

DI: 67018-3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

**RAPPORT No:** M 974 (Interim verslag;  
voorlopige resultaten)

Rivierkruising Wijk bij Duurstede  
Scheepvaartonderzoek

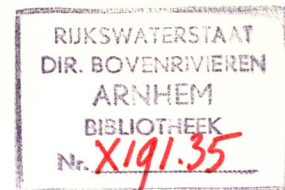
**AUTEUR:** Waterloopkundig Laboratorium

**DATUM:** november 1969

**CODE No:**



WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



Rivierkruising Wijk bij Duurstede

Scheepvaartonderzoek

Interim Verslag

(voorlopige resultaten)

M 974

november 1969

## INHOUD

	blz.
<u>1. Inleiding</u> .....	1
<u>2. Omvang van het onderzoek</u> .....	2
<u>3. Scheepvaart in de huidige situatie</u>	
3.1. Inleiding.....	2
3.2. Schadevaringen.....	3
3.3. Analyse van de riviervaart.....	7
3.4. Passeermanoeuvres onder invloed van stroom.....	12
<u>4. Modelonderzoek</u>	
4.1. Inleiding.....	14
4.2. Beschrijving van de manoeuvres.....	14
4.3. Meetresultaten.....	15
<u>5. Het bepalen van de benodigde breedte voor een oversteekmanoeuvre</u>	
5.1. Opzet.....	18
5.2. Vaarsnelheid.....	18
5.3. Baanbreedte.....	19
5.4. Veiligheidsmarges.....	20
5.5. Benodigde totale breedte.....	21
<u>6. Samenvatting en suggesties</u> .....	23

## FIGUREN

1. Situatie rivierkruising (T0).
2. Stroomsnelheden bij ongestuwde rivier.
3. Scheepswaarnemingen stuw Amerongen (Tijdsintervallen tussen de opeenvolgende passages).
4. Scheepswaarnemingen stuw Amerongen (Perioden waarin intervallen gelijk of kleiner zijn dan een bepaalde tijd).
5. Oversteek van een motorschip (prototypemeting 5-1-1968).
6. Oversteek van een sleep (prototypemeting 5-1-1968).
7. Onderverdeling van de totale breedte op de kruising.
8. Modelschepen.
9. Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid ( $Q_{riv} \leq 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )
10. Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid ( $Q_{riv} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )
11. Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid (minder goede manoeuvres).
12. Verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid (prototype waarnemingen).
13. Acceleratievermogen modelschepen (tijd t.o.v. afgelegde weg).
14. Acceleratievermogen modelschepen (vaarsnelheid t.o.v. afgelegde weg).
15. Vaarbanen van een afslaand motorschip.
16. Mogelijke wijzigingen in de vormgeving.

## FOTO'S

1. Oversteek in de as.  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V_s = 2,2 \text{ m/s}$ .
2. Oversteek in de as.  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V_s = 3,5 \text{ m/s}$ .
3. Doorzwaaien (te laat tegenroer gegeven).
4. Oversteek op korte afstand van de stroomgeleiders.  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V_s = 2,6 \text{ m/s}$ .



## 1. Inleiding

In verband met de toekomstige duwvaart op het Amsterdam-Rijnkanaal dient onderzocht te worden of, en zo ja in welke mate, de rivierkruising bij Wijk bij Duurstede gewijzigd moet worden om een veilige afwikkeling van het scheepvaartverkeer mogelijk te maken.

De tegenwoordige situatie, waarin nog geen grote duweenheden voorkomen, is bepaald niet veilig te noemen, gezien het grote aantal schadevaringen in de afgelopen 15 jaren. Verschillende oorzaken kunnen in dit verband genoemd worden.

- a. De relatief grote omvang van de elkaar kruisende verkeersstromen.
- b. De invloed van de stroom tijdens grote rivierafvoeren, op de overstekende en afslaande scheepvaart.
- c. Een schoksgewijze aanvoer van relatief grote aantallen schepen uit de sluis te Wijk bij Duurstede, met als gevolg een hoge bezettingsgraad van de kruising gedurende korte perioden, waardoor de kans op aanvaringen toeneemt.
- d. De slechte manoeuvreerbaarheid van de passerende slepen.

De deelname van duweenheden aan het verkeer op de kruising dient tegen de achtergrond van deze oorzaken van onveiligheid, bekeken te worden. In verband hiermee is een nadere bestudering van het verkeer in de huidige situatie gewenst.

## 2. Omvang van het onderzoek

Bij het onderzoek kunnen de volgende delen onderscheiden worden:

- a. een analyse van het gedrag van de schepen op de kruising in de huidige situatie aan de hand van gegevens uit het prototype;
- b. proeven in een scheepvaartmodel;
- c. proeven in een riviermodel.

Ten behoeve van de onder punt a. genoemde analyse zijn prototypemetingen verricht waarbij de posities van de schepen op de kruising, zijn vastgelegd met behulp van radarfoto's. Tevens zijn de gegevens omtrent een groot

aantal schadevaringen bestudeerd.

De proeven in het scheepvaartmodel worden verricht om een inzicht te verkrijgen in het gedrag van een duweenheid die, bij hoge stroomsnelheden op de rivier, de kruising oversteeft. Aan de hand van deze proeven kan bepaald worden hoe groot de ruimte is die de duweenheid in beslag neemt. In het scheepvaartmodel zijn bovendien nog een groot aantal proeven verricht met een groot motorschip. Het bleek echter niet goed mogelijk om in het model, het manoeuvreren met een sleepschip op realistische wijze na te bootsen.

Met behulp van het riviermodel, waarin een bewegelijk bodemmateriaal wordt toegepast, kunnen eventuele wijzigingen in de vorm van de kruising, op hun morfologische konsekwenties beoordeeld worden.

In het vervolg van dit verslag zal verder worden ingegaan op de delen a en b van het onderzoek. In hoofdzaak zullen alleen de resultaten ter sprake komen. Alleen waar dit voor een beter begrip noodzakelijk is zullen methoden e.d., behandeld worden.

### 3. Scheepvaart in de huidige situatie

#### 3.1. Inleiding

Het scheepvaartverkeer op de kruising is onder te verdelen in de volgende verkeersrichtingen (zie figuur 1).

- Kanaalvaart. Deze wordt verder aangeduid met W-R en R-W respectievelijk van de sluis te Wijk bij Duurstede richting Ravenswaay en omgekeerd.
- Riviervaart. Verder aangeduid met H-A en A-H, van Hagestein naar Amerongen en omgekeerd.
- Afslaande vaart. Alleen de vaart van Amerongen naar de sluis te Wijk bij Duurstede, A-W, en omgekeerd, W-A, is van betekenis. De drie andere mogelijkheden van afslaan worden slechts weinig gebruikt.

In 1968 omvatte de kanaalvaart ca 40.000 schepen. Het afslaande verkeer W-A en A-W betreft naar schatting ongeveer 10.000 schepen. Volgens



opgave van de Rijkswaterstaat omvat de riviervaart ongeveer evenveel schepen als de kanaalvaart. Het gemiddelde laadvermogen van de schepen betrokken bij de laatstgenoemde vaart is echter veel groter dan bij de riviervaart.

De vaart W-R en W-A wordt gedoseerd door de sluis te Wijk bij Duurstede. In drukke perioden passeren, na een schutting in zuidelijke richting, 10 à 15 schepen de kruising. Het interval van deze schuttingen varieert nogal, maar bedraagt bij druk verkeer  $1\frac{1}{2}$  à  $1\frac{3}{4}$  uur. Gedurende een relatief klein deel van dit interval wordt de kruising in de richtingen W-R en W-A door een betrekkelijk groot aantal schepen bevaren.

De sluis bij Tiel werkt eveneens doserend maar door de vrij grote afstand tot de kruising en het verschil in vaarsnelheid van de betrokken schepen, treedt een zekere mate van spreiding op. In veel gevallen naderen de schepen de kruising in groepjes van twee of drie.

Bij gestuwde rivier geeft de scheepvaart uit de sluis bij Amerongen, met als hoofdrichtingen A-W en A-H, een zelfde beeld te zien als de sluis te Wijk bij Duurstede. Dezelfde overeenkomst bestaat eveneens voor de sluisen bij Hagestein en Tiel.

Bij ongestuwde rivier is de riviervaart veel gelijkmatiger verdeeld over de tijd dan bij gestuwde rivier.

### 3.2. Schadevaringen

Om een indruk te krijgen van het gedrag van de schepen op de kruising, zijn de gegevens bestudeerd van 76 ongevallen die in de periode van 1952 t/m het 1<sup>e</sup> kwartaal van 1968 hebben plaatsgevonden. Voor 38 gevallen is een situatieschets en een min of meer uitgebreide beschrijving beschikbaar. In de resterende gevallen zijn de gegevens summier. Het is niet helemaal zeker of het aantal van 76 overeenstemt met het totaal aantal opgetreden ongevallen in de genoemde periode.

De ongevallen kunnen onderverdeeld worden naar drie hoofdoorzaken.

1. Invloed van de stroomsnelheid op de rivier (40 ongevallen).
2. Verkeersfouten zoals het niet verlenen van voorrang (25 ongevallen).
3. Toevallige oorzaken zoals mist, optredende defecten, misverstanden enz. en twee gevallen waarin de oorzaak niet duidelijk uit de gegevens bleek (11 ongevallen).

Ook bij de onder 2 en 3 genoemde oorzaken speelt de stroomsnelheid soms een belangrijke rol zowel bij de oorzaak als bij de gevolgen van de aanvaring.

ad 1. Aanvaringen onder invloed van de stroomsnelheid op de rivier

Het aantal aanvaringen bedraagt 40. In 28 gevallen waren hierbij sleep-schepen betrokken. In het navolgende wordt een onderverdeling gemaakt naar sleepschip en motorschip.

a. Sleepschip tegen de oever (sl.s.-oever)

Er vonden 17 aanvaringen plaats met de oever zonder dat de sleep-schepen eerst in aanvaring geweest waren met andere vaartuigen. In twee gevallen werd het sleepschip tijdens de oversteek, door het verlagen van een tegenligger, gedwongen van koers te veranderen om, door met de stroom mee te sturen, het ontmoetende schip te ontwijken. Bij hoge stroomsnelheden is dit voor de meeste schepen en zeker voor sleepschepen fataal, omdat na dat wegsturen, de juiste positie t.o.v. de stroom niet tijdig meer hersteld kan worden. In één geval werd de aanvaring mede veroorzaakt door een motorschip dat tijdens de oversteek van de sleep (W-R) ging oplopen en zelf verla-gerde met hetzelfde gevolg als bij de hiervoor beschreven ontmoet-tingen. In twee gevallen was een onjuiste behandeling van de sleep-tros mede oorzaak van het ongeval. In de twaalf overige gevallen moet de oorzaak gezocht worden in een te lage vaarsnelheid of een onjuiste positie ten opzichte van de stroomrichting. Opmerkelijk is nog dat van deze twaalf gevallen in tien gevallen de sleepschepen de vaarrichting R-W hadden en slechts in twee gevallen de richting W-R. Bij de 17 ongevallen werden de noordwestelijke en de zuidwes-telijke stroomgeleider respectievelijk 10 en 6 maal aangevaren.

b. Motorschip tegen de oever (m.s.-oever)

Er vonden 2 aanvaringen plaats met de oever zonder dat eerst een ander vaartuig aangevaren werd. In één geval was een verlagerende tegenligger mede oorzaak. Tweemaal werd het wrak van een midden op de kruising gezonden schip aangevaren, nadat de betrokken schepen verlagerd waren door de stroom.



c. Sleepschip tegen sleepschip (sl.s.-sl.s.)

Er zijn 5 aanvaringen geregistreerd waarvan er 4 plaatsvonden tussen elkaar op de kruising ontmoetende schepen en 1 aanvaring als gevolg van een oploopmanoeuvre.

d. Motorschip tegen sleepschip (m.s.-sl.s.)

Er zijn 6 aanvaringen geteld, waarvan 5 tussen elkaar ontmoetende schepen, terwijl in één geval een van de rivier afkomende sleep (A-W) tijdens het afslaan sterk doorzwaaide en in aanvaring kwam met een motorschip dat ongeveer in het midden van de kruising voer (richting W-R).

e. Motorschip tegen motorschip (m.s.-m.s.)

Er vonden 8 aanvaringen plaats, 5 tussen elkaar ontmoetende schepen, 1 aanvaring tijdens een oploopmanoeuvre en 1 aanvaring als gevolg van doorzwaaien tijdens het afslaan bij het bevaren van de route A-W.

In 1 geval zijn de nevenomstandigheden niet duidelijk.

Bij de onder c, d en e genoemde soorten ongevallen vond het grootste deel van de aanvaringen plaats op de benedenstroomse helft van de kruising en wel op de rivier en in de "Wijkse" cirkulatiekom. De schepen die de aanvaringen veroorzaakten voeren, op enkele uitzonderingen na, allen in de richting R-W.

ad 2. Aanvaringen als gevolg van verkeersfouten

Het aantal aanvaringen is 25. In 17 gevallen vond de aanvaring plaats tussen riviervaart en kanaalvaart. In 8 gevallen betreft het aanvaringen tussen kanaalvaart en afslaande vaart.

a. Rechtdoorgaande vaart

In 17 gevallen werd door de kanaalvaart geen voorrang verleend aan de riviervaart. 6 maal werd een afvarend en 11 maal een opvarend schip aangevaren.

Een onderverdeling naar scheepstype levert de volgende aantallen:

m.s.-m.s. : 13 aanvaringen

sl.s.-m.s. : 3 aanvaringen (in alle gevallen had m.s. voorrang)

sl.s.-sl.s. : 1 aanvaring.

b. Afslaande vaart

In 8 gevallen vond een aanvaring plaats tussen een schip varende in de richting R-W en een afslaand schip. De afslaande schepen voeren in 5 gevallen in de richting W-A en in 3 gevallen in de richting A-W.

Een onderverdeling naar scheepstype levert de volgende aantallen:

m.s.-m.s. : 4 aanvaringen

m.s.-sl.s. : 2 aanvaringen

sl.s.-sl.s. : 2 aanvaringen

ad 3. Overige aanvaringen

Het aantal aanvaringen is 11. In 5 gevallen blijkt de oorzaak niet duidelijk uit de gegevens. In twee gevallen is een onklaar geraakte stuurinstallatie de oorzaak, in één geval mist en in 3 gevallen is er sprake van een misverstand. Bij 6 ongevallen waren sleepschepen betrokken.

Overziet men het totaal aantal aanvaringen dan valt het grote aantal sleepschepen op, dat hierbij betrokken is. Dit geldt in nog sterkere mate voor de aanvaringen waarvan de hoofdoorzaak de stroomsnelheid op de rivier is. Een overzicht wordt gegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1. Overzicht schadevaringen

Periode	Aantal schadevaringen								
	Totaal			oorzaak stroom			oorzaak voorrang		
	aantal	waarbij sleep schip		aantal	waarbij sleep schip		aantal	waarbij sleep schip	
		aantal	%		aantal	%		aantal	%
1952-1968	76	42	55	40	28	70	25	8	32
1952-1959	33	21	64	14	12	85	12	5	42
1960-1968	43	21	47	26	16	61	13	3	23

Het grote aandeel van de sleepschepen is voor een groot deel te wijten aan de slechte manoeuvreereigenschappen van het sleepschip en aan het, in het algemeen, zeer geringe motorvermogen van de toegepaste sleepboten. Bij veel aanvaringen was de verhouding tussen het motorvermogen van de sleepboot



uitgedrukt in PK, en het laadvermogen van het sleepschip, in tonnen, kleiner dan 1 : 10. Bij een groot motorschip is deze verhouding 1 : 1½ à 1 : 2½.

Opmerkelijk zijn voorts de aanvaringen waarbij afslaande schepen betrokken zijn. In totaal zijn dit 13 gevallen. In slechts 5 gevallen betreft het schepen die van de rivier afkomen in de richting A-W. Hiervan werden twee aanvaringen veroorzaakt door de stroom (doorzwaaien) en bij drie aanvaringen werd geen voorrang verleend door schepen in de richting R-W. Het geringe aantal aanvaringen dat in dit verband veroorzaakt wordt door de stroom, zou er op kunnen wijzen dat de afslaande vaart in de richting A-W, in het algemeen, weinig gevaar oplevert voor de schepen die in de "Wijkse" kom liggen te wachten tot de rivier vrij is. Een eventueel gebrek aan uitzicht vanaf de rivier op cirkulatiekommen, zou dus minder problemen opleveren dan in eerste instantie verondersteld werd. In de drie gevallen waarin geen voorrang verleend is, is onvoldoende aandacht geschonken aan de waarschuwingssignalen.

Van de overige 8 aanvaringen vonden er 7 plaats tussen schepen in de richting W-A en de rechtdoorgaande kanaalvaart. In deze gevallen konden de schippers elkaar goed waarnemen. In één geval tenslotte voer een sleepschip (W-A) tegen de zuidwestelijke stroomgeleider als gevolg van een minder goede manoeuvre.

### 3.3. Analyse van de riviervaart

Als onderdeel van de prototypemeting van 5 januari 1968 zijn de schepen geregistreerd die, gedurende de meting, de sluizen te Wijk bij Duurstede en Tiel en de stuwen bij Amerongen en Hagestein passeerden. Van de schepen zijn de namen en de hoofdafmetingen genoteerd. Op de sluizen is als tijdstip van passeren, het sluiten van de deuren na het binnenvaren van het laatste schip aangenomen. Bij Amerongen zijn de tijdstippen van passeren afgerond op hele minuten, bij Hagestein op perioden van 5 minuten.

Het karakter van de riviervaart kan bestudeerd worden aan de hand van de waarnemingen bij Amerongen en Hagestein. In verband met de beschikbare gegevens is een periode van 6 uur beschouwd en wel tussen 8.30 en 14.30 uur.

Alleen de schepen, die op de kruising voorrang hebben (voorrangsschepen) zijn in aanmerking genomen. Dit betekent dat voor het waarnemingspunt Amerongen, de schepen met vaarrichtingen W-A en R-A en voor Hagestein, de schepen met vaarrichtingen W-H en R-H buiten beschouwing zijn gelaten.

De tijdstippen waarop de voorrangsschepen de stuwen bij Amerongen en Hagestein passeerden zijn weergegeven in tabel 2 (achter in het verslag).

De totale waarnemingstijd,  $T$ , (hier 6 uur) kan onderverdeeld worden in een groot aantal intervallen,  $N$ , alle met een lengte  $\Delta t = \frac{T}{N}$ . Per tijdsinterval bestaan er zekere kansen dat 0, 1 of meer voorrangsschepen het waarnemingspunt passeren. Het aantal passages per interval, is dus een stochastische variabele ( $X$ ).

Naar analogie met het wegverkeer bestaat de mogelijkheid dat de kansverdeling van  $X$ , een Poissonverdeling is. In het navolgende zal getracht worden om dit aannemelijk te maken met behulp van de beschikbare waarnemingen. Een empirisch bewijs kan niet geleverd worden omdat hiervoor een groter aantal waarnemingsdagen nodig is.

De kans dat de stochastische variabele  $X$ , de waarde  $K$  (aantal gebeurtenissen) aanneemt in het interval  $\Delta t$ , is volgens de Poissonverdeling:

$$P(X = K) = \frac{e^{-m} \cdot m^K}{K!}$$

$m$  is hierin het gemiddelde aantal passages per interval.

Indien  $n_K$  het aantal intervallen met  $K$  passages is, dan volgen uit de waarnemingen waarden voor  $P_K = \frac{n_K}{N}$ . Indien de Poissonverdeling van toepassing is dan moet  $P_K$  tevens voldoen aan:

$$P_K = \frac{e^{-m} \cdot m^K}{K!} \quad \left( \sum_{K=0}^{\infty} P_K = 1 \right)$$

Voor de waarnemingspunten Hagestein en Amerongen zal dit voor verschillende intervallen worden nagegaan. Het verschil tussen opvaart en afvaart is hierbij buiten beschouwing gelaten.



Hagestein:  $T = 360$  min. Aantal passages: 71 (= m.N)

Voor  $\Delta t = 10$  min is  $N = 36$  en  $m = 1,97$

Voor  $\Delta t = 5$  min is  $N = 72$  en  $m = 0,986$

Amerongen:  $T = 360$  min. Aantal passages: 74 (= m.N)

Voor  $\Delta t = 10$  min is  $N = 36$  en  $m = 2,056$

Voor  $\Delta t = 5$  min is  $N = 72$  en  $m = 1,028$

Voor  $\Delta t = 3$  min is  $N = 120$  en  $m = 0,616$

Een vergelijking tussen de berekende en waargenomen waarden wordt gegeven in de tabellen 3 t/m 7. De berekende waarden, voor  $n_K$ , zijn afgerond op gehele getallen.

Tabel 3. Hagestein,  $\Delta t = 10$  min.

	Aantal passages per interval (K)						
	0	1	2	3	4	5	6
$P_K$ berekend	0,139	0,274	0,270	0,177	0,087	0,034	0,011
$n_K = 36 P_K$	5	10	10	7	3	1	0
$n_K$ waargenomen	5	11	7	7	5	1	0

Tabel 4. Hagestein,  $\Delta t = 5$  min.

	Aantal passages per interval (K)					
	0	1	2	3	4	5
$P_K$ berekend	0,373	0,367	0,181	0,060	0,015	0,003
$n_K = 72 P_K$	27	27	13	4	1	
$n_K$ waargenomen	28	25	13	4	2	

Tabel 5. Amerongen,  $\Delta t = 10$  min.

	Aantal passages per interval (K)						
	0	1	2	3	4	5	6
$P_K$ berekend	0,128	0,263	0,270	0,185	0,095	0,039	0,013
$n_K = 36 P_K$	5	10	10	7	3	1	0
$n_K$ waargenomen	4	10	8	9	4	1	0

Tabel 6. Amerongen,  $\Delta t = 5$  min.

	Aantal passages per interval (K)					
	0	1	2	3	4	5
$P_K$ berekend	0,357	0,367	0,189	0,065	0,017	0,003
$n_K = 72 P_K$	26	26	14	5	1	0
$n_K$ waargenomen	28	25	13	4	2	0

Tabel 7. Amerongen,  $\Delta t = 3$  min.

	Aantal passages per interval (K)				
	0	1	2	3	4
$P_K$ berekend	0,540	0,334	0,103	0,021	0,003
$n_K = 120 P_K$	65	40	12	3	0
$n_K$ waargenomen	60	48	10	2	0

De tabellen 3 t/m 7 geven een zeer goede overeenkomst te zien tussen de waargenomen aantallen en de aantallen die met behulp van de Poissonverdeling berekend zijn. In verband hiermee wordt verondersteld dat de Poissonverdeling zeer waarschijnlijk van toepassing is op de riviervaart ter plaatse van de kruising, in geval van ongestuwde rivier. Het is echter gewenst dit nader aan te tonen. Naar schatting zijn vijf achtereenvolgende waarnemingsdagen voldoende.

Met behulp van de Poissonverdeling kan bijvoorbeeld berekend worden hoe groot de kans is dat een schip op het kanaal moet wachten om voorrang te verlenen aan de riviervaart, of hoe groot de kans is dat er riviervaart is in de periode, waarin de schepen, die door de sluis te Wijk bij Duurstede zijn geschut in zuidelijke richting, de rivier oversteken. In het navolgende worden enkele rekenvoorbeelden gegeven.

A. De kans dat een schip met een oversteektijd van  $\Delta t$  min. moet wachten om aan de riviervaart voorrang te verlenen.

Stel:  $T = 600$  min. Aantal voorrangsschepen gedurende deze tijd is 120 (normaal), 150 of 200.  $\Delta t = 3, 4$  of 5 minuten.



De resultaten van de berekening, waarbij de kans op wachten is uitgedrukt in %, worden gegeven in tabel 8.

Tabel 8.

$\Delta t$ (min)	Kans op wachten in % bij de volgende aantallen voorrangsschepen in 600 min.		
	120	150	200
3	46	53	63
4	56	63	74
5	63	72	81

B. Bij druk verkeer worden te Wijk bij Duurstede 12 à 15 schepen in een keer geschut. In geval van een schutting in zuidelijke richting kan het 15 à 20 minuten duren voordat dit aantal schepen de kruising gepasseerd is. Hoe groot is de kans dat in deze periode voorrang verleend moet worden aan een of meer schepen op de rivier.

Stel:  $T = 600$  min. Aantal voorrangsschepen gedurende deze tijd is 120.

Verder is  $\Delta t = 20$  min.

$$N = \frac{T}{\Delta t} = 30 \quad m = \frac{120}{30} = 4$$

Uit  $P_K = \frac{e^{-m} \cdot m^K}{K!}$  volgt:

$$P_0 = 0,018 \text{ (1,8\%)} \quad P_1 = 0,073 \quad P_2 = 0,146 \quad P_3 = 0,195$$

De kans dat er drie of meer voorrangsschepen passeren ( $K \geq 3$ ) is ca 75%, dus een zeer grote kans dat de geschutte schepen zich ophopen in de "Wijkse" kom.

De Poissonverdeling geeft geen uitsluitsel over de lengte van de wachttijden. Een nadere statistische bewerking van de gegevens is hiervoor gewenst. In dit verband verdient het aanbeveling om ook de verkeersstromen uit Wijk bij Duurstede en Tiel te bestuderen.

Een indruk omtrent de tijdsduur tussen de opeenvolgende passages en de

lengte van de wachttijden kan verkregen worden uit de figuren 3 en 4 die gebaseerd zijn op de waarnemingen te Amerongen. Figuur 3 geeft informatie over de frekwentie van intervallen met een bepaalde lengte tussen de opeenvolgende passages van schepen. Figuur 4 geeft de wachttijden voor de kanaalvaart op 5 januari 1968, indien de riviervaart op de kruising een zelfde verloop gehad zou hebben als op het waarnemingspunt bij Amerongen.

#### 3.4. Passeermanoeuvres onder invloed van stroom

Tijdens de prototypemeting van 5 januari 1968 zijn de opvolgende posities van de passerende schepen op de kruising vastgelegd. Dit gebeurde door middel van fotografische opnamen van het radarscherm in de radartoren. Het interval tussen de opeenvolgende opnamen bedroeg 10 seconden. Hoewel de nauwkeurigheid van radar, met het oog op metingen, niet erg groot is, is toch een redelijke indruk verkregen omtrent de uitgevoerde manoeuvres.

Van een manoeuvre zijn uit de radarfoto's de volgende grootheden afgeleid:

B : baanbreedte (m) (zie figuur 7).

$A_p$  : afstand (m) tot de stroomgeleider aan stuurboordzijde (zie figuur 7).  
Voor de vaarrichting R-W wordt de afstand tot de z.o. stroomgeleider genomen.

$V_s$  : vaarsnelheid (m/s); de snelheid waarmee het schip de rivier begint over te steken.

In de figuren 5 en 6 worden voorbeelden gegeven van uitgevoerde oversteekmanoeuvres.

In tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de behaalde meetresultaten. Hierin zijn tevens opgenomen twee vastgelegde oversteekmanoeuvres die op 14-4-'67 en 9-5-'67 zijn uitgevoerd met een duweenhed (d.e.) bestaande uit een duwboot en twee achterelkaar gekoppelde lichters.

De beladingstoestand van de schepen volgt uit de vermelde diepgang in de tabel.



Tabel 9. Resultaten prototypemeting

scheeps- type	laad- vermogen (tonnen)	afmetingen l x b x d (m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub> (m/s)	B (m)	A <sub>p</sub> (m)	vaar- richting	stroom- snelheid (m/s)
m.s.	799	67 x 7,20 x 2,00	2,6	70	65	W-R	1,50
m.s.	1185	80 x 8,20 x 2,50	2,8	35	160	W-R	1,50
m.s.	1413	80 x 9,50 x 2,82	2,4	95	115	W-R	1,50
m.s.	1202	80 x 8,20 x 2,50	3,0	53	145	W-R	1,50
m.s.	910	67 x 8,20 x 2,50	2,9	50	70	R-W	1,50
m.s.	473	55 x 7,00 x 2,10	2,5	62	140	W-R	1,50
m.s.	516	50 x 6,60 x 2,26	2,5	82	55	R-W	1,50
m.s.	507	50 x 6,60 x 2,24	3,2	47	60	R-W	1,50
m.s.	940	67 x 8,20 x 0,70	4,0	35	35	R-W	1,50
m.s.	243	36 x 5,40 x 0,60	3,5	35	55	R-W	1,50
m.s.	529	50 x 6,60 x 1,50	2,9	29	110	W-R	1,50
sl.s.	2543	100 x 12,00 x 2,84	1,6	137	80	W-R	1,50
sl.s.	1700	87 x 10,70 x 2,64	1,3	131	30	R-W	1,50
sl.s.	1386	80 x 9,50 x 2,40	2,5	83	55	R-W	1,50
sl.s.	1301	85 x 10,10 x 2,40	2,4	85	45	R-W	1,50
sl.s.	475	51 x 7,26 x 2,16	2,1	62	55	R-W	1,50
d.e.	1624	102 x 9,50 x 2,50	2,7	90	62	R-W	1,50
d.e.	3200	170 x 9,50 x 2,90	2,3	95	110	W-R	1,15
d.e.	3200	170 x 9,50 x 2,90	2,4	60	150	W-R	1,05

De meetresultaten uit tabel 9 vertonen onderling een grote spreiding. De oorzaak hiervoor moet niet alleen gezocht worden in een verschil in scheepstype, scheepsgrootte, beladingstoestand en vaarsnelheid maar ook in verschillen in het uitvoeren van de oversteekmanoeuvre. In paragraaf 4 wordt hierop nader ingegaan.

#### 4. Modelonderzoek

##### 4.1. Inleiding

Om het gedrag van motorschepen en duweenheden bij verschillende randvoorwaarden te kunnen bestuderen, is van de rivierkruising te Wijk bij Duurstede een model gebouwd met schaal 1 : 25.

De toegepaste scheepsmodellen worden weergegeven in figuur 8. De duwboot is een model van de Vulcaan I en is uitgerust met twee schroeven in tunnels, twee hoofdroeren en "flanking roeren". De besturing gebeurt door een stuurman die in de twee achterste bakken is gezeten. Het motorschip is uitgerust met een schroef en drie hierachter geplaatste roeren. De besturing gebeurt op afstand met behulp van draadloze overdracht.

Met de scheepsmodellen zijn oversteekmanoeuvres uitgevoerd met verschillende vaarsnelheden, vanuit diverse aanvangsposities en bij drie verschillende rivierafvoeren. Met het motorschip zijn bovendien ook nog manoeuvres uitgevoerd waarbij vanaf de rivier, met de stroom mee, de "Wijkse" cirkulatiekom werd ingevaren.

De opvolgende posities van de schepen zijn fotografisch vastgelegd. Tijdens een groot aantal manoeuvres zijn de roerhoeken continu gemeten en geregistreerd.

##### 4.2. Beschrijving van de manoeuvres

De oversteekmanoeuvres zijn in het model uitgevoerd bij een situatie die overeenkomt met de ongestuwde rivier. Het kleinste debiet dat is toegepast is  $468 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het verband tussen debiet en stroomsnelheid volgt uit figuur 2.

Een schip dat een oversteekmanoeuvre gaat uitvoeren, vaart vanuit het kanaal, met stilstaand water, de cirkulatiekom binnen. Tijdens het binnenvaren

*het motorschip ook onderzocht  $325 \text{ m}^3/\text{s}$  (ongestuwde rivier).*



ondergaat het schip de invloed van de neerstroom waarvan de snelheid niet konstant is maar varieert met de slingeringen van de rivier op de kruising. De neerstroom is aan de rand het sterkst. Meer naar binnen toe neemt de stroomsnelheid af.

De overgang van de relatief zwak stromende neer naar de snelstromende rivier is vrij abrupt bij debieten kleiner dan ca  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ . Om een wegdraaien met de stroom mee en grote verplaatsingen dwars op de gewenste koerste voorkomen, dient het schip al een vrij grote opstuurhoek te hebben als de oversteek begint. De opstuurhoek ( $\alpha$ ) wordt hier gedefinieerd als het complement van de hoek tussen de scheepsas en de stroomrichting. Indien geen of een te kleine opstuurhoek wordt toegepast dan draait het schip met de stroom mee en ontstaat er een, voor wat de navigatie betreft, onkontroleerbare situatie. Bij debieten groter dan  $825 \text{ m}^3/\text{s}$  komt de waterspiegel boven de stroomgeleiders uit en ontstaat er een overgangsgebied waarin de stroomsnelheid toeneemt van de lage waarden in de neer naar de maximum waarden in de rivier. Bij een meer geleidelijke overgang wordt de schipper gewaarschuwd dat hij dient op te sturen en heeft hij hier ook, zij het kort, de gelegenheid voor. Tevens is hij beter in staat om de juiste opstuurhoek te bepalen.

Zodra het voorschip de rivier gepasseerd is krijgt het achterschip de neiging om met de stroom mee te draaien. Voordat deze draaiing merkbaar wordt moet reeds tegenroer gegeven worden. Vooral bij duweenheden luistert dit vrij nauw omdat bij een iets te ver doorschieten de ruimte ontbreekt om in de gewenste baan terug te komen (zie foto 3). Deze ongewenste draaiing wordt na het passeren van de rivier versterkt door de neerstroom.

Een schip dat de rivier afkomt en een cirkulatiekom invaart beschrijft onder invloed van de rivierstroom een vrij ruime baan en vertoont eveneens de neiging om met het achterschip door te zwaaien.

Van de verschillende manoeuvres worden enkele voorbeelden gegeven in de foto's 1 t/m 4 en in figuur 7.

#### 4.3. Meetresultaten

In het model zijn bij verschillende randvoorwaarden een groot aantal oversteekmanoeuvres vastgelegd. De stuurman had de opdracht om tijdens de oversteek, de baanbreedte zo klein mogelijk te houden. Aan de eigenlijke

metingen is een ruime oefenperiode voorafgegaan. Door de voortdurende herhaling van een bepaalde manoeuvre bestaat de mogelijkheid dat, als gevolg van de hoge graad van geoefendheid, de resultaten aan de gunstige kant zijn.

De manoeuvres zijn uitgevoerd met konstant toerental van de schroef.

Voor debieten van  $825 \text{ m}^3/\text{s}$  en kleiner worden de meetresultaten weergegeven in figuur 9. De parameter in deze figuur is de driftbreedte ( $B_d$ ). Dit is de maximale baanbreedte minus de scheepsbreedte, zoals aangegeven in figuur 7. De driftbreedte is in feite de extra breedte die het schip nodig heeft als gevolg van de stroomsnelheid op de rivier. Het quotiënt van beschikbare breedte en driftbreedte is uitgezet tegen het quotiënt van scheepssnelheid en stroomsnelheid. In de figuur zijn rechte lijnen getrokken waar beneden het aangegeven percentage van de meetpunten ligt. De meetpunten geven een grote spreiding te zien. Het verschil tussen de 10%-lijn en de 90%-lijn is ongeveer een faktor 2. De spreiding heeft verschillende oorzaken die ook in het prototype een belangrijke rol zullen spelen.

- a. Menselijk handelen. Dit zal ondanks de goede geoefendheid nooit exakt hetzelfde zijn bij twee manoeuvres.
- b. Slingeringen van de rivier op de kruising waardoor de stroom bij twee oversteekmanoeuvres verschillend van richting kan zijn.
- c. Windinvloed. Er is naar gestreefd de proeven bij windstil weer te verrichten. Absolute windstilte komt echter zelden voor.

Bij een deel van de oversteekmanoeuvres is getracht zoveel mogelijk de as van het vaarwater te houden. Bij een ander deel is, voor zover dat mogelijk was, de as aan bakboord gehouden. Een mogelijk verschil in driftbreedte is hierbij niet aangetoond.

Bij een debiet van  $1360 \text{ m}^3/\text{s}$  is een aantal vaarten verricht met de duweenheid. De driftbreedte wordt weergegeven in figuur 10 waarin ter vergelijking de lijnen uit figuur 9 zijn overgenomen. Uit de meetresultaten blijkt dat de oversteekmanoeuvre relatief gunstiger verloopt dan bij debieten die kleiner zijn dan  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ .

In figuur 11 is voor het motorschip weergegeven wat de invloed is van een te kleine opstuurhoek of van te laat tegenroer geven. Bij de duweenheid



wordt te laat tegenroer geven meestal afgestraft door een aanvaring met de oever (foto 3).

In figuur 12 worden de meetresultaten uit het prototype vergeleken met de modelresultaten. Tien van de twaalf meetpunten liggen beneden de 50%-lijn wat zou kunnen betekenen dat de meetresultaten uit het model aan de gunstige kant zijn.

Zoals uit paragraaf 3.3 volgt is de kans groot dat een schip, dat wil oversteken, voorrang moet verlenen aan passerende schepen op de rivier. De schepen moeten vaart minderen of geheel afstoppen om daarna, als de rivier voor enige tijd vrij is, te starten en opnieuw snelheid te winnen met het oog op de oversteek. Om een indruk te krijgen van de snelheid die de schepen vanuit stilstand, na een bepaalde afstand of/en bepaalde tijd, kunnen bereiken zijn acceleratieproeven verricht met de scheepsmodellen. De resultaten hiervan worden weergegeven in de figuren 13 en 14.

De prototypemeting levert enkele waarden ter vergelijking. De motorschepen Manon (473 t) en W.T.A.G. (1202 t) begonnen de oversteek vanuit ongeveer stilstand en hadden na respectievelijke afstanden van 120 en 180 m een snelheid van 2,5 m/s en 3,0 m/s. Voor het motorschip uit het model werden deze snelheden bereikt na dezelfde afstanden bij toerentallen van respectievelijk ca 310 en 330 omw/min.

In figuur 15 worden de banen gegeven van het motorschip dat met verschillende aanvangssnelheden op de river, bij verder konstant gehouden toerentallen van de schroef, de route A-W vaart. Een iets kortere draai is mogelijk als het toerental tijdelijk verhoogd wordt.

Op grond van de proefresultaten uit het model, kunnen verder de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- In geval van open rivier is het voor een wachtende duweenheid vrijwel niet mogelijk om zich in de cirkulatiekommen te handhaven in verband met de neerstream. Motorschepen zijn hiertoe beter in staat al drijven ook zij langzaam naar de oostzijde van de kom, vooral indien het wachten lang duurt. Dit laatste is ook in het prototype gekonstateerd.

- Een duweenheid heeft een vrij grote afstand nodig om op snelheid te komen. Dit is vooral van belang bij hoge stroomsnelheden op de rivier. Indien een duweenheid moet wachten om voorrang te verlenen, dan dient dit op vrij grote afstand van de rivier te gebeuren.
- Bij vaarten met de duweenheid in de richting W-R, waarbij de stuurman opdracht had om op de stuurboordshelpt te blijven, werd de afstand tot de stroomgeleiders ( $A_p$ ) vrijwel nooit kleiner dan 50 à 60 meter. Bij het bewust toepassen van kleinere afstanden kwam de duweenheid na de oversteek in moeilijkheden, omdat dan een vrij scherpe s-bocht beschreven moet worden om de kanaalingang te kunnen invaren. Kleine afstanden tot de stroomgeleiders brengen tevens het risico mee dat een kleine fout bij het manoeuvreren afgestraft wordt door een aanvaring met deze konstrukties.

## 5. Het bepalen van de benodigde breedte voor een oversteekmanoeuvre

### 5.1. Opzet

Voor het bepalen van de breedte die een schip in beslag neemt tijdens het oversteken van de rivier, is het niet voldoende om alleen rekening te houden met de maximale baanbreedte. Tevens moet een bepaalde afstand tot de stroomgeleiders en een veilige afstand tot een eventuele tegenligger in rekening gebracht worden. Voorts dienen er veronderstellingen gemaakt te worden over het verband tussen de driftbreedte en de vaar- en stroomsnelheid en over de toe te passen vaarsnelheid. Deze verschillende aspecten zullen in de volgende paragrafen besproken worden.

Het uitgangspunt bij alle berekeningen is een situatie met ongestuwde rivier.

### 5.2. Vaarsnelheid

De vaarsnelheid van de afgeladen duweenheid bij het passeren van de rivier hangt, behalve van het beschikbare motorvermogen, van de omstandigheid af of de duweenheid direct door kan varen of eerst moet wachten met het oog op de riviervaart. Voor een motorschip geldt dezelfde overweging.



Uit de prototypemetingen (tabel 9) blijkt dat de vaarsnelheden van de grote geladen motorschepen, tijdens de oversteek, globaal variëren van 2,4 tot 3,0 m/s. Tijdens de oversteek van de duweenheid (tabel 9 onderaan) bedroeg de snelheid ongeveer 2,3 à 2,4 m/s. De verhouding tussen motorvermogen en laadvermogen in dit laatste geval, was groter dan die bij de duweenheid in het model.

Een indruk van de vaarsnelheden in het model kan verkregen worden uit de figuren 13 en 14.

De vaarsnelheden, die op grond van de bovenstaande overwegingen bij de berekening worden toegepast, zijn vermeld in tabel 10.

Tabel 10. Toe te passen vaarsnelheden.

schip	omstandigheid	Vaarsnelheid ( $V_s$ ) tijdens oversteek
duweenheid (d.e.)	direct doorvaren	2,5 m/s
duweenheid (d.e.)	wachten op 250 meter	2,3 m/s
duweenheid (d.e.)	wachten op 175 meter	2,0 m/s
motorschip (m.s.)	direct doorvaren	3,0 m/s
Motorschip (m.s.)	wachten op 125 meter	2,7 m/s

### 5.3. Baanbreedte

De driftbreedte (d.i. de baanbreedte minus de scheepsbreedte) kan bepaald worden aan de hand van figuur 9. Met het oog op de grote spreiding moet er echter een keuze gedaan worden ten aanzien van het verband tussen de beide parameters. De meetresultaten in de figuren 11 en 12 wijzen erop dat de gemiddelde uitkomsten van het model aan de gunstige kant zijn. Uit veiligheids-overwegingen verdient het aanbeveling om de 10%-lijn aan te houden.

Bij zeer grote debieten, b.v.  $Q > 1200 \text{ m}^3/\text{s}$ , is de 10%-lijn waarschijnlijk te ongunstig zoals volgt uit figuur 10. Voor een beoordeling van de veiligheid op de kruising is dit echter irrelevant, omdat deze grote debieten slechts een geringe frekwentie hebben.

Omtrent de driftbreedten van slepen zijn geen gegevens uit het model

voorhanden. Uit waarnemingen uit het prototype (tabel 9), blijkt dat de baanbreedten voor de grote sleepscheperen variëren van 80 tot 140 m.

Bij het bepalen van de benodigde ruimte voor een overstekend schip moet ook nog rekening gehouden worden met de spreiding (S) in de plaats van de baan (fig. 7). Zowel voor het motorschip als voor de duweenheid bedraagt deze spreiding gemiddeld ca 10 m.

#### 5.4. Veiligheidsmarges

Uit de prototypemetingen bleek dat voor de richting W-R een grote afstand gehandhaafd werd tot de benedenstroomse stroomgeleiders. Voor de negen schepen uit tabel 9 varieert de afstand,  $A_p$ , van 65 tot 160 m en bedraagt het gemiddelde ca 120 m. Uit het modelonderzoek volgt dat voor de duweenheid een minimale waarde van  $A_p = 50 \text{ à } 60$  meter dient te worden aangehouden. Voor het motorschip zal de minimale waarde ca 40 meter bedragen.

De afstand tot de bovenstroomse stroomgeleiders varieerde, voor de vaarrichting R-W, tijdens de prototypemeting van 30 tot 110 meter. De gemiddelde afstand, uit 10 waarnemingen, bedroeg ca 60 m. In het model werd, bij de vaarrichting R-W, een minimale afstand van 30 à 40 meter aangehouden.

Op grond van deze gegevens lijkt het redelijk om de in tabel 11 vermelde minimale waarden voor  $A_p$  in de berekening toe te passen.

Tabel 11. Minimale waarden voor  $A_p$

Vaarrichting	schip	$A_p$ (min) (m)
W-R	d.e.	60
W-R	m.s.	40
R-W	d.e.	40
R-W	m.s.	30

Tussen twee schepen die elkaar ontmoeten, dient een veiligheidsstrook aanwezig te zijn. Het is redelijk om de breedte van de strook afhankelijk te



stellen van de baanbreedte van het schip, dat oversteekt in de richting R-W.

5.5. Benodigde totale breedte

De berekening van de totale breedte ( $B_t$ ) wordt gedaan op basis van de veronderstellingen in de voorgaande paragrafen. De driftbreedte wordt bepaald uit figuur 9. Hierbij is gebruik gemaakt van de 10%- en 50%-lijn zoals tussenhaakjes wordt aangegeven in de tabellen 12 en 13. Om de totale breedte ( $B_t$ ) te berekenen dient bij de driftbreedte,  $B_d$ , opgeteld te worden:

de scheepsbreedte + spreiding in de plaats van de baan (10 m) + afstand tot de stroomgeleiders ( $A_p$ ). Hieruit volgen voor duweenheden en motorschepen, afhankelijk van de vaarrichting, de volgende waarde voor  $B_t$ :

d.e. ; W-R :  $B_t = B_d + 23 + 10 + 60 = (B_d + 93)$  m

d.e. ; R-W :  $B_t = B_d + 23 + 10 + 40 = (B_d + 73)$  m

m.s. ; W-R :  $B_t = B_d + 10 + 10 + 40 = (B_d + 60)$  m

m.s. ; R-W :  $B_t = B_d + 10 + 10 + 30 = (B_d + 50)$  m

In de tabellen 12 en 13 worden de waarden voor  $B_d$  en  $B_t$  vermeld die volgen uit de gegeven vaarsnelheid en het rivierdebiet van  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het verband tussen debiet en snelheid wordt gegeven in fig. 2.

Tabel 12. Duweenheid, rivierdebiet:  $825 \text{ m}^3/\text{s}$

$V_s$ (m/s)	$B_d$ (m)	$B_t$ (m)		Rest (m)	
		W-R	R-W	W-R	R-W
2,5	71 (10%)	164	144	100	120
2,5	50 (50%)	143	123	121	141
2,3	80 (10%)	173	153	91	111
2,3	56 (50%)	149	139	115	135
2,0	101 (10%)	194	174	70	90
2,0	70 (50%)	163	143	101	121

Tabel 13. Motorschip, rivierdebiet: 825 m<sup>3</sup>/s

V <sub>s</sub> (m/s)	B <sub>d</sub> (m)	B <sub>t</sub> (m)	
		W-R	R-W
3,0	55 (10%)	115	105
3,0	39 (50%)	99	89
2,7	64 (10%)	124	114
2,7	45 (50%)	105	95

Door een vergelijking van de totaal benodigde breedte en de beschikbare breedte kan een indruk omtrent de veiligheid verkregen worden. In geval van een optredend rivierdebiet van 825 m<sup>3</sup>/s kunnen, bij aanvaarding van de gemaakte veronderstellingen, de volgende konklusies getrokken worden.

1. Een ontmoeting van twee grote motorschepen kan veilig plaatsvinden, ook als de beide schepen in de cirkulatiekommen vanuit stilstand starten. In dit geval is een veiligheidsstrook van 27 m breedte aanwezig.
2. Een ontmoeting tussen een langzaam varendesleep en een motorschip is af te raden.
3. Een duweenheid kan een veilige oversteek maken in de richting W-R indien geen ander schip de kruising oversteekt in de richting R-W. De schepen die in de Ravenswaayse kom, aan de oostzijde liggen te wachten, lopen na de oversteek van de duweenheid, geen gevaar.
4. Een oversteek van een duweenheid in de richting R-W is veilig mogelijk bij afwezigheid van een tegenligger en indien er geen schepen in de "Wijkse" kom liggen te wachten.
5. In geval van afslaande vaart in de richting A-W kan de duweenheid pas opvaren in de richting W-R (vanaf de wachtplaats in de kanaalmond en dus voor het grootste deel buiten de cirkulatiekom) als het van de rivier afkomende schip de manoeuvre geheel voltooid heeft en er zichtbaar voldoende ruimte is voor de duweenheid.

De in deze paragraaf toegepaste methode is in principe goed te gebruiken om de veiligheid op de kruising te beoordelen. Het zal echter wel duidelijk



zijn dat het vaststellen van de veiligheidsmarges voor een deel subjectief gebeurd is. Ook de keuze van de 10%-lijn uit figuur 9 is uiteraard subjectief. Een vergelijking met de resultaten van de prototypemeting geeft echter wel de indruk dat de veronderstellingen in de paragrafen 5.3 en 5.4 aan de optimistische kant zijn.

## 6. Samenvatting en suggesties

In verband met de toekomstige duwvaart op het Amsterdam-Rijnkanaal is een onderzoek ingesteld naar het gedrag van de schepen op de rivierkruising te Wijk bij Duurstede. Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van gegevens uit het prototype, resultaten van prototypemetingen en rapporten van schadevaringen, en is een modelonderzoek in uitvoering.

Een analyse van de gegevens uit het prototype geeft aanleiding tot de volgende konklusies:

1. Op de rivierkruising hebben in de periode 1952-1968 een groot aantal ongevallen plaatsgevonden. De twee belangrijkste oorzaken zijn de sterke stroom bij grote rivierafvoeren en de omstandigheid dat twee verkeersstromen elkaar kruisen. De kans op ongevallen wordt bovendien vergroot door de periodiek hoge bezettingsgraad van de kruising na schuttingen in zuidelijke richting door de sluis te Wijk bij Duurstede en in westelijke richting door de sluis te Amerongen. Dit laatste alleen bij gestuwde rivier.
2. Opvallend is het grote aantal sleepschepen dat betrokken was bij de ongevallen die, in hoofdzaak, door de stroom veroorzaakt zijn (tabel 1).
3. Aanvaringen tussen de kanaalvaart en de riviervaart, als gevolg van voorrangfouten, vond slechts voor een groot deel plaats tussen motorschepen onderling.
4. In de periode 1952-1968 vonden slechts tweemaal een aanvaring plaats tussen een schip dat van de rivier afkwam op weg naar de sluis te Wijk bij Duurstede, en een schip dat in de "Wijkse" cirkulatiekom lag te wachten. Dit zou erop kunnen wijzen dat een gebrek aan uitzicht vanaf de rivier op de cirkulatiekommen, een minder groot probleem is dan in eerste instantie werd aangenomen.
5. Bij ongestuwde rivier is het waarschijnlijk dat de "Poissonverdeling", die de kans aangeeft op het aantal schepen dat per vast tijdsinterval passeert,

op de riviervaart van toepassing is.

6. Bij de huidige gemiddelde verkeersintensiteit is de kans, bij toepassing van de Poissonverdeling, dat een bij de kruising aangekomen "kanaalschip" voorrang moet verlenen aan een "rivierschip", ongeveer 50% in geval van ongestuwde rivier.
7. Uit de prototypemeting blijkt dat de schepen die in zuidelijke richting de rivier oversteken, een grote afstand handhaven tot de benedenstroomse stroomgeleiders en daardoor een groot deel van het beschikbare oppervlak, niet benutten.

De proeven in het scheepvaartmodel zijn verricht met een duweenheid, bestaande uit een duwboot en vier lichters met een laadvermogen van 2200 ton elk en een motorschip van het Rijn-Hernekanaaltype. Vaarproeven met een sleep bleken in het model niet goed uitvoerbaar. Uit de meetresultaten kunnen de volgende konklusies getrokken worden.

8. Bij een rivierdebiet van ca  $825 \text{ m}^3/\text{s}$ , waarbij de waterspiegel ongeveer gelijk staat met de bovenkant van de stroomgeleiders, is de breedte die de overstekende schepen in beslag nemen maximaal. Bij grotere debieten is de overgang tussen de relatief zwakke neerstream en de sterke rivierstroom geleidelijker, wat een gunstig effect heeft op de maximale baanbreedte.
9. Het is niet gewenst dat een duweenheid, in geval van voorrang verlenen, in de cirkulatiekom gaat wachten. De duweenheid neemt dan een te grote ruimte in beslag met het oog op de van de rivier afslaan vaart of de rivier overstekende vaart. Bovendien is in geval van hoge stroomsnelheden, de afstand tot de rivier te kort om de oversteek met voldoende snelheid te kunnen uitvoeren. Tevens zal een wachtende duweenheid een hinderlijke invloed ondervinden van de neerstream en daardoor mogelijk de oversteek vanuit een ongunstige positie moeten beginnen.
10. Een duweenheid die vóór de cirkulatiekom, in de kanaalmond, ligt te wachten, zal ongeveer 5 à 7 minuten nodig hebben, om vanaf de wachtplaats de rivier over te steken. Bij drukke vaart op de rivier kan dit lange wachttijden tot gevolg hebben.
11. Bij grote rivierafvoeren is er, in de huidige situatie, onvoldoende ruimte voor een overstekende duweenheid en een tegelijkertijd overstekend motorschip in tegengestelde richting.



12. Bij grote rivierafvoeren is er voor een overstekende duweenheid uit de richting Ravenswaay, onvoldoende ruimte indien de benedenstroomse helft van de "Wijkse" cirkulatiekom bezet is door wachtende schepen.
13. De huidige breedten van de kanaalgedeelten die aansluiten op de cirkulatiekommen, zijn te klein, in geval van een ontmoeting tussen een pas overgestoken duweenheid en een ander schip.

Om de rivierkruising beter geschikt te maken voor verkeer van duweenheden en konventionele schepen, kunnen de volgende maatregelen overwogen worden.

1. Wijzigingen in de vormgeving zoals, met behulp van Romeinse cijfers, is aangegeven in figuur 16.
  - I. Verbreding van de voorhaven van de Prinses Irenesluis (Dit lag reeds in de bedoeling in verband met de sluisverdubbeling).
  - II. Verbreding kanaalmond.
  - III. Inkorten van de bovenstroomse stroomgeleiders.
  - IIIa. Opschuiven van de stroomgeleiders over een afstand van 50 meter en een daarbij behorende aanpassing van de cirkulatiekommen.
  - IV. Inkorten van de benedenstroomse stroomgeleiders.
  - V. Extra verbreding van de voorhaven in verband met een wachtplaats voor duweenheden.

Op de bespreking van 15-10-1969 in het Laboratorium De Voorst is overeengekomen om de volgende combinaties van wijzigingen aan een nader onderzoek te onderwerpen (in de volgorde zoals aangegeven)

- I + II + III + IV met als alternatief I + II + III
- I + II + III (+ IV) + V
- I + II + IIIa (+ IV) + V

2. Baggeren van de rivier ter plaatse van de kruising. Dit kan in combinatie met enkele van de onder 1 genoemde wijzigingen gebeuren.
3. Een verdergaande verkeersregeling dan de huidige in combinatie met een aantal wijzigingen in de vormgeving. Een eenvoudige verkeersregeling zou het volgende grondpatroon kunnen hebben:

- a. De riviervaart, dus ook de van de rivier afslaande vaart, heeft voorrang.
- b. De vaart uit Wijk bij Duurstede heeft voorrang ten opzichte van de vaart uit Ravenswaay (zou aangegeven moeten worden door seinen).
- c. De schepen uit Ravenswaay moeten, indien nodig, wachten aan de oostzijde van de cirkulatiekom en de kanaalmond.



Tabel 2A. Schepen die tussen 8.30 uur en 14.30 uur de stuw bij Amerongen  
gepasseerd zijn op 5 jan. 1968

0 = opvaart

a = afvaart

Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting
1	8.39	0	28	10.56	a	55	13.12	a
2	8.40	0	29	10.57	a	56	13.17	a
3	8.41	0	30	11.01	a	57	13.24	a
4	9.02	0	31	11.03	0	58	13.25	a
5	9.07	a	32	11.07	0	59	13.30	0
6	9.08	a	33	11.19	a	60	13.32	a
7	9.09	a	34	11.32	a	61	13.47	a
8	9.10	a	35	11.45	a	62	13.47	0
9	9.14	0	36	11.48	0	63	13.50	0
10	9.16	0	37	12.07	0	64	13.52	a
11	9.28	0	38	12.08	a	65	13.58	a
12	9.33	a	39	12.09	0	66	14.00	0
13	9.39	a	40	12.15	0	67	14.01	0
14	9.47	a	41	12.17	0	68	14.03	0
15	9.51	0	42	12.26	a	69	14.05	0
16	9.56	a	43	12.31	a	70	14.09	a
17	10.03	0	44	12.31	a	71	14.14	a
18	10.04	a	45	12.34	a	72	14.17	a
19	10.19	a	46	12.37	a	73	14.20	a
20	10.23	a	47	12.43	0	74	14.24	0
21	10.24	a	48	12.45	a			
22	10.25	a	49	12.48	0			
23	10.28	0	50	12.50	0			
24	10.42	0	51	12.53	a			
25	10.47	a	52	12.55	a			
26	10.49	a	53	12.56	a			
27	10.52	0	54	13.07	0			

De schepen met vaar-  
richtingen W-A en R-A  
zijn buiten beschouwing  
gelaten.

Tabel 2B. Schepen die tussen 8.30 uur en 14.30 uur de stuw bij Hagestein  
gepasseerd zijn op 5 jan. 1968

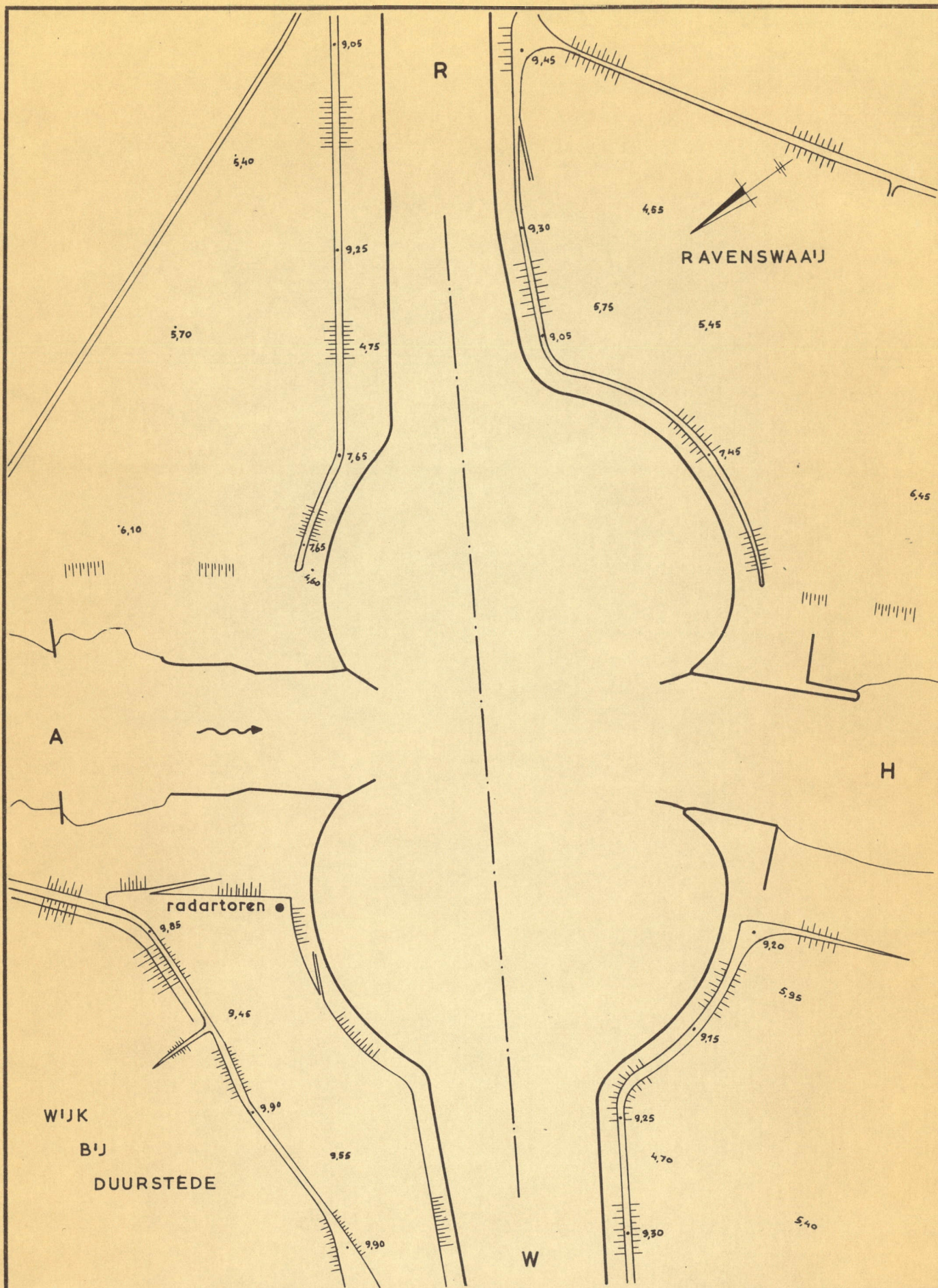
0 = opvaart

a = afvaart

Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting	Volg- nr.	tijd- stip	richting
1	8.40	a	28	10.37	0	55	13.15	a
2	8.45	a	29	10.40	a	56	13.35	a
3	8.45	a	30	10.45	0	57	13.35	a
4	8.45	a	31	10.50	0	58	13.45	a
5	9.50	0	32	10.52	0	59	13.50	a
6	9.00	0	33	11.00	a	60	13.55	a
7	9.02	0	34	11.07	0	61	13.55	0
8	9.15	a	35	11.10	0	62	14.00	a
9	9.20	0	36	11.25	a	63	14.00	0
10	9.20	0	37	11.25	0	64	14.05	0
11	9.25	a	38	11.30	a	65	14.05	0
12	9.25	a	39	11.35	a	66	14.05	0
13	9.35	a	40	11.37	0	67	14.05	0
14	9.45	a	41	11.40	a	68	14.15	a
15	9.45	a	42	11.40	a	69	14.25	a
16	9.45	a	43	11.50	a	70	14.25	a
17	9.45	0	44	11.50	0	71	14.25	0
18	10.00	0	45	11.52	0			
19	10.05	0	46	12.10	a			
20	10.10	a	47	12.15	a			
21	10.10	0	48	12.20	a			
22	10.25	0	49	12.20	0			
23	10.30	a	50	12.28	a			
24	10.30	0	51	12.33	0			
25	10.33	0	52	12.35	a			
26	10.35	a	53	12.37	0			
27	10.35	0	54	12.54	a			

De schepen met vaar-  
richting R-H en W-H  
zijn buiten beschou-  
wing gelaten.





SITUATIE RIVIERKRUISSING

TO

SCHAAL 1: 5000

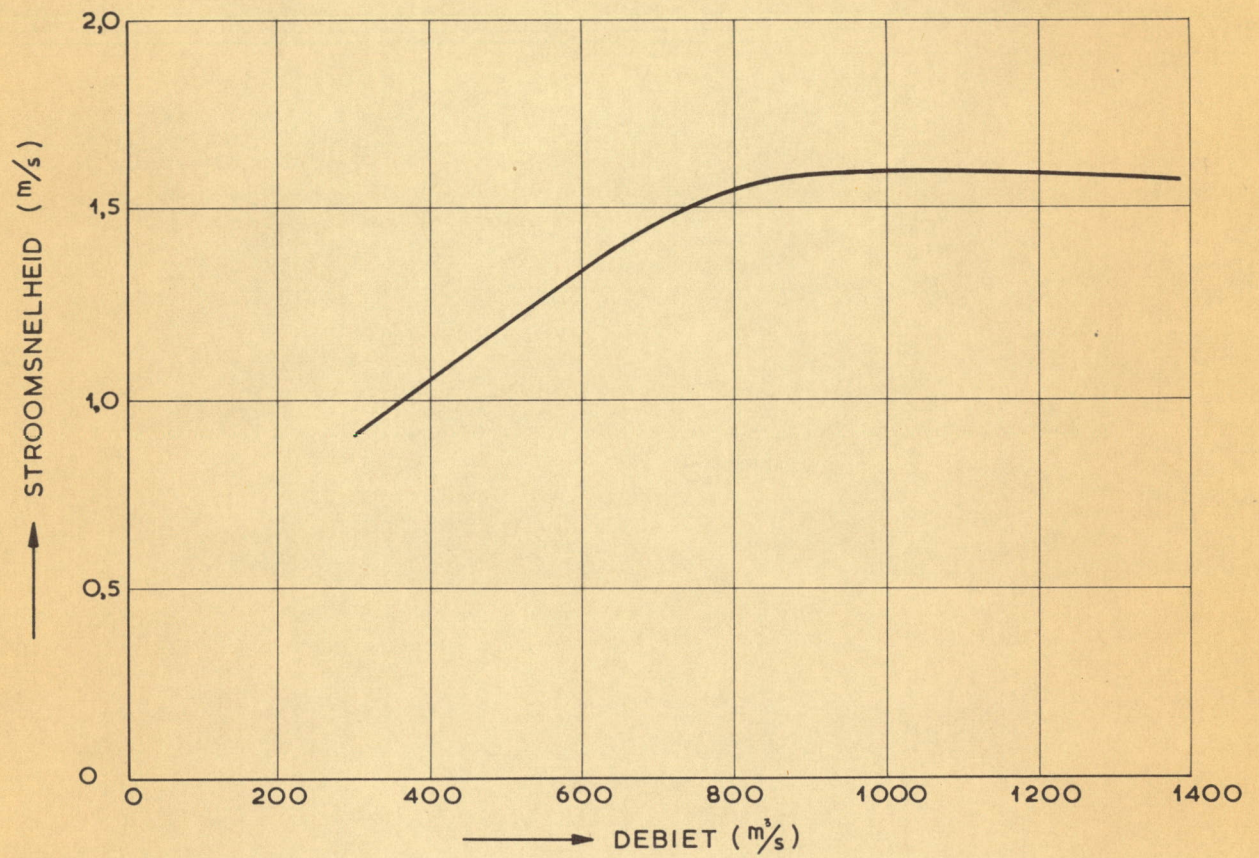
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 1

69-238





De aangegeven stroomsnelheden treden op tussen de bovenstroomse stroomgeleiders

STROOMSNELHEDEN BIJ ONGESTUWDE RIVIER

TO

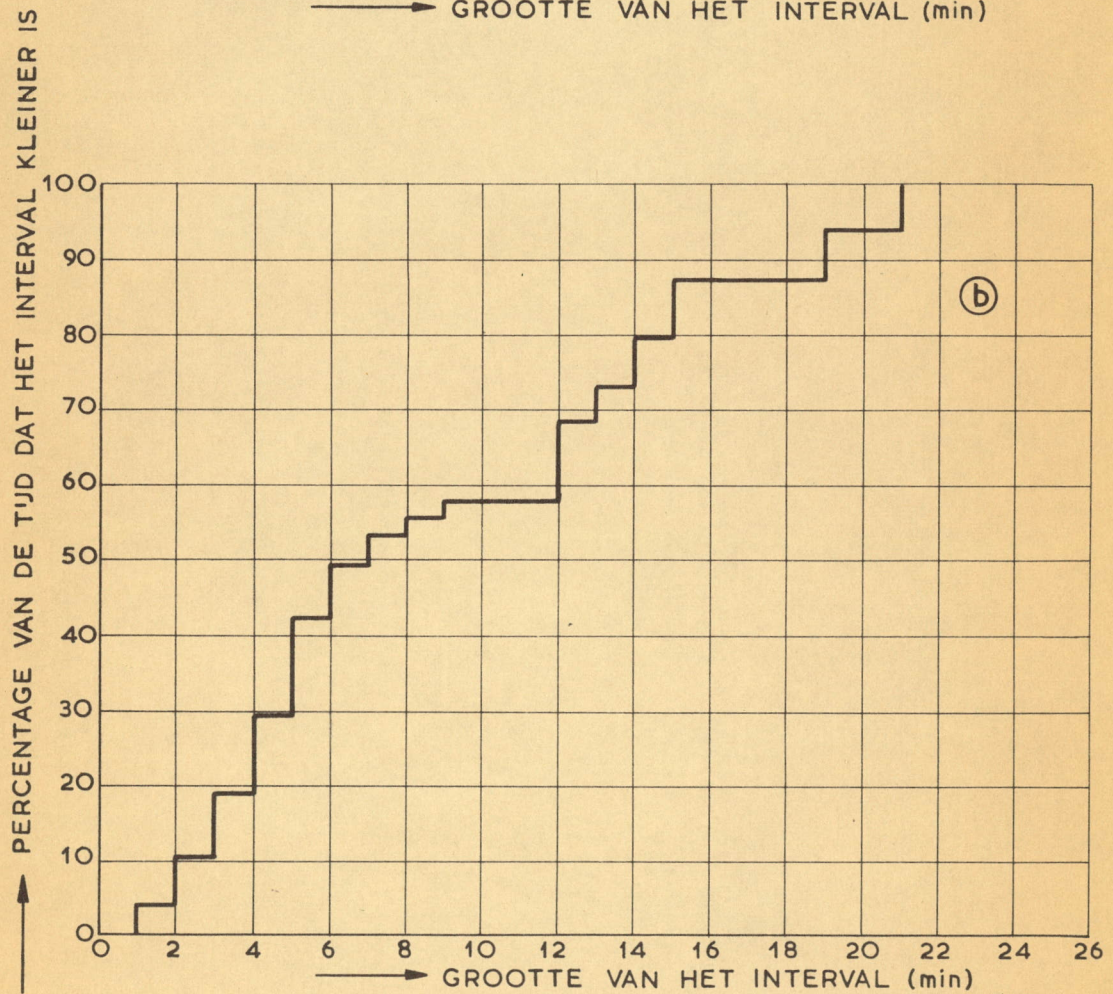
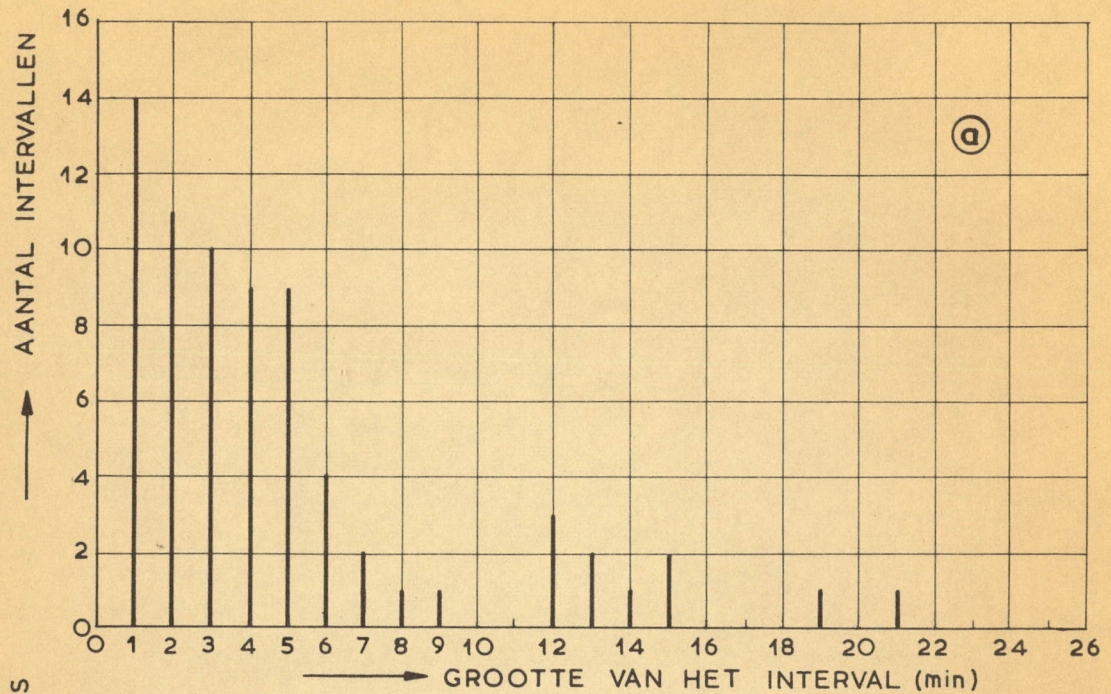
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 2

69-238





5-1-'68 Waarnemingsperiode 8.30 - 14.30u (betreft opvaart + afvaart = 74 schepen)

SCHEEPSWAARNEMINGEN STUW AMERONGEN  
(tijdsintervallen tussen de opeenvolgende passages)

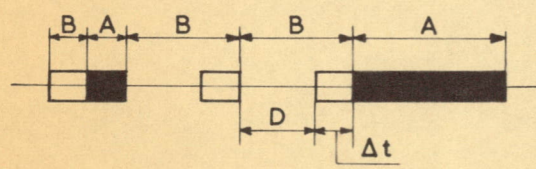
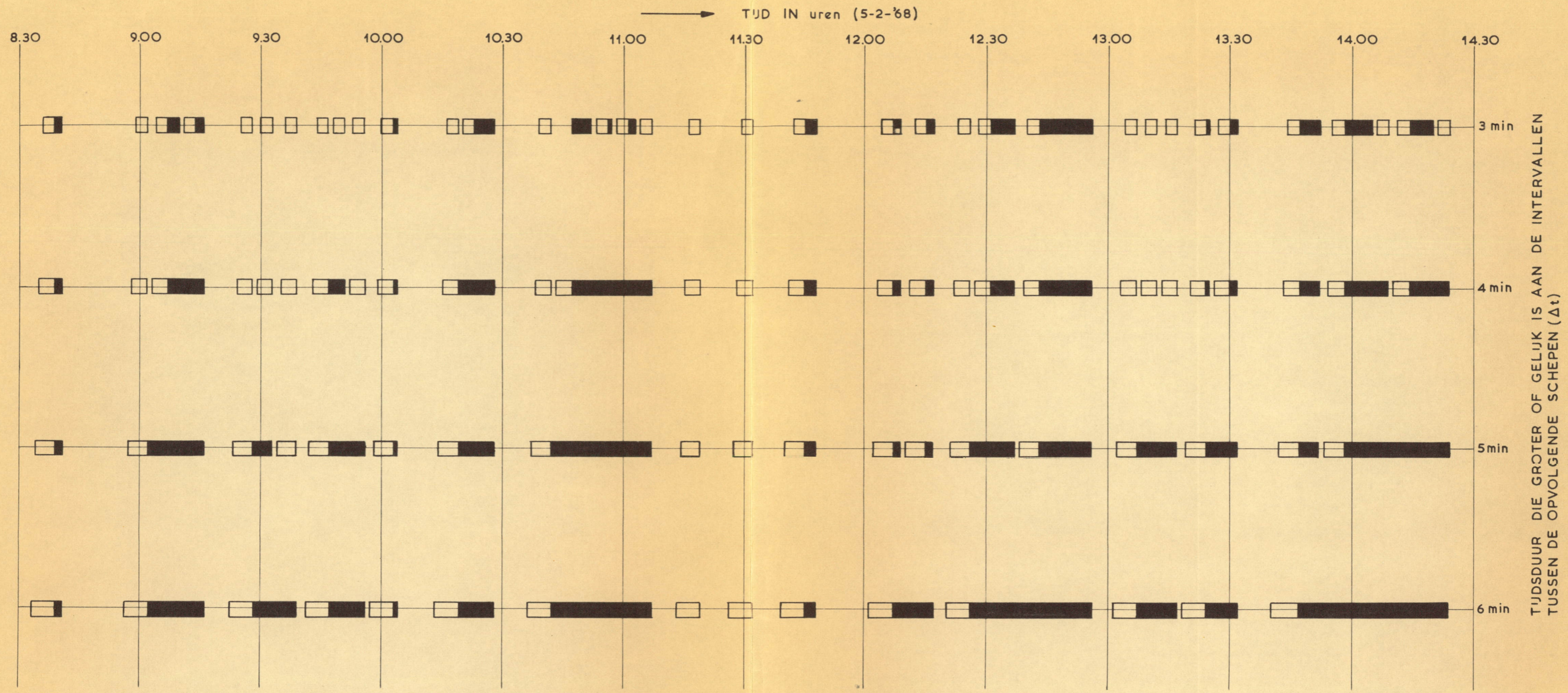
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 3

60-238





- A : Periode, begrensd door moment passeren van een schip, waarin interval tussen opvolgende passages gelijk of kleiner is dan een vaste tijdsduur ( $\Delta t$ )
- B : Tijdsduur tussen twee periodes (Tijd die kanaalvaart heeft om kruising te passeren)
- $\Delta t$  : Vaste tijdsduur (Tijd die „kanaalschip” nodig heeft om te passeren)
- D :  $B - \Delta t$  (Tijd waarin „kanaalschip” passeermanoeuvre kan beginnen)

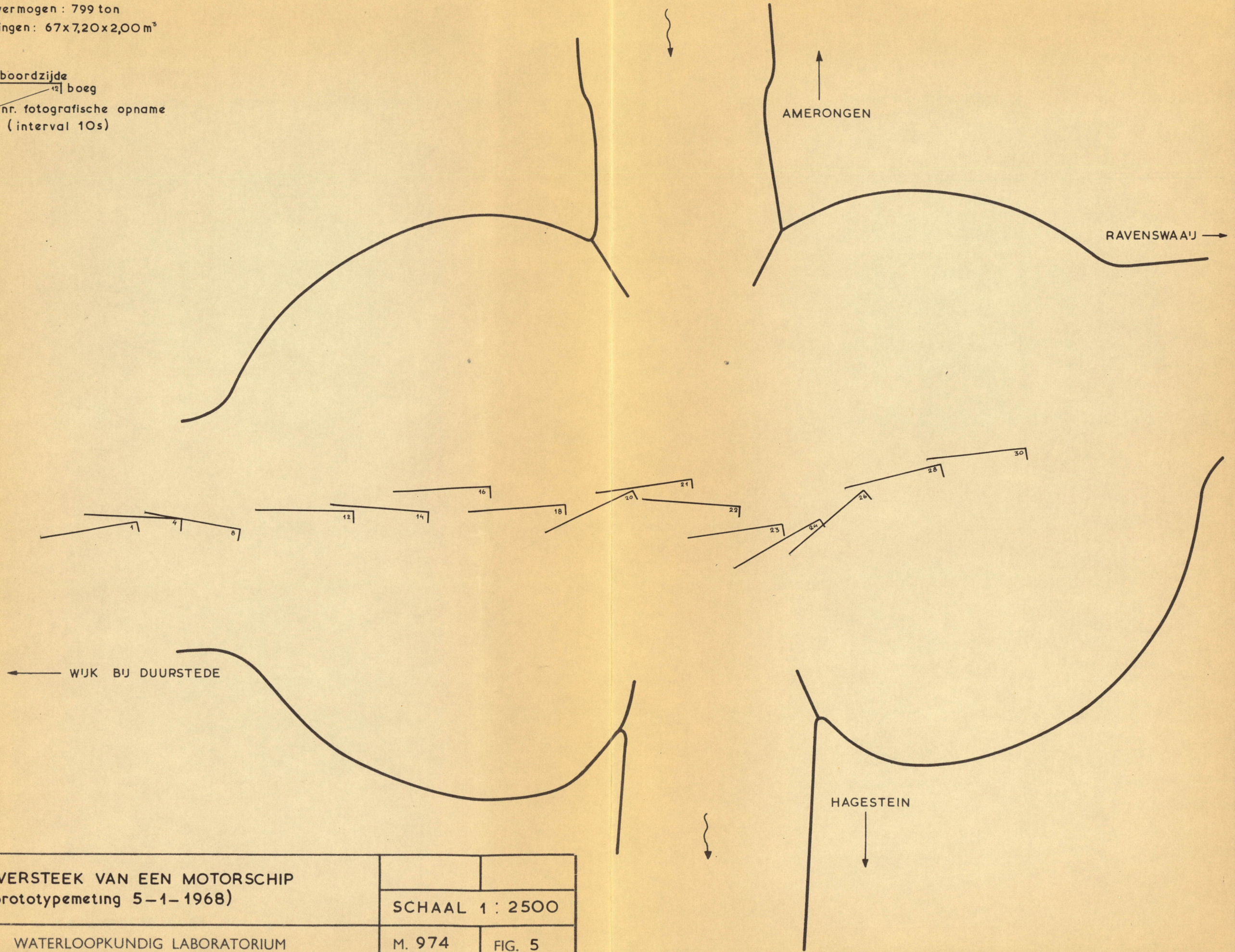
SCHEEPSWAARNEMINGEN STUW AMERONGEN. PERIODEN WAARIN DE INTERVALLEN GELIJK OF KLEINER ZIJN DAN EEN BEPAALDE TIJD		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974	FIG. 4

60-238



m.s. JOHN  
 Laadvermogen : 799 ton  
 Afmetingen : 67x7,20x2,00 m<sup>3</sup>

stuurboordzijde  
 12 | boeg  
 ← nr. fotografische opname  
 (interval 10s)



OVERSTEEK VAN EEN MOTORSCHIP  
 (prototypemeting 5-1-1968)

SCHAAL 1 : 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

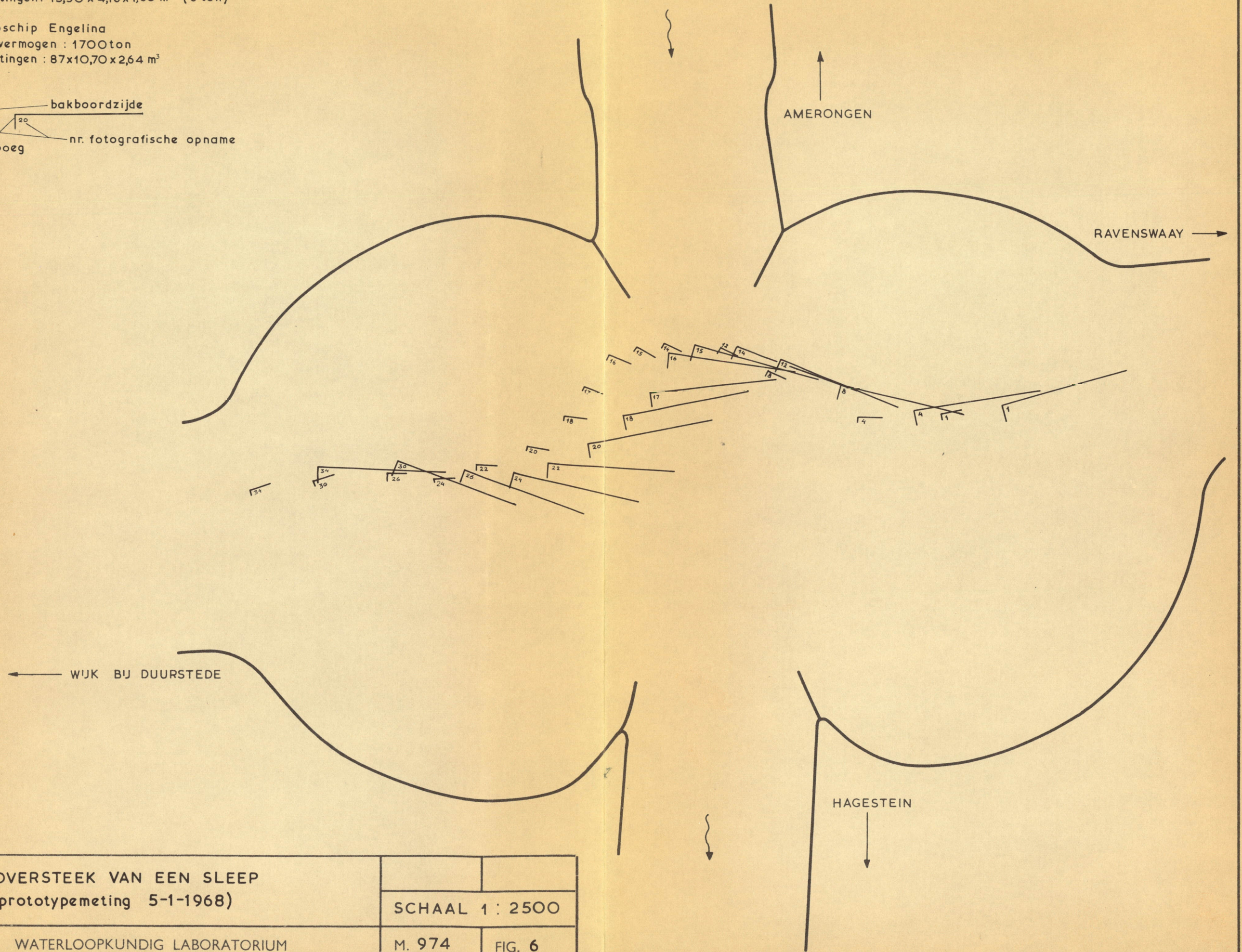
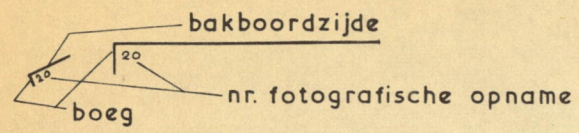
M. 974

FIG. 5



motorsleepboot Adfra  
 afmetingen: 15,50 x 4,16 x 1,65 m<sup>3</sup> (6 ton)

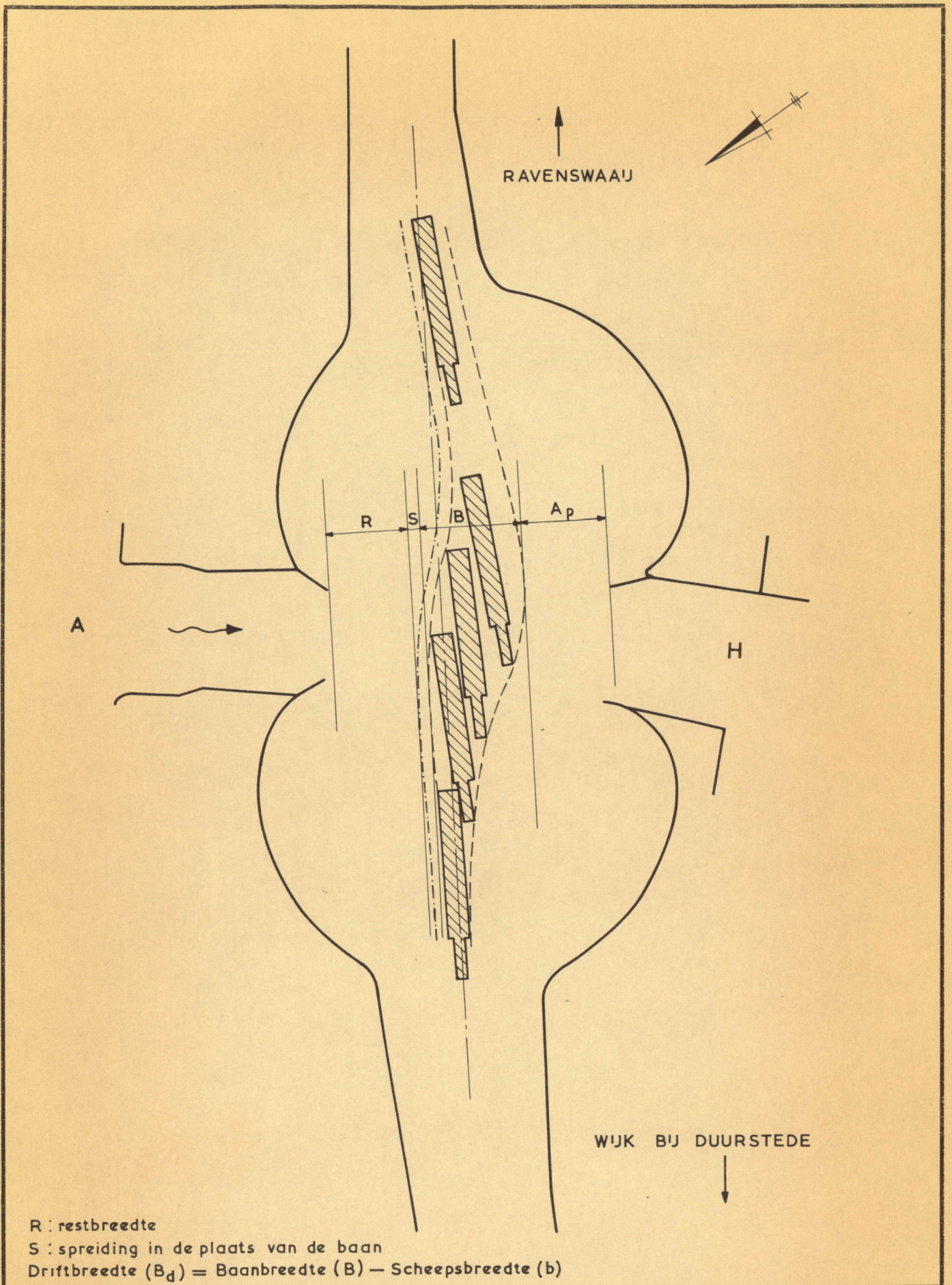
sleepschip Engelina  
 laadvermogen: 1700 ton  
 afmetingen: 87 x 10,70 x 2,64 m<sup>3</sup>



OVERSTEEK VAN EEN SLEEP (prototypemeting 5-1-1968)		
	SCHAAL 1 : 2500	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 974	FIG. 6

60-22





ONDERVERDELING VAN DE TOTALE BREEDTE  
 OP DE KRUISING

TO

SCHAAL 1:5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

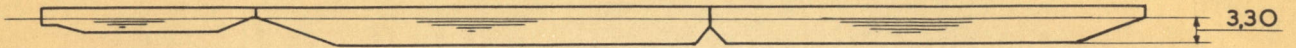
M. 974

FIG. 7

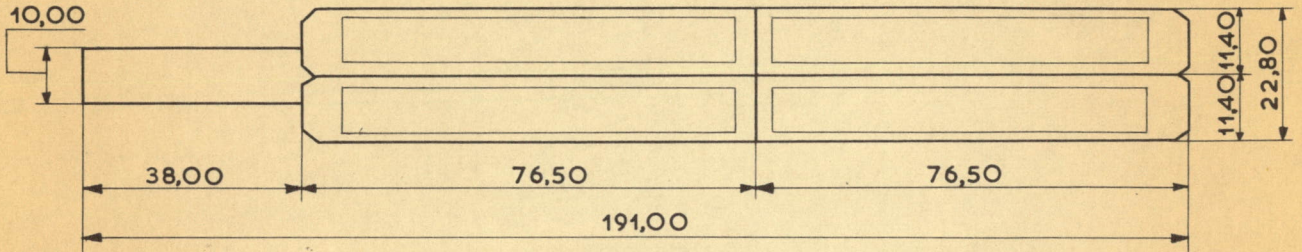
69-238



ZIJAANZICHT



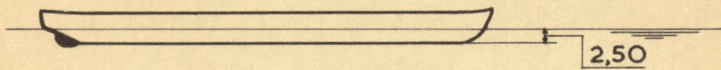
BOVENAAZICHT



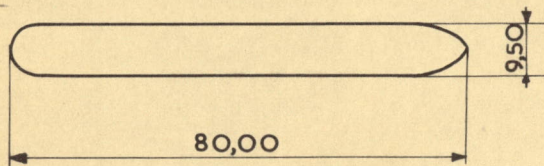
BREDE DUWEENHEID

duwboot "VULCAAN I" met 2x2 brede lichters

ZIJAANZICHT



BOVENAANZICHT



MOTORSCHIP

Rijn-Hernekanaalschip "ADRIAAN"

alle afmetingen zijn in m prototype

MODELSCHEPEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 8

65-238



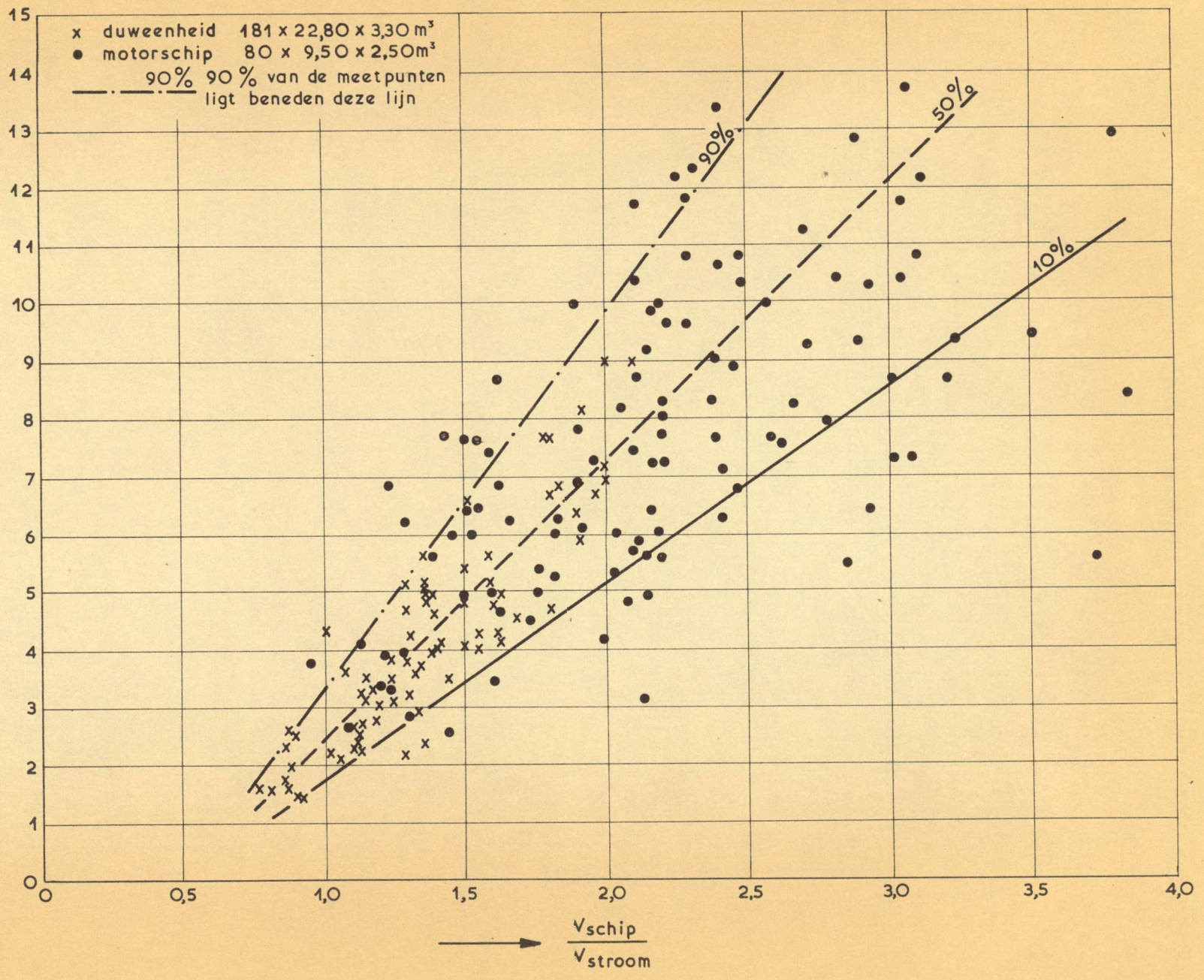
VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN DE  
VAAR-EN STROOMSNELHEID ( $Q_{riv.} \leq 825 \text{ m}^3/\text{s}$ )

TO

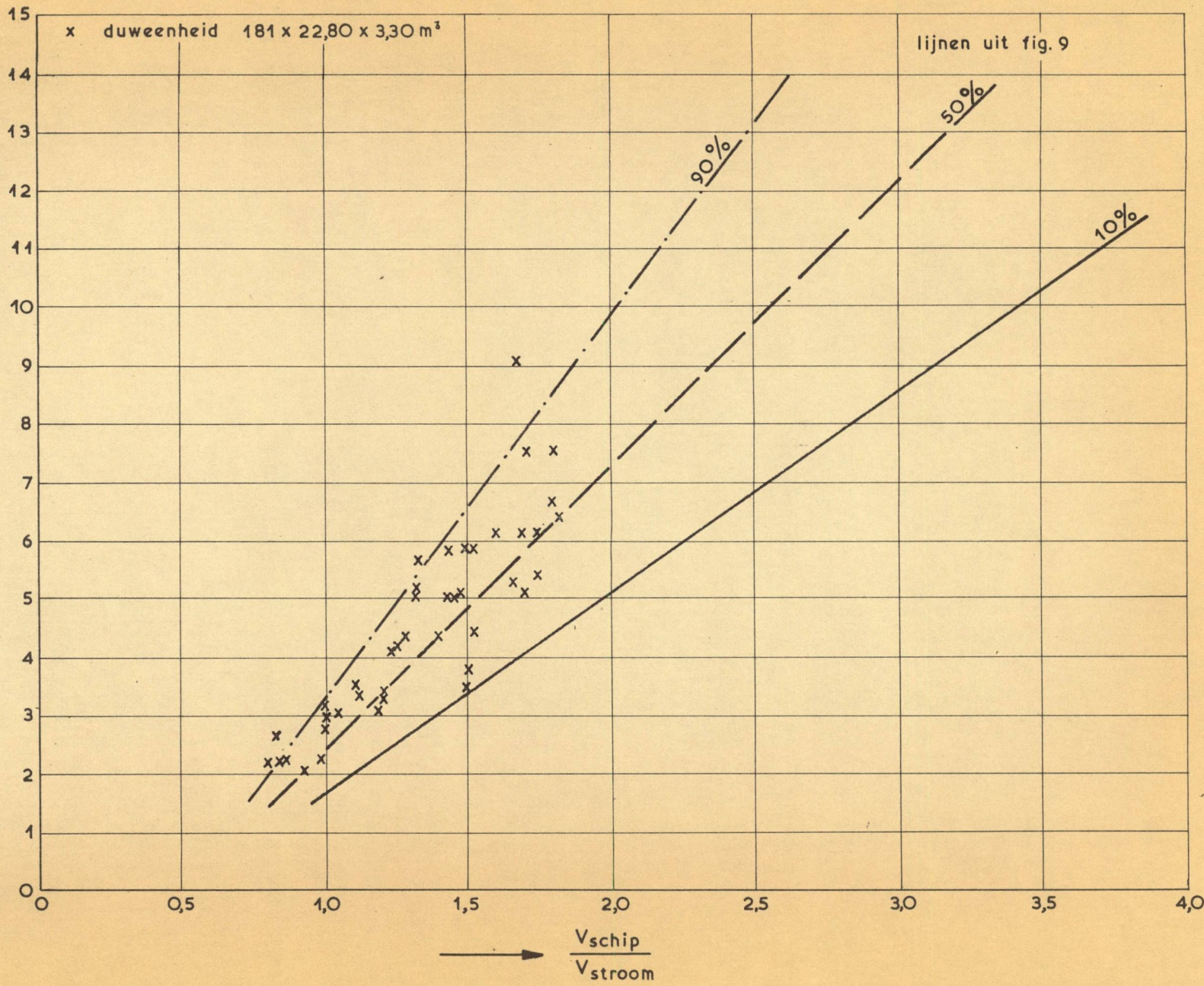
M. 974

FIG. 9

DRIFTBREEDTE  $\xrightarrow{264}$







VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN DE  
 VAAR-EN STROOMSNELHEID ( $Q_{riv.} = 1360 \text{ m}^3/\text{s}$ )

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

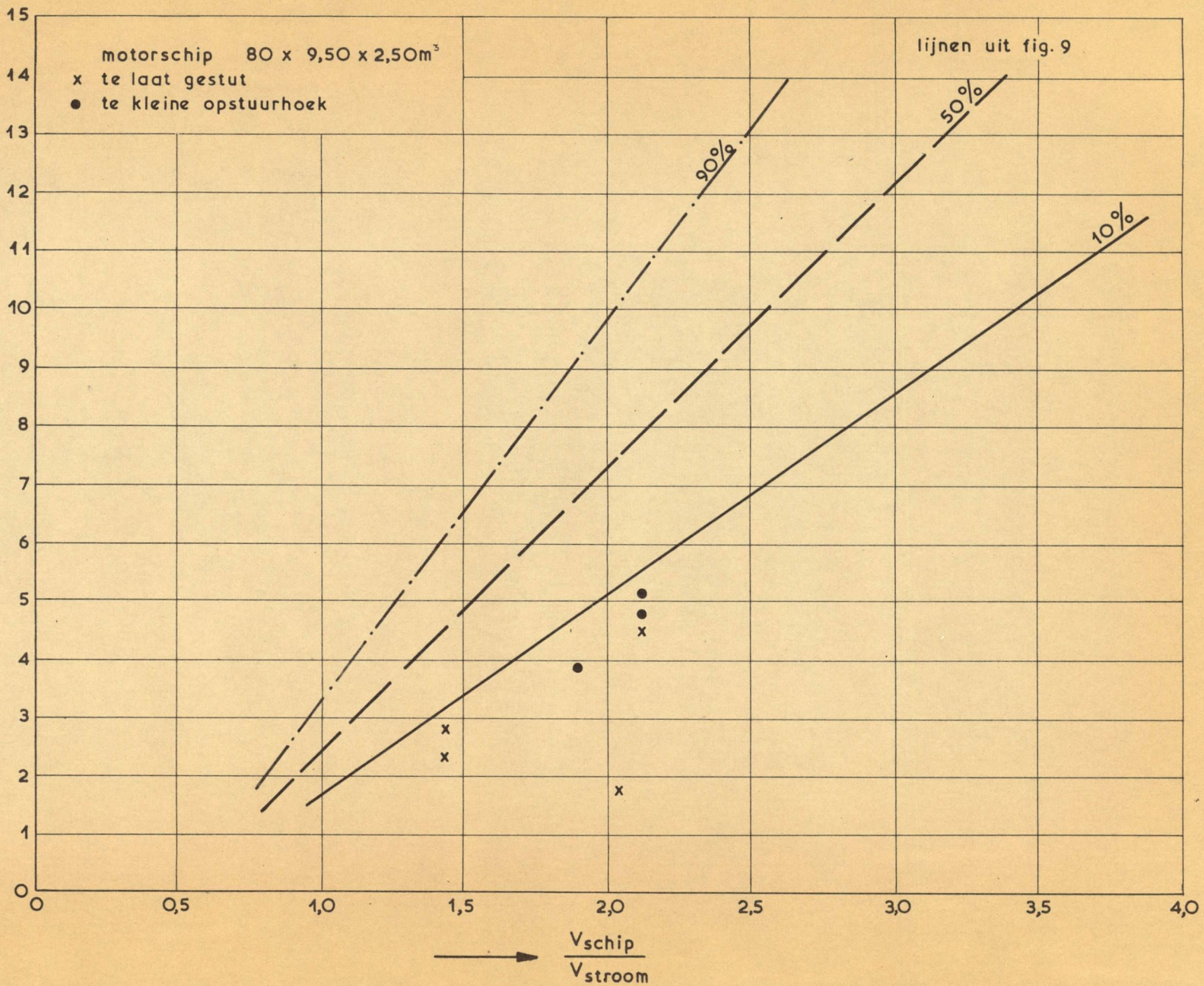
TO

M. 974

FIG. 10

65-238

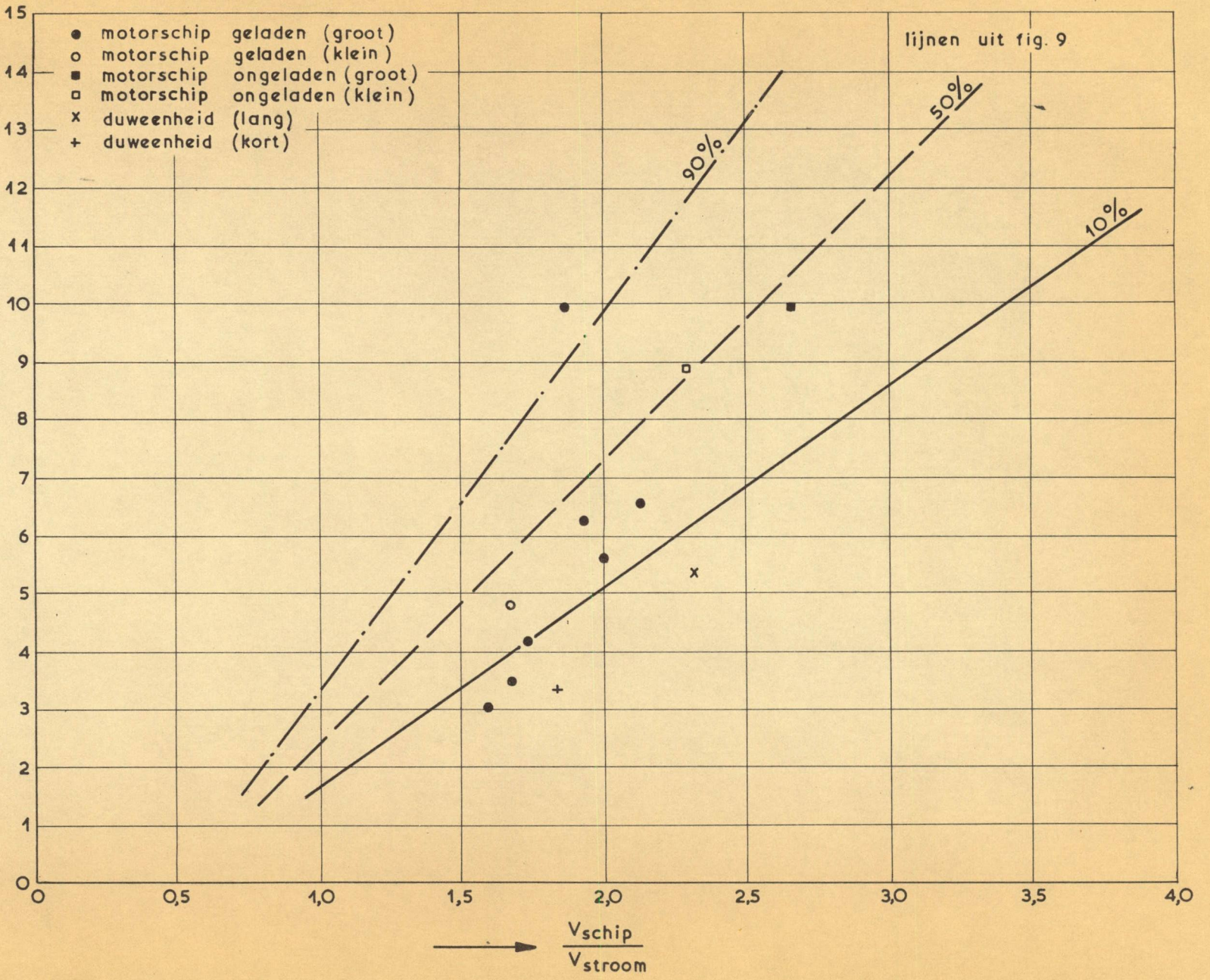




VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN DE  
VAAR- EN STROOMSNELHEID  
(minder goede manoeuvres)

TO





VERBAND TUSSEN DE DRIFTBREEDTE EN DE  
 VAAR-EN STROOMSNELHEID ( $Q_{riv.} \leq 825 \frac{m^3}{s}$ )  
 (prototypen waarnemingen)

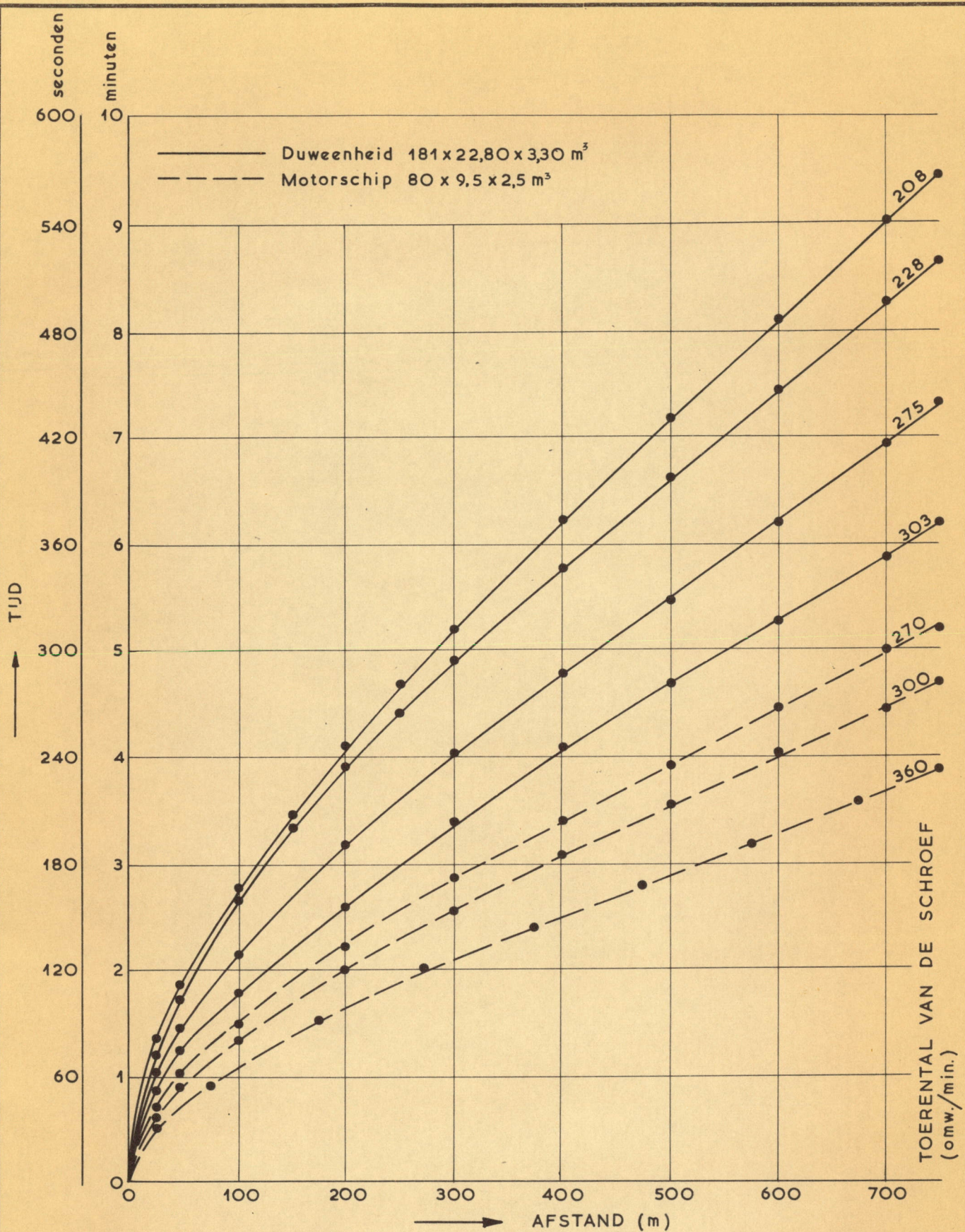
TO

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 12





Waterdiepte: ca 6,00m  
(grootheden uitgedrukt in prototype maten)

ACCELERATIEVERMOGEN MODELSCHEPEN  
(tijd t.o.v. afgelegde weg)

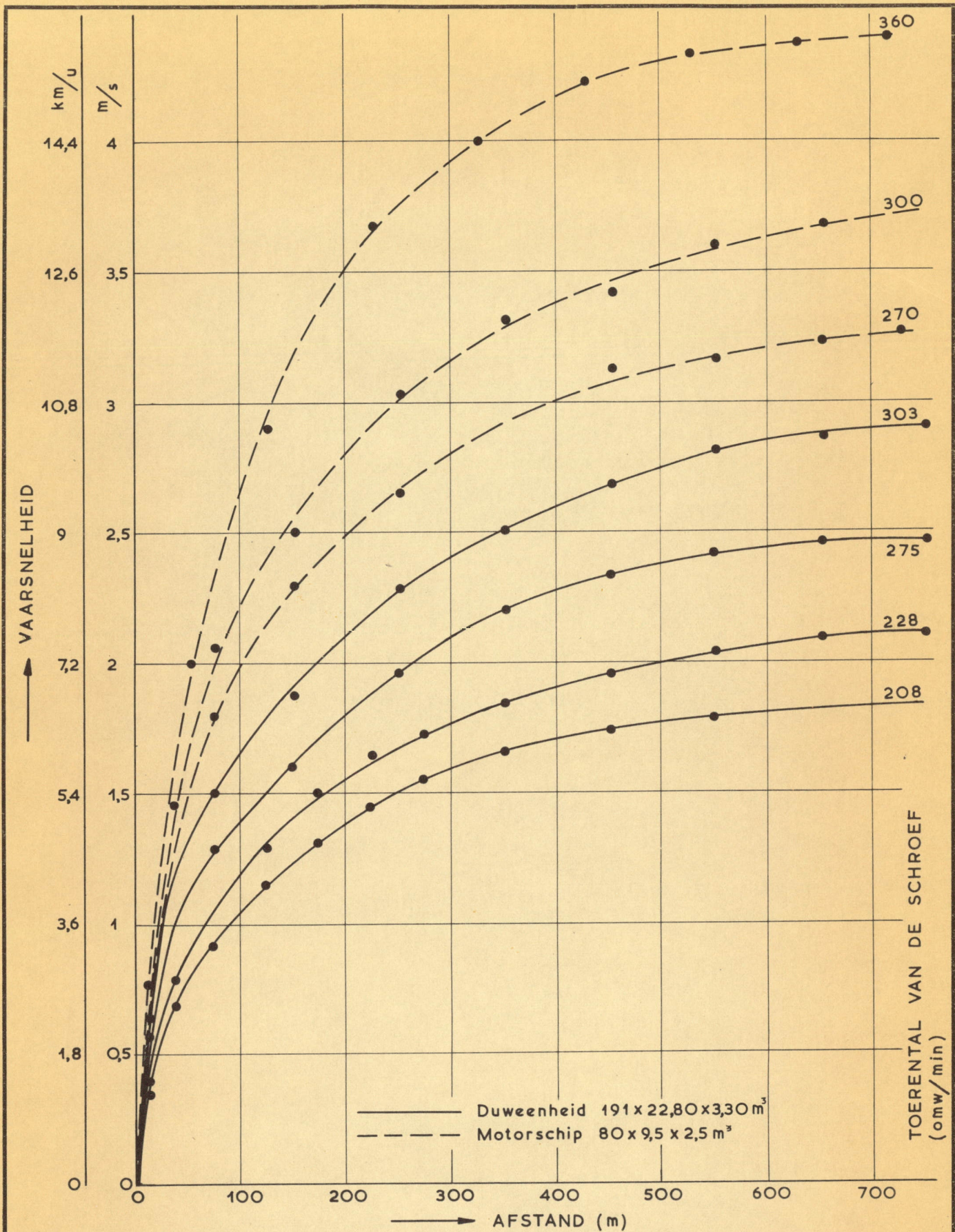
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 13

602-238





Waterdiepte : ca 6,00 m  
(grootheden uitgedrukt in prototype maten)

ACCELERATIEVERMOGEN MODELSCHEPEN  
(vaarsnelheid t.o.v. afgelegde weg)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

FIG. 14

69-238



Motorschip : 80x9,5x2,5 m

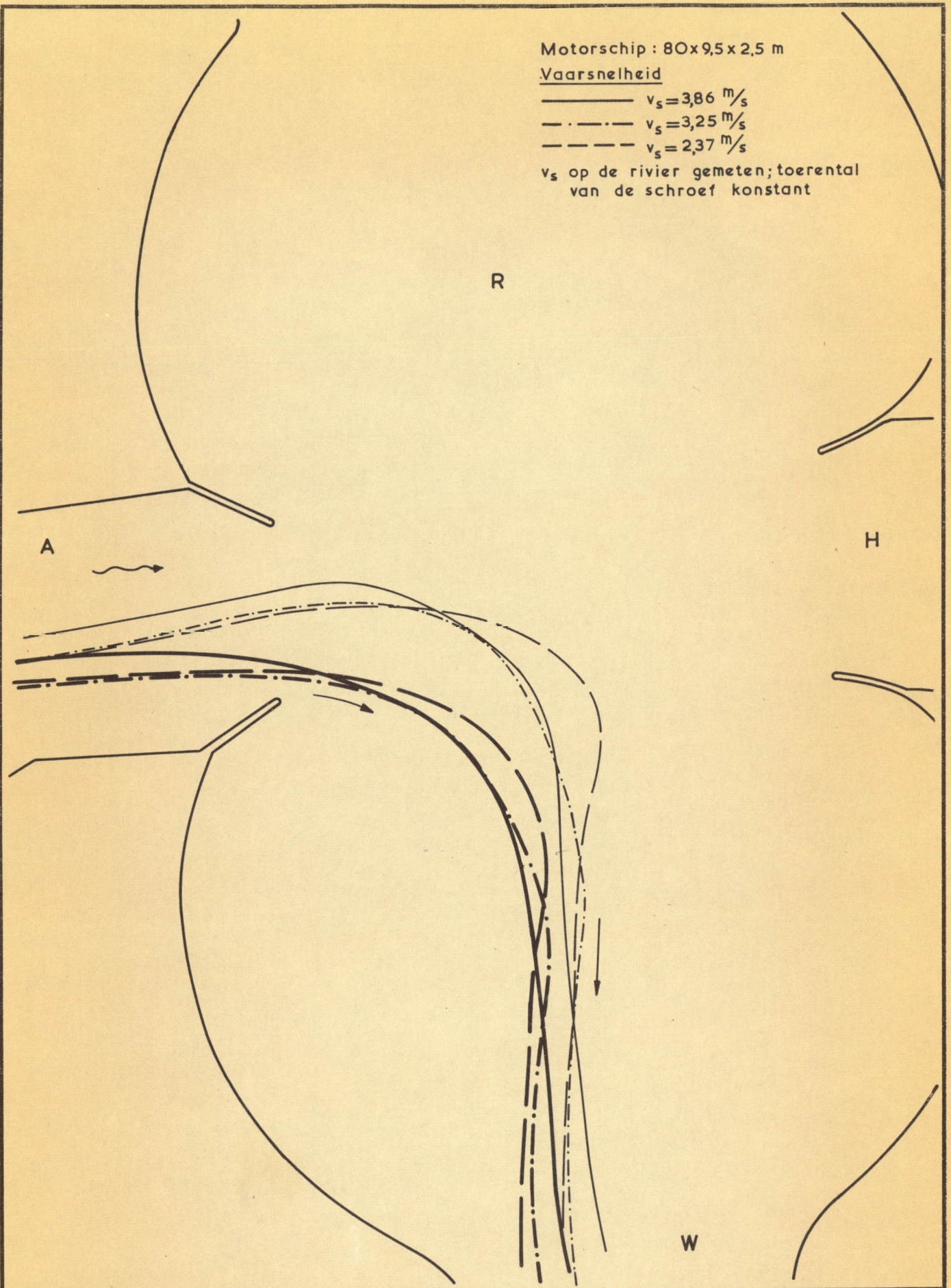
Vaarsnelheid

—————  $v_s = 3,86 \text{ m/s}$

- . - . - .  $v_s = 3,25 \text{ m/s}$

-----  $v_s = 2,37 \text{ m/s}$

$v_s$  op de rivier gemeten; toerental van de schroef konstant



VAARBANEN VAN EEN AFSLAAND MOTORSCHIP  
( $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$ , N.A.P + 4,70 m)

TO

SCHAAL 1: 2500

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 974

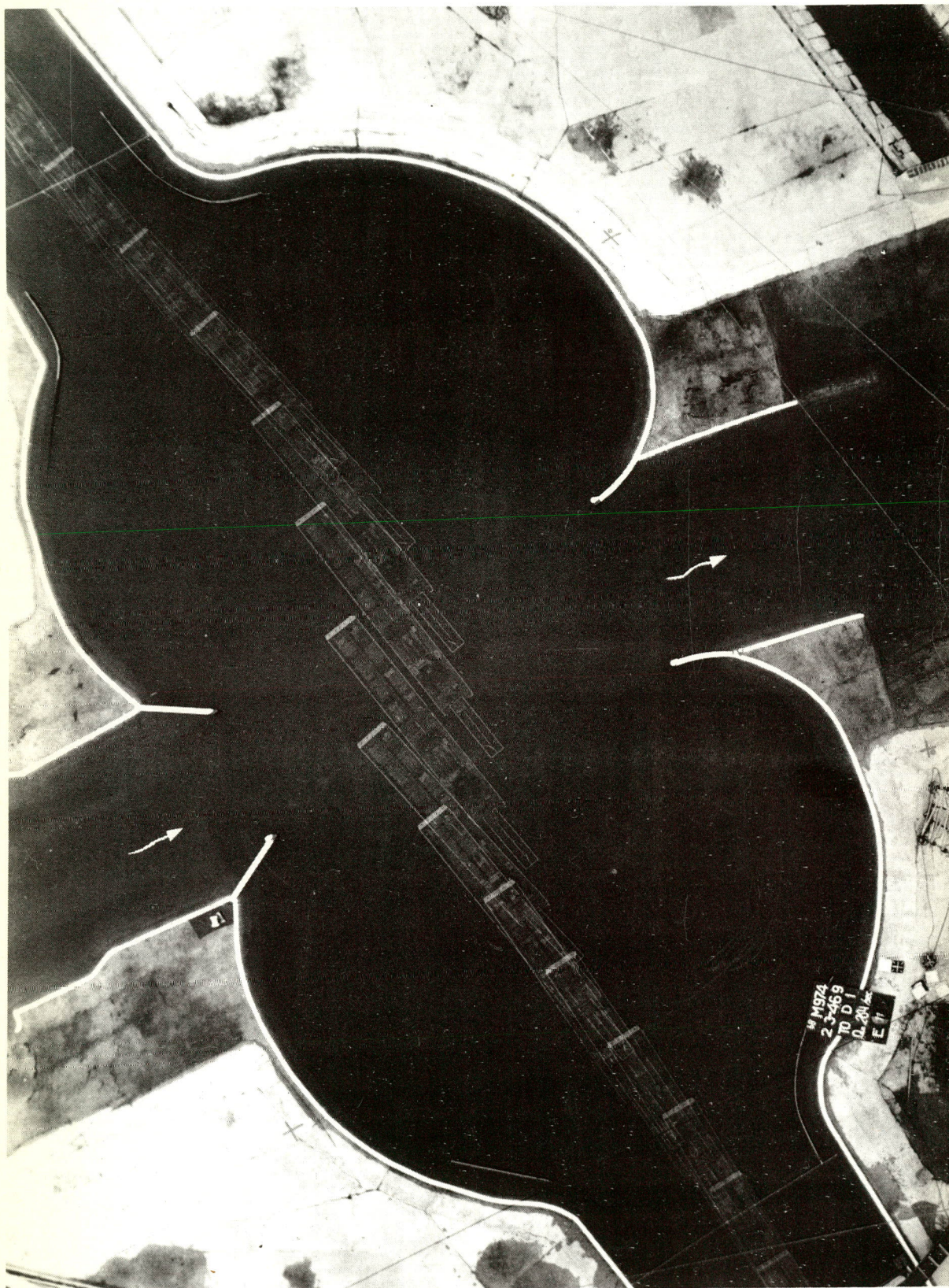
FIG. 15

69-2-38



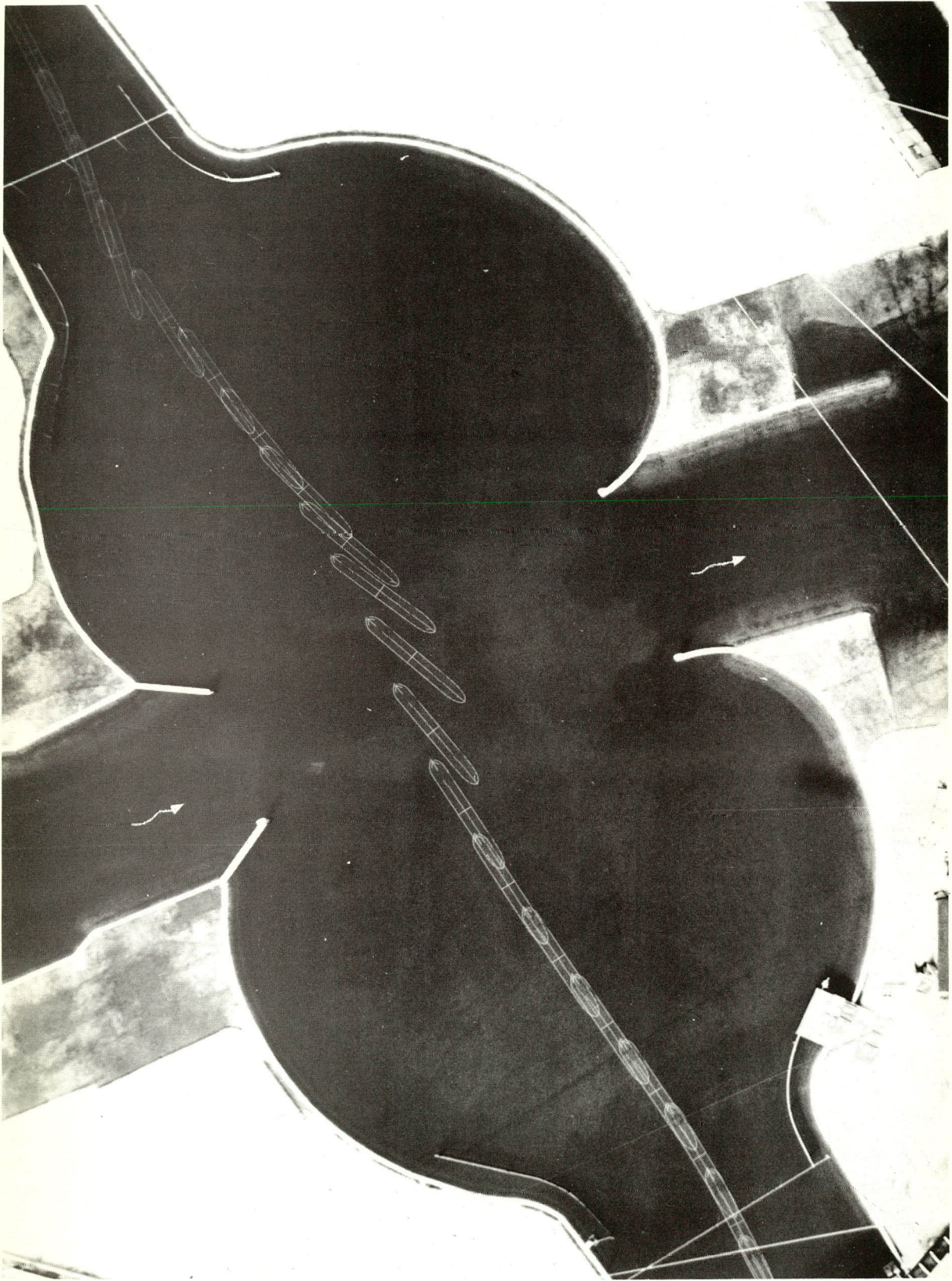






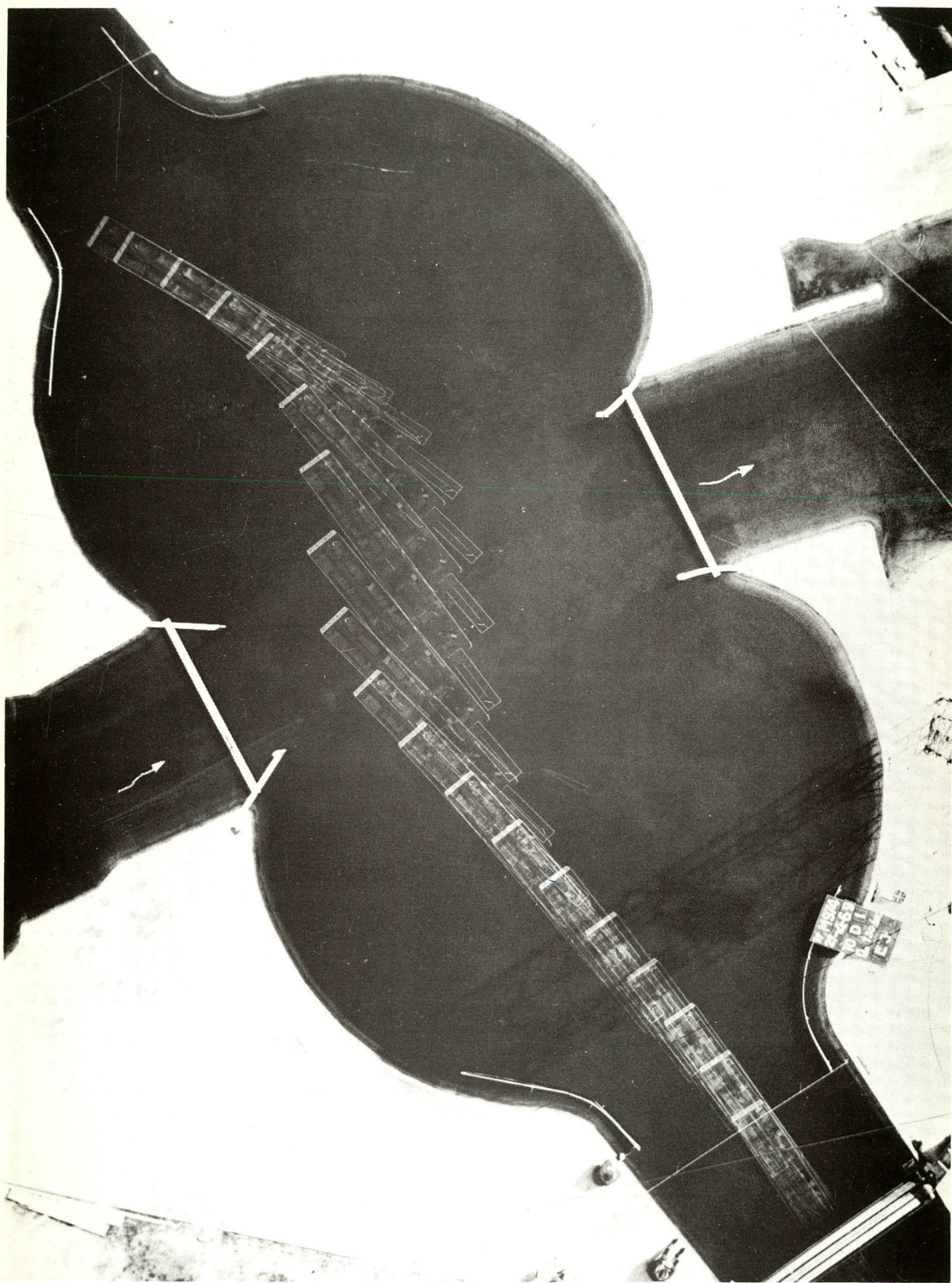
① oversteek in de as.  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 2,2 \text{ m/s}$





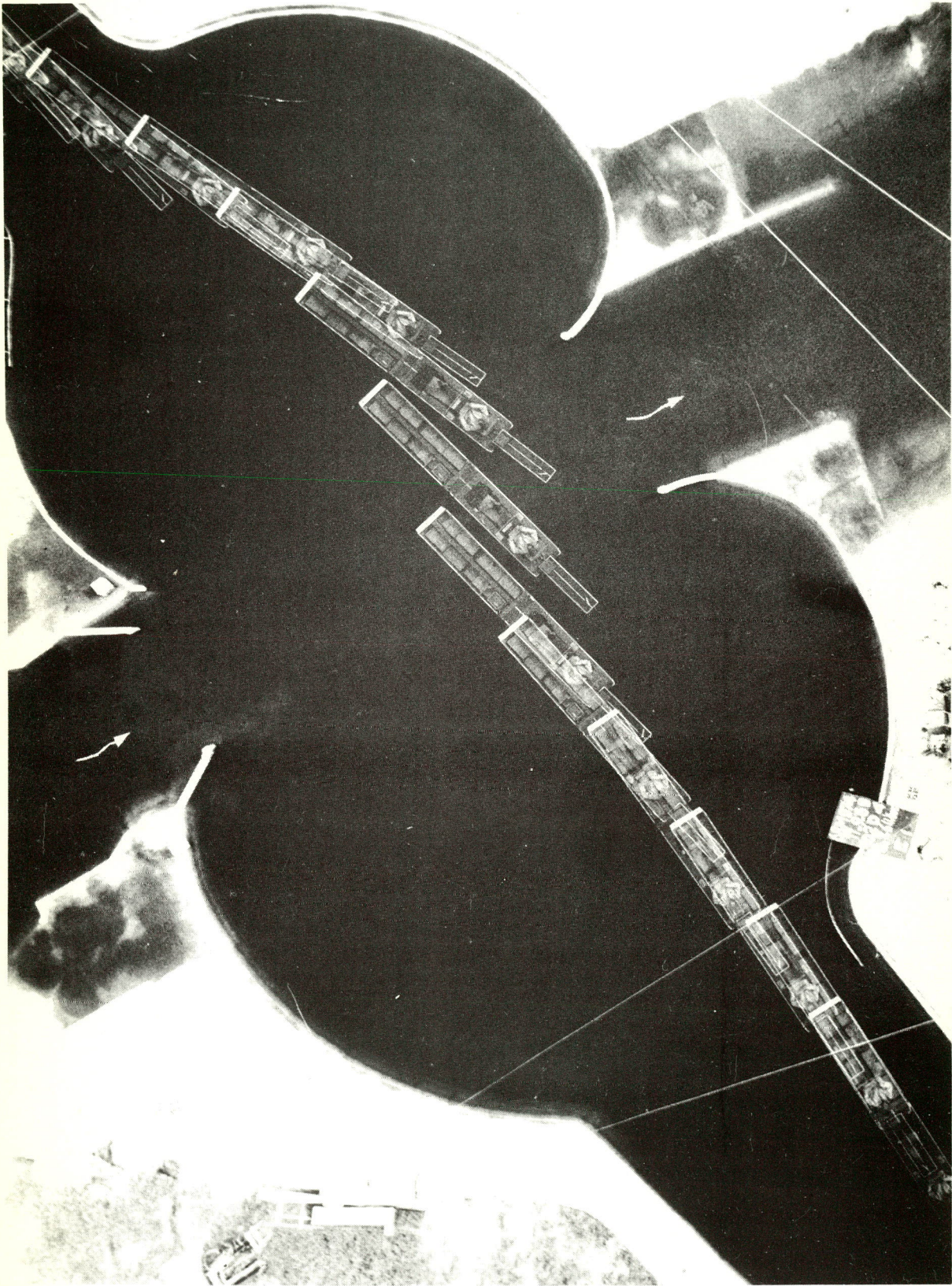
② oversteek in de as.  $Q = 825 \text{ m}^3/\text{s}$   $V_s = 3,5 \text{ m/s}$





③ doorzwaaien (te laat tegenroer gegeven).





④ oversteek op korte afstand van de stromgeleiders

$$Q = 825 \text{ m}^3/\text{s} \quad V_s = 2,6 \text{ m/s}$$