

514

BIBLIOTHEEK RIVIERKUNDE

DI 66579-1

MORFOLOGIE

40.1a

**VERSLAG
VAN
HET DERDE MODELONDERZOEK
IN VERBAND MET DE
KRUISING VAN HET KANAAL VAN
AMSTERDAM NAAR DEN BOVENRIJN
MET DE LEK
M. 104.**

**WATERLOOPKUNDIG
LABORATORIUM**



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Directie Oost-Nederland

Bibliotheek

Nr. ANSR-40.1/I ON



WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM.

Verslag van het derde modelonderzoek in verband
met de kruising van het Kanaal van Amster-
dam naar den Bovenrijn met de Lek.

Modelonderzoek nr. 104.

I N H O U D.

	<u>pag.</u>
<u>HOOFDSTUK I. Overzicht.</u>	
1. Opdracht, doelstelling en gegevens.....	1
2. Geschiedenis van het onderzoek.....	4
3. Kort overzicht van de uitkomsten.....	5
<u>HOOFDSTUK II. Het model en de metingen.</u>	
4. Grenzen en schalen.....	10
5. Inrichting van het model.....	13
6. Metingen en meetmethoden en hun nauwkeurigheid	15
7. De onderzochte situaties en de verrichte metingen.....	21
<u>HOOFDSTUK III. Discussie van de waarnemingen.</u>	
8. Vergelijking met de werkelijkheid.....	26
9. De opstuwing.....	29
10. De stroom en de bodembeweging in den overgang.	34
11. De uitwisseling en de streaming in de voor- havens.....	51
12. De stroom in de sluiskanalen.....	62
13. Conclusies en beschouwingen.....	63

FIGUREN.

1. Situatie kruising.
- 2a. Frequenties Lek bij Wijk-bij-Duurstede.
- 2b. Verdeeling van het zandtransport.
3. Het model.
4. Overzicht model in aanbouw.
5. Waterpassen van de uiterwaarden.
6. Storten van de kribben.
7. Onder profiel brengen van het rivierbed.
8. Model stroomopwaarts gezien.
9. Inloop bij grooten afvoer.
10. Model bij grooten afvoer.
11. Uitloop bij grooten afvoer.
12. Slingerstroommeter.
13. Bestaande toestand en oorspronkelijk ontwerp (T0-T1).
14. Leidam linkeroever (T 1 - T 2 - T 3).
15. Plateaux boven den overgang (T 3 t/m T 12).
16. Versmalde havenmonden (T 8).
17. Versmalde rivier (T 13 - T 14 - T 15).
18. Afloop hoogwater Januari 1926.
19. Vergelijking der snelheidsmetingen in km raai 71-.
Rivier en model.
20. T 0. Waterstanden en stroomen bij grootsten afvoer,
waarvan $1100 \text{ m}^3/\text{sec}$ over de uiterwaard.
21. T 0. Waterstanden en stroomen bij grootsten afvoer,
waarvan $900 \text{ m}^3/\text{sec}$ over de uiterwaard.
22. Waterstanden bij grootsten afvoer (T 1 - T 2 - T 3).
23. Overgang in T 3 na 12 uur stroomen.
24. Bank in den overgang bij grooten afvoer in T 3.
25. Bank in den overgang bij grooten afvoer in T 3.
26. Waterstanden en stroomen bij grootsten afvoer (T 3).
27. Bank na het hoogwater van Januari 1926.
28. Stroommetingen met den slingerstroommeter in den over-
gang.

29. Bodemligging na rivierafvoer van $500 \text{ m}^3/\text{sec.}$ (T 5).
30. Verloop van de bimsvangst bij de proeven in T 5.
31. Bodemligging na rivierafvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ (T 5).
32. " " " " $1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ (T 5).
33. Stroommetingen met den slingerstroommeter in den overgang (T 5).
34. Bodemligging na rivierafvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ (T 6).
35. " " " " " (T 7).
- 36a. Verloop van de bimsvangst bij de proeven in T 6 - T 7.
- 36b. " " " " " " " in T 8 - T 9 - T 10.
37. Bodemligging na rivierafvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ (T 7).
38. " " " " " (T 8).
39. " " " " " (T 9).
40. " " " " " (T 10).
- 41a. Oppervlaktestroomen in T 13.
- 41b. " in T 16.
- 42a. " in T 14.
- 42b. " in T 15.
43. Drijverbanen in de grensstrooken tusschen rivierstroom en neeren. Verloop van de snelheid in de noordelijke voorhaven.
44. Oppervlaktestroomen in T 5. Afvoer $230 \text{ m}^3/\text{sec}$. Verhangversterking 1.
45. Oppervlaktestroomen in T 5. Afvoer $230 \text{ m}^3/\text{sec}$. v.v. 5.
46. " in T 5. " 400 " " 1.
47. " in T 5. " 400 " " 5.
48. " in T 5. " 400 " " 9.
49. " in T 5. " 660 " " 1.
50. " in T 5. " 660 " " 5.
51. " in T 6. " 1500 " " 2,6.
52. " in T 9. " 1675 " " 4.
53. Stroom over de verlaagde sluiskanaaldammen.

HOOFDSTUK I. Overzicht.

1. Opdracht, doelstelling en gegevens.

Bij brief no. 9701 van 22 October 1936 werd door den Hoofdingenieur van den Rijkswaterstaat in het district Amsterdam-Rijn II opdracht gegeven tot een modelonderzoek van de kruising van het kanaal Amsterdam-Rijn met de Lek beneden Wijk bij Duurstede. Bij dit onderzoek kan worden voortgebouwd op de uitkomsten van de modelproeven M 9 en M 46. De daarbij opengebleven vraagpunten zijn opgesomd in par. 15 van het verslag over die beide proeven.

De hieruit volgende doelstelling van de nieuwe proef is door den opdrachtgever in zijn brief no. 9546 van 5 October 1936 als volgt omschreven:

1. Onderzoek in een riviermodel met bewegelijken bodem, overeenkomstig den bestaanden toestand, dus zonder voorhavens, van de zand- en waterbeweging. Vergelijking van de resultaten van het model met de op de rivier verrichte waarnemingen.
2. Onderzoek van den vorm, waarin de kruising (rivier + voorhavens) moet worden uitgevoerd om:
 - a. de rivier ter plaatse van de kruising met weinig baggerwerk op de gewenschte diepte te houden;
 - b. de verzanding van de voorhavens zooveel mogelijk te beperken;
 - c. bij grooten afvoer van de rivier ontgronding van den bodem, hinderlijke afzettingen, te groote stroomsnelheid en te groote opstuwing te voorkomen.

Oorspronkelijk is bij de vormgeving van den overgang voldaan aan den eisch, dat de rivier nergens smaller mocht zijn dan 95 m. Deze eisch was reeds in den loop van het onderzoek van M 46 met het oog op het scheepvaartbelang gesteld. Tegen het eind van de proeven werd de wenschelijkheid om de vaargeul plaatselijk tot een kleinere breedte te beperken zoo sterk gevoeld, dat de mogelijkheid van een

verdere vernauwing opnieuw onder het oog is gezien.

Het betreffende riviergedeelte is weergegeven in fig. 1.

De bij het onderzoek gebruikte gegevens betreffende

- a. de waterstanden op de rivier,
- b. het verhang,
- c. de waterafvoer van de rivier en
- f. de gewenschte afmetingen van de kruising,

zijn dezelfde die van toepassing waren voor de modellen M 9 en M 46. Zij zijn vermeld in par. 2 en de figuren 3 en 4 van het verslag over die proeven.

Over punt d: "de afvoer van zand en slib" zijn sindsdien belangrijke nieuwe gegevens verzameld. Door den studiedienst der Bovenrivieren werden metingen omtrent het zandtransport verricht in den Neder-Rijn nabij Arnhem¹⁾, door het district Amsterdam-Rijn II nabij Wijk bij Duurstede²⁾.

Uit de eerstgenoemde metingen werd over de periode 1901-'30 een gemiddeld jaarlijksch zandtransport afgeleid van 230.000 m³, uit de tweede over 1920-'29 een van 260.000 m³. Dit is slechts omstreeks de helft van het bij de proeven M 9 en M 46 aangenomen bedrag van 500.000 m³ per jaar.

Ook de in fig. 5 van het verslag M 9/46 schattenderwijs getrokken krommen van het verband tusschen den zandafvoer en den waterafvoer dienen op grond van de nieuwere gegevens te worden herzien. Op die wijze wordt verkregen fig. 2b, waarin - op dezelfde wijze als in fig. 5 van M 9/46 - is voorgesteld:

de zandverplaatsing per etmaal bij elke waarde van den waterafvoer Q volgens de beide genoemde metingen;

de partieele frequentiekromme van Q, welke aangeeft hoeveel etmalen per jaar de afvoer ligt tusschen twee grenzen, die telkens 50 m³/sec uiteen liggen;

-
- 1) ir. E.M.H.Schaank en ir. G.Slotboom.
Enkele mededeelingen betreffende de zandbeweging op den Neder-Rijn. De Ingenieur 1937, nr. 51.
 - 2) ir. A.G.Maris.
Zand- en waterbeweging op de Lek bij Wijk bij Duurstede. De Ingenieur 1937, nr. 24.

de hoeveelheid zand, die per jaar wordt verplaatst bij elken afvoertrap van $50 \text{ m}^3/\text{sec}$.

De laatste lijn is verkregen door met elkaar te vermenigvuldigen de gemiddelde zandverplaatsing per etmaal uit de beide metingen bij elken afvoertrap en het aantal etmalen dat die afvoertrap optreedt.

De partiële frequentiekromme van Q is daarbij - evenals in het verslag van M 9 en M 46 - gebaseerd op de waarnemingen uit het tijdvak 1921-'30.

Eenige correctie is ingevoerd om de invloed van de uitzonderlijk lange laagwaterperiode in 1921 te verzwakken.

Uit de zoo verkregen "zandfrequentiekromme" volgt dan een gemiddelde jaarlijksche zandafvoer van 280.000 m^3 .

Uit de nieuwe metingen volgt in de eerste plaats, dat reeds bij belangrijk lagere afvoeren zand wordt getransporteerd dan bij de vroegere beschouwingen was aangenomen. Ir. Maris geeft het begin van het transport reeds bij een afvoer van omstreeks $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ aan; de Arnheemsche schrijvers bij omstreeks $150 \text{ m}^3/\text{sec}$. Bij afvoeren van meer dan 500 m^3 per sec is echter volgens beide metingen de zandafvoer belangrijk kleiner dan de destijds geschatte. Het gevolg hiervan is, behalve een kleiner jaarlijksch transport, een verschuiving van de zandfrequentiekromme. De top van die kromme (d.i. de afvoer die in het totale zandtransport het grootste aandeel heeft) verschuift van $625 \text{ m}^3/\text{sec}$ naar $550 \text{ m}^3/\text{sec}$. Het duidelijkst komt de verschuiving tot uiting in de lijnen, die de totale zandafvoer in tien gelijke deelen verdeelen. Het belangrijkste deel van het transport, de helft van het totaal, vindt plaats bij afvoeren tusschen 400 en $700 \text{ m}^3/\text{sec}$ (volgens de vroegere schatting tusschen 500 en $800 \text{ m}^3/\text{sec}$).

Ten aanzien van e, het dwarsprofiel, zijn peilingen van lateren datum gebruikt, dan die, welke bij het model 46 als grondslag hebben gediend. Het middendeel van het model, tusschen km 70 en km 72 is gemaakt naar de peilingen

van 1931; de uiteinden naar die van 1934.

In Augustus 1939, nadat het geheele onderzoek was afgelopen, werd van den opdrachtgever een gewijzigde frequentielijn voor de waterstanden ontvangen, welke was gebaseerd op de waterstanden van 1937 in combinatie met den gemiddelden afvoer uit de periode 1924 tot en met 1937. Deze lijn is, evenals de bij het onderzoek toegepaste, opgenomen in fig. 2a.

Hieruit blijkt dat over de geheele linie de rivierstanden niet onbelangrijk zijn gedaald. Uiteraard kon hiermee bij de proeven geen rekening meer worden gehouden. In hoeverre de verandering der waterstandsfrequenties invloed heeft op de conclusies, wordt in par. 13 nader behandeld.

De toegepaste benamingen zijn dezelfde als in het verslag van M 9/46 (fig. 2a van dat verslag).

2. Geschiedenis van het onderzoek.

Met het voorbereiden van de modelproef was reeds begonnen geruimen tijd voor de formeele opdracht werd verstrekt. Nadat dit in October 1936 was gebeurd, kon in November d.a.v. met den modelbouw worden begonnen. Op 25 Februari 1937 was het model zoover gereed, dat in het zomerbed water kon worden toegelaten. De uiterwaarden waren toen nog niet voltooid.

Nadat nog een aantal aanvullende werkzaamheden aan het model waren verricht, werden in April en Mei proeven uitgevoerd ter controle van de waterbeweging en het gedrag van het bodemmateriaal in het model. Begin Juni waren deze tot een bevredigend einde gebracht en waren ook de uiterwaarden gereed gekomen. In die maand en in het begin van Juli werd vervolgens de toestand bij hooge afvoeren doorgemeten. Daarna werd de kanaalkruising in het model aangebracht.

Op 7 Augustus kon weer water in het model worden toegelaten. Van dien datum tot half October werden voornamelijk proeven met groote rivierafvoeren uitgevoerd. Deze be-

troffen zoowel de stroomgeleiding als de opstuwung. Nadat zij waren geëindigd, werden stroommetingen en proeven omtrent de bankvorming in verschillende toestanden verricht. Gelijkzeitig daarmee en erna vonden metingen plaats omtrent slingeren van de watermassa's in de kruising en de voorhavens en van de uitwisseling van water tusschen den stroom in den overgang en de voorhavens.

Het onderzoek werd met enkele onderbrekingen gedurende het geheele jaar 1938 en het eerste kwartaal van 1939 voortgezet. In Mei 1939 werd nog een aantal aanvullende metingen verricht, waarna het onderzoek werd beëindigd op 17 Mei 1939. Vervolgens werd het model afgebroken.

De bouw van het model vond plaats onder leiding van ir. J.A.P.A.Schermer, die ook een deel der proeven verrichtte. Daarna werd het onderzoek voortgezet door ir. W. Nctenboom en vervolgens door ir. H. Kroemer.

Dit verslag werd samengesteld door ir. J.B.Schijf.

3. Kort overzicht van de uitkomsten.

I. In het model overeenkomstig den oorspronkelijken toestand, dus zonder kruising, zijn metingen verricht, die een vergelijking mogelijk maakten tusschen de verschijnselen in het model en de op de rivier verrichte waarnemingen (punt 1 van de doelstelling). Dit deel van de proeven is behandeld in par. 8. Het heeft geleid tot de conclusie, dat, ondanks niet onbelangrijke plaatselijke verschillen in de waterbeweging, het algemeene gedrag van de strooming in het model voldoende met de waarnemingen in de rivier overeenstemde om als grondslag voor het verdere onderzoek te kunnen dienen.

IIa. Om de rivier ter plaatse van de kruising (de overgang) met zoo weinig mogelijk baggerwerk op voldoende diepte te houden, is het noodig dat de stroom daar regelmatig is en zoodanig geconcentreerd, dat in het algemeen de gemiddelde snelheid niet kleiner is dan die in de rivier.

Hiervoor is over het algemeen het op grond van de vroegere proeven aanbevolen ontwerp geschikt.

*Model en
waarneming
overeen*

Een belangrijke verbetering wordt in dit opzicht verkregen door het verhoogden van de dammetjes bij de bovenstroomsche hoeken van de voorhavens (koppen A) tot het peil der aansluitende plateaux, d.i. N.A.P. + 4,65 m.

Vermindering van de rivierbreedte tusschen deze koppen van de als standaard aangenomen maat van 95 m tot 85 of 80 m heeft een gunstigen invloed op de te baggeren hoeveelheid.

Wanneer niet kan worden vertrouwd op den weerstand van den kleibodem tegen uitschuren door het om en over de koppen A stroomende water, is het noodig een bezinking aan te brengen.

De geleiding door bekleede oevers (strekdammen) boven de koppen A kan korter worden gemaakt dan oorspronkelijk was aangegeven, zonder de goede geleiding van den stroom in hinderlijke mate te storen.

Een en ander is behandeld in par. 10; in par. 13 wordt een globale schatting gemaakt van het zandbezwaar in den overgang. Op grond van de waterstandsfrequenties van 1921-1930 komt men op een afzetting van 60.000 m^3 per jaar, wanneer de koppen A op 95 m afstand liggen; wanneer die afstand 85 m is, wordt deze hoeveelheid verminderd tot 10.000 m³. Het is niet zeker, hoe deze waarden veranderen, wanneer de lagere waterstanden van 1937 in aanmerking worden genomen. Bij de wijde rivier zal de orde van grootte niet veranderen; of het kleine getal voor de nauwe rivier kan worden gehandhaafd is echter niet zeker.

*in
bezinking
sandaafzetting
is 85 m niet
te verhoogen*

b. De afzettingen van vaste stoffen ter weerszijden van den eigenlijken overgang, dus in de voorhavens buiten de normaallijnen (par. 10 en 11) worden veroorzaakt, doordat die stoffen dicht bij de zijkanten van den doorgaanden stroom komen en dan tengevolge van de gestadige uitwisseling tusschen water van de rivier en van de voorhavens in die havens geraken.

Bij de vroegere proeven was gebleken, dat het langs den bodem getransporteerde zand naar het midden van de ri-

vier wordt afgeleid door lage koppen A. Wenscht men deze koppen hoog te maken om de aanzanding in den overgang te verminderen, dan moet worden gerekend op grootere zandhoeveelheden in de grensgebieden, zoodat ook meer zand door de uitwisseling in de voorhavens geraakt.

De uitwisseling wordt bevorderd door slingeren van de watermassa's in de voorhavens en de daartegen aansluitende buitensluiskanalen. Dit slingeren wordt in het model relatief te sterk weergegeven, tengevolge waarvan ook te veel zand in de voorhavens komt. De in het model waargenomen zandhoeveelheden moeten daarom worden gereduceerd en daar de correctie onzeker is, staat ook de te verwachten hoeveelheid niet vast. In par. 13 is een hoeveelheid genoemd van 15.000 m^3 per jaar.

Rechtstreeksche metingen omtrent het neerzetten van slib in de voorhavens zijn in het model niet gedaan. Daar het slib in zwevenden toestand wordt getransporteerd, kan een voorspelling voor de aanslibbing worden gebaseerd op het slibgehalte van het rivierwater en de uitwisseling.

De metingen van deze grootheid in het model (par. 11) moesten wederom worden gecorrigeerd voor de te sterke slingering. Wanneer deze en andere bronnen van onzekerheid zoo goed mogelijk worden gewaardeerd, blijkt dat 3 tot 5 procent van het door de rivier afgevoerde water gedurende korter of langer tijd in elke haven terecht komt.

Een globale berekening (par. 13) voert dan tot het resultaat dat per jaar in de beide havens tezamen een afzetting van 50.000 m^3 slib wordt verwacht.

c. De metingen, die betrekking hebben op de geleiding van het water bij hoge rivierstanden en op de door de kruising veroorzaakte opstuwning zijn behandeld in de paragrafen 10 en 9.

In de van de vroegere proeven overgenomen situatie (T 1) veroorzaakt het van de linker uiterwaard komende water onregelmatige stroomen in het zomerbed onmiddellijk boven den overgang en dientengevolge ongewenschte verplaat-

Achiel TV blz. 33?

8 em. rekenen door Zomerbedenlij?

singen van zand. Dit verschijnsel wordt tot een toelaatbare waarde teruggebracht door het aanleggen van een leidam, beginnend op het punt waar de veerdam de linker zomerkade snijdt, waarvan de kruinshoogte oploopt van het peil van den veerdam tot boven den hoogsten waterstand en die eindigt bij het rivierwaartsche uiteinde van den dam die de linker voorhaven aan de bovenstroomsche zijde begrenst (toestand 3, figuur 14).

Op de waterstanden bij den grootsten afvoer van $2900 \text{ m}^3/\text{sec}$ heeft deze dam nagenoeg geen invloed. Deze waterstanden worden door de aanwezigheid van de werken voor de kruising bovenstrooms daarvan verhoogd en wel in het zomerbed bij km 70 met 15 cm. Deze waarde geldt voor water-vrije dijken langs de voorhavens en buitenkanalen en een afstand van 95 meter tusschen de koppen A. Worden deze dicht bij elkander gebracht, dan is de opstuwing groter. *203 cm*. Daarentegen kan de opstuwing worden verkleind door verlagen van de plateaux bij de koppen A en nog meer door het maken van lage gedeelten in de dammen langs de buitenkanalen. Een en ander is aangegeven in tabel 1 (par. 9).

Op de linker uiterwaard, waar de waterstand relatief laag is, moet plaatselijk een grootere verhooging worden verwacht. Het grootste verschil komt voor langs het korte stukje bandijk tusschen den veerdam en de kruising, namelijk 27 cm (bij 15 cm in het zomerbed, figuur 22).

Bij de beoordeeling van de opstuwing moet men in het oog houden, dat sinds het hooge water in 1926 het zomerbed omstreeks 30 cm is gedaald, tengevolge waarvan bij een afvoer van $2900 \text{ m}^3/\text{sec}$ thans zonder kruising een stand zou worden bereikt van ongeveer 8 cm lager dan die van 1926.

De metingen en beschouwingen, waarop de vermelde conclusies berusten, zijn vermeld in de volgende paragrafen 4 tot en met 13.

Tot slot moet worden gezegd, dat door de verrichte, zeer uitvoerige, proeven zorgvuldig is getracht de onzeker-

heden, die ten aanzien van de beweging van water, zand en slib bij de kruising bestaan, zoo veel mogelijk te verminderen, maar dat er geen sprake van is dat thans ten aanzien van deze verschijnselen zekerheid bestaat. In verband met de onvermijdelijke verschillen tusschen model en werkelijkheid mogen geen quantitatieve conclusies over diepten van uitschuring, te baggeren hoeveelheden en dergelijke worden getrokken.

De proeven verschaffen gegevens om uit de vele oplossingen voor de kruising diegene te kiezen, die de minste kans op teleurstellingen biedt; deze kans opheffen kunnen zij niet.

-o-o-o-o-

HOOFDSTUK II. Het model en de metingen.4. Grenzen en schalen.

Wegens de noodzakelijkheid de grootste rivierafvoeren in het onderzoek te betrekken, was het in de eerste plaats geboden, dat het model reikte van bandijk tot bandijk. Voor de keuze van de bovenstroomsche grens van het model geldt de eisch dat het riviergedeelte bovenstrooms van de kruising zoo lang moet zijn, dat nabij de kruising de juiste beweging van water- en bodemmateriaal is gewaarborgd. De strooming over het winterbed staat zeer sterk onder den invloed van den veerdam bij km 70,4, zoodat het daarvoor niet noodig zou zijn het model belangrijk verder bovenstrooms uit te strekken dan dit punt. Voor het verkrijgen van den juiste stroomtoestand in het zomerbed was dit echter wel noodzakelijk. De as van de kruising ligt bij km 70,9, het begin van de bij de kruising behoorende werken bij km 70,5. De normaalbreedte van de rivier ter plaatse bedraagt 140 m. Wanneer men den eisch zou stellen, dat de afstand van de modelgrens tot het begin van de kruisingswerken acht maal de rivierbreedte moet bedragen, dan komt men tot km 69,4. Om rekening te houden met de onregelmatigheden bij de instrooming van het water is de grens nog wat verder bovenstrooms gelegd, n.l. bij km 69,2.

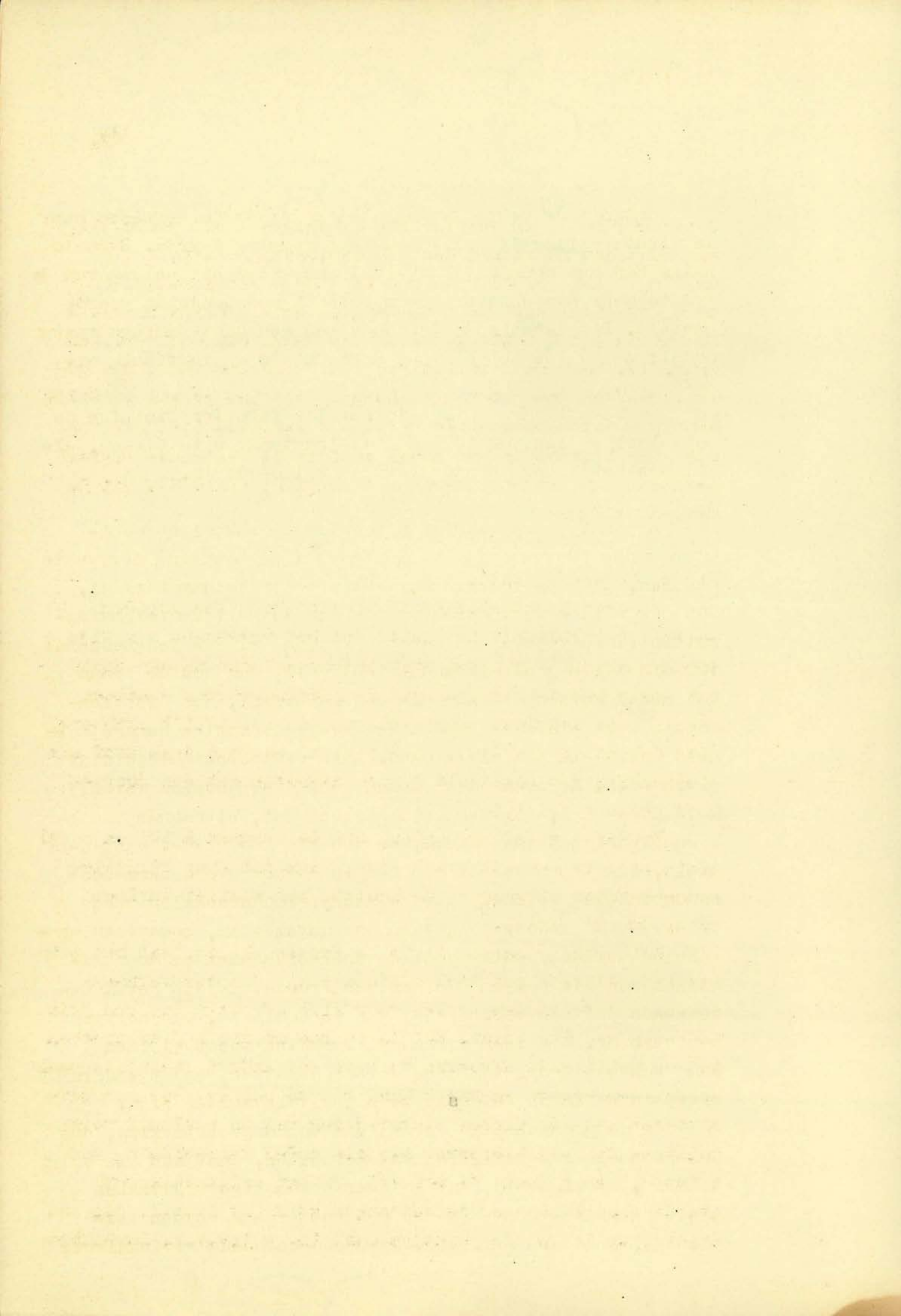
Voor de keus van de benedengrens was het winterbed maatgevend. Om den invloed van de breede uiterwaard aan den rechteroever beneden Wijk bij Duurstede op de juiste wijze in het model te kunnen weergeven, werd het model voortgezet tot km 72,8, waar de uiterwaard zich begint te versmalen en waar bovendien door de daar aanwezige steenfabriek, een gedeeltelijk verhoogde weg en enkele dammen een groot deel van den stroom over de uiterwaard weer in de rivier wordt gedrongen. Later, nadat de proeven met de groote afvoeren waren beëindigd, werd om ruimte te winnen voor andere modellen de benedengrens teruggebracht tot km 72,1.

Omtrent de keuze der schalen moge worden verwezen naar de uiteenzetting in par. 5 van het verslag M 9/46. Evenals zulks bij het model 46 het geval was, werd het belang van de juiste weergave der verticale bewegingscomponenten voorop gesteld. Dit beteekende den bouw van een niet-samengetrokken model: eenzelfde schaal voor horizontale en verticale afmetingen.

De beschikbare ruimte in het laboratorium liet toe de schaalverhouding van 100 voor de lengtematen te kiezen, die volgens het bovengenoemde verslag voldoende is.

Bij het thans besproken modelonderzoek zijn rechtstreeksche proeven uitgevoerd omtrent de beweging der vaste stoffen, althans voor zoover betreft het bodemmateriaal. Zou men willen vasthouden aan de met de gelijkvormigheids-wetten (in dit geval de wet van Froude) uit de lengteschaal 100 afgeleide snelheidschaal $100^{\frac{1}{2}} = 10$, dan zou de bodem in het model moeten bestaan uit een materiaal, dat bij tienvoudig verkleinde snelheden een overeenkomstige bewegelijkheid bezit als het rivierzand. Zulk een materiaal is niet voorhanden. Er moest daarom een tegenovergestelde werkwijze worden gevolgd, welke hierin bestond dat, uitgaande van het beschikbare modelmateriaal, de schalen zoo werden vastgesteld, dat in het model een met de natuur overeenkomende bodembeweging optrad. Waar de geometrische schalen reeds op grond van andere overwegingen vaststonden, moest die aanpassing worden bereikt door de snelheidschaal te doen afwijken van die volgens de wet van Froude. In dit geval beteekende dit een versterking van de snelheid, dus ook van het verhang. Met deze verhangversterking moest bij den bouw van het model rekening worden gehouden, omdat anders afwijkingen in de watersdiepte het gevolg zouden zijn.

Om de noodzakelijke graad van verhangversterking, dus ook de snelheidschaal, te kunnen bepalen, gaat men als volgt te werk. De eisch is, dat in overeenkomstige tijdvakken overeenkomstige hoeveelheden bodemmateriaal worden verplaatst. Wanneer bijv. Z de door een bepaalde rivierafvoer



Q tijdseenheid per verplaatste zandhoeveelheid voorstelt, dan moet het model bij den overeenkomstigen afvoer $q = Qn_1^{-2}n_v^{-1}$ een hoeveelheid $z = Zn_1^{-2}n_v^{-1}$ verplaatsen. (n_1 en n_v stellen resp. voor de lengte- en snelheidschaal). Z is bekend als functie van Q uit de verrichte waarnemingen (par. 1). Voor het bepalen van z als functie van q kan gebruik worden gemaakt van de te dien aanzien zoowel te Delft als in andere laboratoria verrichte stelselmatige proeven. Ook zijn hiertoe in het model zelf in de bestaande rivier metingen van het bodemtransport verricht (par. 8). Uit de vergelijkingen:

$$Z(Q) : z(q) = n_1^2 n_v = Q:q$$

kan n_v worden bepaald.

Hierbij wordt steeds een moeilijkheid ondervonden, welke voorspruit uit het feit, dat het vervangen van fijn bodemmateriaal - wil men niet zijn toevlucht moeten nemen tot een sterk overdrijven van de modelsnelheden - alleen mogelijk is door het toepassen van een soortelijk lichtere stof dan het rivierzand. In dit geval bestond deze stof uit bimskorrels van gemiddeld 0,2 cm diameter met een soortelijk gewicht van 1,40.

Er wordt steeds gevonden, dat de krommen $Z(Q)$ en $z(q)$ niet onderling gelijkvormig zijn, maar dat - op dimensielooze schalen uitgezet - de laatste een steiler verloop toont dan de eerste.

Het gevolg daarvan is in de eerste plaats, dat het nimmer kan gelukken een snelheidschaal n_v (dus een verhangschaal n_i) te vinden, welke voor alle afvoeren tot een juiste bodembeweging leidt. Het is daarom noodig bij de proeven met verschillende afvoeren telkens een andere snelheidschaal en dus een andere verhangschaal toe te passen. Bij grotere afvoeren kan met minder overdrijving van de snelheid worden volstaan dan bij kleinere. Bij dit model varieerde n_v van 7 tot 4,5 en n_i van $1/2$ tot $1/5$. In het volgende wordt steeds gesproken over de verhangversterking (v.v.), die het omgekeerde is van de verhangschaal ($n_i = 1:v.v.$). Bovendien

werden enkele controleproeven verricht zonder verhangversterking ($n_1 = 1$, $n_v = 10$) en met verhangversterking ($n_1 = 1/9$, $n_v = 3,3$). Bij den bouw van het model was gerekend op een gemiddelde verhangversterking 3.

Maar ook wanneer bij een bepaalden afvoer de snelheidsschaal zoo is gekozen, dat de algemeene bodembeweging in het model de juiste is, dan blijven tengevolge van het verschillende verloop der z-krommen afwijkingen in de details bestaan. Zooals reeds werd gezegd verloopt de kromme voor bims steiler dan voor zand. Op plaatsen met kleine snelheden is daardoor de bodembeweging te gering, op plaatsen met groote snelheid te sterk. Het gevolg is dat het bodemrelief wordt geaccentueerd: de geulen worden te diep en de banken te hoog. In welke mate dit precies gebeurt, is bezwaarlijk aan te geven.

5. Inrichting van het model.

De uiterwaarden en die deelen van het zomerbed waar geen bodembeweging werd verwacht, werden op de juiste hoogte afgewerkt met cementmortel op een vulling van puin en zand (fig. 4 en 5). Alle voor den afvoer over de uiterwaarden van belang zijnde terreinomstandigheden, zooals slooten, harde wegen, boomengroepen, rietvelden, opstallen enz. werden zoo nauwkeurig als noodig was nagebootst. De kribben werden van te voren in een bekisting vervaardigd van cement en grindzand (fig. 6), zoodat een ruw oppervlak werd verkregen in overeenstemming met de steenbekleding in werkelijkheid. Zij werden vooraf gesteld en vervolgens in de bekleding der uiterwaarden opgenomen (fig. 4). Het eigenlijke rivierbed bestond, zooals reeds in de vorige paragraaf is beschreven, uit bimskorrels met een gemiddelde diameter van 0,2 cm. Om de benoodigde hoeveelheid bims te beperken, werd dit aangebracht op enkele platte lagen baksteen. Op die plaatsen, waar uitschuringen ontstonden tot op deze baksteen, werden de steenen voor zoover noodig weggenomen en door bims vervangen. Het rivierbed kon met behulp van houten contramallen onder profiel worden gebracht

volgens de in werkelijkheid verrichte peilingen (fig. 7). Het zou bezwaren opleveren, wanneer het zomerbed reeds onmiddellijk bij het begin van het model uit bims zou bestaan. Het water is daar tengevolge van het passeeren van meet- en regelinrichtingen nog zeer sterk turbulent en heeft in verband daarmee een abnormaal groot vermogen om vaste stoffen te transporteeren. Om plaatselijk sterke uitschuring te voorkomen is daarom de bodem van het zomerbed over bijna 5 meter (tot ongeveer km 69,7) niet van bims, maar van grind gemaakt.

Tijdens de proeven, waarbij in de kruising een kleibed was verondersteld, werd in dat gebied de bimsbodem vervangen door een vlak afgewerkte vlijlaag van baksteen.

De watertoevoer vond plaats in tweeën (fig. 3 en 9). Die naar het zomerbed bestond in hoofdzaak uit een meetgoot met cirkelvormige stuw, een inloopbak met horizontalen overlooprand en een van een groot aantal gaten voorziene regelbak. Door het afsluiten van een aantal dezer gaten kon de stroomverdeeling over de rivierbreedte worden geregeld.

Een afzonderlijke toevoer diende voor de voeding van de linker uiterwaard. Deze bestond uit een meetgootje met driehoekige stuw, waaruit het water eveneens stortte in een inloopbak met horizontale overlooprand en vervolgens in een over de geheele breedte van de uiterwaard reikende van gaten voorziene regelbak. Ook hier werd de verdeeling in de breedte verkregen door het afsluiten van een aantal gaten. Fig. 9 toont de beide toevoerinrichtingen in bedrijf.

De waterafvoer uit het zomerbed werd geregeld door middel van een stuw, welke zoo was bemeten en opgesteld, dat zijn afvoerkromme bij een bepaalde snelheidschaal juist overeenkwam met de afvoerkromme van de werkelijke rivier over 1921-1930. Op die wijze stelde zich bij het toelaten van een bepaalde afvoer automatisch de bijbehorende waterstand in. Twee van dergelijke stuwen werden vervaardigd: één voor de verhangversterking 3 (snelheidschaal 5,77) en één voor de verhangversterking 5 (snelheidschaal 4,48).

De waterafvoer over de uiterwaarden werd geregeld door middel van een stapeling van baksteen. Fig. 11 toont de afvoerinrichtingen in bedrijf.

6. Metingen en meetmethoden en hun nauwkeurigheid.

De grootheden, welke bij de proeven moesten worden gemeten, waren:

- a. het debiet (watertransport),
- b. waterhoogten,
- c. stroomsnelheden,
- d. het bimstransport,
- e. de bodemligging,
- f. de uitwisseling van water tusschen rivier en voorhavens, terwijl voorts nog bijkomstige waarnemingen werden gedaan.

a. De debieten werden, voor zomerbed en uiterwaarden afzonderlijk, gemeten met behulp van de beide meetgoten, welke deel uitmaakten van de inrichtingen voor den watertoevoer. De meetgoot voor het zomerbed was voorzien van een cirkelvormige meetstuw met een straal van 18 cm, die van de uiterwaard van een driehoekige stuw met een hoek van 90° . Van beide stuwen was de ijking bekend. De nauwkeurigheid van de debietbepaling is van de orde van grootte van een procent.

b. De meting van de waterhoogten was in de eerste plaats van belang voor het bepalen van het rivierverhang. Daartoe was in elke kilometerraai in de as van de rivier een peilnaald opgesteld (fig. 3). Voor het bepalen van de door de kruising met bijkomende werken veroorzaakte opstuwung waren deze niet toereikend. Om die reden werd ook boven de uiterwaarden een aantal peilnaalden aangebracht (fig. 3). Bovendien werden hiertoe waarnemingen gedaan met een verplaatsbare peilnaald, waarvan de stand met een waterpastroestel werd bepaald. De nauwkeurigheid der peilnaaldwaarnemingen bedraagt enkele tienden millimeters, wat overeenkwam met enkele centimeters in de werkelijkheid.

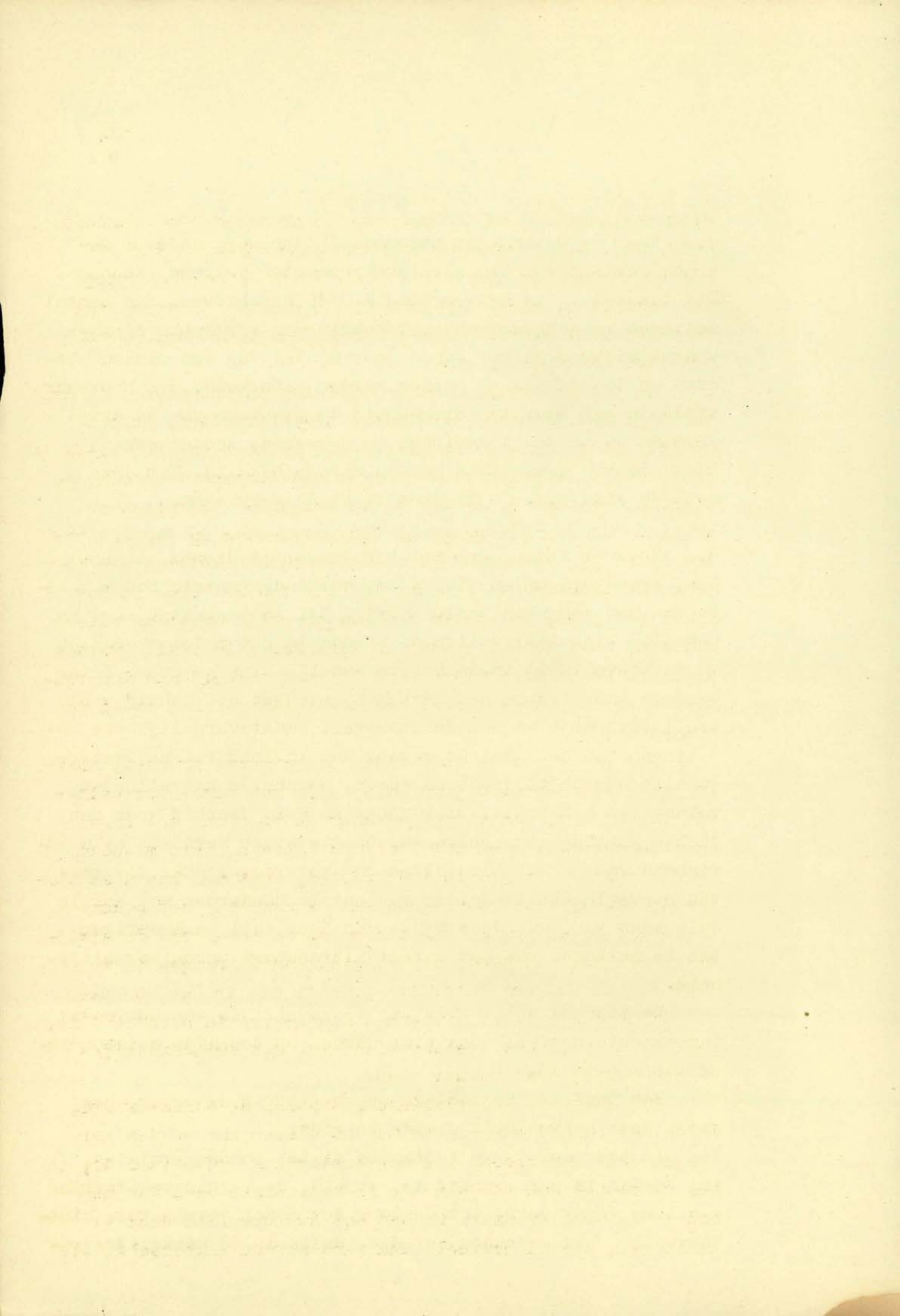
c. Voor de meting der stroomsnelheden werd wederom gebruik gemaakt van een slingerstroommeter volgens Jacobsen. Dit toestel is in het verslag M 9/46 beschreven. Een aantal metingen is ook verricht met behulp van verlichte oppervlakedrijvers welke banen door middel van een camera obscura op doorschijnend papier werden geteekend. Een hoorbaar tijdsein gaf daarbij gelegenheid de plaatsen van de drijvers op bepaalde tijdstippen te noteeren, zoodat ook de snelheden op deze wijze konden worden bepaald. Met deze methode zijn o.a. de figuren 41 en 42 verkregen.

d. Voor de meting van het bimstransport diende een houten bak, breed 9,5 cm en diep 4 cm, welke de geheele bodembreedte van het zomerbed besloeg (fig. 3). Aanvankelijk werd na bepaalde tijdsintervallen de stroom in het model stopgezet en de hoeveelheid in de bak verzamelde bims gemeten. Later werd de bak tijdens het stroomen geledigd met behulp van een luchtpompje en een zuigtoestel. Omdat vergelijkbare bepalingen van het gewicht wegens den invloed van het watergehalte daarop tijdroovend waren, werden de hoeveelheden volumetrisch bepaald. Door schudden werd daarbij voor een dichte pakking zorg gedragen. Op die wijze werd een nauwkeurigheid van enkele tientallen cm^3 verkregen. Waar de gemeten hoeveelheden wisselden van enkele honderden tot enkele duizenden cm^3 , was deze wijze van doen veel nauwkeuriger dan de metingen van het materiaaltransport in de werkelijkheid.

De tijdens de proeven aan de bovenzijde van het model ingebrachte hoeveelheden bims werden op dezelfde wijze volumetrisch bepaald.

Een punt van bijzondere overweging is de vraag, hoe groot deze hoeveelheid diende te zijn.

In toestand 0, de bestaande rivier zonder kruising, is, zooals in paragraaf 4 is vermeld, de verhangversterking zoo lang gevarieerd, tot de door het model verplaatste bims-hoeveelheid overeenkwam met die, welke in de werkelijke ri-



vier was gemeten, of althans uit de metingen was afgeleid (fig. 2b). Dit geschiedde met een waterafvoer Q van $375 \text{ m}^3/\text{sec}$ en met een van $500 \text{ m}^3/\text{sec}$. Nadat overeenstemming was verkregen, bleek het rivierbed ongeveer in evenwicht te verkeerren: er trad noch belangrijke verondieping, noch ernstige uitschuring op.

Na het aanbrenge van de kruising in het model, in de als toestand 1 en volgende aangeduide situaties, is het moeilijker de juiste doseering vast te stellen. De eerste maal, dat uitvoerige proeven over het transport werden gedaan in toestand 3, is men op de volgende wijze te werk gegaan. Bij den overgang van den grindbodem in den bimsbodem (km 69,7, paragraaf 5) werd met tusschenpoozen van de orde van grootte van een uur telkens zooveel bims in het model geworpen, dat de in den tusschentijd ontstane uitschuring werd teniet gedaan en veranderde in eenige verondieping. De op deze wijze bepaalde hoeveelheid was dus voldoende om het dwarsprofiel bij het begin van het model te handhaven.

Bij de eerste op deze wijze uitgevoerde proeven, waarin het rivierdebiet Q groot was, zijn zoodoende hoeveelheden ingebracht, die lagen tusschen de op grond van figuur 2 berekende waarde en het tweevoud daarvan. Deze methode leidde dus tot te groote transporten, want men kan niet aannemen, dat door het aanleggen van de kruising het bodemtransport bovenstrooms zal toenemen. De reden van de afwijking ligt voor de hand; bij de plek van inbrengen is de turbulentie van het water nog grooter dan in den normalen stroom en wanneer het rivierbed als geheel in evenwicht is, zal bij km 69,7 het dwarsprofiel niet met het werkelijke overeenkomen, maar ruimer zijn.

Bij kleinere waterdebieten, wanneer de stroom rustig is en het benoodigde bims transport alleen kan worden verkregen door een groote verhangversterking (paragraaf 4), is het overschot aan turbulentie in het eerste deel van het model nog veel grooter. Om dan het dwarsprofiel daar te handhaven, moeten hoeveelheden bims worden ingebracht, die

een veelvoud zijn van de waarde die overeenkomt met het transport in de rivier zonder kruising. Een aantal metingen in toestand 3, waarbij deze methode werd gevolgd, gaven dus uitkomsten die in het geheel niet kunnen worden vertrouwd.

Daarom is in het vervolg een andere weg ingeslagen. Bij één der proeven (toestand 5) is voor een waterdebiet van $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ dezelfde hoeveelheid bims toegevoerd, die in het model zonder kruising (toestand 0) bij dat debiet juist was gebleken. Hier is dus ^{de} voor de hand liggende onderstelling gemaakt, dat het transport van vaste stoffen op het riviervak bovenstrooms tengevolge van de kruising niet verandert.

Nadien is steeds gewerkt met rivierdebieten waarbij in toestand 0 het transport niet was gemeten en verviel dus deze wijze van doen. De doseering is toen bepaald met behulp van de transportformule van Meyer-Peter (Zürich). Deze formule luidt (na eenige omwerking):

$$g = 2,16 \frac{q^{\frac{2}{3}} I}{\delta - \delta_0} - 0,96 d (\delta - \delta_0)^{7/9}$$

(g = transport van vaste stoffen in gram per sec per cm breedte,

I = verhang van den waterspiegel,

q = watertransport in cm^3 per sec per cm breedte

d = diameter van de korrels, waaruit het bodemmateriaal bestaat in centimeters,

δ = soortelijk gewicht van deze korrels,

δ_0 = soortelijk gewicht van het water).

Deze formule geeft voor de gebruikte bims goede resultaten, wanneer de korreldiameter $d = 0,1$ cm wordt gesteld.

De in paragraaf 4 beschreven werkwijze van aanpassen van de verhangversterking is nu toegepast met dien verstande, dat de uit figuur 2 afgeleide hoeveelheid niet moet overeenkomen met de in het model gemeten waarde, doch met die, welke met behulp van de formule is berekend. Deze hoeveelheid wordt tijdens de proef aan het model toegevoerd.

Ook hier is dus uitgegaan van het transport in de rivier vóór het maken van de kruising.

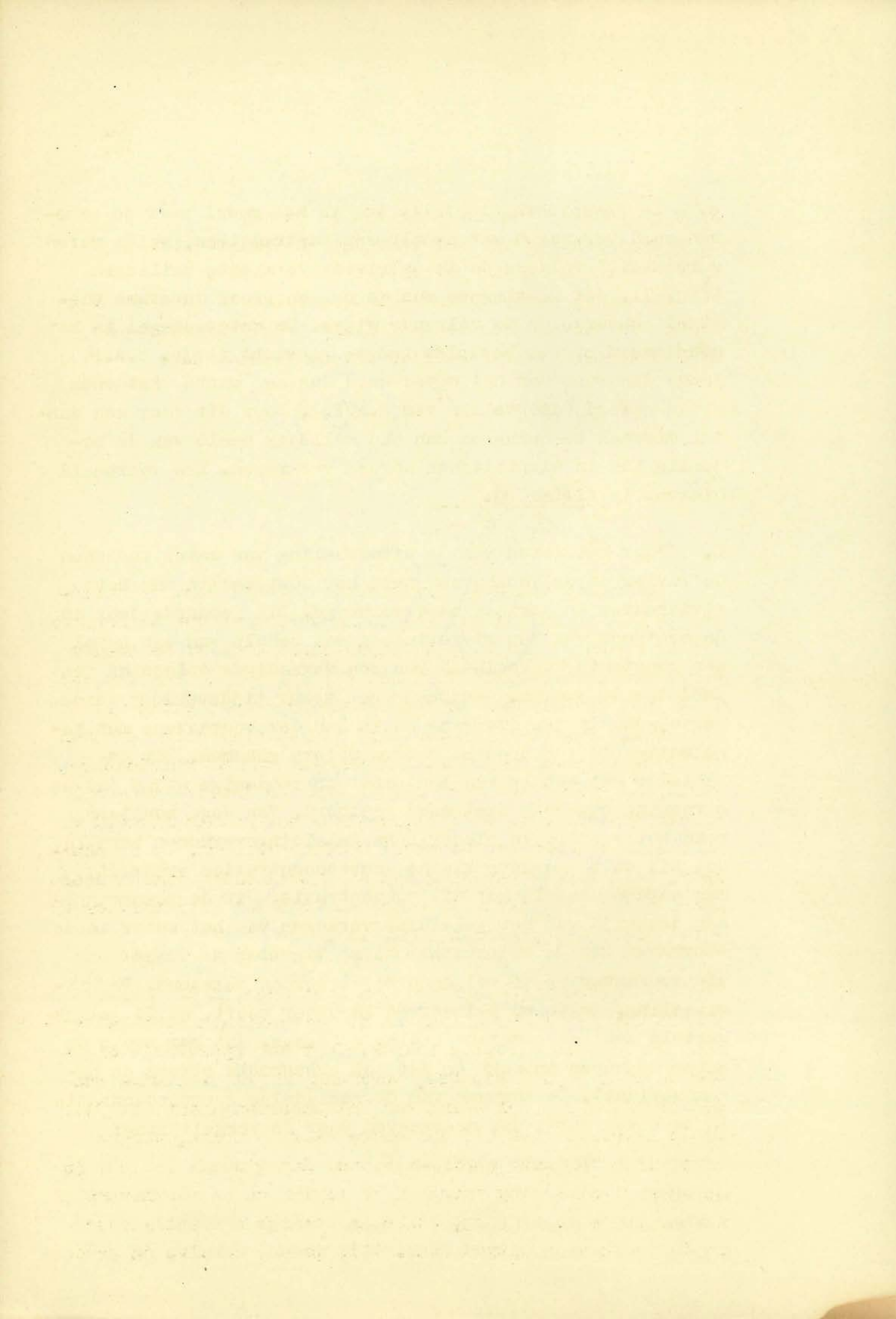
e. De gewenschte diepteligging in het model vóór de proeven werd verkregen met behulp van contramallen, welke waren vervaardigd volgens de in de rivier verrichte peilingen (fig. 7). Het vastleggen van de na een proef ontstane toestand gebeurde op de volgende wijze. De waterspiegel in het model werd op een bepaalde hoogte gebracht (bijv. N.A.P.); langs den rand van het water werd dan een witte katoenen draad gelegd (dieptelijne van N.A.P.). Door dit voor een aantal diepten te herhalen kon een volledig beeld van de bodemligging in dieptelijnen worden verkregen. Een voorbeeld hiervan is figuur 29.

f. Voor het meten van de uitwisseling van water tusschen de rivier en de voorhavens werd het zoutgehalte van het rivierwater in geringe mate verhoogd. Dit gebeurde door in de meetgoot van den rivierinloop met behulp van een hevel een constante hoeveelheid van een verzadigde oplossing van NaCl toe te voeren. Gedurende een zeker tijdsverloop werden vervolgens in den overgang en in één der voorhavens met regelmatige tusschenpoozen watermonsters genomen. Dit geschiedde met behulp van een pipet op zoodanige wijze dat de strooming nagenoeg niet werd gestoord. Van deze monsters werd het specifieke elektrische geleidingsvermogen bepaald, dat bij de toegepaste kleine zoutconcentraties evenredig mag worden gesteld met die concentratie. Uit de toeneming met den tijd van het geleidingsvermogen van het water in de voorhaven kon de wateruitwisseling tusschen de rivier en die voorhaven op de volgende wijze worden berekend. De uitwisseling, welke een pulseerend karakter heeft, wordt gelijkgesteld aan een constant bedrag q (d.w.z. dat per sec $q \text{ cm}^3$ water de haven intrekt en dat een evengroote stroom de haven verlaat). De toename van de gemiddelde zoutconcentratie in de haven wordt dan weergegeven door de vergelijking:

$$Vdc_m:dt = q(c_r - c_u)$$

waarin:

V = totaal watervolume van de haven,



c_m = gemiddelde concentratie van de haven,
 c_r = concentratie van het intrekkende rivierwater,
 c_u = concentratie van het uittrekkende water.

Dezelfde vergelijking geldt, wanneer de concentraties worden vervangen door de specifieke geleidingsvermogens (\mathcal{J}). Beschouwd over een tijdsverloop T geldt dan:

$$V (\mathcal{J}_T - \mathcal{J}_0) = q \int_0^T (\mathcal{J}_r - \mathcal{J}_u) dt$$

of:

$$q = \frac{V(\mathcal{J}_T - \mathcal{J}_0)}{\int_0^T (\mathcal{J}_r - \mathcal{J}_u) dt}$$

De teller van deze breuk wordt bepaald door de gemiddelden van de specifieke geleidingsvermogens van de monsters uit de haven te nemen op de tijdstippen 0 en T . De noemer wordt grafisch bepaald door het verloop van de waarden voor \mathcal{J} van het rivierwater en van het uittrekkende water uit te zetten als functies van den tijd en het oppervlak tusschen de beide krommen te meten. Het bepalen van de geleidingsvermogens geschiedde door middel van een daartoe op het laboratorium aanwezig toestel, waarmee een nauwkeurigheid van omstreeks 10μ S (micro Siemens) wordt verkregen. Op de nauwkeurigheid van de bepaling van de uitwisseling (welke doorgaans wordt uitgedrukt in procenten van den rivieraafvoer Q) wordt nader teruggekomen (par. 11).

De bijkomstige waarnemingen bestonden in de eerste plaats uit het zichtbaar maken der stroomingen voor het verkrijgen van een globalen indruk. Voor de oppervlakte dienden daartoe papiersnippers, voor die in het inwendige van de strooming een oplossing van kaliumpermanganaat ($KMnO_4$). Om de stroomen vlak bij den bodem waar te nemen, werden kristallen van deze stof gestrooid. Een globaal inzicht in de wateruitwisseling tusschen de rivier en de voorhavens en tevens in de slingering, welke in sommige omstandigheden in de voorhavens optrad (par. 11), gaven, behalve de genoem-

de middelen, twee katoenen draden welke op het wateroppervlak dreven en welke waren bevestigd aan elk der koppen A. Toen het gewenscht bleek deze slingeren nader te onderzoeken, werd een toestel ingericht, waarmee de schommeling van den waterspiegel in het uiteinde van een der voorhavens kon worden bepaald. Dit toestel bestond in hoofdzaak uit een vlotter van paraffine, welke zoo was bevestigd dat zijn horizontale verplaatsingen gering bleven en waarvan de verticale bewegingen moesten worden afgelezen. Daartoe werden deze bewegingen door middel van een hefboom omgezet in het draaien om een horizontale as van een spiegeltje. Aan een via een scherm met pijlvormige spleet en een convergeerende lens op dit spiegeltje geworpen lichtstraal werd daardoor een afwijking in richting gegeven, waardoor de projectie van de spleet op een schermpje met een verdeeling werd verplaatst. De verticale bewegingen van den vlotter konden daardoor met een 20-voudige vergrooting op het schermpje worden afgelezen. Door elke $2\frac{1}{2}$ seconde een aflezing te verrichten kon het verloop van de schommelingen worden vastgelegd.

7. De onderzochte situaties en de verrichte metingen.

De toestand voor het aanleggen van de kruising wordt aangeduid door toestand 0 (T 0). Toestand 1 (T 1) gaf weer de kruising volgens een voorloopig ontwerp van den opdrachtgever op grond van de uitkomsten van M 46: boven den overgang werd de rivier geleid door evenwijdige oeverbekleedingen, bij de bovenstroomsche koppen (A) waren plateaux aangelegd, aflopend van N.A.P. + 600 tot N.A.P. + 465 cm, uitlopend in dammetjes met een kruinshoogte van N.A.P. + 130 cm; de havenmonden waren 295 m wijd, langs de voorhavens en de buitenkanalen liepen watervrije dammen (fig. 13).

Van deze situatie uitgaande werden achtereenvolgens verschillende wijzigingen onderzocht; welke hieronder in tabelvorm zijn aangeduid. Zooals daaruit en uit fig. 13 t/m 17 blijkt betroffen de variaties:

lengte en hoogte der dammetjes aan de koppen A (bij

verandering van de lengte veranderde tevens de afstand uit de rivieras en de mondwijdte A-B);

lengte, hoogte en breedte der plateaux bij de koppen A; *(bovenstrooms)*

de aanleg van een leidam op den linker oever bovenstrooms van den overgang en het tracé daarvan;

de aanlegdiepte der voorhavens;

de toestand van den bodem in den overgang (beweegbaar bodemmateriaal of vasten bodem in nabootsing van een doorgaande kleilaag);

het aanbrengen van een bodemvoorziening bij de dammetjes der koppen A;

de hoogte der dammen langs de buitensluiskanalen.

Een overzicht der onderzochte toestanden is gegeven in fig. 13 t/m 17.

Tabel I (zie volgende blz.).

De metingen, die bij deze situaties zijn uitgevoerd, kunnen worden onderscheiden in de volgende groepen:

a. Waterstanden. In den regel is alleen de verhanglijn in het zomerbed vastgesteld door het meten van het peil in de as van de rivier bij de raaien km 70,0, km 71,0 en km 72,0.

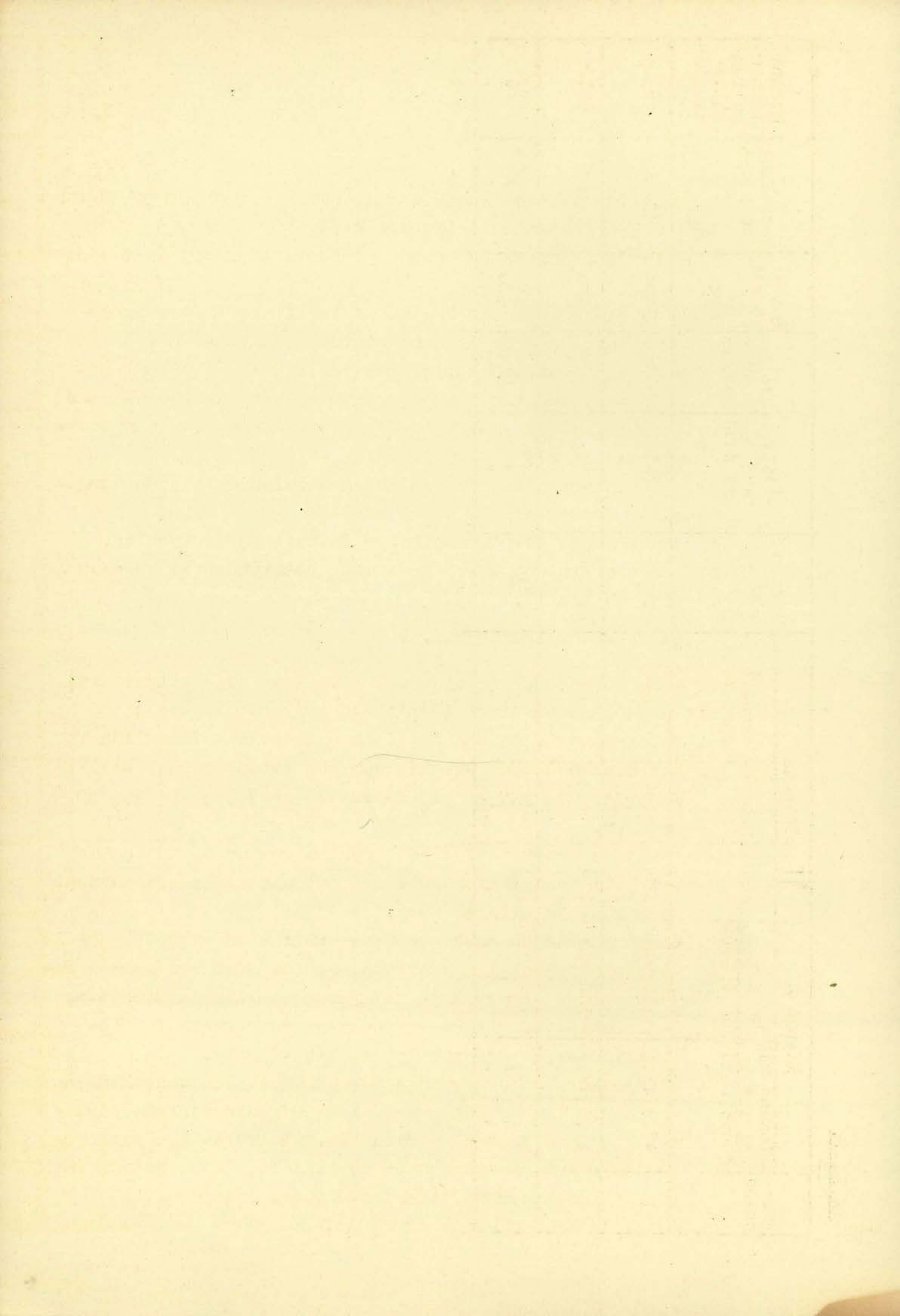
Bij de proeven voor het bepalen van de opstuwung is het peil ook gemeten op een groot aantal andere punten, vooral op de uiterwaarden.

b. Stroomsnelheden werden gemeten in raaien over de geheele diepte met den slingerstroommeter of over een geheel gebied aan de oppervlakte met gewone verlichte drijvers.

c. Zandtransport. Dit gebeurde op de in paragraaf 6 beschreven wijze met behulp van den vangbak.

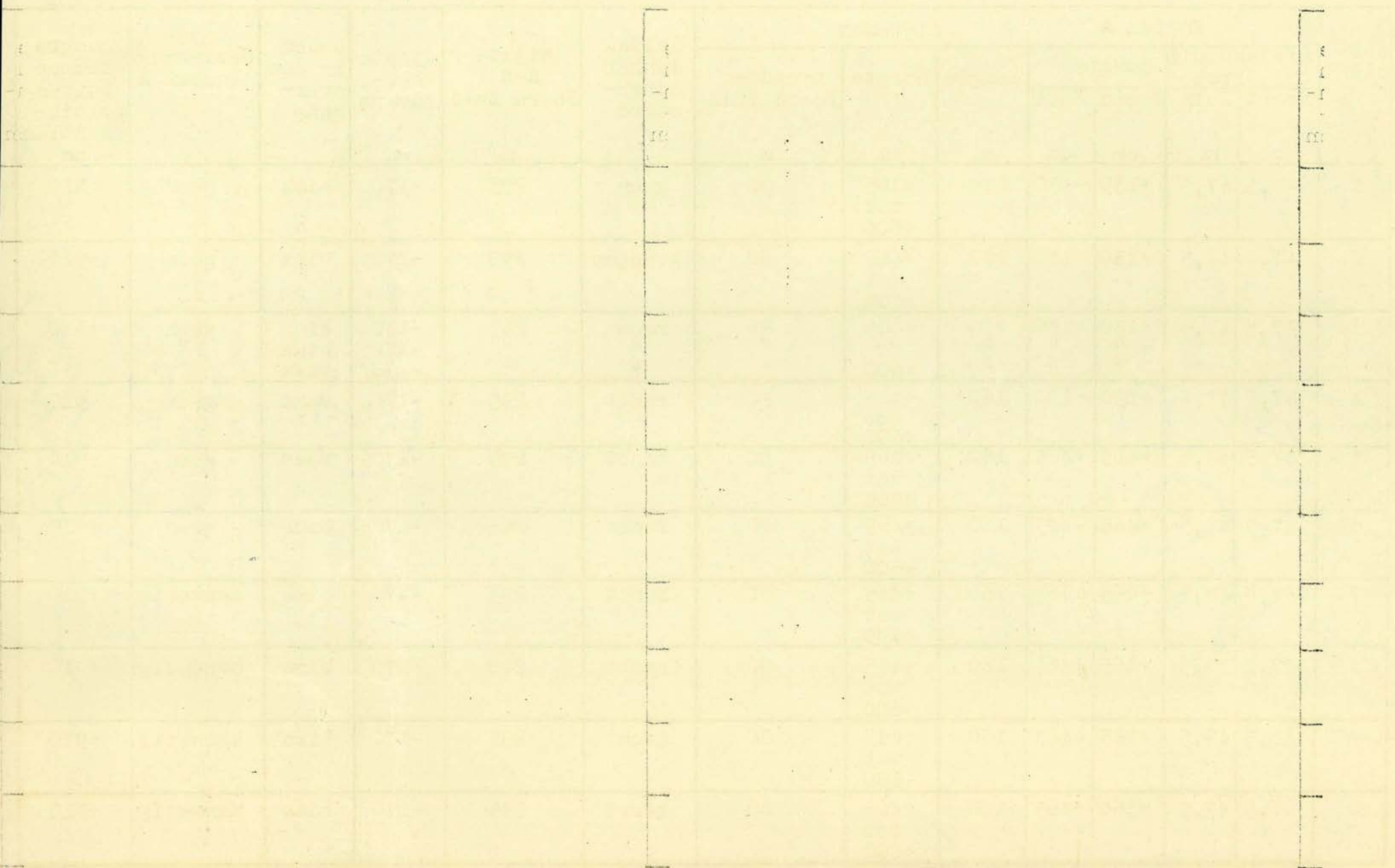
d. Slingering. Toen begonnen werd aandacht te schenken aan de slingering werden eerst globale waarnemingen gedaan met katoenen draden en drijvers. Stelselmatige metingen vonden eerst plaats met een peilnaald, later met de in par. 6 beschreven vlotterinrichting.

e. Uitwisseling van de voorhavens. Deze werd met behulp



TABEL I.

toe-stand	Koppen A				plateaux				leidam linker uiterwaard	wijdte A-B Noord Zuid	diepte voorhavens	bodem in den overgang	bezinking koppen A	hoogte dammen buiten-sluiskanalen cm
	afstand uit rivieras		hoogte		lengte	hoogte	breedte							
	Noord	Zuid	Noord	Zuid			Noord	Zuid						
m	m	cm	cm	m	cm	m	m							
1	47,5	47,5	+130	+130	270	+465 tot +600	80	80	geen	295	-170	bims	geen	+910
2	47,5	47,5	+130	+130	270	+465 tot +600	80	80	gebogen	295	-170	bims	geen	+910
3a	47,5	47,5	+130	+130	270	+465 tot +600	80	80	recht	295	-130	bims	geen	+910
b	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	-170	bims	"	"
c	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	-170	vast	"	"
4	47,5	47,5	+130	+130	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	vast	geen	+910
5	47,5	47,5	+465	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	vast	geen	+910
6	47,5	47,5	+465	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	bims	geen	+910
7	47,5	47,5	+465	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	bims	aanwezig	+910
8	47,5	47,5	+465	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	240	-170	bims	aanwezig	+910
9	47,5	47,5	+245	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	bims	aanwezig	+910
10	47,5	47,5	+360	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	bims	aanwezig	+910
11	47,5	47,5	+360	+465	160	+465 tot +600	80	80	recht	295	-170	bims	aanwezig	+700
12	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	+750
13	47,5	47,5	+360	+465	160	+465	80	125	recht	295	-170	bims	aanwezig	+910
14	40	47,5	+465	+465	160	+465	80	125	recht	280 295	-170	bims	aanwezig	+910
15	40	40	+465	+465	160	+465	80	125	recht	280 280	-170	bims	aanwezig	+910
16	47,5	47,5	+465	+465	160	+465	80	125	recht	295 295	-170	bims	aanwezig	+910



van de zoutmethode (par. 6) bepaald, hetzij in de noordelijke voorhaven, hetzij in de zuidelijke of in beide.

De verrichte metingen zijn verzameld in tabel 2 (zie volgende blz.), waarin tevens is aangegeven bij welk peil z (in km 71,0), welken afvoer Q en welke verhangversterking v.v. elke waarnemingsreeks is verricht.

-o-o-o-o-

HOOFDSTUK III. Discussie van de waarnemingen.

8. Vergelijking met de werkelijkheid.

Zooals in par. 4 is uiteengezet, moest terwille van het verkrijgen van een met de werkelijke bodembewegingen overeenkomende verplaatsing van bodemmateriaal in het model, worden ^{af}geweken van de strikte gelijkvormigheidswetten. Dit maakte het te meer noodzakelijk de gelijkvormigheid van de stroomingsverschijnselen in het model met die in de werkelijkheid door directe vergelijking te toetsen. Uiteraard kon dit alleen gebeuren in den bestaanden toestand (T O).

Behalve de contrôle op de gelijkvormigheid moet de vergelijking van model en rivier ook leveren de contrôle op het juiste aanbrenge van de randvoorwaarden in het model, d.w.z. de juiste wijze van inbrengen van water en bodemmateriaal aan het bovenstroomsche uiteinde van het model. Dit geldt zoowel voor de strooming in het zomerbed als voor de verdeling van de groote afvoeren over zomerbed en uiterwaarden.

Voor de toetsing komt in hoofdzaak de waterbeweging in aanmerking. Uit par. 4 blijkt dat de vergelijking van de verplaatste hoeveelheden bodemmateriaal juist heeft gediend tot het vaststellen van de snelheidschaal. Hieraan kan dus geen contrôle worden ontleend. In beginsel is dit wel mogelijk wat betreft de bodemligging. Hiervoor zou het nodig zijn het verloop der rivierafvoeren over langen tijd - bijv. minstens een jaar - in het model na te bootsen. Zooals uit par. 4 blijkt zou daarbij, om bij elken afvoer het juiste bodemtransport te verkrijgen, telkens met een andere snelheidschaal moeten worden gewerkt.

Van deze omslachtige en tijdroovende proeven werd afgezien, zoodat de bodembeweging alleen in zooverre een contrôle heeft geleverd, dat opvallende afwijkingen in de diepteligging in model en werkelijkheid niet voorkwamen.

Voor de gelijkvormigheid van de waterbeweging in het zomerbed is het vereischt dat zoowel de stroomingstoestand op bijzondere punten, zooals bijv. in kribvelden, als de ver-

deeling der snelheden over een willekeurige doorsnede in overeenstemming zijn met de werkelijkheid.

Het eerste is eveneens gebeurd in de modellen 9 en 46 (zie par. 9, verslag M 9/46). Ook thans vertoonden de kribvelden een bevredigend met de werkelijkheid overeenstemmend stroombeeld.

Voor het vergelijken van de snelheidsverdeeling was ter beschikking een aantal door den Rijkswaterstaat in de jaren 1932 tot en met 1935 verrichte uitvoerige snelheidsmetingen in de raaien 70,000 en 71,000. Deze metingen hadden plaats gevonden bij waterstanden van N.A.P. + 150 cm tot + 600 cm. Ter vergelijking dienden de in het model verrichte snelheidsmetingen met den slingerstroommeter (par. 7) in raai 71,000. Deze raai was daartoe beter geschikt dan raai 70,000, omdat de laatste zich te dicht bij het inloopgedeelte van het model bevond.

In fig. 19 zijn de uitkomsten van de metingen in de rivier en van die in het model in den vorm van isotachenprofielen naast elkaar gesteld. Van de waarnemingen in de rivier zijn telkens die van waterstandsgroepen van 50 cm bijeengenomen. In het model is gemeten bij een ongeveer in het midden van elke groep gelegen stand.

Bij bestudeering van de figuur blijken er vrij groote verschillen te bestaan tusschen de beide reeksen van metingen. Het valt op, dat in de rivier over het algemeen wat grooter snelheden zijn waargenomen dan in het model. Dit zou er op wijzen dat in de meetperiode in de rivier de afvoerkromme welke aan de metingen in het model ten grondslag is gelegd (zie par. 2, verslag M9/46) niet meer geldig was (par. 13). Van meer belang is, dat ook in andere opzichten afwijkingen in het verloop der isotachen bestaan. Zoo vertonen de isotachen in het model in het algemeen een regelmatig beeld dan die in de rivier, waar zij nog al eens van verticaal tot verticaal omhoog en omlaag gaan. Dit kan eensdeels het gevolg zijn van het feit, dat in de rivier elk profiel bestaat uit een samenstelling van een aantal bij eenigszins uiteenlopende afvoeren verrichte metingen, waar-

bij ook nog de verschillende invloed van was of val van de rivier zich heeft doen gelden. Voorts valt in de rivier een meer gevarieerd bodemrelief waar te nemen, wat eveneens tot onregelmatigheden in de snelheidverdeeling kan leiden. Het regelmatigere verloop der lijnen in de profielen uit het model kan wellicht door een en ander worden verklaard.

Ernstiger is, dat ook wat het karakter van de verdeling van den afvoer over de breedte betreft, de overeenstemming niet volledig is. In het model is de afvoer steeds vrij regelmatig over de breedte verdeeld. In de rivier is dit, afgezien van de bovengenoemde onregelmatigheden, in het algemeen eveneens het geval. Hier valt echter een bepaalde afwijking waar te nemen. In het bijzonder bij waterstanden boven + 400 vertoont zich aan den linker oever een vrij sterke afname van de snelheid, welke in het model niet werd waargenomen. Waaraan deze afwijking van de symmetrie juist bij de hoogere standen moet worden toegeschreven, is niet duidelijk; het rivierbed nabij de meetraai geeft geen aanleiding iets van dien aard te verwachten. Over het grootste deel van het profiel blijft ook bij de standen boven + 400 de snelheidsverdeeling overigens gelijkmatig over de breedte verdeeld. Afgezien van de plaatselijke snelheidsvermindering aan den linkeroever vertoont het verloop der isotachen het beeld van een niet of weinig, onder invloed van bochtwerking staand profiel, zooals ook op grond van de ligging van de raai moet worden verwacht.

In het model is dit eveneens het geval, zoodat er althans op dit - belangrijke - punt van overeenstemming kan worden gesproken. De conclusie kan dus luiden dat, het algemeene gedrag van de strooming in het zomerbed met dat in de rivier overeenkomt; al blijven er in verscheidene opzichten verschillen in de waterbeweging waar te nemen. Dit is te betreuren en men moet dan ook overwegen, of de verschillen aanleiding geven tot minder vertrouwen in de proeven dan bij volledige overeenstemming gewettigd zou zijn.

Het resultaat is, dat de overeenkomst voldoende wordt beschouwd om te waarborgen dat het algemeene beeld van de

zandbeweging in den werkelijken overgang hetzelfde zal zijn als in het model. Ten aanzien van de opstuwing en andere verschijnselen zijn de afwijkingen zonder eenige bedenking. In overleg met den opdrachtgever werd het resultaat van de proeven in toestand 0 dan ook beschouwd als een voldoende grondslag voor de voortzetting van het onderzoek.

In het bijzonder voor de proeven omtrent de door de kruising veroorzaakte opstuwing was het noodzakelijk de verdeling van de groote afvoeren over zomerbed en uiterwaarden onmiddellijk bovenstrooms van de kruising te kennen. Eenigszins nauwkeurige gegevens omtrent die verdeling in de werkelijkheid ontbreken. Er kon dus voor het bepalen van de in het model toe te passen verdeling niet anders dan min of meer globaal worden tewerk gegaan. Hiertoe werden de onder par. 7 vermelde waarnemingen van den stroomingstoestand in toestand 0 bij verschillende verdeelingen van den wateraanvoer bij een totalen afvoer van $2900 \text{ m}^3/\text{sec}$ verricht (fig. 20). Bij deze proeven vond een deel van den watertoevoer in het zomerbed plaats, het overige werd rechtstreeks op de uiterwaarden gebracht. Dit deel kan geacht worden overeen te komen met de toevloeiing over de zomerkade langs den linker-oever van den afgesneden arm van den Roodvoet. Van de in het model verzamelde stroombeelden beschouwt de Hoofdingenieur van den Studiedienst der Bovenrivieren dat, behoorende bij de verdeling: zomerbed $1800 \text{ m}^3/\text{sec}$ + uiterwaarden $1100 \text{ m}^3/\text{sec}$ (fig. 20) als het meest waarschijnlijke. Deze verdeling werd derhalve aan de verdere metingen ten grondslag gelegd.

9. De opstuwing.

De aanleg van de kruising leidt bij groote rivierafvoeren tot verhooging van de waterstanden bovenstrooms. Gedeeltelijk is dit een gevolg van de vernauwing, welke in het zomerbed wordt aangebracht terwille van een goede stroomgeleiding in den overgang (verslag M 9/46, par. 11). Tusschen de koppen A wordt weliswaar de bodem verdiept, maar de breedte

van het zomerbed aanzienlijk verminderd. Beneden de kribkoppen (+ 465) is thans een doorstromingsprofiel aanwezig van omstreeks 650 m^2 , terwijl dit na aanleg van de kruising bij een bodemligging van N.A.P. - 170 cm zal bedragen:

afstand koppen A	70	75	80	85	90	95	100 m
profiel	445	475	510	540	570	605	635 m^2

Bovendien worden door den bouw van de leidammen langs de voorhavens de uiterwaarden geheel of gedeeltelijk afgesloten. Dit doet zich uiteraard alleen gevoelen bij de hoogste rivierafvoeren, dus juist dan, wanneer de opstuwung met het oog op de veiligheid van de bandijken van belang is.

Voor het bepalen van de opstuwung zijn bij een afvoer van $2900 \text{ m}^3/\text{sec}$ in het model uitgebreide waterstandsmetingen verricht in den bestaanden toestand en in de toestanden 1, 2 en 3 (par. 7). Om zeker te zijn, dat de in het model toegepaste waterverdeeling over zomerbed en uiterwaarden (welke, zooals in de vorige paragraaf is vermeld, niet op directe waarnemingen berust) geen sterken invloed op de opstuwung uitoefent, is in toestand 0 ook een uitvoerige meting bij de verdeeling zomerbed $2000 \text{ m}^3/\text{sec}$ + uiterwaard $900 \text{ m}^3/\text{sec}$ uitgevoerd. (fig. 21). De verschillen welke tusschen beide bestaan, zijn nergens grooter dan enkele centimeters, wat ook de graad van nauwkeurigheid der waterstandsmetingen is, terwijl het algemeene beeld geheel overeenkomt. Dit is in overeenstemming met fig. 16, waaruit blijkt dat de stroomingstoestand in de beide gevallen reeds bovenstrooms van den veerdam nog slechts verschillen van ondergeschikten aard vertoont.

In fig. 22 zijn de waterstanden in de toestanden 1, 2 en 3 weergegeven, waarbij in elk meetpunt het verschil met den stand in T 0, dus de opstuwung is vermeld. Er is daarbij steeds aangenomen, dat bij km ^{6,30} 72 de invloed van de kruising op den waterstand niet meer van belang is, zoodat het peil op die plaats als vergelijkingshoogte kan worden gebruikt.

In den overgang zelf wordt een geringe verlaging van

den waterstand gevonden. Dit is het gevolg van de vergrooting van de snelheid door de insnoering, die de stroom ondergaat. De maat voor de opstuwung in het rivierbed wordt gegeven door de peilverhooging even boven de kruising, dus bij km ⁹²⁸ 70. Deze bedraagt bij de drie gemeten toestanden, welke onderling verschillen door een ander verloop van den leidam op de linker uiterwaard boven de kruising, resp. 16, 14 en 15 cm. Deze waarden komen goed overeen met de in het model 46 gemeten opstuwungen bij vergelijkbare toestanden (XI e.v. par. 13, verslag M 9/46). Uit fig. 22 blijken geen stelselmatige verschillen tusschen de waterstanden in de drie gevallen, zoodat de drie gevonden waarden van de opstuwung in het rivierbed als gelijkwaardig mogen worden beschouwd. Daaruit volgt dus een gemiddelde opstuwung van 15 cm. Hoe de opstuwung stroomopwaarts verloopt, is uit de metingen niet op te maken; volgens een benaderingsberekening vindt telkens over een afstand van 15 tot 20 km een vermindering met de helft plaats.

De keus tusschen de drie toestanden wordt door andere overwegingen bepaald (par. 10).

Op de linker uiterwaard wordt een grootere verhooging gemeten. Het over de uiterwaard aangevoerde water vindt door den voorhavendam geen gelegenheid tot afstroomen. De grootste verhooging treedt op tusschen den veerdam en den voorhavendam, waar in den ouden toestand het peil betrekkelijk laag was, omdat de stroom bij het passeeren van den veerdam verval verloor. Volgens fig. 22 worden daar verhoogingen gevonden tot 27 cm. Stroomopwaarts van den veerdam zijn de gemeten verschillen wat kleiner; de grootste waarde is daar 23 cm. Verder stroomopwaarts gaande vermindert de opstuwung langs den bandijk vrij snel. Bij den afgesneden arm van den Roodvoet zal dezelfde waarde gelden als in het zomerbed, dat is bijna 15 cm.

Nadat het model reeds zoover was afgebroken, dat nog wel streaming binnen de zomerkaden, maar niet meer over de uiterwaarden mogelijk was, werd de vraag gesteld welken in-

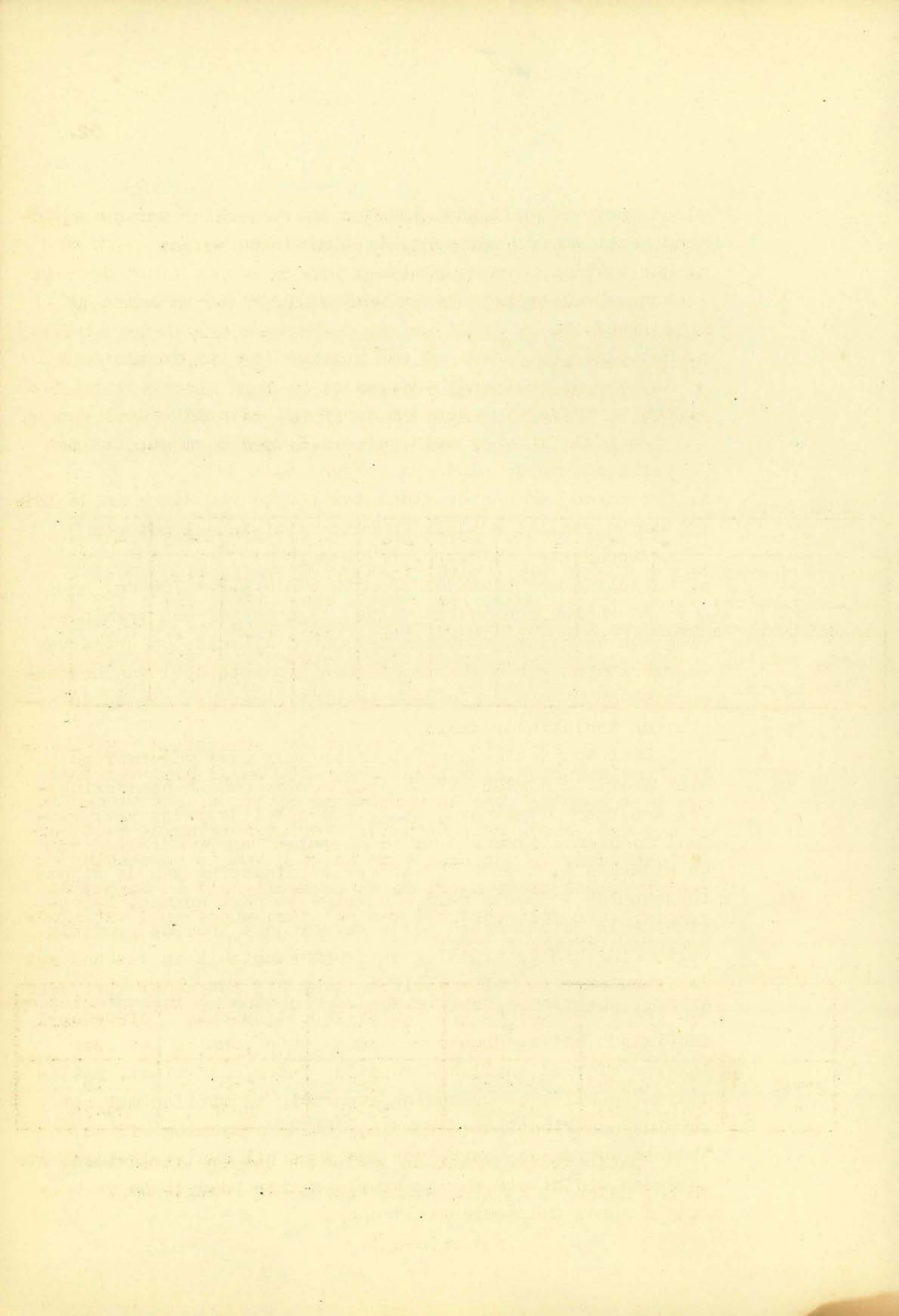
vloed van verschillende middelen tot beperking van de opstuw-
wing mocht worden verwacht. Deze middelen waren:

- a. het verlagen van de plateaux bij de koppen A tot deze in hun geheel op het niveau van N.A.P. + 465 cm komen te liggen;
- b. hetzelfde, gepaard met een verbreding van de plateaux tot aan de bestaande zomerkade;
- c. een verlaging van den dam langs het eivormige deel van de zuidelijke voorhaven tot N.A.P. + 750 cm gepaard met verlagen van de plateaux volgens a;
- d. het maken van een overlaat ter lengte van 400 m in de leidammen van het zuidelijke buitensluiskanaal met een kruinshoogte van N.A.P. + 750 cm;
- e. hetzelfde met een kruinshoogte van N.A.P. + 700 cm.

Bovendien zou moeten worden nagegaan of een vermindering van de wijdte tusschen de koppen A, welke op grond van de resultaten van M 46 tijdens het grootste deel van het onderzoek op 95 m was gehouden (par. 1), met het oog op de opstuw-
ing toelaatbaar was.

Daar een meting aan het model over deze onderwerpen niet meer kon worden uitgevoerd, werden enkele benaderingsberekeningen uitgevoerd, welke noodzakelijkerwijs zeer globaal moesten blijven. Voor het bepalen van den invloed van de middelen a, b en c en van een vermindering van de wijdte tusschen de koppen A werd als volgt te werk gegaan. De opstuw-
ing in het zomerbed wordt veroorzaakt door de profielsvernauwing bij de kruising en staat eensdeels in verband met de extra energie welke verloren gaat bij het weder vertragen van den stroom na het passeeren van de nauwste doorsnede, anderzijds met de grootere bodemwrijving, welke het overzekeren afstand sneller stroomende water ondervindt. Het is daarom redelijk de opstuw-
ing evenredig te stellen met het surplus aan kinetische energie, dat de strooming bij de nauwste doorsnede bezit, dus het verschil aan snelheidshoogte tusschen die plaats en de normale rivier ($s-s_0$). De verhoo-
ging z wordt dan voorgesteld door:

$$z = \eta (s-s_0).$$



Uit de in het model gemeten opstuwingen volgt: $\eta = 1,7$, welke waarde bij toepassing op enkele toestanden van M 46 eveneens behoorlijke uitkomsten levert.

Voor de snelheid in het zomerbed bij den afvoer van $2900 \text{ m}^3/\text{sec}$ is op grond van de snelheidsmetingen in het model genomen $140 \text{ cm}/\text{sec}$. Hieruit volgt $s_0 = 10,0 \text{ cm}$.

Onderstaande tabel 3 geeft de op deze globale wijze berekende peilsverhoogingen in de rivier voor de verschillende gevallen, zoowel voor een wijdte tussen de koppen A van 95 m als van 85 m .

TABEL III.

	T3-95	T3-85	a-95	a-85	b-95	b-85	c-95	c-85
nauwste doorsnede m^2	1520	1455	1640	1575	1710	1645	1740	1675
snelheid cm/sec	190	200	177	184	170	176	167	173
snelheidshoogte cm	18,6	20,2	15,9	17,2	14,6	15,8	14,2	15,2
$s-s_0$ cm	8,6	10,2	5,9	7,2	4,6	5,8	4,2	5,2
opstuwung cm	$14\frac{1}{2}$	$17\frac{1}{2}$	10	12	$7\frac{1}{2}$	10	7	9

Voor de gevallen d en e moest een eenigszins ingewikkelder berekeningswijze worden toegepast, omdat hier een deel van de strooming over de uiterwaard blijft plaats vinden en er met het verval over de beide overlaten rekening moet worden gehouden. In beginsel komt de gang van de berekening echter op hetzelfde neer. De onnauwkeurigheid is wegens de grootere gecompliceerdheid van het stroomingsbeeld wat groter. De uitkomsten zijn:

TABEL IV.

	stroom door zomerbed m^3/sec	stroom over overlaat m^3/sec	verval over overlaat cm	opstuwung in zomerbed cm	opstuwung op uiterwaard cm
geval d	2250-2400	500-650	15-25	5-8	15
" e	2500-2600	300-400	30-35	8-10	20-25

Enkele metingen met de verlaagde dammen (toestand 11 en 12) gaven vervallen, welke hiermee overeenstemmen.

Activaties d en e waarschijnlijk complexer.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Faint, illegible text in the middle section of the page, possibly a body paragraph.

Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a footer or concluding paragraph.

10. De stroom en de bodembeweging in den overgang.

In het vorige model (M 46) was gebleken dat voor een goede geleiding van den stroom in den overgang - en daarmee voor het tegengaan van verondieping - zoowel de vorm der voorhavens als de koppen A van belang waren. Wat het eerste betreft, was met voldoende zekerheid komen vast te staan, dat een meetbare verbetering ten opzichte van het voorloopige ontwerp - vastgesteld naar aanleiding van de uitkomsten van M 46 - niet meer zou kunnen worden gevonden. De havenvorm is daarom gedurende het onderzoek ongewijzigd gebleven.

De vormgeving der koppen A was in het model M 46 uitvoerig onderzocht uit het oogpunt van de uitwisseling tusschen het water in de voorhavens en den stroom in de rivier, in het bijzonder bij den bodem. Dit model was niet geschikt om den invloed op de waterbeweging en vooral op de bodembeweging in den overgang nauwkeurig na te gaan.

In het thans behandelde model is een groot aantal proeven verricht met het doel de meest gunstige vormgeving der koppen A voor het handhaven van de bodemdiepte in den overgang te bepalen. Hieraan vooraf ging het onderzoek naar de vraag op welke wijze het bovenstroomsche deel van de kruising zou moeten worden uitgevoerd om bij hoge rivierstanden den stroom over de linker uiterwaard in het zomerbed te leiden zonder schadelijken invloed op den overgang. Dit ging samen met de opstuwingsmetingen, waarvoor uiteraard eveneens de hoogste afvoer maatgevend was.

- T 1. In toestand 1, het voorloopige ontwerp, trok een krachtige stroom van de uiterwaard onmiddellijk boven de linker voorhaven in de rivier. Deze dwarsstroom vertoonde in sterke mate de waterbeweging in de kruising en het materiaaltransport in den overgang.
- T 2. In toestand 2 (fig. 14) is daarom, evenwijdig aan de normaallijn, een dam met geleidelijk aflopend gebogen uiteinde aangebracht met het doel het water van de uiterwaard reeds op eenigen afstand boven den overgang in het zomerbed te leiden. Hiermee werd reeds een belangrijke verbetering verkregen. In den overgang ontstond echter langs de rechter normaallijn nog een diepe uitschuring, terwijl in

de linker voorhaven een bank werd gevormd.

T 3. In toestand 3 werd de leidam geheel recht uitgevoerd, eveneens stroomopwaarts geleidelijk aflopend naar de bestaande veerkade op de plaats waar deze de zomerkade snijdt. Het resultaat hiervan na 12 uur stroomen met een afvoer van 2900 (1800+1100) m³/sec toont fig. 23. De bodemligging in den overgang is ook thans sterk asymmetrisch, maar belangrijk regelmatiger dan in T2. De plaatselijke verondieping in de rechter voorhaven is het gevolg van den stroom over het rechter plateau, welke onmiddellijk daarachter een kuil vormt. In verband met de situatie van de kruising ten opzichte van de uiterwaarden, was het duidelijk dat voor het bereiken van een geheel bevredigenden symmetrischen stroomingstoestand bij de hoogste afvoeren nog veel verder zou moeten worden gegaan dan met den besproken leidam. Mede met het oog op het feit, dat daarmee zonder twijfel de opstuwing in belangrijke mate zou worden verhoogd, werd gemeend, dat, gezien de geringe frequentie van de zeer hoge standen de in T 3 verkregen toestand kon worden aanvaard.

De voornaamste proeven in T 3 omtrent de bodembeweging in den overgang werd ^{en} verricht in de veronderstelling, dat de bodem op het peil van N.A.P. - 170 cm zou bestaan uit een kleilaag, welke weerstand biedt tegen uitschuring. In het model was dit nagebootst door middel van een laag baksteen.

Allereerst werden eenige proeven uitgevoerd bij groote afvoeren. Fig. 24 en 25 toonen de bodemliggingen in den overgang na stroomen met afvoeren van 1845 (1545+300), gedurende 5½ uur, 2165 (1565+600), gedurende 7 uur, 2515 (1615+900), gedurende 2¾ uur en 2900 (1800+1100) m³/sec gedurende 5½ uur, alles bij verhangversterking 3. Daarbij werd de bimstoevoer zoodanig geregeld, dat aan de bovenstroomsche zijde van het model de bodemligging niet veranderde. Van tijd tot tijd werd het bimstransport beneden de kruising bepaald door middel van den vangbak (par. 6). De gevonden bedragen wisselden tusschen 1800 en 4000 m³ per etmaal, in afhankelijkheid van het afschuren of toenemen van de boven en in den overgang

optredende banken. Zooals door vergelijking met fig. 2b blijkt, is het materiaaltransport van die orde van grootte, maar toch vrij veel kleiner. In het model is de bimstoevoer dus zeer waarschijnlijk te hoog. Niettemin treedt, zooals uit fig. 24 en 25 blijkt, bij de zeer groote afvoeren geen verondieping in den overgang op. Een reeds gevormde bank wordt zelfs vrijwel geheel opgeruimd. Het is duidelijk dat, naarmate boven de kruising de afvoer over de uiterwaard groter wordt het schurend vermogen van den stroom in den overgang toe moet nemen. Dit wordt bevestigd door snelheidsmetingen bij den afvoer van $2900 \text{ m}^3/\text{sec}$ (fig. 26). Bij den laagsten der onderzochte proeven ($1845 \text{ m}^3/\text{sec}$, waarvan 300 over de uiterwaard) is de toestand minder gunstig: in het benedendeel van den overgang vormt zich een bank.

Op grond van deze uitkomsten: bij toenemende rivierafvoer vergrooting van het transporteerend vermogen in den overgang, lag de conclusie voor de hand, dat het grootste gevaar voor verondieping niet bestaat bij het opkomen, maar bij het aflopen van een hoogwater golf. De volgende proevenreeks bestond daarom uit het nabootsen van den afloop van het hoogwater in Januari 1926. Het afvoerverloop van 16 Januari tot en met 24 Februari werd geschematiseerd in het model weergegeven (fig. 18).

Deze proevenreeks werd tweemaal uitgevoerd. In beide gevallen ontwikkelde zich bovenstrooms van de kruising een bank welke zich, steeds toenemend in hoogte, door den overgang voortplantte (fig. 27). In den overgang bereikte de bank zelfs een hoogte van meer dan N.A.P. + 300 cm.

De bimstoevoer werd bij deze proeven op dezelfde wijze geregeld als bij de vorige. Wederom was de aangevoerde hoeveelheid te groot, doch nu in veel sterker mate dan vroeger. Bij die phase, waarin het rivierdebiet $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{sec}$ is, bijvoorbeeld, zou het uit figuur 2 volgende transport ($2000 \text{ m}^3/\text{etmaal}$) overeenkomen met 1450 cm^3 per uur (v.v. = 3). Er werd per uur ongeveer 6000 cm^3 in het model gebracht, dus 4 maal zooveel. Dat tengevolge hiervan abnormaal hoge banken werden gevormd, behoefde dus niet te verontrusten. Wel

bleek, dat de stroomgeleiding in den overgang, dus de werking van de koppen A, in de omstandigheden van de verrichte proeven in zooverre tekort schoot, dat in den overgang verlies van snelheid en dus van transporteerend vermogen optrad. Behalve uit het gedrag van het bodemmateriaal bleek dit bij de hieronder te bespreken snelheidsmetingen (fig. 28). In het bijzonder was de stroomgeleiding onvoldoende, wanneer een der koppen A geheel of voor een groot deel in het bims geraakte, zooals wel met den rechter kop gebeurde. Zooals te verwachten viel, was onder die omstandigheden ook de stroomingstoestand in de voorhavens meer of minder belangrijk gestoord.

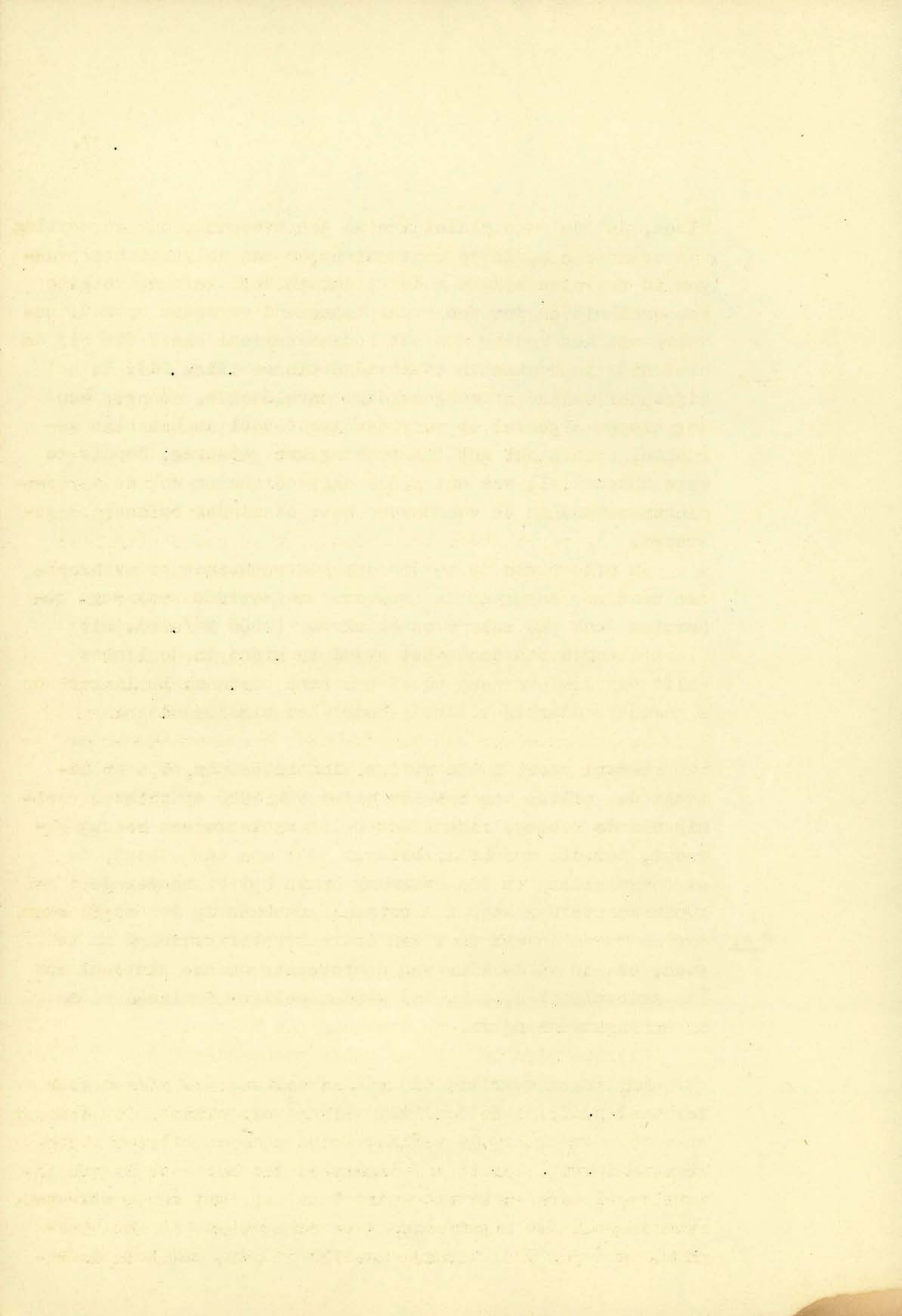
Na afloop van de eerste der bovengenoemde proevenreeksen werd nog nagegaan in hoeverre de gevormde bank werd opgeruimd door een zeer grooten afvoer ($2900 \text{ m}^3/\text{sec}$). Dit bleek slechts ten deele het geval te zijn: in de linker helft van den overgang bleef een bank bestaan. De linker kop A geraakte daarbij volledig onder het bims bedolven.

Hoewel door de overmatige binstoevoer de proeven omtrent den afloop van het hoogwater van 1926 op zichzelf weinig waarde hebben, zijn zij toch in zooverre van belang geweest, dat de wenschelijkheid er door was aangetoond, de stroomgeleiding in den overgang en in het bijzonder de kruinshoogte der koppen A nogmaals nauwkeurig te onderzoeken.

T 4.

Intusschen was door den opdrachtgever gevraagd na te gaan, of een verkorting van de bovenstroomsche plateaux met één kribveld (T 4, fig. 15) een nadeeligen invloed op den stroomingstoestand in den overgang zou hebben.

Hiertoe zijn in elk der beide toestanden T 3 en T 4 stroommetingen verricht bij een afvoer van $670 \text{ m}^3/\text{sec}$ (waterstand N.A.P. + 465 cm) met verhangversterking 3 op 1 m en op 5 m onder het oppervlak. De uitkomsten hiervan zijn gegeven in fig. 28. In T 3 (lange plateaux) is de stroom iets regelmatiger, wat vooral tot uiting komt in de stroomrichtingen in de meest bovenstroomsche raaien in den overgang. De verschillen zijn echter zoo klein, dat het hand-



haven van de lange plateaux niet gemotiveerd voorkomt.

In beide gevallen trad echter, zooals hierboven is aangeduid, vermindering van de stroomsnelheid in den overgang op met de bovenbeschreven gevolgen.

T 5.

Bij de proeven in toestand 3 was gebleken, dat de stroomgeleiding in den overgang sterk werd verstoord, wanneer tengevolge van de verplaatsing der bimsbanken één der koppen A geheel of gedeeltelijk bedekt geraakte. Ook afgezien daarvan, scheen het gewenscht, de kruinshoogte dier koppen te verhoogen en zodoende de stroomconcentratie in den overgang te versterken. Zoo ontstond toestand 5 (fig. 13) met verkorte plateaux en de koppen A verhoogd tot de hoogte van de kruin der kribben (N.A.P. + 465 cm). De bodem in den overgang was vastgelegd op N.A.P. - 170 cm (kleibodem).

In dezen toestand werd bij drie afvoeren, n.l. $Q = 500 \text{ m}^3/\text{sec}$, $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ en $1500 \text{ m}^3/\text{sec}$, het bodemtransport uitvoerig onderzocht. Dit gebeurde door gedurende langen tijd te stroomen met een binstoevoer, die overeenkwam met het zandtransport in de rivier. Zooals in par. 6,e is beschreven, is die binstoevoer bij het kleinste debiet Q vastgesteld door vergelijking met T 0, bij de andere met behulp van de formule van Meyer-Peter.

Met behulp van den vangbak (par. 6,d) werd geregeld het bimstransport beneden de kruising gemeten. Op die wijze kon worden bepaald welk deel van het materiaaltransport in het rivierbed en in de kruising achterbleef en hoe dit deel op den duur veranderde. Tevens werden de veranderingen in de bodemligging nagegaan.

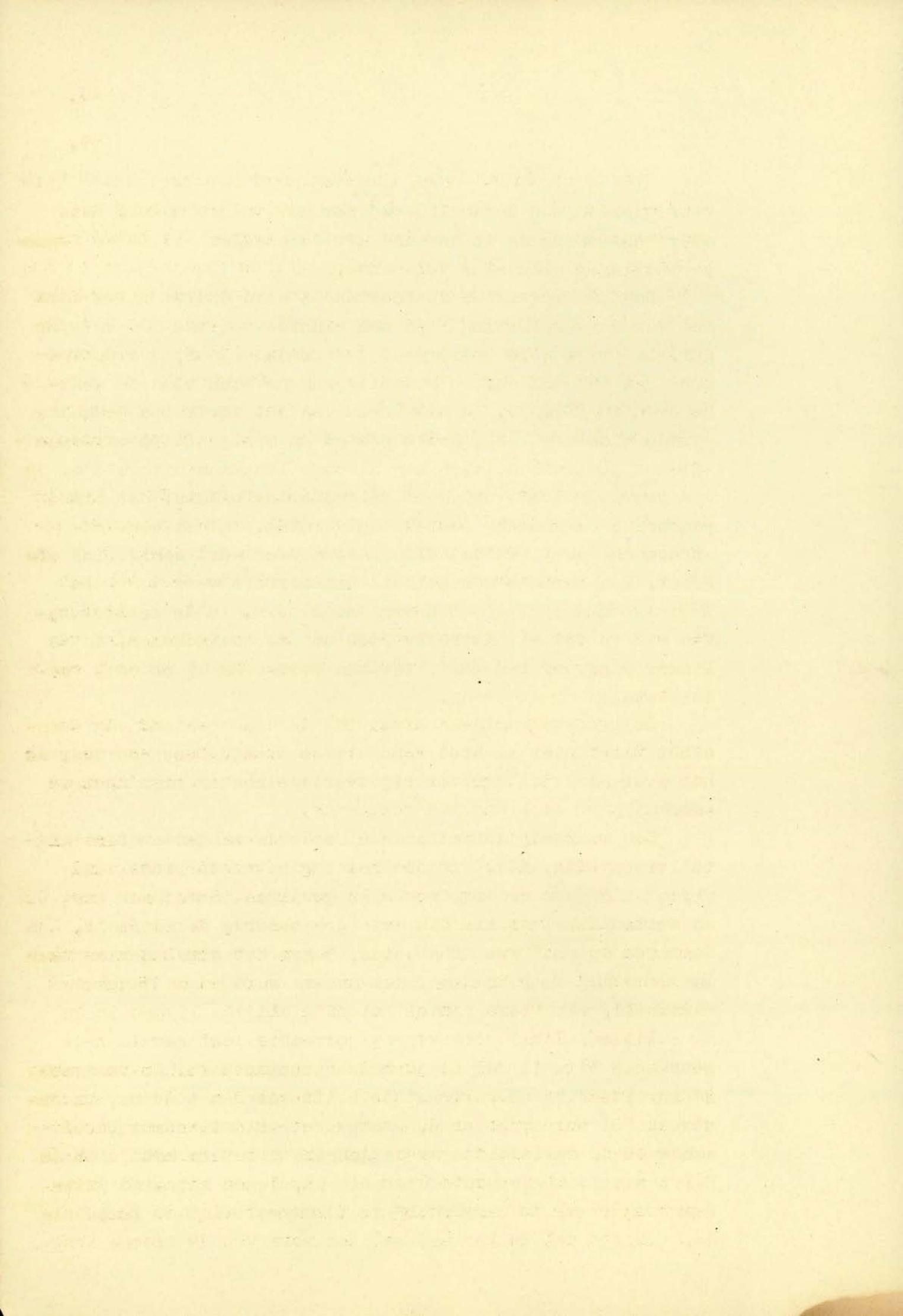
Bij een afvoer van $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedraagt volgens fig. 2 het zandtransport in de rivier 750 m^3 per etmaal. In toestand 0 is bij verschillende verhangversterkingen het "evenwichtsbimstransport" bepaald en vergeleken met het voor de gelijkvormigheid vereischte transport (par. 4). Bij verhangversterking 5 bleek het bimstransport te schommelen tusschen 750 en 800 m^3 per uur, terwijl met 750 m^3 per etmaal in de ri-

vier overeen zou komen 700 cm^3 per uur in het model. Deze overeenstemming is in verband met de onzekerheid in de transportmetingen alleszins voldoende.

De transportproef in toestand 5 werd daarom uitgevoerd met verhangversterking 5 en een binstoevoer van 800 cm^3 per uur. De proef werd voortgezet gedurende 60 uur, overeenkomend met 56 etmalen. De bodemligging na dien tijd is weergegeven in fig. 29. In het begin van het verdiepte gedeelte vormde zich een bank, welke echter na eenigen tijd stroomen (25 tot 30 etmalen) zich nog slechts langzaam uitbreidde. In den overgang zelf vond geen verondieping plaats; het bims passeerde regelmatig zonder bankvorming. In het benedenstroomsche deel van de beide havenmonden werd eenig bims afgezet. Een geringe hoeveelheid bimskorrels werd door den neerstream dieper in de haven meegevoerd. In de rechter haven was in totaal omstreeks 2500 cm^3 terechtgekomen, in de linker ongeveer 1600 cm^3 , tezamen omstreeks $8\frac{1}{2}$ procent van den totalen binstoevoer.

De grootte van deze afzetting in den toestand van evenwicht volgt niet rechtstreeks uit de proef. Deze had daartoe nog over een veel grooter tijdsverloop moeten zijn doorgezet.

Een waarschijnlijke waarde is op de volgende wijze af te leiden (fig. 30). Tijdens het begin van de proef werd bijna alle getransporteerde bims gevangen in de bank tusschen de plateaux: slechts weinig passeerde de koppen A. Naarmate de bank verder groeide, begon het bims meer en meer den overgang door te gaan. Het meeste werd in de vangbak verzameld, een kleiner deel zal zijn blijven liggen in de havenmonden. Het in den vangbak geraakte deel kan door de getrokken lijn in figuur 30 worden voorgesteld. Na omstreeks 28 uur stroomen bedroeg het de helft van den toevoer, na omstreeks 50 uur drievierde, waarna het om dat bedrag bleef schommelen. Gemiddeld over de geheele proef is het juist de helft van de ingebrachte hoeveelheid, tegen het eind driekwart daarvan, dus anderhalf maal zooveel als het gemiddelde.



Van de in de kruising (havenmonden) achtergebleven hoeveelheid is alleen bekend, dat de totale hoeveelheid 4100 cm^3 was. Het ligt voor de hand aan te nemen, dat ook deze afzetting aanvankelijk zeer gering was en geleidelijk in intensiteit toenam, zoodat aan het eind van de proef ook hier anderhalf maal zooveel werd afgezet als de gemiddelde waarde ($8\frac{1}{2}$ procent van het totale transport) bedroeg, dus ongeveer een achtste deel van het geheele transport. Het gedeelte van het diagram tusschen de getrokken en de gestreepte lijn zou dan het in den overgang achtergebleven zand voorstellen.

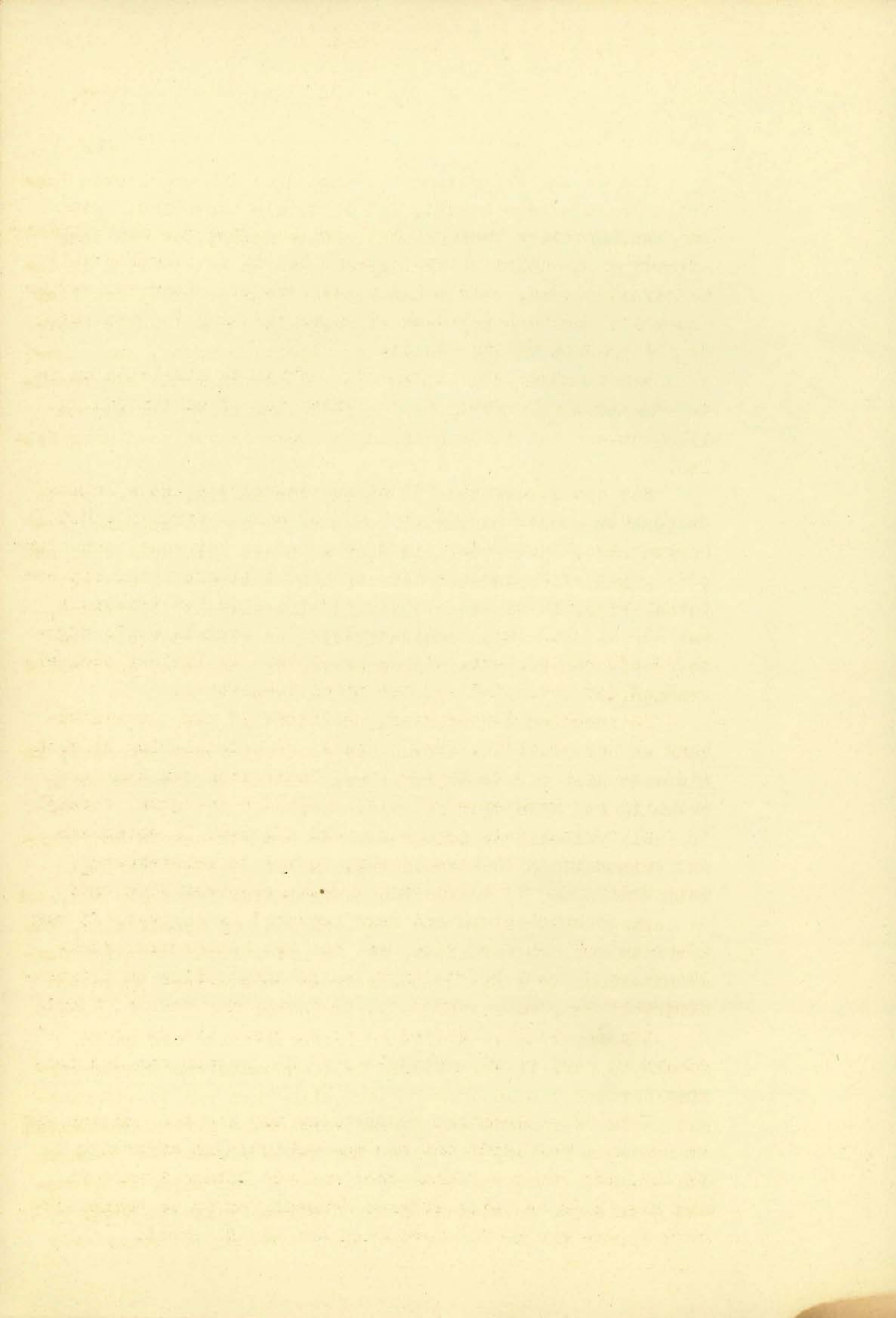
Het oppervlak boven de streeplijn in fig. 30 is het in de bank en eventueel verder bovenwaarts in het zomerbed geborgen zand. De hoeveelheid hiervan neemt geleidelijk af en zou op het eind van de proef nog een achtste deel van het totaal zijn. Er was toen dus vrijwel evenwicht ingetreden, wat ook blijkt uit de omstandigheid dat tegen het eind van de proef op het oog geen groeien van de bank meer werd waargenomen.

Dat nog een achtste deel, dus 100 cm^3 per uur, in de bank en het overige deel van het zomerbed wordt geborgen, is hiermede niet in tegenspraak: zeer kleine veranderingen in bodemligging zijn daartoe voldoende.

Bij volledig evenwicht moet de som van het in den vangbak verzamelde en het in de kruising afgezette materiaal gelijk zijn aan de ingevoerde hoeveelheid. Neemt men aan, dat de verhouding tusschen die twee ook dan nog dezelfde is, dan komt men tot het resultaat, dat 85 procent van het afgevoerde materiaal de kruising passeert en de overige 15 procent blijft liggen, vooral in de havenmonden.

Dit resultaat behoeft nog correctie. Ten eerste is, zooals in par. 11 zal blijken de toegepaste verhangversterking oorzaak van abnormaal sterk slingeren van de watermassas in de voorhavens en dus van versterkte stroomcomponenten dwars op de rivier, die meer bims in de havenmonden brengen dan zonder verhangversterking het geval zou zijn. De gevonden waarde van de aanzanding is dientengevolge te hoog.

Voorts zal in verband met den vorm van de kromme voor



het bimstransport (par. 4) het bims in het model niet worden afgezet op dezelfde plaatsen, waar dit in de werkelijkheid te verwachten is. Daar zal een deel van het materiaal verder de havens worden ingebracht en de neerzetting dus over een grooter gebied plaats vinden.

Beide aangevoerde argumenten hebben de strekking om in de werkelijkheid minder hoge banken te verwachten dan in het model.

Bij den afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedraagt volgens de metingen het zandtransport 1150 m^3 per etmaal (fig. 2). Met de formule van Meyer-Peter vindt men, dat in het model een hiermede ongeveer overeenstemmend transport plaats vindt bij een verhangversterking van 4. Volgens fig. 2 is het transport dan 960 cm^3 per uur, terwijl volgens de formule wordt afgevoerd 830 cm^3 per uur. Bij de proef werd de laatste hoeveelheid in het bovineind van het model toegevoerd.

De proef werd voortgezet gedurende 75 uur, overeenkomend met $62\frac{1}{2}$ etmalen. Fig. 31 geeft de bodemligging na dien tijd. Evenals bij de vorige proef heeft zich een bank gevormd in het verdiepte gedeelte boven den overgang, terwijl in den overgang zelf geen bims werd afgezet. In de monden der havens en in de havens zelf, vooral de rechterhaven, kwam weer bims tot afzetting, tezamen ongeveer 4000 cm^3 .

De evenwichtstoestand werd benaderd na ongeveer 35 uur (29 etmalen). Na dien tijd was aan het benedenstroomsche einde van de bank beurtelings eenige aangroeiing en uitschuring waar te nemen, zonder dat de omvang nog toenam. Zoals uit fig. 30 blijkt, bedroeg in de eindfase van de proef het doorgaande transport gemiddeld rond 85 procent van den toevoer.

Een overeenkomstige redeneering als die ten aanzien van de vorige proef leidt tot een waarschijnlijke afzetting in de kruising van een tiende deel van het totale transport. Ook hier zijn de beide redenen aanwezig om in de werkelijkheid lagere banken te verwachten dan bij de proef.

Bij den afvoer van $1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ bedraagt het zandtransport naar schatting, op grond van de metingen van den Rijkswaterstaat, 3600 m^3 per etmaal. Bij verhangversterking 2,6 is dit in het model 2400 cm^3 per uur. De formule levert dan voor het transport in het model 2250 cm^3 per uur, wat, gezien de onnauwkeurigheid van deze getallen, voldoende dicht bij de waarneming is. Onder toevoer van 2400 cm^3 per uur werd gestroomd gedurende 50 uur ($33\frac{1}{2}$ etmalen). De bodemligging na de proef is gegeven in fig. 32. Evenals bij de vorige proeven ontstond een bank bovenstrooms van den overgang, terwijl in den overgang de bodem schoon bleef. In tegenstelling met de lagere afvoeren, geraakte thans vrijwel geen materiaal in de havens. Tijdens het laatste deel van de proef schommelde het doorgaande transport om 100 procent van den toevoer.

Om een indruk te krijgen van den invloed van het zooveen genoemde slingeren van de watermassa in de kruising, werden bij een afvoer van $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ met v.v.5 stroommetingen met den slingerstroommeter verricht in het normale model en nadat het linker buitenkanaal was afgesloten. Zooals later zal blijken (par. 11) was in het laatste geval de slinging veel kleiner. De stroommetingen werden gedaan op 1 m en op 4 m onder den waterspiegel. De gemeten gemiddelde snelheden zijn gegeven in fig. 33. De invloed van de slinging blijkt in de meest benedenstrooms gelegen meetraaien, waar de stroomverdeling in het geval met afgesloten linker buitenkanaal regelmatiger was, zoodat over een grootere breedte de voldoende snelheid aanwezig bleef.

Voor het vormen van een denkbeeld bij welke rivierafvoeren in den overgang zelf verondieping zou zijn te verwachten, zijn een aantal snelheidsmetingen met den slingerstroommeter verricht bij verschillende afvoeren, n.l. bij $230 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P. + 230 cm), $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P. + 335 cm), $525 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P. + 400 cm) en $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P. + 465 cm). Hierbij werd gemeten, behalve in de raaien E, F en G (fig.

28) in de rivier bovenstrooms van de kruising in een raai over twee kribkoppen en in een raai midden tusschen twee kribparen. In elk dezer raaien werd de gemiddelde snelheid bepaald (tabel V). Het blijkt dat in raai G, de meest benedenstroomsche raai in den overgang, de gemiddelde snelheid steeds kleiner was dan in E en F. Wat echter vooral van belang is, is de verhouding van de kleinste gemiddelde snelheid in den overgang, dus in G, tot de kleinste gemiddelde snelheid in de rivier, dus tusschen de kribben.

TABEL V.

m ³ /sec	over kribkoppen cm/sec	tusschen kribben cm/sec	E cm/sec	F cm/sec	G cm/sec	verhouding
230	82	80	61	65	60	0,75
400	95	87	93	89	85	0,98
525	109	95	104	100	95	1,00
675	105	103	123	123	110	1,07

Uit de laatste kolom blijkt, dat de gemiddelde snelheid, dus ook het transporteerend vermogen in den overgang bij lage afvoeren kleiner is dan in de rivier, bij matig groote afvoeren echter reeds grooter. Bij een afvoer van 525 m³/sec (N.A.P. + 400) zijn zij gelijk; bij een afvoer van 400 m³/sec (N.A.P. + 335 cm) is dit reeds nagenoeg het geval.

Op grond van de metingen van stroom en van bodemtransport in toestand 5, komt men dus tot de conclusie; dat bij groote afvoeren al het afgevoerde bodemmateriaal de kruising passeert. Bij een afvoer, die tusschen 1500 en 675 m³/sec ligt (waterstand resp. N.A.P. + 675 en + 465 cm), begint een gedeelte van het zand zijdelings van den hoofdstroom te geraken. Het zet zich vooral neer in en nabij de benedengedeelten van de monden der voorhavens; vooral van de noordelijke. Naarmate het rivierdebiet kleiner wordt; zal deze aanzanding een grooter deel van het geheele bodemtransport zijn, evenwel zal het waarschijnlijk steeds minder dan het tiende deel ervan blijven. De diepte van N.A.P. - 170 cm in den overgang blijft gehandhaafd. Dit is niet meer

het geval, wanneer het debiet van de rivier kleiner is dan ongeveer $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ (peil N.A.P. + 335 cm). Een deel van het zand komt dan in den overgang tot afzetting.

Al deze getallen gelden voor de afvoerkromme van 1921-'30. Met de lagere waterstanden, volgens ^{de}afvoerkromme van 1937, zijn geen proeven gedaan.

T 6.

De proeven in toestand 5 hadden betrekking op de omstandigheid, dat in den overgang op de gewenschte diepte een doorgaande kleibodem aanwezig wordt geacht. Er moet echter ernstig rekening worden gehouden met de mogelijkheid, dat deze kleilaag op den duur geheel of gedeeltelijk uitschuurt, of zelfs van den beginne af aan plaatselijk ontbreekt. Uit dien hoofde werd in het model een doorgaande bimsbodem in den overgang aangebracht (T 6). Wederom werd gestroomd met een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$, waarbij de bij de bespreking van T 5 genoemde transporten gelden. In afwijking met die proef werd 960 inplaats van 830 cm^3 bims per uur ingebracht.

Dit betrekkelijk kleine verschil kan niet de oorzaak zijn van het groote verschil in de uitkomst.

Deze afwijking blijkt uit fig. 34, dat de toestand weergeeft, die na 78 uur (65 etmalen) stroomen was ontstaan. De bodem vertoont veel meer relief dan in toestand 5 bij de overeenkomstige proef. Dit is te wijten aan de diepe gaten, die zijn uitgeschuurd door het water, dat over de dammen A is gestroomd. Het materiaal dat uit die gaten komt, wordt in ruggen afgezet. De onregelmatige bodem veroorzaakt blijkbaar minder geconcentreerde stroomen, waardoor het zandtransport minder vlot verloopt en grooter aanzanding optreedt dan bij een vasten vlakken bodem.

Het doorgaande transport bedroeg tijdens het eerste deel van de proef rond 40 procent van den toevoer. Eerst na 55 uur (46 etmalen) begon het eenigszins belangrijk te stijgen. Op het eind van de proef schommelde het om 70 procent. De evenwichtstoestand was toen waarschijnlijk dicht benaderd, zoodat een doorgaande verondieping in het kruisingsgebied met ten hoogste 30 procent van het totale transport bleef

optreden.

Zooals uit fig. 34 blijkt, was de uitkomst onbevredigend. De doorgaande diepte in den overgang bedroeg slechts N.A.P. - 150 cm, terwijl vooral in den noordelijken havenmond een hinderlijke bank werd gevormd.

T 7.

Om de uitschuring te beletten en daardoor een betere stroomgeleiding te verkrijgen, werd nabij de koppen A de bodem verdedigd (in het model grind, fig. 15, toestand 7). In dezen toestand werd op overeenkomstige wijze als in T 6 gedurende 54 uur (45 etmalen) gestroomd met een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$. De uitkomst hiervan is weergegeven in fig. 35. De bodemligging was nu veel beter. In het grootste gedeelte van den overgang was een diepte van N.A.P. - 200 cm aanwezig, terwijl de banken in de havenmonden (wederom vooral in de noordelijke) kleiner waren. Na ruim 30 uur (25 etmalen) bereikte het doorgaande bimstransport een waarde van omstreeks den toevoer en bleef verder om dat bedrag schommelen (fig. 36).

Zooals bij de bespreking van toestand 5 is vermeld, was het van belang na te gaan, in hoeverre de vorming van de banken aan de benedenstroomsche zijde van de havenmonden werd bevorderd door de waargenomen slingering. Daartoe werd een met de vorige overeenkomende proef verricht, waarbij het zuidelijke sluiskanaal was afgesloten. De slingering was wederom belangrijk kleiner (par. 11). De rivierbodem was daarbij gelaten in de tijdens de vorige proef ontstane ligging, alleen waren de banken opgeruimd. Tengevolge daarvan was de evenwichtstoestand belangrijk sneller bereikt: reeds na 6 uur (5 etmalen). De proef werd slechts gedurende 14 uur (12 etmalen) voortgezet. De bodemligging na dien tijd toont fig. 37. Inderdaad blijkt de slingering groter invloed op de bankvorming te hebben: de zuidelijke bank is nu genoeg verdwenen, die in den noordelijken havenmond is lager dan eerst.

T 8. Op grond van het feit, dat de banken in de havenmonden zich steeds in het benedenstroomsche deel daarvan vormden, is nagegaan of een vermindering van de invaartwijdte der havens een gunstigen invloed had. De wijdte werd daartoe door aan de koppen B aansluitende dammen teruggebracht tot 240 m (T 8, fig. 16). Ook in dezen toestand werd een proef verricht met een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ met verhangversterking 4, uitgaande van de bodemligging van de vorige proef, met weggeruimde banken. Gestroomd werd gedurende 13 uur (11 etmalen). Na 7 uur stroomen, gedurende welke gewoonlijk een doorgaand transport groter dan de toevoer werd gemeten (fig. 36), werd de proef onderbroken. Na de hervatting was het doorgaande transport belangrijk lager. De oorzaak hiervan was wellicht dat door het droogvallen van den bodem tijdens de onderbreking de bims een vastere ligging had verkregen en daardoor aanvankelijk minder gemakkelijk werd meegevoerd.

De bodemligging na het eind van de proef is gegeven in fig. 38. Er waren wederom banken in de havenmonden gevormd, zij het van minder omvang dan in T 7 (fig. 35). De overgang was dieper uitgeschuurd, waaraan het groote doorgaande transport in het eerste stadium van de proef moet worden toegeschreven. Het deel van den havenmond, dieper dan N.A.P. - 150 cm was bij de noordelijke haven 150 m wijd, evenals in toestand 7. Het doel is dus niet bereikt.

T 9. Bij alle beschreven proeven was de bank in den noordelijken havenmond groter van omvang en hooger dan die in den zuidelijken. Dit is het gevolg van een afwijking van de symmetrie van de beweging van water en bodemmateriaal in den overgang, welke voortkomt uit de ligging van de kruising. Op grond van de vroegere proeven (zie verslag M 9/46, par. 10) is de kruising ontworpen even beneden een buigpunt in de rivieras, en wel in het begin van een rechtste bocht. Uit het gedrag van het bodemmateriaal in den overgang valt af te leiden, dat de overgang reeds onder den invloed staat van de kromming der stroombanen in deze bocht. De kruising ligt

dus waarschijnlijk enkele tientallen meters te ver beneden het buigpunt.

In toestand 9 is een poging gedaan, om de asymmetrische werking tegen te gaan door verlaging van den noordelijken kop A tot N.A.P. + 245 cm. De bedoeling was de stroom aan de Noordzijde van den overgang te versterken. Een proef werd verricht met een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$, geheel analoog aan die in toestand 7. Ditmaal was vóór de proef het geheele model weer gebracht onder het profiel van de peilingen. De proef werd voortgezet gedurende 53 uur (44 etmalen). Het doorgaande transport bleef geruimen tijd zeer laag (fig. 36). Eerst na 42 uur stroomen (35 etmalen) begon het eenigszins te stijgen. Toen de proef werd geëindigd, werd echter de helft van het toegevoerde bims nog niet getransporteerd. Het achterblijvende materiaal verzamelde zich in een bank, eerst boven, later in den overgang, welke op het eind van de proef nog groeiende was. De bodemligging op dat tijdstip toont fig. 39. Het beoogde effect is in zooverre verkregen, dat de bank zich dichter bij het midden van den overgang bevond; de toestand is meer symmetrisch geworden. Dit is echter bereikt ten koste van de goede stroomgeleiding in den overgang, waardoor het transporteer^{en} vermogen daar te sterk is gedaald. Een slingering werd niet meer waargenomen, in overeenstemming waarmee geen bodemmateriaal in de havens werd gebracht.

T 10. Daarna is beproefd een tusschenweg te vinden door den noordelijken kop A te brengen op N.A.P. + 360 cm. Ook in dezen toestand is een proef verricht met een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$, en wel gedurende 47 uur (39 etmalen). Hierbij werd uitgegaan van de bodemligging bovenstrooms van den overgang, zooals die bij de vorige proef was ontstaan. Fig. 40 toont de uitkomst van de proef. Wederom ontstond een bank in den overgang, thans echter minder omvangrijk dan in T 9. In overeenstemming hiermede begon het doorgaande transport sneller te stijgen, n.l. na omstreeks 20 uur (17 etmalen). Na 29 uur werd de proef onderbroken, waarop na de hervatting even-

als in T 8 het transport afgenomen bleek te zijn. Het bereikte na korten tijd een waarde van rond 60 % van den toevoer (voor de onderbreking 70 tot 80 %, zie fig. 36).

T 13 - T 16.

In par. 9 is de invloed van de verlaging en de verwijding van de plateaux op de opstuwning behandeld. Enkele stroommetingen met verlichte drijvers zijn verricht om na te gaan in hoeverre hierdoor de stroom in den overgang werd beïnvloed. Uiteraard kon dit eerst het geval zijn bij waterstanden boven + 465 cm, dus afvoeren boven $675 \text{ m}^3/\text{sec}$, terwijl bij zeer groote afvoeren de stroomingstoestand voor het grootste deel wordt beheerscht door de werking der uiterwaarden, die reeds waren afgebroken. De betreffende metingen zijn daarom verricht bij een afvoer van $1750 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P. + 725 cm), waarbij de stroom over de uiterwaarden nog niet van belang is.

Gemeten werd met oppervlaktedrijvers en met drijvers reikende tot 5 m diepte. Fig. 41 toont de uitkomsten in T 13 (kop A Noord op + 360) en T 16 (beide koppen A op + 465). Het blijkt, dat de strooming in den overgang weinig of geen invloed van die over de plateaux ondervindt en regelmatig wordt geleid.

T 14.

In toestand 6 (wijdte tusschen koppen A 95 m) is bij afvoeren beneden 400 tot $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ de stroomsnelheid in den overgang lager dan in de normale rivier en ^{is} dus verondieping te verwachten. Deze verondieping kan van beteekenis zijn, want een afvoer van $450 \text{ m}^3/\text{sec}$ wordt gedurende bijna 200 etmalen per jaar onderschreden en tijdens die onderschrijding heeft ruim een vijfde gedeelte van het jaarlijksche zandtransport plaats. Daarom is het effect nagegaan van een vernauwing van het profiel tusschen de koppen A. Tevens is geprobeerd of, door de vernauwing éézijdig uit te voeren, de bodembeweging in den overgang meer symmetrisch kon worden gemaakt. De noordelijke kop A werd daartoe met 15 m verlengd, tengevolge waarvan zijn afstand tot de as van de ri-

vier werd teruggebracht tot 40 m en de afstand tusschen de koppen tot 87,5 m.

In dezen toestand werd met oppervlaktedrijvers een stroombeeld opgenomen bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ met verhangversterking 4 (fig. 42). Het stroombeeld was vrij regelmatig, maar ook in dit geval trad weer een sterke slingering op. In het stroombeeld komt dit tot uiting in de sterke wisseling in richting en grootte van de stroomsnelheid in het benedendeel van den overgang. De bodembeweging was meer symmetrisch.

T 15. Een verdere vernauwing van het profiel A werd verkregen door ook den zuidelijken kop A met 15 m te verlengen, waardoor de afstand werd verminderd tot 80 m. Ook in dezen toestand werd een drijfvermeting gedaan bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ met verhangversterking 4 (fig. 42). De stroomsnelheid in den overgang bleef goed gehandhaafd, afgezien van de slingering, welke weer optrad.

Conclusies. De proeven in toestand 3 gaven een sterke aanwijzing, dat met lage koppen A de stroomgeleiding in den overgang onvoldoende was. Een bevestiging daarvan wordt verkregen door een onderlinge vergelijking van de uitkomsten der proeven in de toestanden 7, 10 en 9, waarbij de kruinshoogte van den noordelijken kop respectievelijk + 465, + 360 en + 245 cm was. Met het verlagen van de kruinshoogte wordt de toestand in den overgang telkens slechter (fig. 35, 40 en 39). Weliswaar zijn er geen proeven verricht, welke een directe vergelijking leveren tusschen een toestand (in T 3) met beide koppen op het oorspronkelijk ontworpen niveau (+ 130 cm) en een (in T 5) met de kruinshoogte + 465 cm, doch op grond van de proeven, die, zij het met verschillend rivierdebiet wél zijn genomen, staat het vast, dat bij een lagere kruinshoogte dan + 465 een minder gunstige stroomgeleiding wordt verkregen. Het in toestand 3 gesignaleerde gevaar, dat één of beide koppen onder het bodemmateriaal worden bedolven, is bij hoge koppen tevens uitgeschakeld.

Zooals in het verslag van de vroegere proeven is uiteengezet, is men bij die proeven tot de lage koppen A gekomen, omdat daarbij de uitwisseling van bodemwater tusschen de rivier en de havens kleiner was dan bij toepassing van hooge koppen. De bankvorming in de havenmonden is dientengevolge bij hooge koppen sterker dan bij lage.

Wenscht men dus, om de aanzanding in den overgang te verminderen, hooge koppen te maken, dan zal men daarvoor een grootere bankvorming in de havenmonden moeten toelaten.

De vormgeving van de geleidingswerken bovenstrooms van den overgang (plateaux en koppen A), zooals deze in het oorspronkelijke ontwerp voorkwamen, bleken een bevredigende stroomgeleiding te geven. Bij een onderlinge afstand der koppen A van 95 m dalen eerst bij een waterstand, die lager is dan de grensstand van + 465 (waarbij het profiel tusschen de koppen A gelijk is aan het normale rivierprofiel over de kribben) volgens de snelheidsmetingen in toestand 5 (tabel v) de stroomsnelheden in den overgang beneden die in de rivier. Bij een geringe^{re} wijdte van het profiel A ligt uiteraard de bedoelde grens lager.

Uit de metingen in toestand 4 volgt, dat de plateaux zonder bezwaar met één kribveld kunnen worden verkort.

Op grond van het bovenstaande wordt dus ten aanzien van de beweging van water en bodemmateriaal in den overgang gevonden, dat de voordeeligste toestand ontstaat met:

bovenstroomsche geleiding volgens het voorloopige ontwerp (fig. 13);

koppen A met kruinshoogte N.A.P. + 465 cm; wijdte tusschen de koppen A zoo klein als met het oog op de scheepvaart in de rivier en de opstuwning kan worden aanvaard;

voorziening van den bodem nabij de koppen A ter voorkoming van kuilen, welke de stroomgeleiding ongunstig beïnvloeden.

Bij symmetrische uitvoering der koppen A werd een lichte afwijking van de symmetrie in de bodembeweging gevonden. Het wordt echter de vraag geacht of dit van voldoende belang is om een ongelijken aanleg der beide koppen te rechtvaardigen.

Dit te meer, waar bij groote afvoeren de watertoevoer van de linker uiterwaard een tegengestelde werking uitoefent.

11. De uitwisseling en de strooming in de voorhavens.

In het eerste model van de rivierkruising (M 9) was gebleken, dat het voor een goede stroomingstoestand in den overgang van groot belang was de voorhavens zoo te ontwerpen, dat zich daarin rondgaande stroomingen ontwikkelden, welke tot de geleiding van den stroom in den overgang bijdroegen. In dit en in het tweede model (M 46) zijn vervolgens proeven verricht voor het vaststellen van den daartoe meest gunstigen vorm der havens. In M 46 zijn tevens uitvoerige metingen gedaan van de uitwisseling tusschen den stroom in den overgang en het neerenstelsel in de havens bij verschillende vormen van de geleidingswerken boven den overgang (verslag M 9/46, par. 12).

Zoowel de waterbeweging in de voorhavens als de uitwisseling wordt beheerscht door de stroomingsverschijnselen in het grensgebied tusschen den hoofdstroom en de neeren en deze op hun beurt door de vormgeving van de geleidingswerken boven den overgang, in het bijzonder de koppen A.

Tijdens het onderzoek werden aan die werken verscheidene wijzigingen aangebracht, zoodat het geboden was ook thans weer de uitwisseling te onderzoeken.

T 3.

Om een indruk te krijgen van den stroomingstoestand in de grensstrooken tusschen den hoofdstroom en de neeren werden bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ en verhangversterking 3 de banen van een aantal drijvers vastgelegd (fig. 43). Naar de benedenstroomsche zijde valt een toenemende spreiding waar te nemen, welke wijst op een zekere mate van uitwisseling.

In dezen toestand zijn tevens bij twee verschillende bodemliggingen in de voorhavens (resp. N.A.P. - 130 en - 170 cm) snelheidsmetingen met drijvers verricht in de noordelijke voorhaven in een raai loodrecht op de rivieras (fig. 43). De neerbeweging bleek door het verschil in diepte niet

van karakter te veranderen, doch bij de diepere haven was de grensstrook breeder.

T 5. Wegens den belangrijken invloed, welke de neeren in de voorhavens hebben op de stroomgeleiding in den overgang, is in toestand 5 nagegaan in hoeverre de ontwikkeling der neeren werd beïnvloed door de toegepaste verhangversterking. Daartoe zijn met verlichte drijvers (par. 6) snelheidsmetingen uitgevoerd in de zuidelijke voorhaven onder de volgende omstandigheden:

TABEL VI.

afvoer	peil	v.v.	grenssnelheid	fig.
230 m ³ /sec	N.A.P. + 230 cm	1	33 cm/sec	44
" "	" "	5	15 "	45
400 "	" 335 cm	1	26 "	46
" "	" "	5	12 "	47
" "	" "	9	9 "	48
660 "	" 460 cm	1	21 "	49
" "	" "	5	9 "	50

De in de vierde kolom genoemde grenssnelheden geven aan bij welke snelheid (uitgedrukt in de voor het prototype geldende waarde) in elk der gevallen het getal van Reynolds ($Re = v \cdot d : \nu$) in het model een waarde van 1000 bereikt. Volgens de ervaring ligt ongeveer bij die waarde van Re de grens, waar beneden in een deel van een model, waar in den hoofdstroom een volledige turbulentie verzekerd is, de mate van turbulentie zoodanig afneemt, dat de gelijkvormigheid van de strooming twijfelachtig wordt.

In dit licht bezien is bij den afvoer van 230 m³/sec bij v.v. 1 de geheele neer onvoldoende turbulent, terwijl bij v.v. 5 alleen de intrekende stroom aan de voorwaarde voldoet. Intusschen toont een vergelijking van fig. 44 en 45 voor zoover de intrekende stroom betreft een bevredigende overeenstemming. Voor de rest van de neer zijn de verschillen vrij groot, wat ook het geval is met de waterbewe-

ging in de grensstrook tusschen hoofdstroom en neer. Bij dezen lagen rivierstand geeft een proef met v.v.1 dus vrij zeker de uitwisseling in de grensstrook en daardoor ook de stroomgeleiding niet voldoende betrouwbaar weer, al zijn de afwijkingen niet zoo groot, dat de aard van de waterbeweging verandert. Ook bij v.v.5 is dit à priori niet verzekerd. Het stroombeeld van fig. 45 toont echter hetzelfde karakter als die van fig. 47 en 48, waar de gelijkvormigheid zeer waarschijnlijk in orde is. Hieruit wordt de indruk verkregen, dat het stroombeeld van fig. 45 in hoofdzaak juist moet zijn en dat dus bij toepassing van verhangversterking 5 ook bij een zoo lagen afvoer de werkelijke toestand behoorlijk wordt weergegeven.

Bij den afvoer van $400 \text{ m}^3/\text{sec}$ is bij v.v.5 en 9 het maatgevende deel van de neerstreaming boven de grenssnelheid (resp. 12 en 9 cm/sec). Het centrale deel van de haven, waar dit niet het geval is, is voor de algemeene stroomingstoestand zonder groot belang. De beide stroombeelden van fig. 47 en 48 komen ook bevredigend overeen. Bij v.v.1 zijn de snelheden onvoldoende, zonder dat dit echter tot radicale afwijkingen voert.

Bij den afvoer van $660 \text{ m}^3/\text{sec}$ tenslotte is bij v.v.5, met uitzondering van het middengebied, de geheele neer zeer ruim boven de grens, bij v.v.1 het belangrijkste deel. Ook hier bestaat in hoofdzaak een goede overeenstemming.

De proeven geven dus, zij het geen volledige zekerheid, dan toch een sterke aanwijzing, dat bij toepassing van verhangversterking 5 ook bij kleinere afvoeren de werkelijke toestand bevredigend wordt weergegeven, terwijl bij grotere afvoeren dit reeds bij kleinere verhangversterking het geval is.

Bij een afvoer van $1500 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P. + 670 cm) werd een overeenkomstige meting uitgevoerd met v.v.2,6 om na te gaan, of het overstroomen van de koppen A en van de plateaux de neerbeweging in de havens zoozeer kan verstoren, dat de stroomgeleiding in den overgang achteruit gaat. Het resul-

Glinching

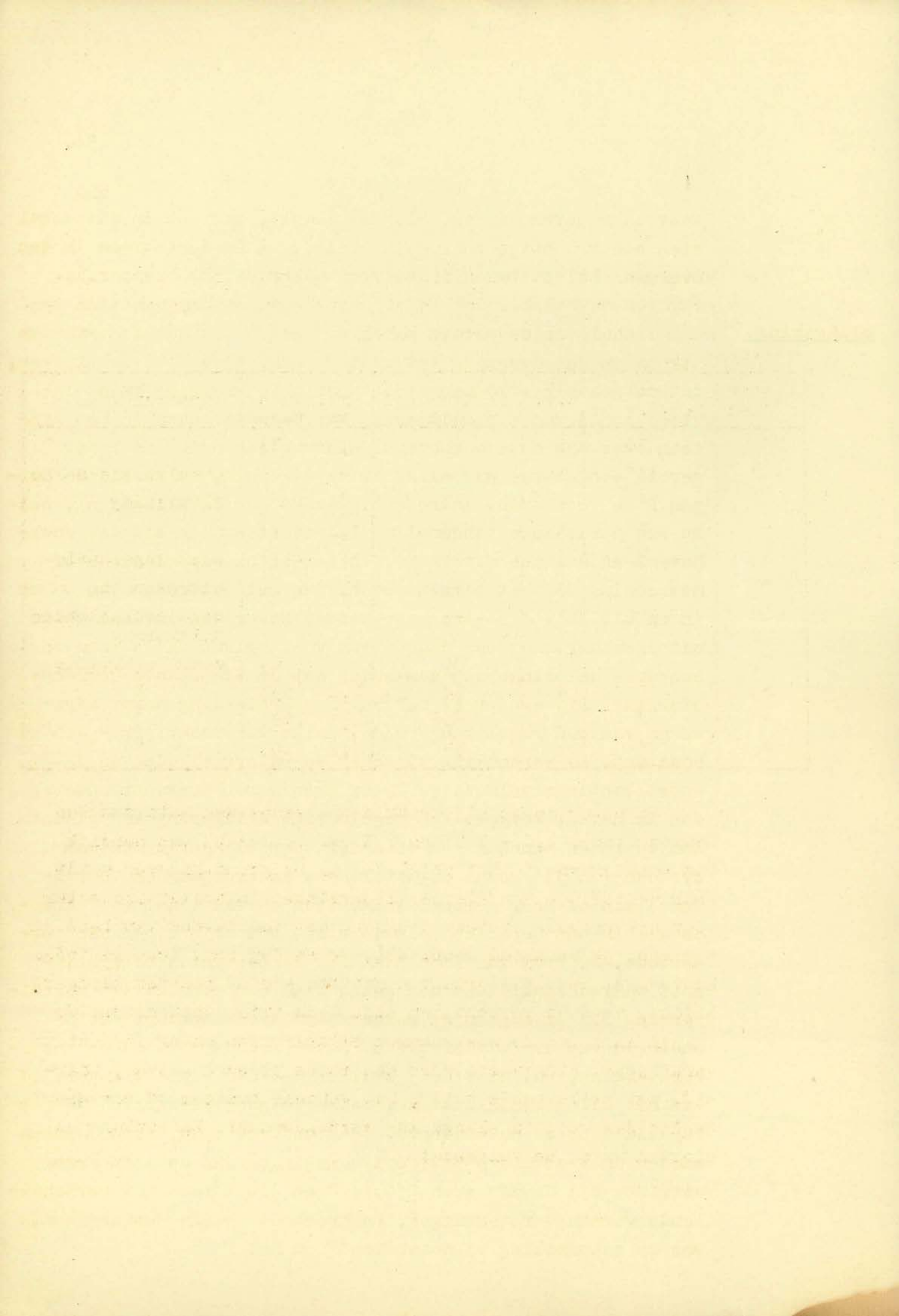
24390
50

24475

taat is gegeven in fig. 51. Het blijkt, dat ook in dit geval zich een krachtige neer ontwikkelde, welke den stroom in den overgang belette zich in de voorhavens uit te breiden.

Slingering.

Zooals in de vorige paragraaf reeds ten aanzien van den stroom in den overgang tot uiting kwam, bleek bij de proeven, dat de geheele stroomingstoestand in de kruising onder invloed stond van een slingingering van de watermassa in het systeem overgang met voorhavens. Hiervan was onder meer het gevolg een sterke wisseling in de stroomen, welke bij de koppen B de voorhavens intrekken. Tevens was de slingingering, welke een periodieke schommeling in waterstand in elk der voorhavens en daarmee uiteraard een periodiek wisselende overheersching van het binnentreden, dan wel uittreden van water in en uit de voorhavens beteekende, zeker van invloed op de uitwisseling. Het was daarom van veel belang na te gaan in hoeverre de slingingering samenhangt met de toegepaste verhangsterking. Bij een proef met verhangversterking wordt afge-
weken van den regel van Froude, welke vereischt: $Fr = v : \sqrt{gd} =$ constant. De verhouding tusschen de watersnelheden en de voortplantingssnelheid van storingen wordt daardoor anders dan in het prototype. Een regelmatige slingingering kan slechts dan optreden wanneer een of ander voor slingingering vatbaar systeem (in dit geval de watermassa in overgang en voorhavens) min of meer geregelde impulsen ontvangt met een periode die in een bepaalde relatie staat tot zijn eigen slingerperiode. De bron van impulsen voor de besproken slingingering moet waarschijnlijk worden gezocht in een regelmatige wervelvorming bij de koppen A, welker periode samenhangt met de snelheid van den rivierstroom. Deze verandert met de verhangversterking, wat niet het geval is met den eigen slingertijd van het slingerende systeem, welke vrijwel uitsluitend wordt bepaald door de waterdiepte. Op grond van deze beschouwingen werden in toestand 5 uitvoerige metingen van de slingingering verricht bij de afvoeren 230, 400 en 660 m³/sec met verschillende verhangversterkingen. De grootte welke werd gemeten, was de schommeling in waterstand aan het



uiteinde van een der sluiskanalen volgens de in par. 6 beschreven werkwijze. De hierbij verkregen uitkomsten zijn verenigd in de onderstaande tabel.

TABEL VII.

Afvoer m ³ /sec	peil N.A.P.+ cm	v.v.	slingertijd sec	amplitude mm (cm)	opmerkingen
230	230	5	45	0,5 (2)	
400	335	1	-	-	geen waarneembare slingering
"	"	2	"	"	
"	"	3	40	1,3 (7)	
"	"	5	38	2,4 (11)	zeer regelmatig
"	"	9	36	1,0 (3)	onregelmatig
660	460	1	--	-	geen waarneembare slingering
"	"	2	36	0,8 (6)	zeer regelmatig
"	"	3	34	2,2 (13)	"
"	"	4	33½	3,5 (18)	"
"	"	5	33	4,2 (19)	"

De waterdiepte bij de drie onderscheiden waterstanden bedroeg resp. 4,0 - 5,05 en 6,3 cm. De lengte van bandijk tot bandijk was in het model 15½ m. Op grond hiervan wordt voor de periode van kleine slingeren in stilstaand water voor het geheele systeem overgang met voorhavens van bandijk tot bandijk berekend resp. 49½, 44 en 39½ sec. Deze perioden hebben wel dezelfde orde van grootte als de gemeten slingertijden, maar de verschillen zijn toch vrij aanzienlijk. Om in den aard van de waargenomen slingeren nader inzicht te verkrijgen, zijn vervolgens een reeks proeven gedaan, waarbij, met stilstaande water, het geheele systeem of een gedeelte daarvan, in slingingering werd gebracht. De uitkomsten hiervan waren de volgende:

TABEL VIII.

Peil N.A.P.+	bijzonderheden	plaats v. meten	periode sec
335	alle verbindingen open	Zuid-sluiskan.	36
460	" " "	" "	32
"	" " "	Noord "	32 $\frac{1}{2}$
"	rivier afgesloten	" "	32 $\frac{1}{2}$
"	rivier en Zuid-sluiskanaal afgesloten	" "	30
"	alleen Zuid-sluiskanaal afgesloten	" "	59

Het blijkt dus, dat de slingertijden met stroomende rivier, in het bijzonder die met groote verhangversterking overeenkomen met die met stilstaand water. De afwijking hiervan met de berekende waarden van de geheele watermassa van bandijk tot bandijk is zoo groot, dat aan een andere slingering moet worden gedacht.

Bij de meting met stilstaand water en afsluiting van het zuidelijke sluiskanaal is blijkbaar niet de eigen periode maar die van de eerste onderharmonische slingering gemeten, al is het niet duidelijk waarom dit het geval is geweest.

Bij een diepte van 5,05 cm (N.A.P. + 335) komt met een periode van 36 sec overeen een golflengte van 25 $\frac{1}{2}$ m, bij een diepte van 6,3 cm (N.A.P. + 460) en een periode van 32 $\frac{1}{2}$ sec hoort eveneens een golflengte van 25 $\frac{1}{2}$ m. Er moet dus een systeem zijn, dat deze golflengte bezit en dat door van de waterbeweging verkregen impulsen in slingering kan geraken. Dit zou kunnen zijn de zuidelijke voorhaven tot de normaallijn met een lengte van ruim 6 m. De golflengte van een hier in optredende staande slingering zou viermaal de lengte van de voorhaven bedragen, wat overeenkomt met de vereischte lengte van 25 $\frac{1}{2}$ m.

Een regelmatige impuls van een periode, welke met de eigen periode in verband staat, of een impulsenreeks, welke een element van zulk een periode bevat, kan tot een belangrijk grootere amplitude dan zijn oorspronkelijke waarde wor-

den versterkt (resonantie). Niet duidelijk is, waarom steeds de zuidelijke voorhaven voor de slingering maatgevend was. De noordelijke voorhaven heeft een lengte van bandijk tot normaallijn van omstreeks 8 m. Een hierin optredende slingering van het beschreven type zou dus een golflengte van 32 m moeten hebben en een periode van $1,25 \times$ die van de zuidelijke voorhaven. De gemeten perioden waren steeds dichter bij die van de zuidelijke voorhaven.

Voor de slingertijden geldt de tijdschaal 10. De gemeten perioden komen dus overeen met 5 tot 6 minuten bij middelbare rivierstanden. De voor de werkelijkheid met inachtneming van de verhangversterking omgerekende amplituden zijn vrij groot en loopen voor eenzelfde rivierstand uiteen bij de verschillende verhangversterkingen, zooals blijkt uit de tusschen haakjes geplaatste cijfers in de laatste kolom van tabelVII. Dat niet steeds bij een grootere verhangversterking een grootere amplitude werd gemeten, is bij de opvatting van de slingering als resonantieverschijnsel niet verwonderlijk. Opvallend is, dat bij verhangversterking 1 (dus bij een stroomsterkte overeenkomstig de schaalregels) een slingering of niet optrad, of zoo zwak was, dat zij verloren ging tusschen de kleine onregelmatige oppervlaktebewegingen. Bij het peil van N.A.P. + 335 cm was dit ook nog bij v.v.2 het geval, bij N.A.P. + 230 cm werd een slingering zelfs eerst bij v.v.5 waarneembaar.

Men zou ter verklaring hiervan kunnen denken aan de mogelijkheid, dat bij de kleinere watersnelheden, welke bij de proeven zonder of met kleine verhangversterking optreden, de bedoelde impulsen niet aanwezig, of althans te zwak zouden zijn om tot een waarneembare slingering aanleiding te geven. De aard van de stroombeelden in die gevallen (fig. 44 t/m 50), in het bijzonder bij den rivierstand van N.A.P. + 460 cm (fig. 48) geeft daartoe echter geen reden, vooral wanneer in aanmerking wordt genomen dat, wanneer de omstandigheden voor resonantie gunstig zijn, reeds zeer zwakke impulsen tot aanzienlijke slingeringen kunnen leiden.

Het moet daarom waarschijnlijker worden geacht, dat bij de proeven zonder, of met kleine, verhangversterking de periode van de optredende impulsen niet zoodanig was, dat resonantie met de zuidelijke voorhaven (of met een ander daarvoorin aanmerking komend systeem) ontstond. In dezen gedachtegang is een resonantie in de werkelijke rivier eveneens onwaarschijnlijk. Daar is immers de verhouding van stroomsnelheid en golfvoortplantingsnelheid dezelfde als bij de proeven zonder verhangversterking. Wanneer, zooals reden is aan te nemen, voor de periode der wervelimpulsen de schaalwetten gelden, dan is er geen aanleiding om in de werkelijke rivier resonantie te verwachten en daardoor ook niet om een sterke slingering te vreezen.

Voor de juiste beoordeeling van de overige proeven (stroom en bodembeweging in den overgang, uitwisseling) werden in andere toestanden eveneens enkele metingen van de slingering verricht.

In toestand 7 werd bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ (N.A.P.+ 465) met verhangversterking 4 een periode van 34 sec en een amplitude van 2,3 mm gemeten. Deze periode was vrijwel gelijk aan die met overeenkomstig peil en verhangversterking in T 5. Het verloop van de slingering was minder regelmatig, terwijl de amplitude wat kleiner was.

In denzelfden toestand werd ook een meting verricht met afgesloten zuidelijk sluiskanaal (zie ook par. 10). Bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ en v.v.4 werd nu een slingering waargenomen met een periode van $15^{1/3}$ sec en een amplitude van 0,5 tot 0,7 mm. Deze periode komt overeen met een golflengte van 12 m. De lengte van de voorhaven van afsluiting tot normaallijn was hier 3 m, zoodat de gemeten golflengte weer overeenkwam met de golflengte van een staande slingering in de voorhaven.

Ook in toestand 8 is de slingering gemeten bij een debiet van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ en een v.v. van 4. De periode was $33\frac{1}{2}$ sec, de slingering was zeer regelmatig met een amplitude van 6,5 mm. In dezen toestand werd ook een meting met v.v.1 verricht.

Hierbij kon met moeite een slingering worden waargenomen, waarvan de periode 33 tot 36 sec bedroeg en de amplitude 0,1 tot 0,2 mm, overeenkomend met 1 tot 2 cm in werkelijkheid.

In toestand 9, met verlaging van den noordelijken kop A tot + 245, waardoor een afwijking van de symmetrie in de waterbeweging werd gebracht, was bij een afvoer van 675 m³/sec en v.v.4 een slingering nog slechts moeilijk waar te nemen. Met eenigen goeden wil viel een onregelmatige periodieke beweging met een periode van omstreeks 31 sec en een amplitude van 0,3 tot 0,5 mm te constateeren.

In toestand 10, met kop A Noord op + 360 cm, trad bij een afvoer van 675 m³/sec en v.v.4 weer een regelmatige slingering op. De periode was 34 sec, de amplitude 2,0 mm.

Uitwisseling.

In het model 46 waren de voornaamste uitwisselingsmetingen verricht met behulp van bodemrollers (verslag M 9/46, par. 12). Wegens de afwijkende inrichting van het onderhavige model (beweeg-lijke bodem) kon die werkwijze ditmaal niet worden toegepast, zoodat de mogelijkheid tot directe aansluiting aan de vroegere metingen ontbreekt. Oorspronkelijk werd volstaan met globale waarnemingen, omdat het zwaartepunt van het onderzoek was gelegd in de stroomingstoestand en de bodembeweging in den overgang. Tijdens het onderzoek werd een kwantitatieve meetwijze van de uitwisseling ontwikkeld, welke in par. 6 is beschreven.

Een dergelijke meting werd het eerst verricht in toestand 9 (fig. 15), zoowel in de noordelijke als in de zuidelijke haven bij een afvoer van 675 m³/sec en verhangversterking 4. De uitkomsten waren een uitwisseling van 0,74 liter per sec van de noordelijke en van 1,02 liter per sec van de zuidelijke haven, of resp. 5,7 % en 7,6 % van den rivierafvoer. In totaal verbleef dus bij dezen toestand, ondanks de geringe slingering, 13,3 % van den afvoer gedurende langer of korter tijd in de voorhavens.

In toestand 10 werd in de zuidelijke voorhaven bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ en v.v.4 een uitwisseling gemeten van 1,09 liter per sec of 8,1 % van den rivierafvoer. In de noordelijke haven werd tweemaal een meting verricht, waarvan de uitkomsten sterk uiteenloopen. De eerste meting, waarbij de verschillen in geleidingsvermogen betrekkelijk gering waren, leverde een uitwisseling van 1,24 liter/sec of 9,2 % van den afvoer, de tweede meting, met grooter concentratieverschil had tot resultaat 0,58 liter/sec of 4,3 %. Het is in het geheel niet duidelijk, waaraan dit verschil moet worden toegeschreven. Weliswaar kwamen bij beide proeven storingen voor in den zouttoevoer, doch het is niet te zien hoe deze den uitslag der metingen kunnen beïnvloeden.

Overeenkomstige metingen in dezen toestand werden verricht met v.v.1. In de zuidelijke haven was het resultaat 0,29 liter/sec of 4,3 %. In de noordelijke haven werden twee metingen uitgevoerd, één met groot, één met klein concentratieverschil. De uitkomsten waren resp. 0,40 liter/sec of 5,9 % en 0,18 liter/sec of 2,7 %.

De gevonden cijfers loopen sterk uiteen. Twee metingen in de noordelijke haven met verhangversterking 4, maar verschillende zoutconcentraties geven resp. 9,2 % en 4,3 %, twee metingen zonder verhangversterking en eveneens met verschillende concentraties resp. 5,9 % en 2,7 %. Het ligt in de lijn der verwachtingen, op grond van de waargenomen stroombeelden (fig. 48, 49 en 50), dat bij de proeven met verhangversterking een grootere uitwisseling werd geconstateerd dan bij de andere. Dat de grootte van het toegepaste concentratieverschil van eenigen invloed was, is eveneens aannemelijk. Het toevoegen van zout aan het water veroorzaakt dichtheidsverschillen en daardoor secondaire stroomingen. Hiervan zou een vergrooting van de uitwisseling verwacht kunnen worden. De uitkomsten der metingen geven echter in het eene geval (v.v. 4) een kleinere, in het andere (v.v.1) een grootere uitwisseling bij de grootere concentratie te zien. Een redelijke verklaring voor deze verschillen kon niet worden gevonden. Het is niet onmogelijk, hoewel niet waarschijnlijk, dat de uit-

wisseling sterk schommelt. Waar elke meting het gemiddelde van omstreeks een half uur weergeeft (wat bij v.v.4 overeenkomt met 10 uur, bij v.v.1 met 5 uur) zouden die schommelingen dan van zeer langen duur moeten zijn. Een andere mogelijkheid is onnauwkeurigheid der metingen. Deze moet dan voortvloeien niet uit gebrek aan precisie in de bepaling der geleidingsvermogens, maar uit het feit, dat de uitwisseling sterk pulseerend plaats vindt, zoodat de verdeling van het zout zeer weinig homogeen is. Het verloop der geleidingsvermogens wordt gemeten aan monsters, welke uiteraard slechts voor bepaalde plaatsen en tijdstippen representatief zijn. In het bijzonder bij de bepaling van het geleidingsvermogen van den uitgaanden stroom (I_u) wordt deze moeilijkheid onderzonden. Het is echter moeilijk in te zien, dat daarvan zulke groote afwijkingen als bij de metingen in toestand 10 werden geconstateerd, het gevolg zouden kunnen zijn.

De strooïing in de meetresultaten maakt, dat bij het trekken van conclusies groote voorzichtigheid is geboden. Het schijnt echter wel gerechtvaardigd, uit de metingen in toestand 10 te besluiten, dat de verhangversterking de uitwisseling in belangrijke mate verhoogt. In de zuidelijke voorhaven werd met v.v.4 gemeten 8,1 %, met v.v.1 slechts 4,3 %. In de noordelijke haven volgt uit de metingen met v.v.4 een gemiddelde van 6,8 %, uit die zonder verhangversterking een gemiddelde van 4,3 %. Dit verschil is te eerder aannemelijk, wanneer in het oog wordt gehouden, dat bij v.v.4 een vrij sterke slingering optrad, welke zonder verhangversterking niet of nauwelijks waar te nemen was. Bij een periode van 34 sec bedroeg de amplitude 2,0 mm. De hoeveelheid water, welke tengevolge daarvan in elke periode de voorhaven intrekt en weer verlaat, bedraagt 15 tot 20 liter. Dit beteekent een gemiddelde uitwisseling van rond 0,5 liter/sec of omstreeks $3\frac{1}{2}$ procent van den afvoer. De gemeten verschillen hebben inderdaad die orde van grootte (3,8 % in de zuidelijke, 2,5 % in de noordelijke haven). Men mag dus aannemen, dat de zonder verhangversterking verkregen cijfers de werkelijkheid beter weergeven dan de overige. Voor de uitwis-

seling in elke haven wordt dan gevonden ruim 4 procent van den rivierafvoer.

Uit proeven in andere modellen was de vuistregel afgeleid, dat bij een goeden havenvorm het aantal procenten van de uitwisseling gelijk is aan de verhouding van de wijidte van den havenmond tot de normaalbreedte van de rivier. Op grond van dezen regel zou men een uitwisseling van 3 procent in elke haven verwachten. Dat een grooter percentage uit de metingen volgt, kan wellicht worden toegeschreven aan de aanwezigheid van twee tegenover elkander gelegen havens, waardoor de uitwisseling zal worden bevorderd. Wanneer dit het geval is, is de grootere uitwisseling reëel. Het is echter niet onmogelijk, dat secundaire stroomen tengevolge van het dichtheidsverschil van het water met verschillend zoutgehalte in het model een grootere uitwisseling hebben veroorzaakt dan die, welke in de werkelijkheid zal optreden. Hoe groot deze afwijking eventueel is, valt niet te zeggen, en daarom moet met een uitwisseling van 3 tot 5 procent voor elke haven worden gerekend.

Voor een juiste uitvoering van de uitwisselingsmetingen was het noodzakelijk het stroombeeld te kennen en wel voornamelijk om de plaats te bepalen, waar het geleidingsvermogen van het uittrekkende water (σ_u) moest worden gemeten. Fig. 52 geeft het resultaat van een stroommeting met verlichte drijvers in toestand 9 bij een afvoer van $675 \text{ m}^3/\text{sec}$ en verhangversterking 4. In de figuur zijn tevens aangegeven de plaatsen waar tijdens de uitwisselingsmetingen monsters werden genomen. Het gemiddelde der monsters 2, 3 en 4 is steeds genomen voor σ_u .

12. De stroom in de sluiskanalen. *Blz 32*

T 11. Zoals in par. 40 is behandeld, was een der middelen welke in overweging kwamen voor het verminderen van de opstuwung het verlagen van de in het ontwerp voorziene hoogwatervrije dammen langs de sluiskanalen. In toestand 11 was de kruin van deze dammen gebracht op N.A.P. + 700 cm, dus

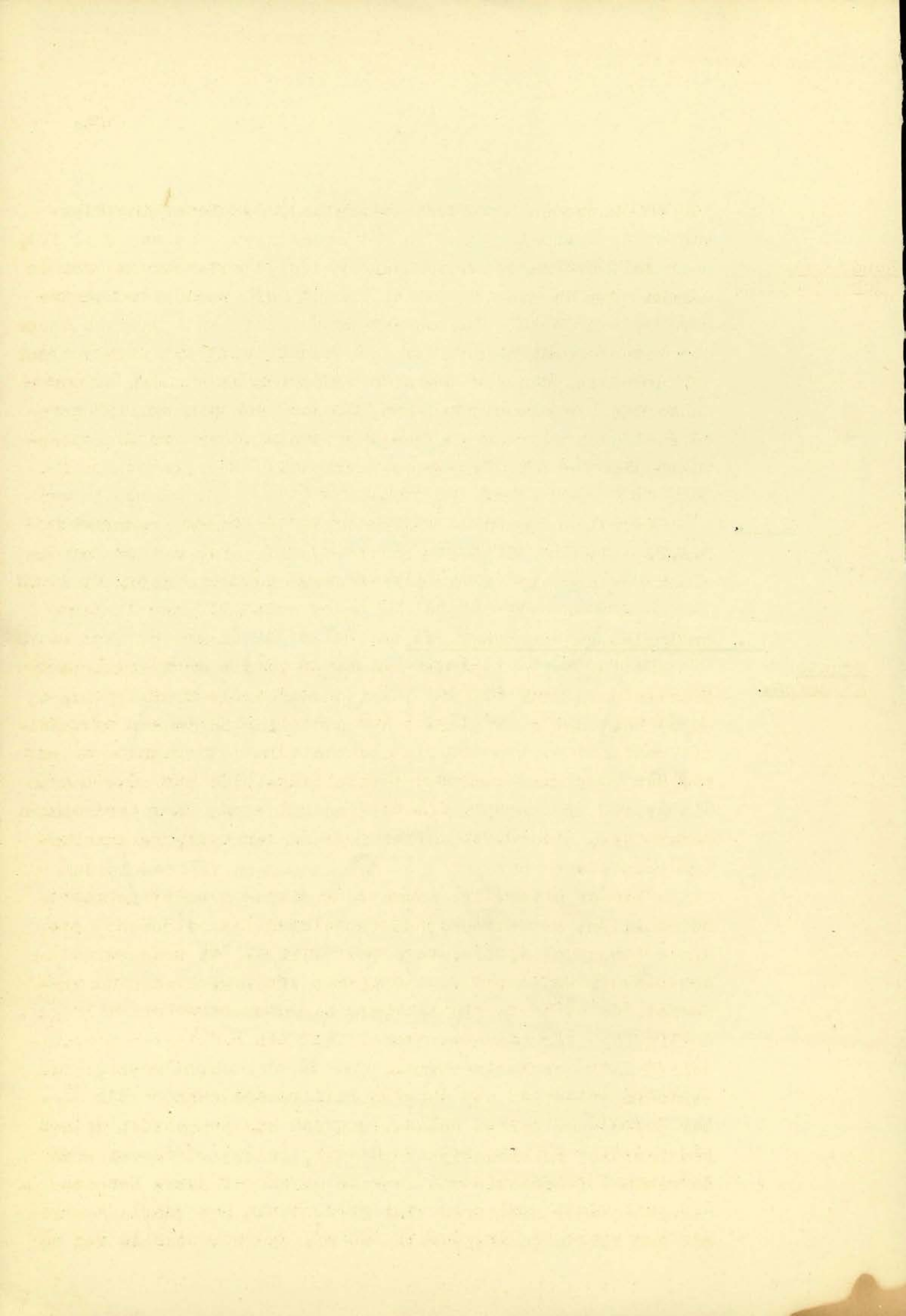
100 cm onder den hoogsten rivierstand. De uitwerking hiervan op de opstuwung werd in het model niet gemeten (par. 10), maar wel werd nagegaan op welke wijze de waterstroom over de dammen over de diepte van het kanaal werd verdeeld. Hiertoe werd op een aantal plaatsen en op verschillende diepten onder den waterspiegel de snelheid gemeten (fig. 53). Hierbij bleek de verdeeling van den dwars door het kanaal gaanden stroom behoorlijk regelmatig te zijn, zoodat geen plaatselijk groote snelheden voorkomen en belangrijke hinder voor de scheepvaart niet behoeft te worden gevreesd.

T 12. Vervolgens werd de kruinshoogte der dammen gebracht op N.A.P. + 750 cm. Bij een globale bestudeering van den stroom bleek ook hierbij de verdeeling bevredigend te zijn.

13. Conclusies en beschouwingen.

Groote afvoeren.

De inrichting van het onderzoek leidde er toe van de drie in paragraaf 1 genoemde eischen voor de kruising (a, b en c) het punt c het eerst in behandeling te nemen. De modeluitkomsten op dit punt zijn behandeld in de paragrafen 9 en 10. Het voorkomen van te groote plaatselijke stroomsnelheden bij groote afvoeren, met de daarmee samengaannde ontgrondingen eenerzijds, hinderlijke afzettingen anderzijds, werd in bevredigende mate bereikt door het aanleggen van een leidam op de linker uiterwaard boven de kruising evenwijdig aan de normaallijn, met stroomopwaarts geleidelijk aflopend uiteinde (toestand 3, fig. 14). Weliswaar blijft tengevolge van den toevoer van water van de linker uiterwaard naar het zomerbed, de strooming in de kruising en daardoor ook de bodemligging sterk asymmetrisch (fig. 23). Het was echter duidelijk dat voor het verkrijgen van een geheel bevredigenden stroomingstoestand bij de grootste afvoeren belangrijk verder zou moeten worden gegaan. Dit zou zonder twijfel de opstuwung niet onbelangrijk verhoogen, terwijl tengevolge van de geringe frequentie van de zeer groote afvoeren het overgebleven bezwaar niet groot is. Er wordt daarom gemeend dat de met den leidam van T 3, welke geen nadeeligen invloed op de



opstuwing heeft, verkregen toestand kan worden aanvaard.

Zandbezwaar in
den overgang.

Het punt a, de beperking van het onderhoudsbaggerwerk in den overgang, is behandeld in par. 10, waarin ook de bereikte resultaten zijn samengevat.

Omtrent de grootte van het jaarlijksche zandbezwaar in den overgang is in de nota van het Waterloopkundig Laboratorium van 3 Mei 1939 een schatting gemaakt voor een uitvoering met de koppen A op N.A.P. + 465 cm en een wijdte van 95 m. Daarbij is uitgegaan van een vrij ruim genomen jaarlijkschen zandafvoer van 300.000 m^3 (par. 1). In het bedoelde ontwerp is bij een rivierstand van + 465 cm (onderschrijdingsfrequentie 310 dagen per jaar) het profiel tusschen de koppen A juist gelijk aan het normale rivierprofiel. Op grond van de modelproeven (tabel 2) dalen eerst bij een lageren stand (bijv. beneden + 375 cm, welke 210 dagen per jaar wordt onderschreden) de kleinste snelheden in den overgang beneden die in de rivier. Bij dat peil behoort volgens de frequentiekrommen 1921-'30 (fig. 3 van verslag M 9/46) een afvoer van $475 \text{ m}^3/\text{sec}$. Beneden dien afvoer vindt drietiende van het jaarlijksche zandtransport plaats (fig. 2b), dus 90.000 m^3 . In de nota is geschat, dat niet al dit zand, maar omstreeks tweederden, dus 60.000 m^3 per jaar, in den overgang kan worden afgezet.

Wanneer de wijdte tusschen de koppen A wordt gebracht op 85 m, dan is eerst bij een waterstand van + 300 het profiel even groot als in de normale rivier. Dit peil wordt slechts 120 dagen per jaar onderschreden. Op grond van metingen in het model met kleinere breedten tusschen de koppen A (toestand 15) mag ook, evenals bij een wijdte van 95 m, in dit geval gerekend worden, dat de stroomsnelheden in den overgang eerst bij een lageren rivierstand beneden die in het normale rivierbed dalen. De grens kan dan worden gelegd bij N.A.P. + 270 cm, met een afvoer van $280 \text{ m}^3/\text{sec}$ en een onderschrijdingsfrequentie van 88 dagen per jaar. Beneden dit peil vindt omstreeks vier procent van het jaarlijksche zandtransport plaats, dus 12.000 m^3 . Een hoeveelheid van de

orde van 10.000 m^3 zou dus jaarlijks den overgang tot afzetting kunnen komen.

Zooals in par. 1 is medegedeeld, is na de bewerking der meetuitkomsten gebleken, dat gedurende de laatste tien jaar de daling van de waterstanden zoodanigen voortgang heeft gemaakt, dat de op de frequentiekrommen van 1921-'30 gebaseerde berekeningen moeten worden herzien. Door den opdrachtgever is op grond van de rivierprofielen in 1937 en de gemiddelde afvoeren in de periode 1924-'37 een nieuwe frequentielijn voor de waterstanden opgezet, welke in fig. 2a met een gestippelde lijn is aangegeven. Deze lijn ligt bij de meest voorkomende afvoeren ruim 50 cm onder die van 1921-1930.

Het is de vraag, welken invloed deze wijziging heeft op de hiervoor gegeven redeneering, die was gebaseerd op de vroegere waterstanden.

Op het eerste gezicht zou men zeggen, dat de redeneering ongewijzigd blijft, met dien verstande, dat alle peilen, die van den waterspiegel, van den bodem in het zomerbed en ook de te handhaven bodemdiepte in den overgang 50 centimeter zijn verlaagd. Bij een bepaalden afvoer behooren dus niet dezelfde peilen, maar wél dezelfde diepten en profielen als vroeger. Gelijkheid van dwarsprofiel of van stroomsnelheid in de rivier en in den overgang komt dus voor bij denzelfden afvoer als vroeger en daarom komt men ook tot dezelfde neerzetting van zand. Alleen bij hooge standen, wanneer ook de uiterwaarden aan den afvoer gaan deelnemen, is het verband tusschen profiel en debiet niet meer hetzelfde. Dit is echter zonder beteekenis, omdat bij die hooge afvoeren de stroomsnelheid in den overgang ruimschoots groot genoeg is, om het aangevoerde zand verder te transporteeren.

Er is echter een complicatie. Zooals in par. 1 werd vermeld, zijn de dwarsprofielen van het zomerbed in het model afgeleid van peilingen in 1931 en 1934. Een deel van de daling had toen dus reeds plaats gevonden en er is dus gewerkt met waterstanden (van 1921-'30) en met een bodemligging (van 1931-'34), die niet bij elkander behooren.

Dit maakt, dat de uitkomsten van de proeven niet geheel juist kunnen zijn. De aanzanding in den overgang zal minder gunstig worden dan de schatting aangeeft.

Voor de wijdte van 95 meter tusschen de koppen zal het verschil niet groot zijn en zeker kleiner dan de onzekerheid in de uiteraard globale schatting. De uitkomst van 60.000 m^3 per jaar, die alleen als orde van grootte is bedoeld, kan dus gehandhaafd blijven.

Anders staat het met de wijdte van 85 m. In verband met het vlakke verloop van het deel van de frequentiekrommen der waterstanden, dat hierbij te pas komt, is het niet onmogelijk, dat het getal van 10.000 m^3 per jaar moet worden verdubbeld of wellicht zelfs nog meer moet worden vergroot.

De conclusie blijft echter gehandhaafd, dat een versmalling van de rivier tusschen de koppen A een aanmerkelijke vermindering van het in den overgang te verrichten onderhoudsbaggerwerk met zich zal brengen.

Zandbezwaar in de havens.

Het tengevolge van de uitwisseling in de havenmonden en verder naar binnen in de havens tot afzetting komende bodemmateriaal kon in het algemeen moeilijk rechtstreeks worden bepaald. Ook in die gevallen waar gedurende een deel van de proef ten naastebij een evenwichtstoestand heerschte, was het niet goed mogelijk te bepalen hoe lang de juiste duur daarvan was en vooral welk gedeelte van het materiaal in die periode was afgezet. Voor een schatting van het zandbezwaar in de havens moeten daarom ook de uitwisselingsmetingen in beschouwing worden genomen. De metingen in het model, waarop dit verslag betrekking heeft, zijn daartoe niet rechtstreeks geschikt, omdat zij dienden tot bepaling van de gemiddelde uitwisseling en niet in het bijzonder van die van het bodemwater. De vroeger ontwikkelde vorm van de koppen A had juist het doel om deze kleiner te maken dan de gemiddelde uitwisseling. De proeven ^{met bodemrollers} in het model 46 hadden betrekking op het gedrag van het bodemmateriaal, zoodat de daarbij gevonden cijfers toepassing kunnen vinden (par. 12, tabel 7, verslag M 9/46). In het model 46 is geen toestand onderzocht

welke dezelfde geleidingswerken bezat als in het model 104 met de koppen A op + 465 cm. De beste vergelijking biedt T XXX (fig. 7, verslag M 9/46) met de koppen A op + 335. De uit de metingen in dien toestand afgeleide waarde δ (het gedeelte van den totalen zandafvoer dat voor of in de havens wordt afgezet) bedraagt $1\frac{1}{2}$ procent. Bij de hoogere koppen A zal de afzetting waarschijnlijk iets sterker zijn, terwijl ook met eenigen invloed van de slingering rekening moet worden gehouden. Op grond daarvan schijnt het veiliger voor elke haven te rekenen op $2\frac{1}{2}$ %, gezamenlijk dus op 5 % van den totalen zandafvoer.

Bij de in par. 10 besproken proeven met zandtransport is, na correctie voor te sterk slingeren, geblekendat, afhankelijk van den afvoer een hoeveelheid zand in de havens wordt gebracht, varieerend van nul tot tien procent van het zandtransport. Een algemeen gemiddelde van vijf procent is ook op grond van deze proeven aannemelijk.

Bij een jaarlijksch transport van 250.000 tot 300.000 m³ komt dit neer op een zandneerzetting in de voorhavens van omstreeks 15.000 m³ per jaar.

Slibbezwaar in de voorhavens.

De hoeveelheid slib, die in de voorhavens tot bezinking zal komen, hangt rechtstreeks af van de gemiddelde uitwisseling. Voor toestand 10 is deze op grond van de metingen gesteld op 3 tot 5 procent voor elke haven. De overige toestanden vertoonen onderling en ten opzichte van T 10 slechts afwijkingen, waarvan geen of zeer weinig invloed op de gemiddelde uitwisseling kan worden verwacht. Ook voor de andere toestanden kan daarom op een uitwisseling van 3 tot 5 procent worden gerekend. Dit beteekent dat een overeenkomstig gedeelte van den totalen slibafvoer gedurende langer of korter tijd in elke haven vertoeft. Gemiddeld bedraagt de verblijftijd enkele uren. Welk gedeelte in dien tijd tot bezinking komt, is bezwaarlijk te schatten. Volgens een tamelijk pessimistische aanname kan men stellen, dat slechts een derde van het in de havens geraakte slib deze weer verlaat. Wellicht is het reeds veilig te rekenen op het neerslaan van de

helft van het slib. De uiterste waarden voor de te baggeren hoeveelheid, waartoe men op deze wijze komt, zijn $1\frac{1}{2}$ en $3\frac{1}{2}$ procent voor elke haven. Om de orde van grootte aan te geven kan men dus rekenen met vijf procent voor beide tezamen. Waar de jaarlijksche totale slibafvoer op de orde van grootte van een millioen m^3 moet worden gesteld, beteekent dit een slibbezwaar in de kruising van $50.000 m^3$.

DELFT, September 1940.