CONS
GMT	RPM	KN	KW	T/H	GR/KWH	T/NM
13:44	119.0	19.4	17800	3.96	223.0	.204
	118.9	19.5	17550	3.92	223.1	.201
RELATION:		1.01	.99	.99	1.000	.98

Figuur 9

In het rekenmoduul bevindt zich ook het index-cijfer waarmee de invloed van aangroeiing in rekening gebracht kan worden ("fouling coefficient"). Bij de installatie van het rekenmoduul aan boord is dit index-cijfer nul. In geval van aangroeiing dient deze in vlak water zodanig bijgesteld worden dat de relatiecoëfficiënten daar weer de waarde één hebben. Als na verloop van tijd de invloed van de aangroeiing op de

prestaties van het schip beoordeeld moet worden dient het index-cijfer even tijdelijk op nul gezet te worden, waarna een berekening voor de aktuele toestand uitgevoerd wordt. Het verschil tussen het nu berekende brandstofverbruik in ton per mijl en het aktuele verbruik geeft deze invloed eenvoudig weer.

### 4.3 Plotmoduul

Met behulp van het rekenmoduul kan nu eenvoudig een beeld verkregen worden van de invloed van een toerenreduktie op de snelheid en het brandstofverbruik. De printer die de berekeningsresultaten weergeeft wordt dan als plotter gebruikt. Op het schroeftoerental na is de invoer voor het plotmoduul gelijk aan die voor het rekenmoduul.

Ongeveer 15 seconden na het invoeren van de gegevens verschijnt de plot, waarin als functie van het toerental geplot worden:

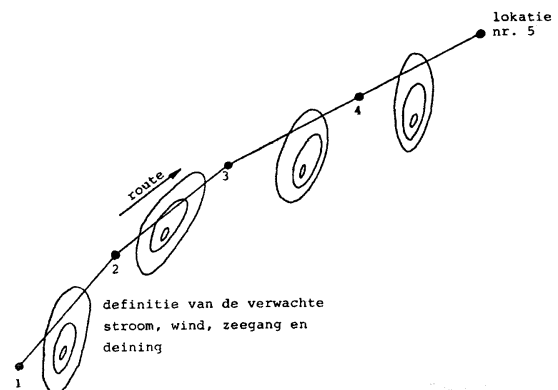
- de snelheid in knopen en
- het brandstofverbruik in ton per mijl.

In de plot worden tevens als functie van het toerental de gemeten waarden gedurende de laatste periode van de snelheid en het brandstofverbruik per mijl weergegeven. Uiteraard is de nauwkeurigheid van de plot afhankelijk van de vaste regel en spatie aftand van de printer. De plot geeft echter een zeer goede indruk weer van de invloed van een snelheidsreduktie op het brandstofverbruik door de hellingen van beide relaties te vergelijken. De schalen zijn zo gekozen dat ze hetzelfde nulniveau in de plot hebben.

### 4.4 Reisplanningsmoduul

Als hulpmiddel voor de gezagvoerder is met behulp van het rekenmoduul ook een reisplanningsmoduul ontwikkeld. Bij gebruik van dit moduul kunnen op de route van het schip een aantal te passeren lokaties opgegeven worden tezamen met de te verwachten stroom, wind, zeeegang en

deining tussen deze lokaties. Deze lokaties krijgen elk een nummer zoals in Figuur 10 is weergegeven.



Figuur 10

Gegeven het tijdstip van vertrek van bijvoorbeeld lokatie nummer 1 kan de gezagvoerder bij het gebruik van dit moduul uit twee opties kiezen:

1. Gegeven het in te stellen schroeftoerental berekent het reisplanningsmoduul de verwachte aankomsttijden, dus de E.T.A. (expected time of arrival) op de andere lokaties en het brandstofverbruik.
2. Gegeven de vereiste tijd van aankomst op bijvoorbeeld lokatie nummer 5 (dit kan de haven van bestemming zijn) berekent het reisplanningsmoduul het hiertoe konstant vol te houden schroeftoerental en het brandstofverbruik. Ook worden de passeertijden van de andere lokaties berekend.

Na het passeren van elke lokatie, of desgewenst vaker, kunnen gewijzigde weersverwachtingen ingevoerd worden.

```

GIVE YOUR COMMAND: T
CALCULATE RPM
FROM: POS NR = 01      DATE = 01-01-82      TIME (GMT) = 14:00
TO : POS NR = 05      DATE = 04-04-82      TIME (GMT) = 00:00

VOYAGE PLANNING AT 03:04Z AT 14:00 GMT FROM POSITION 01 UNTIL 05
FOR AN EXPECTED TIME OF ARRIVAL = 04:30:42 AT 18:00 GMT
CALCULATED SUSTAINED ENGINE SPEED OF 118.1
  
```

POS NR	DATE	TIME	DIS-TANCE	GROUND COURSE	GROUND SPEED	SHIP COURSE	WATER SPEED	POWER	FUEL CONG	SPRC CONG
	GMT	GMT	NM	DEG	KN	DEG	KN	KW	T	T/AM
01	03-10-82	14:00	279	182.1	21.2	300.2	26.8	15980	45.6	.170
02	03-10-82	15:59	303	181.4	21.0	96.3	26.8	16680	35.6	.182
03	03-10-82	17:27	352	181.0	21.5	99.0	26.8	15950	43.4	.170
04	04-10-82	00:39	305	184.1	21.9	102.5	21.1	13580	32.5	.165
05	04-10-82	00:00								
TOTAL OR AVERAGE:			940		21.4		28.8	16080	157.00	.171

```

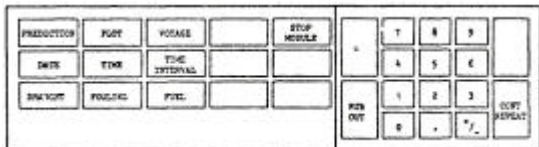
GIVE YOUR COMMAND: B
  
```

Figuur 11

Een voorbeeld van een berekeningsresultaat wordt in Figuur 11 gegeven.

Dit reisplanningsmoduul kan ook gebruikt worden om alternatieve routes ten aanzien van het brandstofverbruik en/of vaartijd te kunnen beoordelen (routeren).

Het toetsbord van de PERSUS ziet er uit zoals schematisch in Figuur 12 is weergegeven.



Figuur 12

De modulen II, III en IV worden respectievelijk opgeroepen met de funktietoetsen PREDICTION, PLOT en VOYAGE. Met de andere toetsen kunnen getallen ingevoerd worden:

DATE	datum:
	dag, maand, jaar
TIME	tijd (GMT)
TIME INTERVAL	registratieperiode
DRAUGHT	diepgang voor diepgang achter
FOULING	index-cijfer voor aangroeiing
FUEL	soortelijk gewicht brandstof specifiek verbruik van de hoofdmotor

In zijn huidige versie is de PERSUS geschikt voor motorschepen met een enkele vaste spoed schroef. Het systeem werkt met de gemiddeld voorkomende relatie tussen de waterverplaatsing en de trim, een trimoptimalisatie is dus nog niet in het systeem opgenomen.

Ook worden de invloeden van het sturen en het gebruik van antislingervinnen nog niet in rekening gebracht.

## 5 Slotopmerkingen

De ontwikkeling en de installatie van het hier beschreven systeem aan boord van

m.s. Nedlloyd Zeelandia heeft in de jaren 1981 en 1982 in fasen plaats gevonden.

De coëfficiënten in het rekenmoduul berusten op, deels theoretische en deels ook empirische, resultaten van wetenschappelijk onderzoek. Om een zo goed mogelijk mathematisch model van de prestaties van het schip te krijgen worden de coëfficiënten in dit model aangepast aan de werkelijke prestaties van het schip volgens het registratiemoduul. Hiervoor zijn, de registraties gedurende het najaar van 1981 zo goed mogelijk benut. Foutieve registraties gedurende die periode zullen derhalve resulteren in foutieve berekeningsresultaten. Indien deze registraties wel juist zijn zal een later verloop van de gebruikte meetapparatuur ten onrechte foutieve berekeningsresultaten suggereren en mogelijk een onjuiste bijstelling van het index-cijfer voor aangroeiing tot gevolg kunnen hebben. Het systeem stelt dus hoge eisen aan de kwaliteit van de gebruikte meetapparatuur aan boord.

Gedurende het verloop van het project bleek dat de reproduceerbaarheid en de betrouwbaarheid van de aangesloten sensoren soms veel te wensen overliet. Het systeem is voor een goede werking volledig afhankelijk van de vier aangesloten sensoren. Aan deze meetapparatuur moet ten aanzien van de betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid meer aandacht geschonken worden.

Om het systeem op zijn waarde te kunnen beoordelen dienen na het beschikbaar komen van betrouwbare registraties eerst de daartoe geëigende coëfficiënten in het rekenmoduul bijgesteld te worden. Een analyse van de ervaringen die daarna opgedaan worden kan dan resulteren in een realistisch waarde-oordeel.

Het rekenmoduul werkt momenteel met de uit de diepgangen voor en achter volgende midscheepse diepgang. Bij elke diepgang hoort één trim, de gemiddeld bij deze waterverplaatsing optredende trim. Een uitbreiding met trimvariaties geeft de

mogelijkheid tot het inbouwen van een trimoptimalisatiemodul ten aanzien van minimaal brandstofverbruik.

De invloeden van het sturen van het schip en het gebruik van de antislingervinnen op de snelheid en het brandstofverbruik worden bij de berekeningen niet in rekening gebracht. De noodzakelijkheid hiervan zal moeten blijken uit een analyse van de met het systeem verkregen resultaten en de ervaringen aan boord met het systeem.

Een eventuele uitbreiding voor schepen met een variabele spoed schroef zal ook afhangen van de ervaringen die met het systeem opgedaan worden en van de vraag naar deze uitbreiding.

De betrouwbaarheid van de voorspellingen in zeegang zijn vanzelfsprekend zeer sterk afhankelijk van een goede schatting van de wind, de zeegang en de deining. Niet-serieuze en foutieve schattingen in deze,

maar ook afwijkingen van de in de berekeningen gebruikte frequentie- en richtingsspreidings-afhankelijke energieverdeling van de zee, kunnen foutieve voorspellingen tot gevolg hebben. Een nadere studie naar de invloed hiervan kan noodzakelijk blijken te zijn.

Hierbij dient ook overwogen te worden om de relevante delen te gebruiken van, of de energieklok te koppelen aan, een z.g. "Operational Performance System". Hierbij wordt het schip als een golfmeetboei gebruikt. Gemeten versnellingen worden gebruikt om een equivalente zeetoestand te berekenen, waarna hierin de invloeden van koers en vaartveranderingen op de scheepsbewegingen en de spanningen in het schip berekend kunnen worden.

De energieklok kan een zeer waardevolle aanvulling zijn op de bestaande navigatiesystemen.