

Schaalproblemen bij het besturen van supertankers^{*)}

Drs. W. A. WAGENAAR en Dr. J. A. MICHON
Instituut voor Zintuigfysiologie RVO-TNO, Soesterberg

Scale-problems in supertanker manoeuvring

Samenvatting

Het gebruik van schaalmodellen bij manoeuvreer-experimenten is slechts mogelijk indien ook de tijdschaal ingekrompen wordt. Het is echter de vraag of de manoeuvreertaak niet essentiël verandert bij inkringing van de tijdschaal. In een serie experimenten zijn enkele aspecten van dit probleem onderzocht met behulp van een simulator die onafhankelijk van de tijdschaal kan werken. Zes loodsen en zes stuurliu, getraind in schaalmodellen, namen als proefpersoon aan de experimenten deel.

In het hier besproken experiment werd het manoeuvreren met 2 schepen (100.000 en 250.000 ton waterverplaatsing) in 3 tijdschalen (1:1, 1:5 en 1:7) vergeleken. Het bleek dat het manoeuvreren in de ingekrompen tijdschalen veel eenvoudiger is dan in de werkelijke tijd. De conclusie is dat toepassing van ingekrompen tijdschalen bij de gebruikte scheepstypen en tijdschalen tot onjuiste resultaten kan leiden.

Summary

Experiments on manoeuvrability can only be executed in scale models when the time scale is also contracted. The possibility exists that the task for the helmsman will be essentially altered by contraction of the time scale. In a series of experiments some aspects of this problem are investigated using a simulator which was independent of time scales. Six pilots, and six navigators used to scale models, took part in the experiment as subjects. In the present experiment manoeuvring with two ships (100.000 and 250.000 ton displacement) was compared in three time scales (1:1, 1:5, 1:7). It appeared that manoeuvring in a contracted time scale is much easier than in the real time condition.

The conclusion is that the use of contracted time scales may lead to incorrect conclusions, for the chosen types of ships and time scales.

Inleiding

De enorme afmetingen van supertankers maken onderzoek naar de bestuurbaarheid urgent, aangezien deze schepen bijzonder traag reageren op de commando's die de roerganger via de besturingsorganen geeft. Tegelijkertijd echter zijn juist de afmetingen een obstakel voor zulk onderzoek: het is onhandig, tijdrovend, duur en zelfs riskant om met deze schepen te experimenteren. In de scheepsbouw- en waterloopkunde worden dergelijke problemen vaak opgelost door de werkelijke situatie op een zodanig verkleinde schaal na te bouwen, dat het formaat geen belemmering meer vormt. Op basis van de in het schaalmodel geobserveerde verschijnselen is het vrij goed mogelijk te voorspellen wat er in de werkelijke situatie zal gebeuren. Het gebruik van schaalmodellen brengt echter weer geheel nieuwe problemen met zich mee, en over deze problemen, paradoxaal genoeg het gevolg van de geringe afmetingen van supertankers-op-schaal, handelt het volgende artikel.

Problemen rond het gebruik van tijdschalen

In een schaalmodel is, behalve de ruimtelijke schaal, ook de tijdschaal aangepast: men is gedwongen een tijdschaal-verkorting te gebruiken die, volgens de regel van Froude, evenredig is met de wortel uit de ruimtelijke schaal. Bij een ruimtelijke schaal van 1:25 is de tijdschaal dus 1:5, hetgeen betekent dat alle gebeurtenissen zich vijf maal zo snel afspelen als in de werkelijkheid. Wanneer een proefpersoon een essentiële schakel in het onderzochte systeem is, kan deze tijdschaalverkorting echter niet zonder meer worden toegestaan. Sommige taken, zoals bijvoorbeeld autorijden, stellen namelijk zulke hoge eisen aan het menselijke vermogen om informatie te verwerken, dat het onmogelijk is een dergelijke taak vijf maal zo snel uit te voeren. Simulatie in een schaalmodel met een tijdschaal 1:5 is daarom in dat geval niet zinvol. Anderzijds bestaan er ook taken die moeilijk zijn juist vanwege de geringe hoeveelheid informatie die per tijdseenheid wordt aangeboden. Het is bijvoorbeeld niet direct te zien of de wijzers van een klok vooruit of achteruit bewegen dan wel stilstaan. Pas na vergelijking van opeenvolgende waarnemingen kan men hierover uitsluitsel geven.

^{*)} Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Waterloopkundig Laboratorium „De Voorst”, Marknesse, N.O.P.

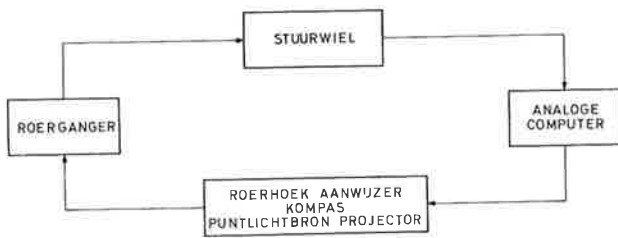


Fig. 1. Schema van het simulatie-systeem.

Nog moeilijker is het om eventuele versnellingen of vertragingen van de wijzerbeweging waar te nemen. Een dergelijke taak doet zich voor bij het manoeuvreren met supertankers: een aanzienlijk deel van de bewegingen van deze grote schepen is niet zonder meer als beweging waarneembaar. Simulatie in een schaalmodel met een tijdschaal 1:5 zou deze waarnemingstaak juist gemakkelijker kunnen maken. Een andere storende factor bij tijdschaalverkorting is het feit dat de subjectieve beoordeling van de lengte van tijdsintervallen niet recht evenredig is met de tijdschaal, daar de subjectieve tijd geen lineaire functie van de „klokketijd” is. Een interval van 6 sec wordt in tijdschaal 1:5 1,2 sec, maar een proefpersoon heeft subjectief het gevoel dat het interval tot 1/6 deel (1 sec) is gereduceerd. Uit het bovenstaande blijkt dat het gebruik van verkorte tijdschalen bij manoeuvreerexperimenten niet zonder nader onderzoek is geoorloofd. Toch wordt simulatie in schaalmodellen frequent gebruikt zowel voor waterloop- en scheepsbouwkundig onderzoek als voor de training van loodsen en gezagvoerders. Er zijn dus goede redenen om onderzoek naar het effect van tijdschaalverkorting te beginnen, en een opdracht van het Waterloopkundig Laboratorium „De Voorst” voor een dergelijk onderzoek werd dan

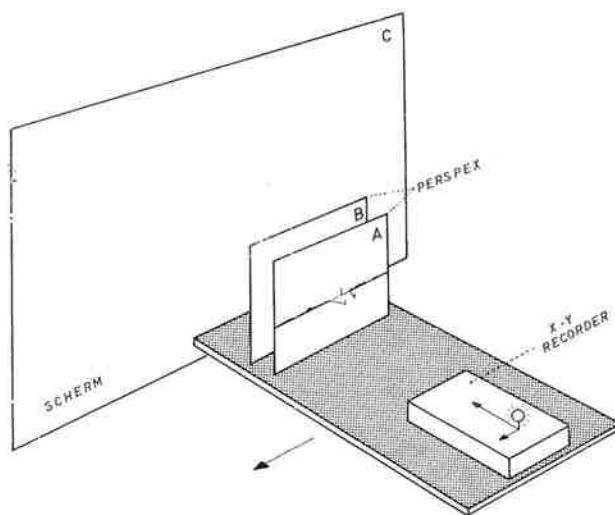


Fig. 2. Schema van de puntlichtbron-projector.

ook met beide handen aangegrepen. Dit artikel geeft de resultaten van een der eerste experimenten die werden uitgevoerd in het kader van deze opdracht. Meer gedetailleerde informatie over dit onderzoek is elders te vinden [7].

De manoeuvreer-simulator

Het onderzoek eiste dat de tijdschaal waarin de manoeuvre zich afspeelt gemakkelijk kon worden gevarieerd. Dit bleek slechts realiseerbaar door gebruik te maken van een manoeuvreer-simulator. De ontwikkeling van dit apparaat was uitsluitend mogelijk dankzij een intensieve samenwerking met verscheidene instanties, waaronder het Instituut TNO voor Werktuigkundige Constructies, het Waterloopkundig Laboratorium, het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation, het Nederlands Scheepsstudiecentrum, het Scheepsbouwkundig Laboratorium van de Technische Hogeschool Delft en de Koninklijke Marine. Een volledige beschrijving van het systeem is in een afzonderlijk rapport neergelegd [6].

De belangrijkste onderdelen van de simulator zijn, als weergegeven in Fig. 1, een brug met stuurwiel, kompas en roerhoekaanwijzer, een analoge rekenmachine en een puntlichtbron-projector. De proefpersoon staat op de brug en kijkt naar de op de voorruit geprojecteerde buitenwereld. Wanneer hij aan het stuurwiel draait wordt een analogo signaal aan de rekenmachine doorgegeven. Deze berekent de scheepsbeweging die het gevolg is van de roerbeweging, met behulp van de tevoren ingevoerde bewegingsvergelijkingen van het schip. Hierbij wordt rekening gehouden met stroom en wind, ieder met een eigen snelheid en richting. De beweging van het schip wordt voor de proefpersoon zichtbaar gemaakt door het kompas en door een wijziging in de geprojecteerde buitenwereld.

De puntlichtbronprojector (Fig. 2) bestaat in principe uit een puntlichtbron die door twee perspex platen schijnt. Op de eerste plaat (A) is een kustlijn met een haveningang geschilderd. Twee pieren steken uit in de richting van het lampje. De voorste toren van een lichtenlijn* is op de eerste plaat geschilderd, de achterste op de tweede plaat (B). Deze scène wordt afgebeeld op het scherm (C) dat voor het raam van de brug hangt. De puntlichtbron staat op een XY-schrijver. De twee bewegingsrichtingen van de schrijver corresponderen met nadering tot de kust en verplaatsing evenwijdig aan de kust. Het geheel (XY-schrijver, lichtbron en perspex platen) is verplaatsbaar in een richting evenwijdig aan het scherm, hetgeen verschuiving van het totale beeld veroorzaakt. Deze verschuiving komt overeen met koersverandering

* Een lichtenlijn bestaat uit een lage en een hoge vuurtoren die op zee in één lijn worden gezien wanneer het schip de juiste naderingsroute volgt (zie Fig. 4).

van het schip. De scène, die is weergegeven in Fig. 3, maakt naar het oordeel van een groot aantal deskundige beoordelaars, een realistische indruk. Tijdens het experiment wordt een aantal parameters waaronder baan, koers en roerhoek geregistreerd.

Het experiment

In het experiment werd gebruik gemaakt van twee schepen A = 100.000 ton en B = 250.000 ton en drie tijdschalen 1:1, 1:5 en 1:7. Combinatie van de schepen met elk van de tijdschalen levert zes condities waarin het gedrag van schip met roerganger kan worden bestudeerd. Deze condities worden in het volgende symbolisch voorgesteld als A1, A5, A7 en B1, B5, B7. In alle condities voerden de proefpersonen een standaardmanoeuvre uit, die is weergegeven in Fig. 4. Het schip lag 62,5 meter naast de lichtenlijn en de opdracht was om het schip zo snel mogelijk in de lichtenlijn te brengen, zonder er te veel doorheen te schieten. Er werd een afstand van 2,5 km afgelegd met een snelheid van 8 knopen (= 4 meter/seconde). De vaart duurde 540, 108 en 77 seconden respectievelijk bij tijdschaal 1:1, 1:5 en 1:7. De proefpersonen waren zes zeelodsen van Hoek van Holland en zes model-stuurliu van het Waterloopkundig Laboratorium. Deze laatste proefpersonen waren gewend te manoeuvreren met modelschepen maar hadden geen ervaring met de besturing van schepen op ware grootte. De volgorde waarin iedere

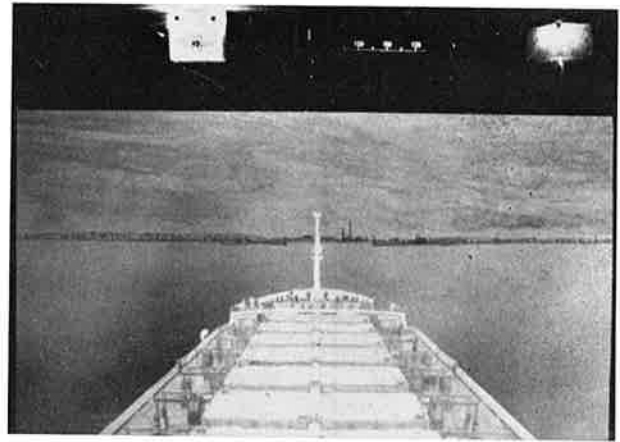


Fig. 3. De scène die door de puntlichtbron-projector op de voorruit van de brug wordt afgebeeld.

proefpersoon de condities kreeg aangeboden werd systematisch gevarieerd om allerlei neveneffecten als leren en vermoeidheid te vermijden. Iedere proefpersoon voer drie maal in iedere conditie. In het kader van dit artikel kunnen slechts enkele resultaten summier worden weergegeven ter illustratie van het betoog. Meer uitvoerige gegevens vindt men in het reeds genoemde rapport [7].

Fig. 5 laat zien langs welke baan het schip gemiddeld voer in de verschillende condities van ons experiment. Bij de tijdschaal 1:1 (A1 en B1) stuurden de proefpersonen het snelst naar de lichtenlijn toe en vooral in conditie B, schoten ze er ver doorheen. Bij de tijdschalen 1:5 en 1:7 werd over het algemeen veel rustiger gemanoeuvreed. De Tabel

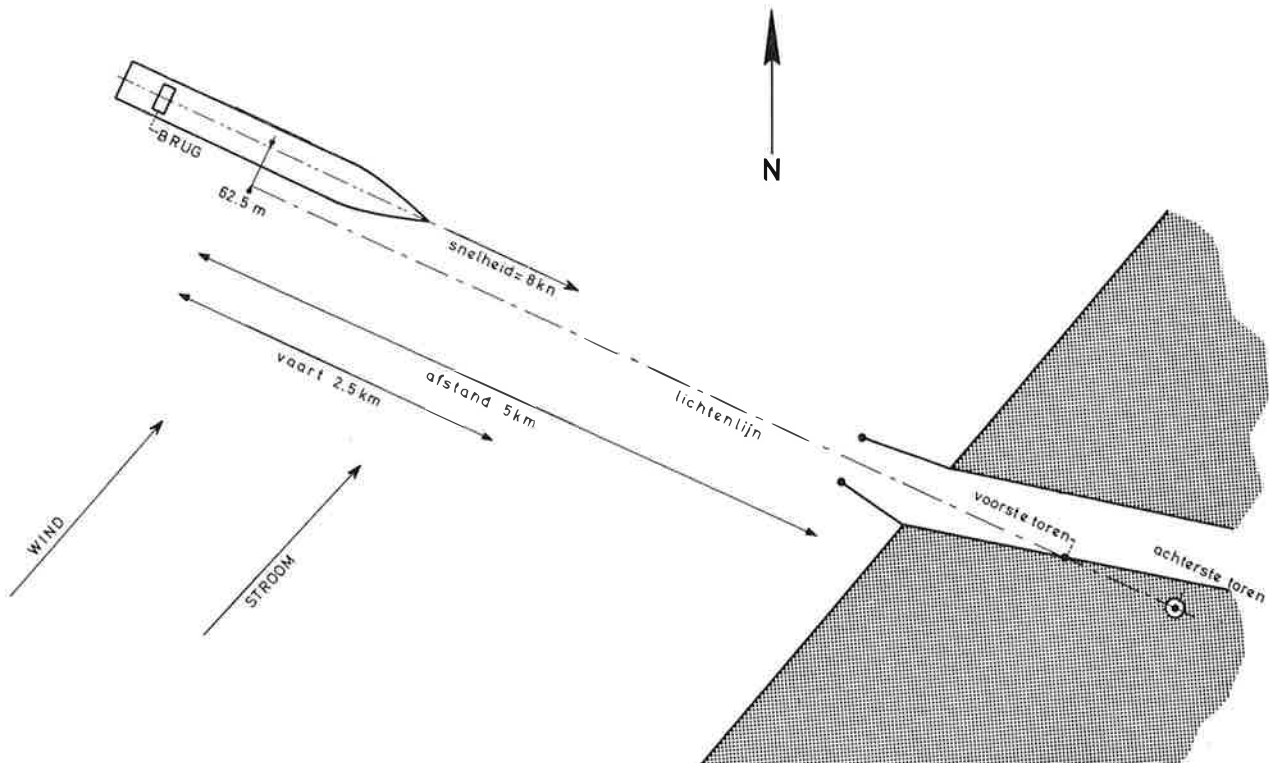


Fig. 4. De beginsituatie van de standaardmanoeuvre.

Tabel: Gegevens over de roeruitslagen die tijdens de manoeuvre werden gebruikt.

Waterverplaatsing	Tijdschaal	Gemiddelde roerhoek	Gemiddeld aantal nuldoorgangen van de roerbeweging
100.000 ton (A)	1:1	3°42'	16,5
	1:5	2°42'	9,3
	1:7	2°36'	8,7
250.000 ton (B)	1:1	6°06'	11,2
	1:5	4°18'	7,9
	1:7	3°48'	7,0

laat zien dat er in conditie A1 en B1 grotere roerhoeken werden gebruikt dan in de andere condities. Ook het aantal nuldoorgangen van de roerbeweging was groot in deze condities, hetgeen betekent dat er veel bewegingen met het roer werden gemaakt. Het totale beeld dat uit de resultaten spreekt is dat de proefpersonen niet in staat zijn een manoeuvre op gelijke wijze uit te voeren wanneer de tijdschaal van een situatie wordt veranderd.

Interpretatie

Hoewel we een verre van volledig inzicht hebben in het complex factoren dat het gedrag van een

roerganger bepaalt, kunnen we toch enkele oorzaken van het door ons gevonden effect van de tijdschaal aanwijzen. Deze oorzaken liggen in het vlak van de menselijke waarneming. In de inleiding werd reeds gewezen op de bijzonder langzame bewegingen die een supertanker maakt. De kleinste hoeksnelheid die een mens visueel als beweging van de boegspriet langs de kustlijn kan waarnemen is ongeveer 1 boogminuut per seconde [1, 2, 3]. In tijdschaal 1:1 wordt deze snelheid vanuit stilstand pas bereikt na 7 sec voor schip A en na 10,5 sec voor schip B (Zie Fig. 6). Dit betekent dat de roerganger gedurende deze „dode” tijd geen visuele informatie ontvangt over de beweging van het schip. Bij tijdschaal 1:5 wordt de tijd in Fig. 6 met een factor 5 ingekrompen. Als het hierbij bleef zouden de „dode tijden” ook tot een vijfde gereduceerd worden. Bij inkrimping van de tijdschaal wordt echter de snelheidsas met een factor vijf uitgerekt, aangezien de tijd dan in de noemer staat. De „dode tijden” worden daardoor tot ongeveer 1/17 deel teruggebracht (0,4 sec voor schip A en 0,6 sec voor schip B). Een zelfde effect is te constateren bij de hoekversnellingen: een eenvoudige vuistregel [4] leert dat hoekversnellingen visueel waarneembaar zijn als de snelheid wordt verdubbeld of gehalveerd binnen vijf seconden, op voorwaarde dat de hoeksnelheden steeds boven de waarnemingsdrempel liggen.

Deze versnellingen komen regelmatig voor wanneer er in tijdschaal 1:5 en 1:7 wordt gevaren. In

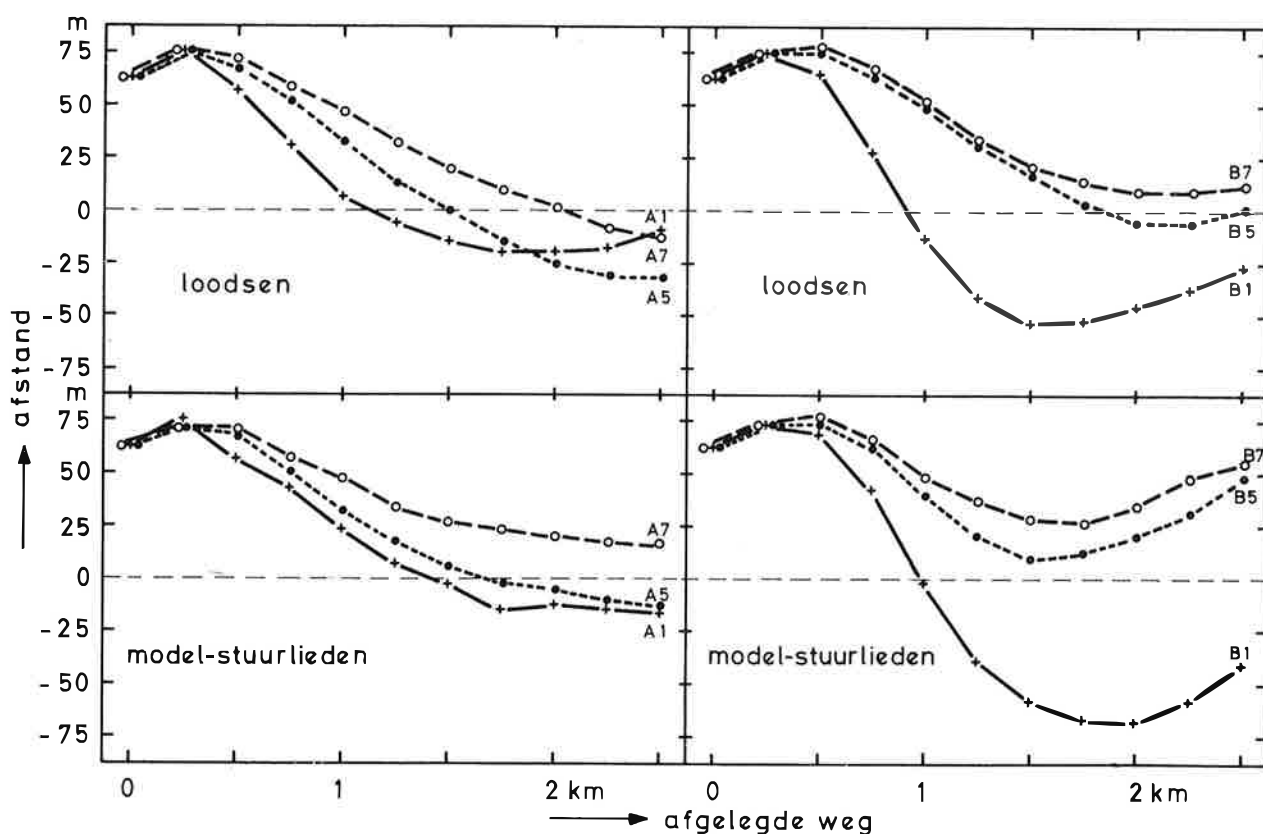


Fig. 5. Gemiddelde banen waarlangs het schip zich bewoog in de verschillende condities van het experiment.

tijdschaal 1:1 treedt een dergelijke versnelling voor schip B alleen op bij niet-waarneembare hoeksnelheden. Detectie van de versnelling is in dat geval onmogelijk. Voor schip A is er in tijdschaal 1:1 een kleine kans dat de hoekversnelling de waarneembaarheidsdrempel overschrijdt. Een andere factor die reeds in de inleiding werd genoemd is de beoordeling van tijdsintervallen [5]. Wanneer twee intervallen zich verhouden als 1:5 wordt de langste ervaren als ongeveer zes maal de kortste. Een proefpersoon zal daarom, wanneer een schip in tijdschaal 1:1 vijf maal zo traag reageert als in tijdschaal 1:5, de indruk krijgen dat het verschil groter is dan op grond van de schaalverhouding mag worden verwacht. Er is in tijdschaal 1:1 dus een grotere „subjectieve traagheid”.

Deze factoren werken alle in dezelfde richting. Een manoeuvre met een supertanker moet lang van te voren worden ingeleid. Dit geschiedt alleen als de stuurman werkelijk ziet dat er over enige tijd een koerswijziging nodig zal zijn. Deze anticipatie is slechts mogelijk door vanuit de tot dusver waargenomen beweging te extrapoleren. In tijdschaal 1:1 blijft echter een groot deel der scheepsbewegingen onzichtbaar, waardoor de noodzaak van een koerscorrectie op een te laat tijdstip wordt ingezien. De correctie zal dan groter moeten zijn. Bovendien krijgt de proefpersoon in tijdschaal 1:1 de indruk dat hij grotere roeruitslagen moet gebruiken, ten eerste door de lange tijd die verloopt tussen roerbeweging en het zichtbaar worden van de resulterende scheepsbeweging, en ten tweede door de grotere subjectieve traagheid van het schip. Door al deze factoren tezamen wordt een te grote koerscorrectie uitgevoerd, hetgeen weer op een te laat tijdstip met een slecht aangepaste koerscorrectie

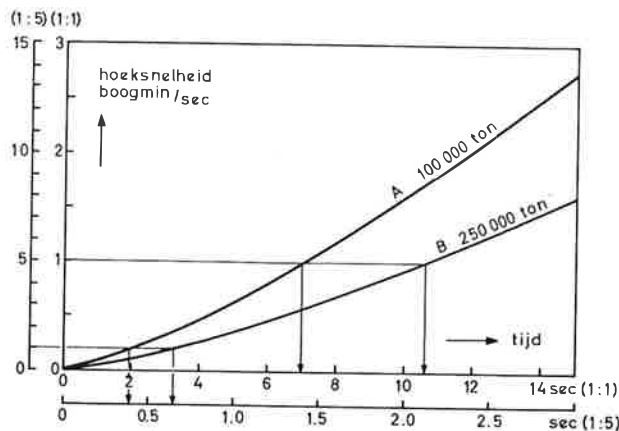


Fig. 6. De hoeksnelheid die beide schepen t sec. nadat het roer 10° is uitgeslagen hebben bereikt. De kleinste waarneembare hoeksnelheid (1 boogminuut per seconde) wordt bij tijdschaal 1:5 ongeveer 17 maal zo snel bereikt als bij tijdschaal 1:1.

tie zal worden goedge maakt. De slingering van het schip om de lichtenlijn krijgt daardoor in tijdschaal 1:1 een grotere amplitude, terwijl er veel en grote roeruitslagen worden gebruikt.

Dit is precies wat de resultaten laten zien.

Conclusie

Manoeuvree-experimenten in schaalmodellen kunnen tot bedriegelijke resultaten leiden, omdat het gedrag van het systeem roerganger-schip niet afhankelijk is van de tijdschaal, vooral indien er sprake is van zeer grote schepen. Het is van belang om het gedrag van de roerganger in dit opzicht verder fundamenteel te onderzoeken.

Literatuur

- [1] Aubert, H.: Die Bewegungsempfindung. Arch. Ges. Physiol. 39, 347-376 (1886).
- [2] Bourdon, B.: La perception visuelle de l'espace. Paris, Librairie C. Reinwald, 1902.
- [3] Grim, K.: Über die Genauigkeit der Wahrnehmung und Ausführung von Augenbewegungen. Z. Sinnesphysiol. 45, 5-26 (1911).
- [4] Hick, W. E. and Bates, J. A. V.: The human operator of control mechanisms. London Ministry of supply 1950, cited in R.M. Gotts-
- danker: Detection of acceleration of target motion. Psychol. Bull., 53, 477-487 (1956).
- [5] Stevens, S. S. and Galanter, E. H.: Ratioscales and category scales for a dozen perceptual continua. J. Exp. Psychol. 54, 377-411 (1957).
- [6] v.d. Brug, J. B. and Wagenaar, W. A.: An experimental Simulator for the Manoeuvring of Surface ships. Nederlands Scheepsstudiecentrum. Communication no. 18 S, January 1969.
- [7] Wagenaar, W. A. and Michon, J. A.: The effect of contracted time scales in scale model manoeuvring. The Institute for Perception, Report no. IZF 1968-C3.