


DI: 226298

Rapport betreffende de  
meetafdeling van de  
studiedienst

Informatierapport nr. 5  
(Ir. L. van Bendegom-1939)

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

Bibliotheek

SV BOR09 ON



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

Postbus 9070  
6800 ED Arnhem  
Tel. 026 - 3688355

### Bibliotheek

naam	afd.	retour	paraaf

S.V.P. TIJDIG VERLENGEN

RIJKSWATERSTAAT  
DIRECTIE BOVENRIVIEREN  
AFD. STUDIEDIENST

Nota 1939 no. 1.  
met 8 figuren.

RWS Dir. Oost-Nederland

Bibliotheeknr. SV Borlog ON

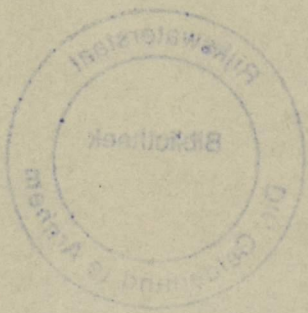
RAPPORT. BETREFFENDE DE  
MEET AFDELING VAN DE STUDIEDIENST.

INFORMATIERAPPORT NO. 5.



opgemaakt in Maart 1939  
gecopieerd in Aug. 1951.

Bibliothek Nr. C 1008  
FWS Dr. Gebhard



INHOUD.

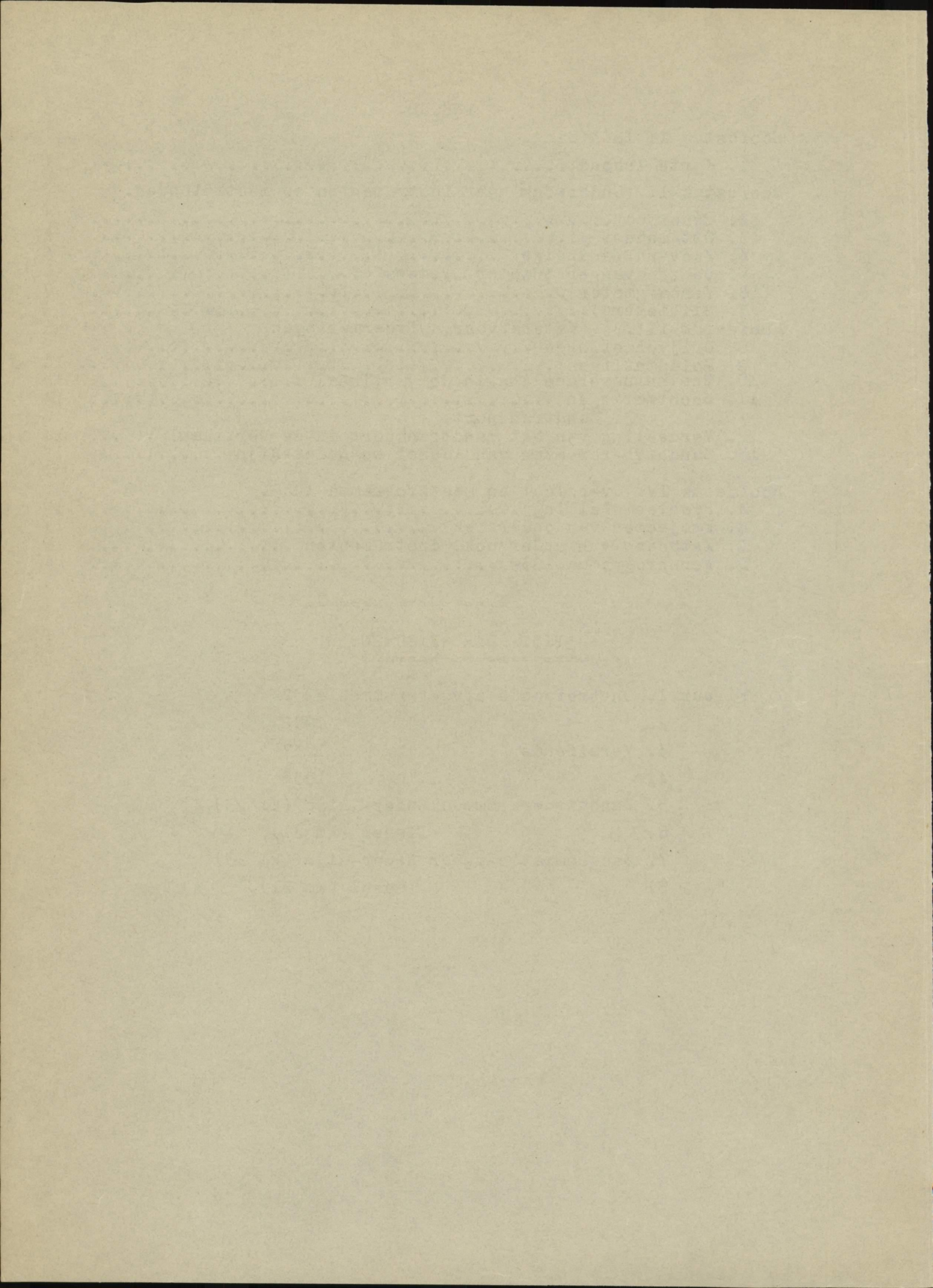
Hoofdstuk I. Inleiding.	Blz.
1. Korte inhoud .....	1
Hoofdstuk II. Onderzoek naar instrumenten en meetmethoden.	
2. Echolood .....	3
3. Ott-molens .....	4
4. Zwevend Zandzuiger .....	5
5. De zandvanger "Canter Cremers" .....	6
6. Verhangmeter .....	7
7. Slibmeter .....	8
Hoofdstuk III. A. Waterafvoer. Afvoermetingen	
8. Drijvermetingen .....	9
9. Molenmetingen .....	11
10. Snelheidsverdeeling in de vertikaal .....	12
11. Bochtmetingen .....	13
B. Zandtransport.	
12. Verdeeling van het zandtransport in de vertikaal .....	14
13. Zandafvoerkrommen van IJssel en Neder-Rijn .....	15
Hoofdstuk IV. Overzicht en meetprogramma 1939.	
A. Probleemstelling .....	16
B. Projecten van onderzoek .....	17
C. Methoden van onderzoek, instrumenten .....	19
D. Werkprogramma 1939 .....	22

=====

LIJST DER FIGUREN.

=====

Figuur 1. Onvereffende afvoerkrommen 1937
" 2. " " 1938
" 3. Vereffende " 1937
" 4. " " 1938
" 5. Zandafvoerkrommen Neder- Rijn (km 23)
" 6. " IJssel (km 21)
" 7. Zandsommatiefiguur Neder-Rijn (km 23)
" 8. " IJssel (km 21).



## HOOFDSTUK I. INLEIDING.

### 1. Korte inhoud.

#### a. Instrumenten.

Het echolood werd eenmaal geijkt in de sluis te Eefde, waarbij bleek, dat het instrument een fout in diepteaanwijzing gaf van ongeveer 5 cm, dus gelijk aan de afleesnauwkeurigheid.

Ott molens. De Studiedienst had gedurende 1938 de beschikking over 3 Ott molens, n.l. de eigen nrs. 6016 en 6260 en de in bruikleen ontvangen molen van den dienst der Zuiderzeewerken no. 5406.

Al deze molens werden dit jaar eenmaal geijkt. De nrs. 6061 en 6260 gaven, vergeleken met de ijkingsformule een te groote snelheid, n.l. resp. 2 en 5%, terwijl no. 5406 een 5% snelheid aanwees. De ijkingsmethode zelf liet evenwel te wenschen over.

De "Zwevend Zandzuiger" (Z.Z.Z.) werd onderzocht op rand invloeden en foutieve snelheid der instrooming; uit de metingen blijkt, dat aangenomen mag worden, dat randvloeden van de buis te verwaarloozen zijn en dat het zandgehalte van het gevangen water niet verandert bij een verkeerde snelheid van afzuigen.

Daarentegen blijkt uit vergelijkende metingen tusschen de Z.Z.Z. en de zandvanger "Cantier Cremers", dat de hydraulische factor van laatstgenoemd instrument, welke op 1.25 was gesteld, waarschijnlijk te laag is en 1.6 à 1.8 zal bedragen.

Een poging om een verhangmeter te construeeren, berustend op het principe van het relatief bewegen van voorwerpen in stroomend water, mislukte; het onderzoek hiernaar wordt voortgezet.





Ook is nog geen methode gevonden om op snelle en nauwkeurige wijze het gehalte aan slib te bepalen van het water; het onderzoek hiervan is nog gaande.

b. De afvoermetingen.

In de beide stroomjaren 1937 en 1938 werden resp. 7 en 6 drijverafvoermetingen verricht. Dit aantal is te weinig om een nauwkeurige afvoerkromme te teekenen. Het zal dan ook op 10 worden gebracht.

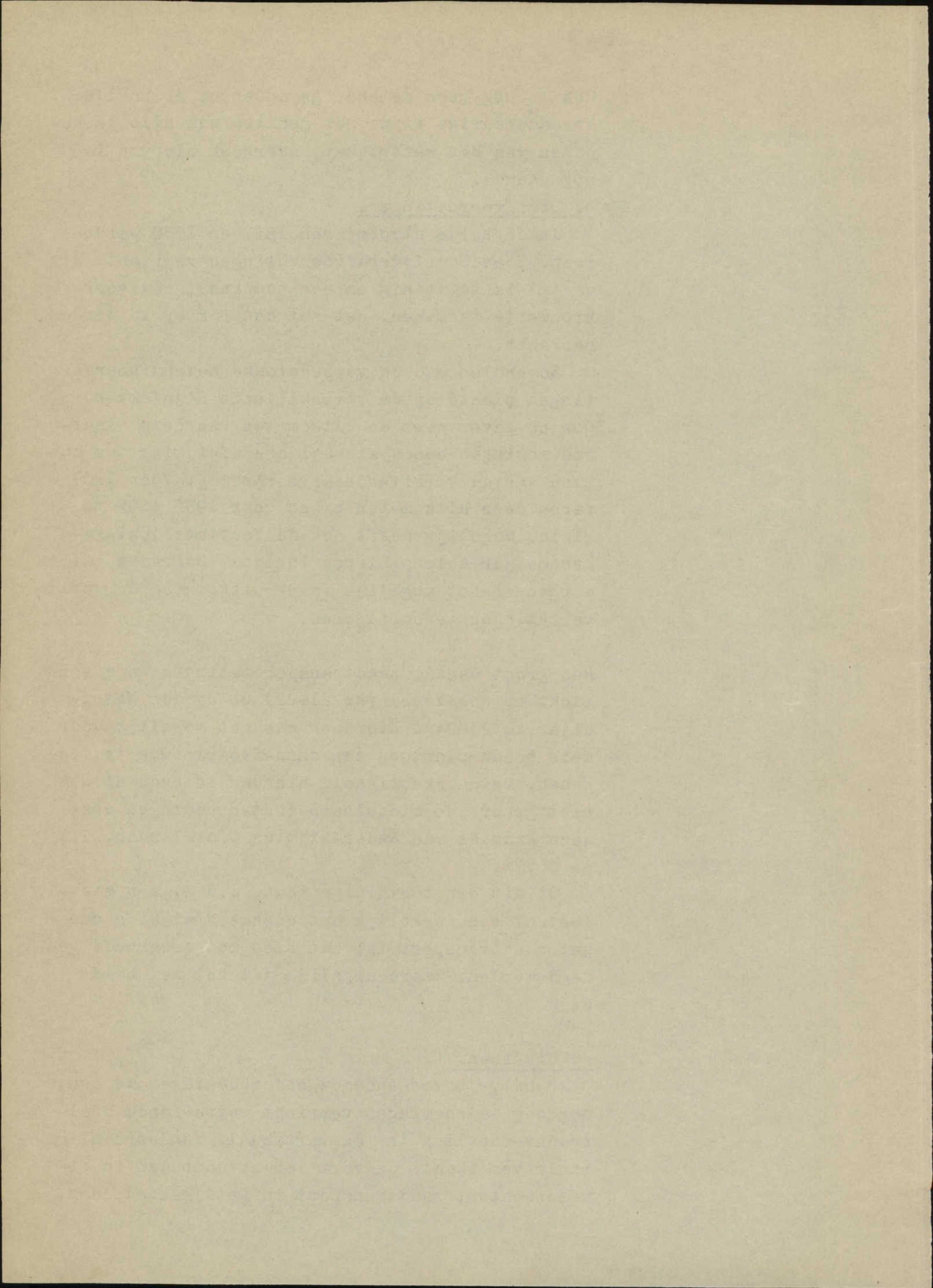
Bovendien hadden verscheidene molenaafvoermetingen plaats op de verschillende Rijntakken. Ook nu gaven weer de uitkomsten van deze laatste meringen een systematische afwijking ten aanzien van de vereffende afvoerkromme. Voor 1937 waren deze uitkomsten 6% en voor 1938 4.9% te klein. Mogelijk heeft ook de foutieve ijkingskromme der molens hierop invloed. Nagegaan zal worden of het mogelijk is de uitkomsten der drijvermetingen te corrigeren.

Een groot aantal zandtransportmetingen werd verricht op den Yssel (km 21-22) en op den Neder-Rijn (km 23-24). Hierdoor was het mogelijk voor deze beide plaatsen een zandafvoerkromme te teekenen. De nauwkeurigheid hiervan is evenwel nog niet groot; de middelbare fouten bedragen voor deze krommen van Neder-Rijn en IJssel resp. 17,4 en 35.7%.

Of dit een toevallige fout, d.w.z. een meetfout of een werkelijk optredende afwijking van het zandtransport is, kan niet met zekerheid gezegd worden. Waarschijnlijk zal het wel beide zijn.

c. Diversen.

Behalve bovengenoemde onderzoekingen werden nog nog waarnemingen verricht betreffende snelheidsverdeeling in de vertikaal, zandverdeeling in de vertikaal, de vorm der stroombanen in rivierbochten, zandtransport in getijgebied, enz.



Advies werd gegeven over de te verwachten rivierbodemdalingen te Deventer en te Tiel, in verband met resp. de te bouwen brug te Deventer en de uitmonding van het Amsterdam-Rijnkanaal te Tiel.

Verder werden eenige aanvullende berekeningen uitgevoerd voor het IJsselkanalisatie-rapport.

Tenslotte werd de Studiedienst belast met het ontwerp en de uitvoering van de nieuwe IJsselmonden te Kampen.

#### d. Programma.

In een apart hoofdstuk is een uiteenzetting gegeven van de problemen, welke de Studiedienst tot object van onderzoek heeft, benevens van de methoden, om deze problemen op te lossen.

Hieruit is dan het programma voor het jaar 1939 vastgesteld.

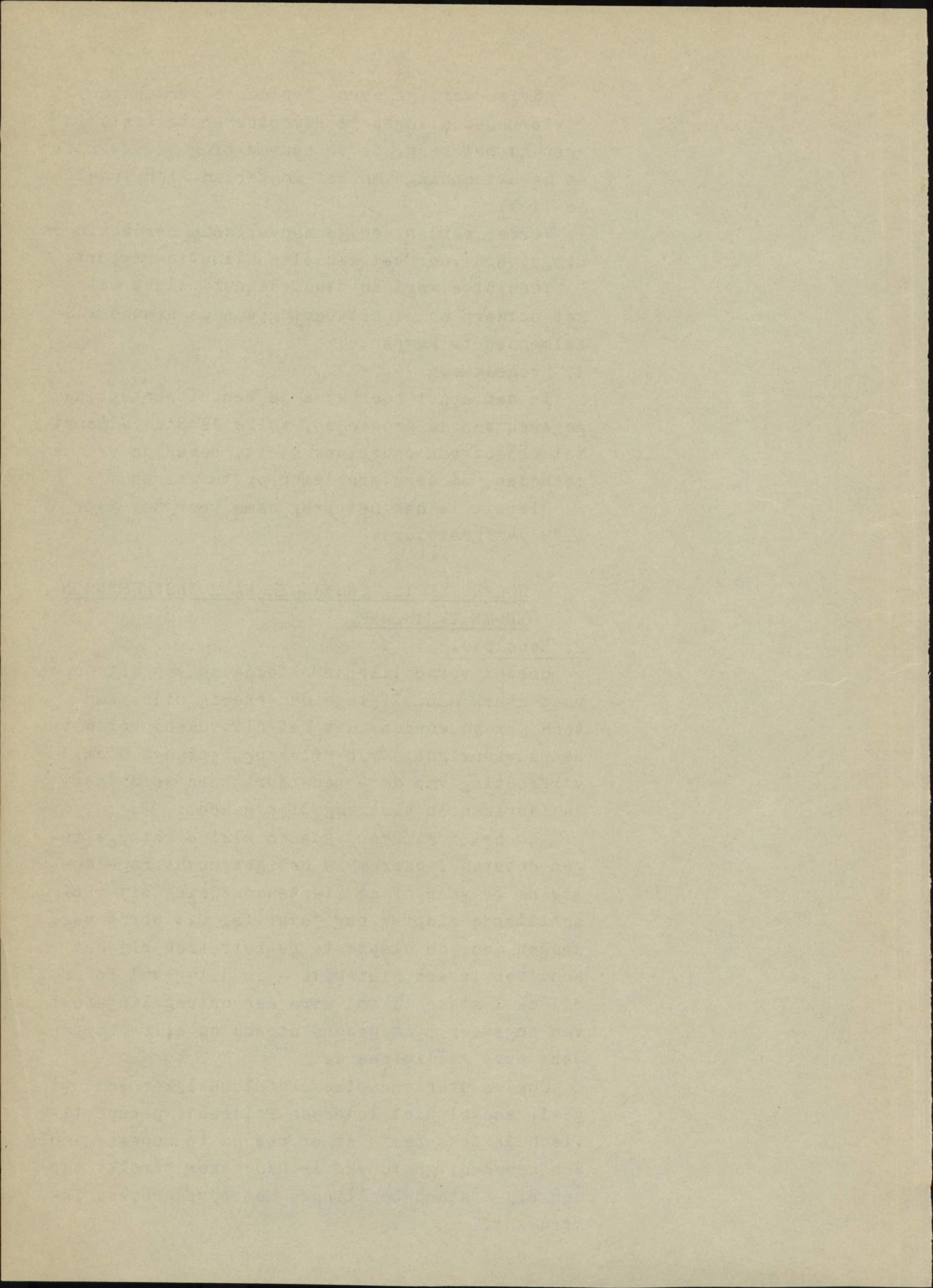
## HOOFDSTUK II. ONDERZOEK NAAR INSTRUMENTEN EN MEETMETHODEN.

### 2. Echolood.

Hoewel verschillende onderdelen van dit apparaat sterk aan slijtage onderhevig zijn, kan toch gezegd worden, dat het uitstekend voldoet. De nauwkeurigheid van aflezing bedraagt 5 cm; vergrooting van deze nauwkeurigheid werd door de fabrikanten niet mogelijk geacht.

Aan het instrument kunnen kleine onregelingen ontstaan, daarom is het gewenscht regelmatig na te gaan of de diepteaanwijzing bij verschillende diepten nog juist is. Dit wordt verkregen door de diepte te registreeren bij het schutten in een sluiskolk - in dit geval Eefde. Bij de laatste ijking werd een onregelingsfout van ongeveer 5 cm geconstateerd op alle diepten. Deze werd geëlimineerd.

Ook de stereoscopische afstandkijker voldoet goed, hoewel niet iedereen voldoende perspectiefisch inzicht heeft om er mee om te kunnen gaan. Een nauwkeurigheid van 1% kan zeker bereikt worden bij afstandsbepalingen met bovengenoemd instrument.



### 3. Ott molens.

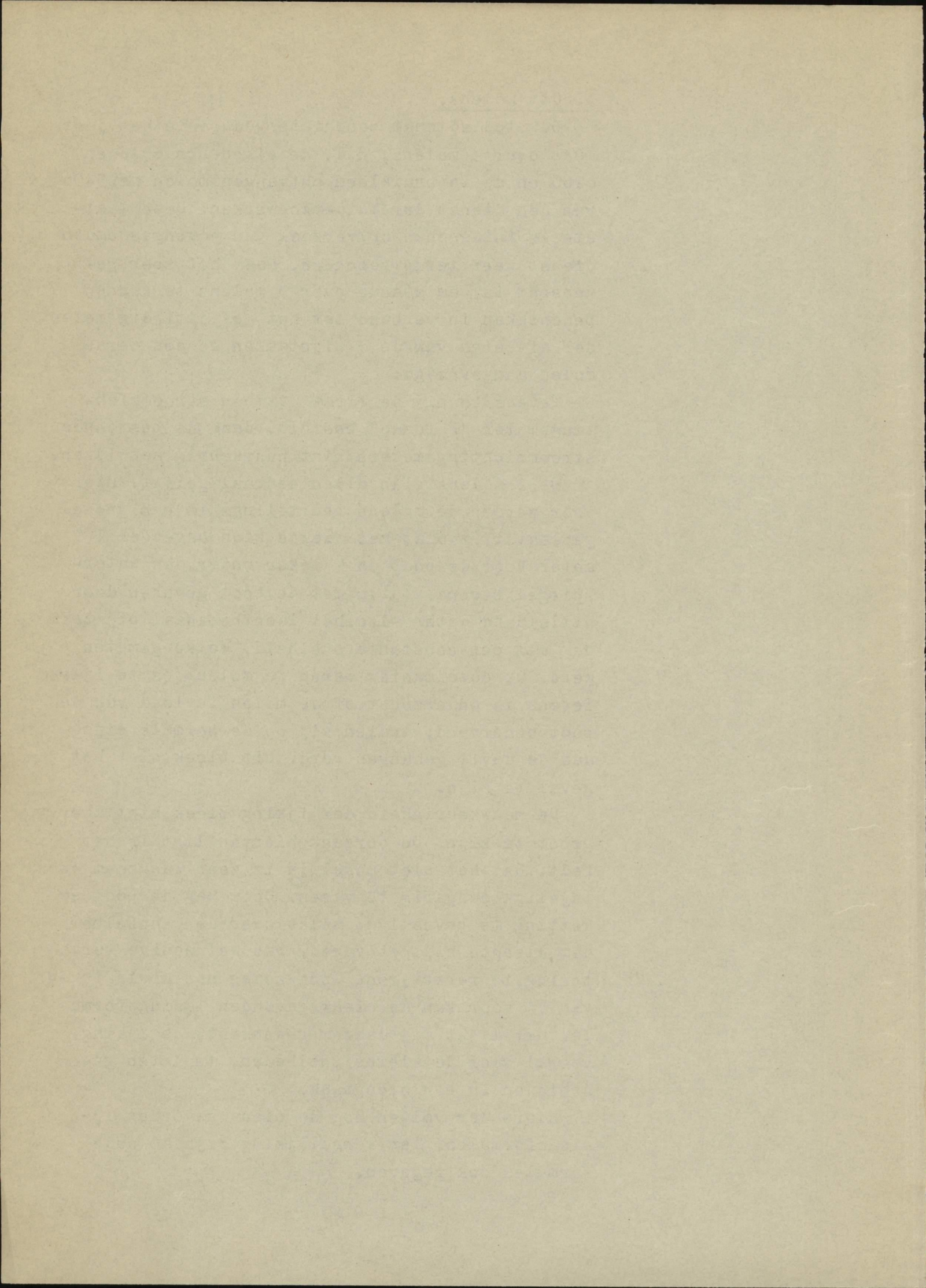
De Studiedienst beschikte gedurende het jaar 1933 over 3 molens, n.l. de eigen nrs. 6016 en 6260 en de in bruikleen ontvangen molen no. 5406 van den dienst der Zuiderzeewerken. Deze laatste is intusschen op verzoek van bovengenoemden dienst weer terug gezonden. Daar het zeer gewenscht is, om steeds over 3 molens te kunnen beschikken in verband met het gelijktijdig meten der afvoeren van de 3 Rijntakken is een derde molen aangevraagd.

Tevens is bij de firma Ott een stroomrichtingsmeter "Potomac" besteld, daar de bestaande stroomrichtingsmeters niet nauwkeurig aanwijzen.

De 3 molens zijn allen eenmaal geijkt. Hiervoor werden de molens beurtelings in een gestel geplaatst, zoodat het wiekje zich ongeveer  $1\frac{1}{2}$  meter voor de boot en  $\frac{1}{2}$  meter onder den waterspiegel bevond. Nu is met de boot gevaren door stilstaand water -i.c. het Twenthekanaal bij Eefde- met een constante snelheid, welke gemeten werd. Op deze manier waren de molentjes te ijken. Tevens is onderzocht of de molen invloed van de boot ondervond, indien zij op de normale wijze aan de davit gehangen werd. Dit bleek niet het geval te zijn.

De nauwkeurigheid der ijking bleek niet zeer groot te zijn. De oorzaak hiervan ligt in het feit, dat het niet mogelijk is zeer langzaam en tegelijk eenparig te varen. Door aan de boot een ketting te bevestigen welke over den kanaalbodden sleepte bij het varen, was wel eenige verbetering te verkrijgen. Toch komen nog afwijkingen van 5% voor van de nieuw gevonden ijkingsformule. Het lijkt mij daarom gewenscht, de ijking, vooral voor de kleine snelheden, te laten geschieden in een sleeptank.

Hieronder volgen nog de nieuw gevonden ijkingsformules. Ter vergelijking zijn de oude formules ook gegeven.



Ott molen no. 6016

oude formule:  $V = 0,2533 n + 0.01$

nieuwe "  $V = 0,2613 n + 0.02$

Ott molen no. 6260

oude formule:  $V = 0,2600 n + 0.001$

nieuwe "  $V = 0,2616 n + 0.04$

Voor de molen no. 5406 is, in verband met het gering aantal metingen, geen formule te geven.

De afwijking bedraagt dus bij de normaal optredende snelheden voor no. 6016 + 2%

no. 6260 + 5%

no. 5406 - 5%

#### 4. De Zwevend Zandzuiger.

Een onderzoek is ingesteld naar de juistheid der meetresultaten van de zwevend zandzuiger (Z.Z.Z.)

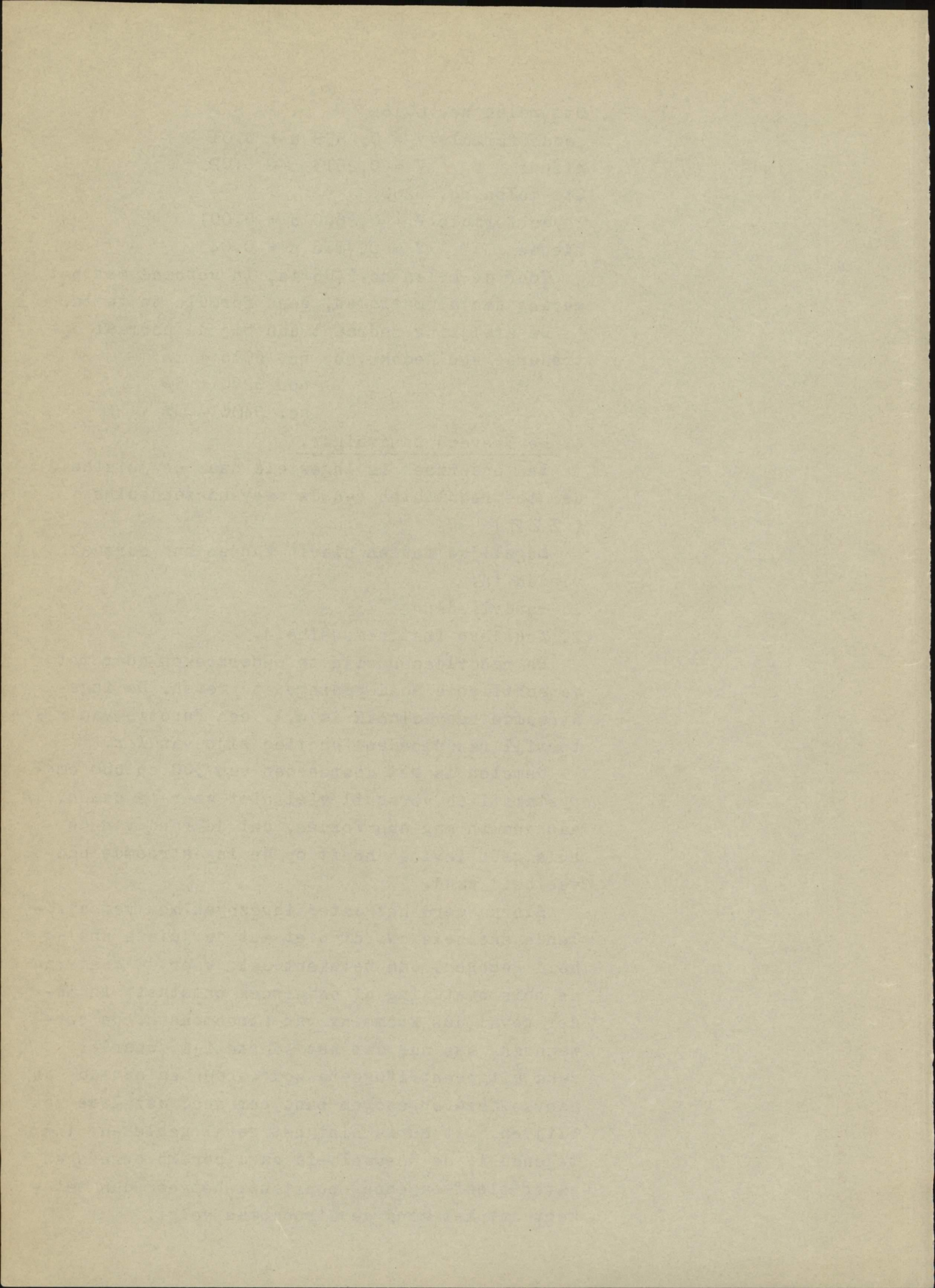
Mogelijke fouten hierin kunnen hun oorzaak vinden in:

1. randvloeden
2. foutieve instroomsnelheid.

De randvloeden zijn te onderzoeken door met verschillende mondopeningen te meten. De ingestroomde hoeveelheid is n.l. een functie van  $r^2$ , terwijl randvloeden functies zijn van  $1/r$ .

Gemeten is met doorsneden van 300 en 600 cm<sup>2</sup>. Systematisch verschil viel niet waar te nemen. aangenomen mag dus worden, dat de rand van de buis geen invloed heeft op de ingestroomde hoeveelheid zand.

Hierna werd het water ingezogen met verschillende snelheid. Wordt niet met de juiste snelheid gezogen, dan betekent dat, voor de mond van de buis opstuwing of onderzoek ontstaat; in ieder geval dus kromming van stroombanen. De verwachting was nu, dat het soortelijk zwaardere zand uitgecentrifugeerd zou worden en dat dus de hoeveelheid opgezogen zand per sec. dezelfde zou blijven. Dit nu is niet het geval gebleken; integendeel, de hoeveelheid zand per m<sup>3</sup> opgezogen water bleef nagenoeg constant, hetgeen dus betekent dat het zand de stroombaan volgt.





Bij de metingen zal hierop gelét dienen te worden, hetzij door een zeer nauwkeurige afstelling der snelheid, door bepaling van den waterafvoer op iedere hoogte en deze dan te vermenigvuldigen met uit de metingen met de Z.Z.Z. gevonden zandgehalte van het water.

5. De zandvanger "Canter Cremers".

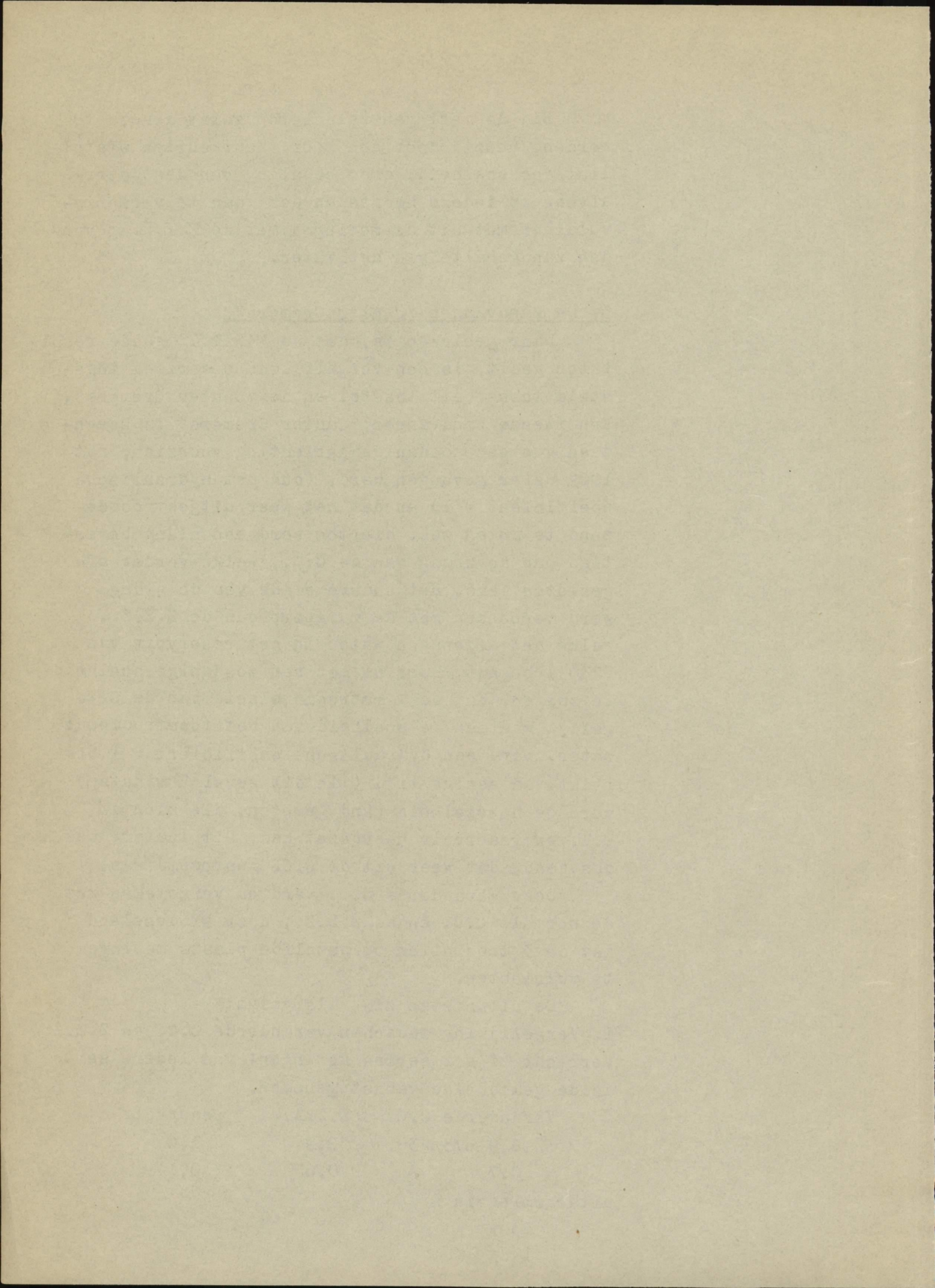
Daar gebleken is, dat de "Z.Z.Z." goede resultaten geeft, is een vergelijkend onderzoek ingesteld tussen dit toestel en de "Canter Cremers". Een tweede zandvanger "Canter Cremers" is bovendien van een zoodanige inrichting voorzien, dat 100% water gevangen werd. (dus met hydraulische coëfficiënt = 1) en dat het weer uitgestroomde zand te meten was. Hiertoe werd een slang bevestigd aan de kraag van de C.C., welke verder afgesloten werd. Het andere einde van de slang werd verbonden met de zuigpomp van de Z.Z.Z., welke het afgezogen water in het reservoir van 230 l brengt. Door na met een zoodanige snelheid te zuigen, dat de instroomsnelheid van de C.C. gelijk was aan de snelheid van het toestroomende water, werd een hydraulische coëfficiënt = 1 bereikt. Na eenige tijd ( in dit geval 5 minuten) werd de hoeveelheid zand gemeten, die zich in C.C. en reservoir neergezet had. Dit laatste was dus zand, dat weer uit de C.C. gestroomd was.

Deze veranderde C.C. werd nu vergeleken met de normale C.C. en de Z.Z.Z., door afwisselend met de 3 toestellen op dezelfde plaats metingen te verrichten.

De uitkomsten zijn als volgt:

1. Vergelijking tusschen veranderde C.C. en Z.Z.Z. Verricht zijn 2 series metingen; van iedere serie is de gemiddelde vangst genomen.

Veranderde C.C.	Z.Z.Z.	reservoir
6,9 cm <sup>3</sup> /230 l	8,9	1,0
0,7	0,6	0,1
uitsrooming in %		
13 %		
14 %		



In de grafiek van de verliespercentages hoort bij de optredende gem. snelheid en korreldiameter een verlies van 15 á 20%.

2. Vergelijking veranderde C.C. en C.C. 3 series metingen zijn verricht.

Veranderde C.C.	reservoir	verlies %
1,0	0,47	32%
2,1	0,86	29%
1,2	0,31	20%
normale C.C.	hydr. factor	
0,53	1,88	
1,21	1,74	
0,78	1,66	

De verliespercentages kloppen weer voldoende met de uit de grafiek afgeleide percentages. De hydraulische factor is evenwel veel grooter, daar tot nu toe een hydr.factor van 1,25 genomen werd. Deze is 1,6 á 1,8, de uitkomsten van de C.C. zijn dus te laag genomen.

3. Vergelijking C.C. en Z.Z.Z.

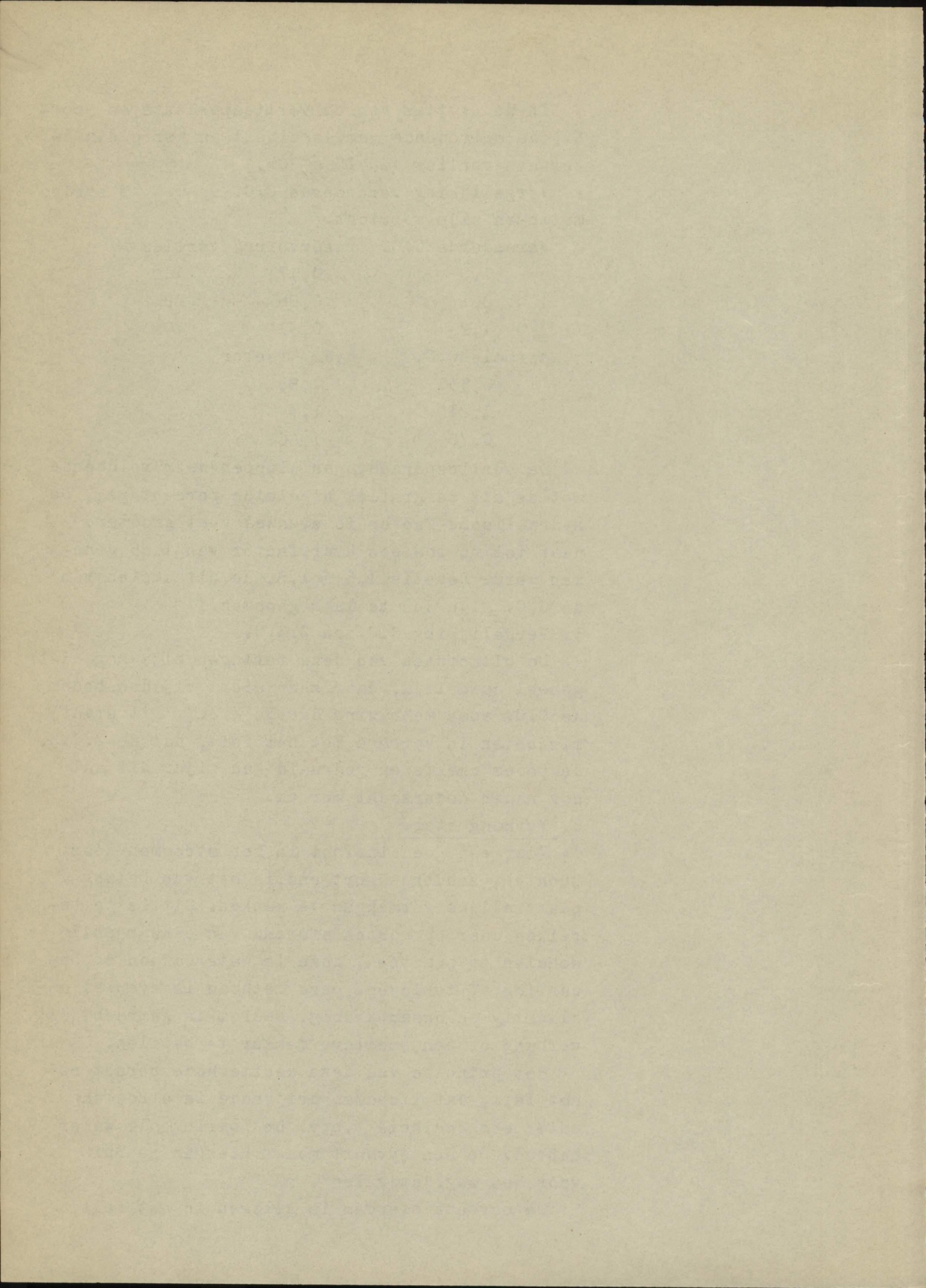
De uitkomsten van deze metingen zijn nog niet geheel duidelijk, daar zeer dicht bij den bodem de C.C. soms meer ving dan de Z.Z.Z. Dit staat misschien in verband met het feit, dat de Z.Z.Z. de bodem raakte en gedraaid kan zijn. Dit zal nog nader onderzocht worden.

6. Verhangmeter.

Voor een goed inzicht in het stroomen door bochten, zandtransport enz. is het van belang plaatselijke verhangen te kennen. Dit is te bereiken door op korten afstand van elkaar peilschalen te plaatsen, deze te waterpassen en onderling af te lezen. Deze methode is evenwel omslachtig en onnauwkeurig. Daarom is getracht dit verhang op een snellere manier te bepalen.

Het principe van deze meetmethode berust op het feit, dat lichamen drijvende in stroomend water een snelheid t.o.v. het omringende water hebben. De scheepvaart maakt hiervan gebruik voor het z.g. "stevelen".

De oorzaak hiervan is gelegen in het feit,



dat in het lichaam geen arbeidsverlies plaats heeft door inwendige wrijving. Deze arbeid wordt nu gebruikt voor uitw.wrijving. Om de snelheid zoo groot mogelijk te maken t.o.v. het water, moet dus de weerstand zoo klein mogelijk zijn. Dit wordt bereikt door het lichaam een druppelprofiel te geven.

Stel massa  $m$ , gew.  $mg$ , lengte  $l$ , grootste doorsnede  $= f = q \frac{m}{l}$

$q =$  volheidscoëff.  $= \pm 1,3$ , snelheid water  $= v$ , lichaam  $v + u$ , dus

$\mathcal{E}.f.\rho. \frac{u^2}{2} = m.g.i.$  (wrijvingskracht = verhangkracht.)

$\mathcal{E} =$  coëf.f., afh. van de vorm en getal van Reynolds

$= \pm 0,3$  dus:  $u = \sqrt{\frac{2gl}{2.4}}.i$ ; stel  $l = 2m$ .

$\varphi = 1,3$  en  $\mathcal{E} = 0,3$  dan is:  $i = \frac{u}{10^6}$  (u in cm. sec.<sup>-1</sup>)

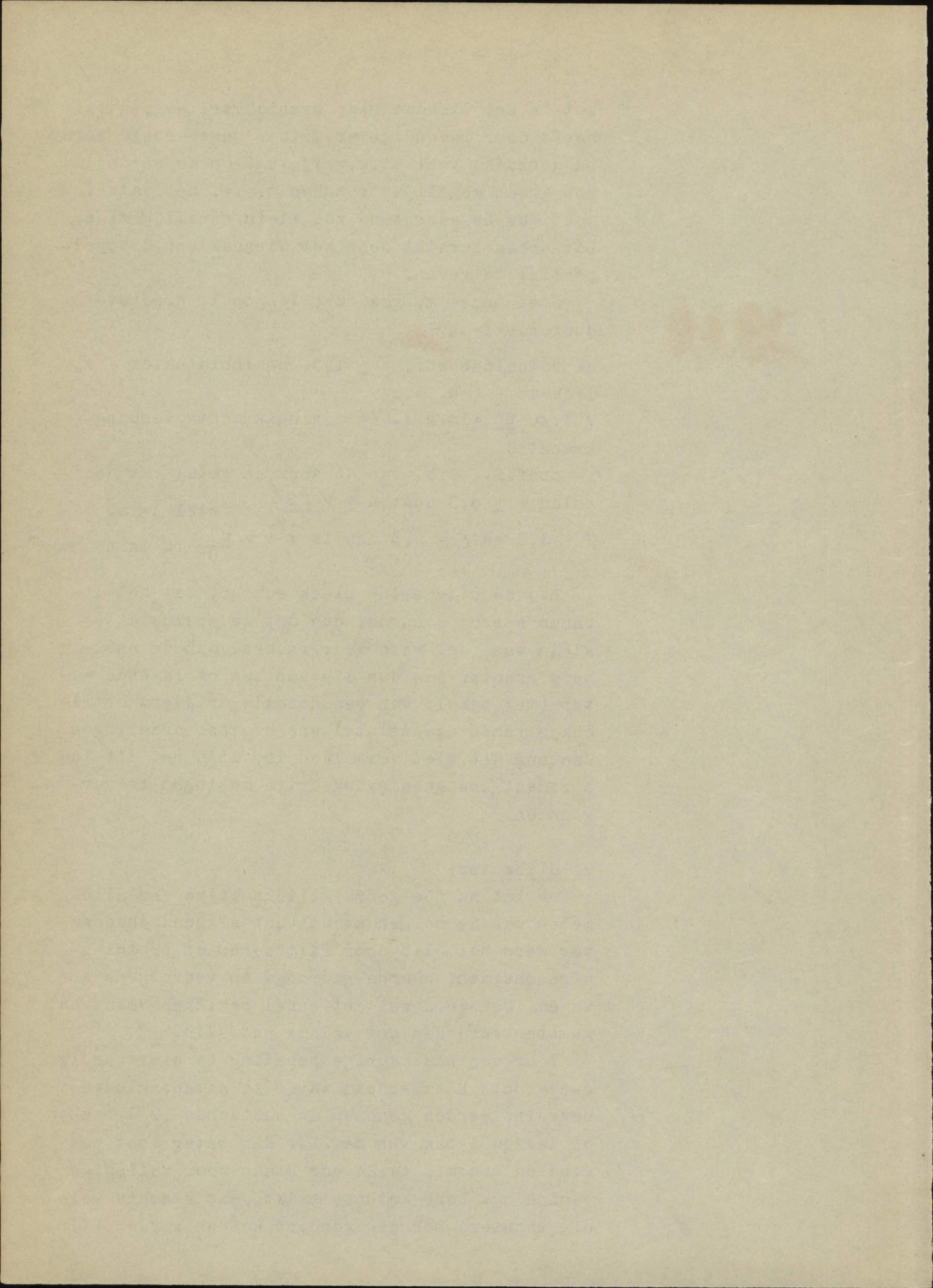
$\rho = 1$  gesteld

Bij de uitvoering bleek echter, dat het lichaam slecht stuurde, dus dat de snelheid te klein was. Wel werd waargenomen, dat de snelheid groter was dan die van het omringende water (met behulp van een normale drijver) Het lichaam remde evenwel telkens af door draaiingen. Zoolang dit niet verholpen is, zijn met dit instrument dus geen nauwkeurige metingen te verrichten.

#### 7. Slibmeter.

De tot nu toe gebruikelijke wijze van slibmeten was de volgende: Uit het slibhoudende water werd het slib door filtreren of bezinken afgescheiden, daarna gedroogd en vervolgens gewogen. Ook werd wel met enkel bezinken volstaan; gemeten werd dan het volume nat slib.

Voor een nauwkeurige bepaling is niet noodig een groote hoeveelheid water te nemen; als reservoirs werden genomen de bestaande 50 l bakken of de 230 l bak van de ZZZ. Het water moet bovendien ten minste 24 uur staan voor volledige bezinking. Deze methode maakt, dat slechts weinig monsters per dag genomen kunnen worden (4).



Inlichtingen werden daarna ingewonnen bij de Amsterdamsche Waterleiding, welke een jarenlange ervaring op dit gebied bezit. Deze leende ons 4 Imhoff glazen, welke een betere aflezing mogelijk maken en een minder plaatsruimte vergden. Het bezwaar van de lange bezinkingstijd blijft echter, zoodat thans naar middelen gezocht wordt om deze te verkorten. Vermengen van het water met zout gaf geen noemenswaardige versnelling; met aluin wel, het slib vlokte uit, maar was slecht meetbaar.

### HOOFDSTUK III. AFVOERMETINGEN.

#### A. Waterafvoer.

#### B. Drijvermetingen.

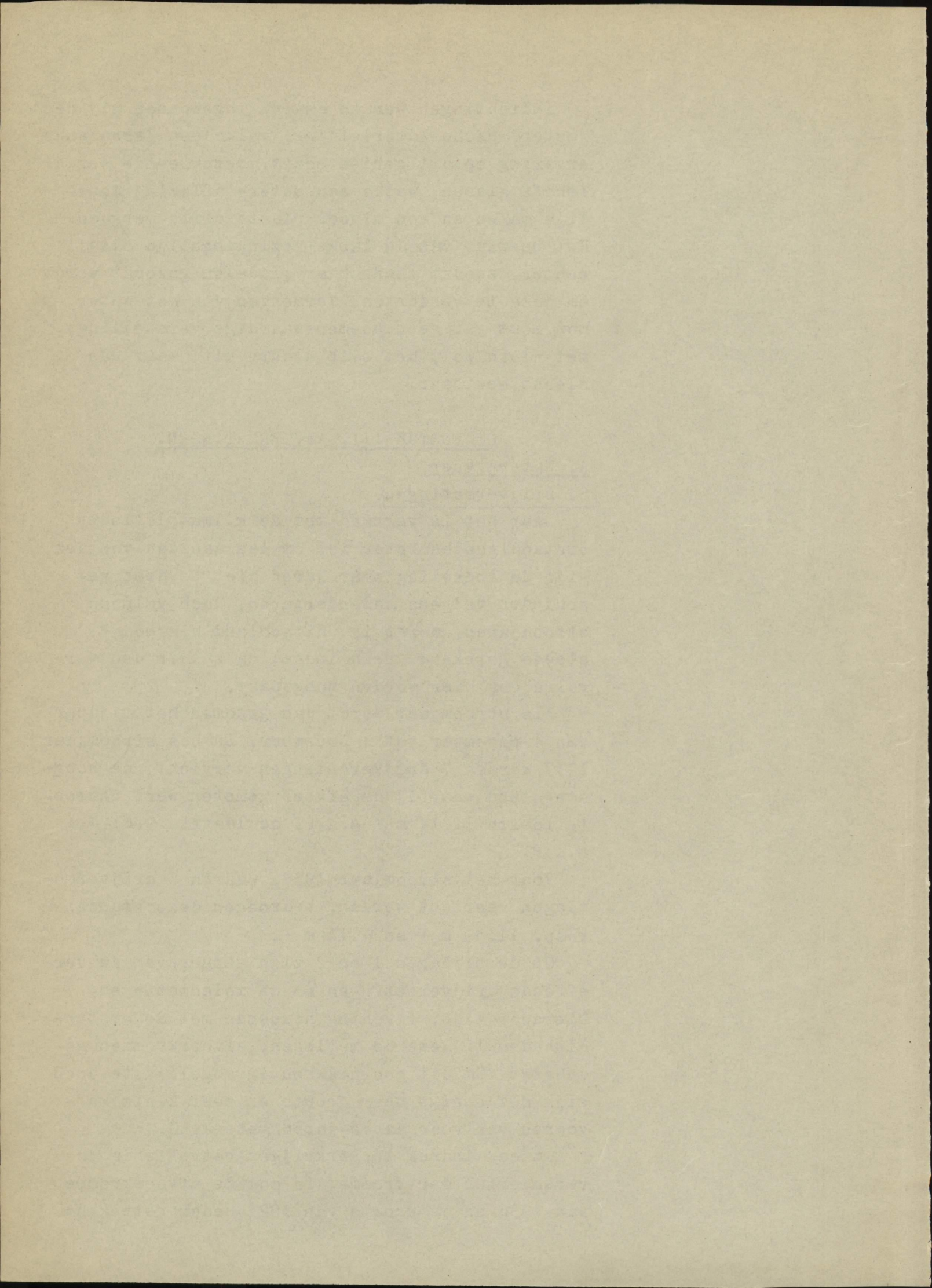
Daar het in verband met de klimatologische omstandigheden beter is, om ten aanzien van den Rijn de indeeling naar jaren niet te doen geschieden volgens kalenderjaren, doch volgens stroomjaren, wordt in Duitschland hiermede steeds gerekend. Deze indeeling zal in den verfolge ook hier worden toegepast.

Als stroomjaar wordt dan genomen het tijdperk van 1 November tot 1 November. In het stroomjaar 1937 werden 7 drijvermetingen verricht; de hoogste stand waarbij de afvoer gemeten werd bedroeg te Lobith 11.14 m + N.A.P, de laagste 9.61 m + N.A.P.

Voor het stroomjaar 1938, waarin 6 drijvermetingen verricht werden, bedroegen deze standen resp. 11.39 m + en 9.14 m +.

Op de bijlagen 1 en 2 zijn aangegeven de vereffende drijvermetingen en de molenmetingen. Hierdoor zijn, rekening houdende met de omstandigheden tijdens de metingen, afvoerkrommen geschetst. Om dit zoo nauwkeurig mogelijk te doen zijn ook eenige zeer groote en zeer kleine afvoeren van voorgaande jaren geteekend.

Om een indruk te verkrijgen betreffende de verandering der kromme, is ook de afvoerkromme van 1936 en de kromme van 1921-heden geteekend.





Om een indruk te verkrijgen betreffende de verandering der kromme, is ook de afvoerkromme van 1936 en de kromme van 1921-heden geteekend.

De geschetste krommen zijn daarna vereffend met behulp van gelijkwaardige waterstanden (bijlagen 3 en 4).

Moeilijkheid geeft bij het vereffenen het toekennen der gewichten. Gebruikelijk is, deze te kiezen omgekeerd evenredig aan de afvoeren ~~der~~ takken.

Hoewel dit niet juist kan zijn, daar het aantal drijvers voor iedere tak niet hetzelfde is en het dus beter zou zijn het gewicht evenredig aan de wortel van het aantal drijvers en omgekeerd evenredig aan het profiel of den afvoer te stellen, is uit een vergelijkende berekening gebleken, dat de uitkomsten weinig verschil gaven en zijn dus de oude gewichten aangehouden.

Vergelijking van de afvoerkrommen van 1937 en 1938 leert, dat het laatste jaar lagere standen geeft bij dezelfde afvoeren. Dit geldt vooral voor de lage afvoeren. Het verschijnsel treedt op voor alle takken.

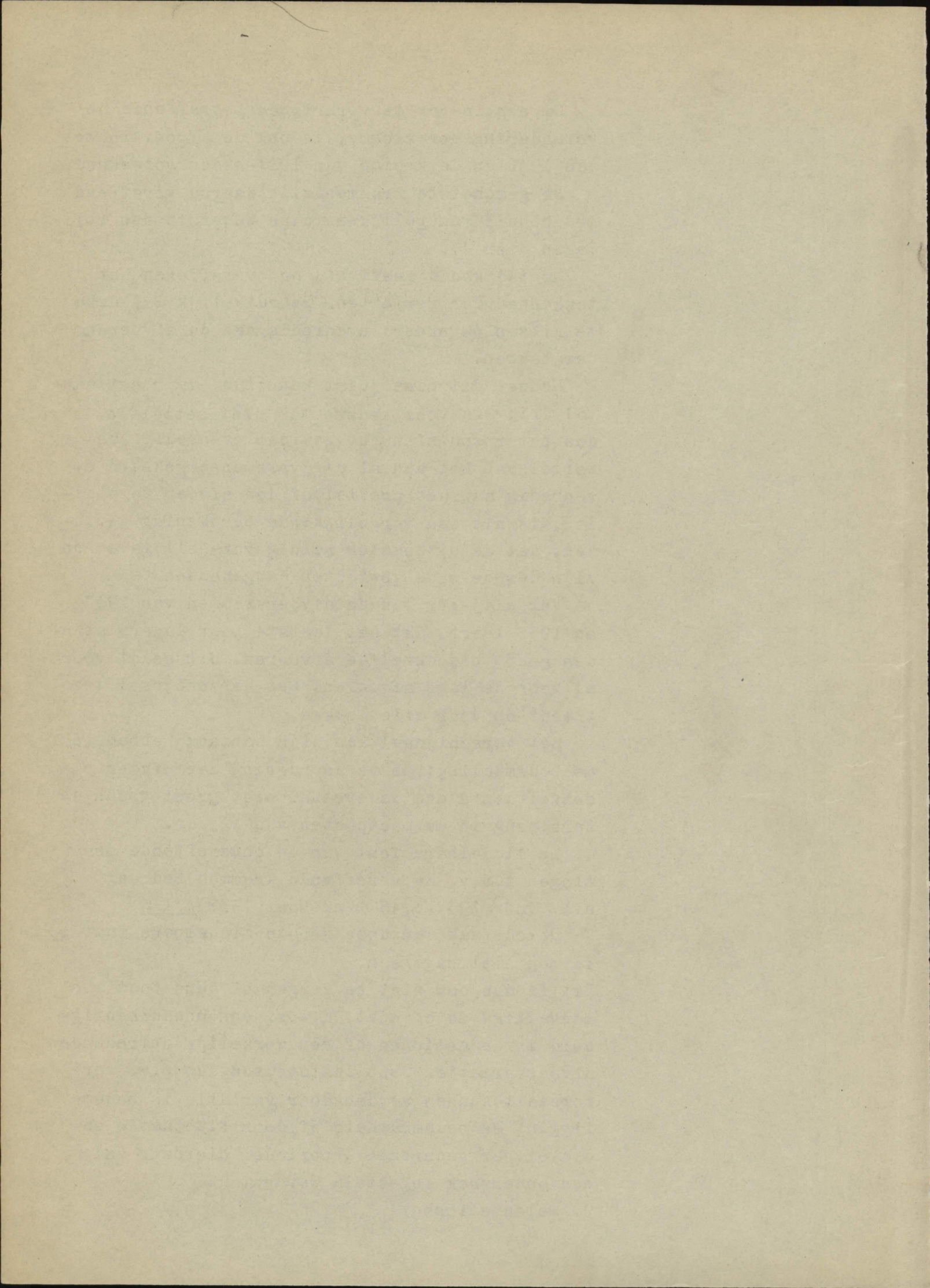
het verschijnsel kan zijn oorzaak hebben in de bodemdaling; de vermeerdering der afvoer bij denzelfden stand is evenwel niet grooter dan de spreiding in de meetpunten van 1 jaar.

De middelbare fout van de ontverffende metingen t.o.v. de vereffende krommen bedraagt n.l. voor 1937 3,48 % en voor 1938 4.1 %

De oorzaak van deze groote middelbare fout is is nog niet nagegaan.

Het is dan ook niet te zeggen of deze fout een toevallige is of niet, d.w.z. een onnauwkeurigheid in de metingen of een werkelijk optredende afvoervariatie. Deze laatste zou dan b.v. veroorzaakt kunnen worden door variatie in bodemligging en bodemruwheid of door fluctuatie en den afvoer gedurende 1 periode. Hiernaar zal een onderzoek ingesteld worden.

9. Molenmetingen.



9. Molenmetingen.

In 1937 werden 4 molenmetingen verricht te Arnhem, 4 te Westervoort en 3 te Hulhuizen.

In 1938 bedroeg dit 17 te Arnhem, 1 te Westervoort en 1 te Hulhuizen.

Onderzocht is de gemiddelde afwijking van deze metingen t.o.v. de vereffende krommen. Voor 1937 bedroeg dit -6%, voor 1938 -4,9%. Voor deze regelmatig optredende afwijking kunnen de volgende oorzaken opgegeven worden:

1e. de drijversnelheid geeft niet de gemiddelde, maar de middelbare snelheid. Bij aanname van een snelheidsverloop, voorgesteld door een 6e of 7e graadsparabool, geeft dit een verhouding van  $\frac{V \text{ middelb.}}{V \text{ gem.}} = 1,005 \text{ à } 1,01$ , dus  $\frac{1}{2}$  à 1% grotere snelheid.

2e. doordat in de drijver geen inwendige wrijving plaats heeft, wat wel het geval is bij eenzelfde kolom water, beweegt de drijver onder den invloed van de zwaartekracht zich sneller dan het omringende water.

Om een indruk te verkrijgen van de grootere snelheid, moeten de beide krachten gelijk gesteld worden, n.l. de wrijvingsweerstand / de snelheid t.o.v. het omringende water en de zwaartekracht of  $E.F.p.\frac{u^2}{2} = m.g.i.$  hierin is:

E = wrijvingscoëfficiënt = ± 1,5 voor een cyl. lichaam

F = oppervlak

u = snelheid t.o.v. het water

m = massa.

Stel diam.stok = 6 cm en i = 12.10<sup>5</sup> dan is

$$u^2 = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d \cdot g \cdot i \cdot \frac{1}{1,5}$$

$$\text{of } u = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1,5} \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot 12 \cdot 10^5}$$

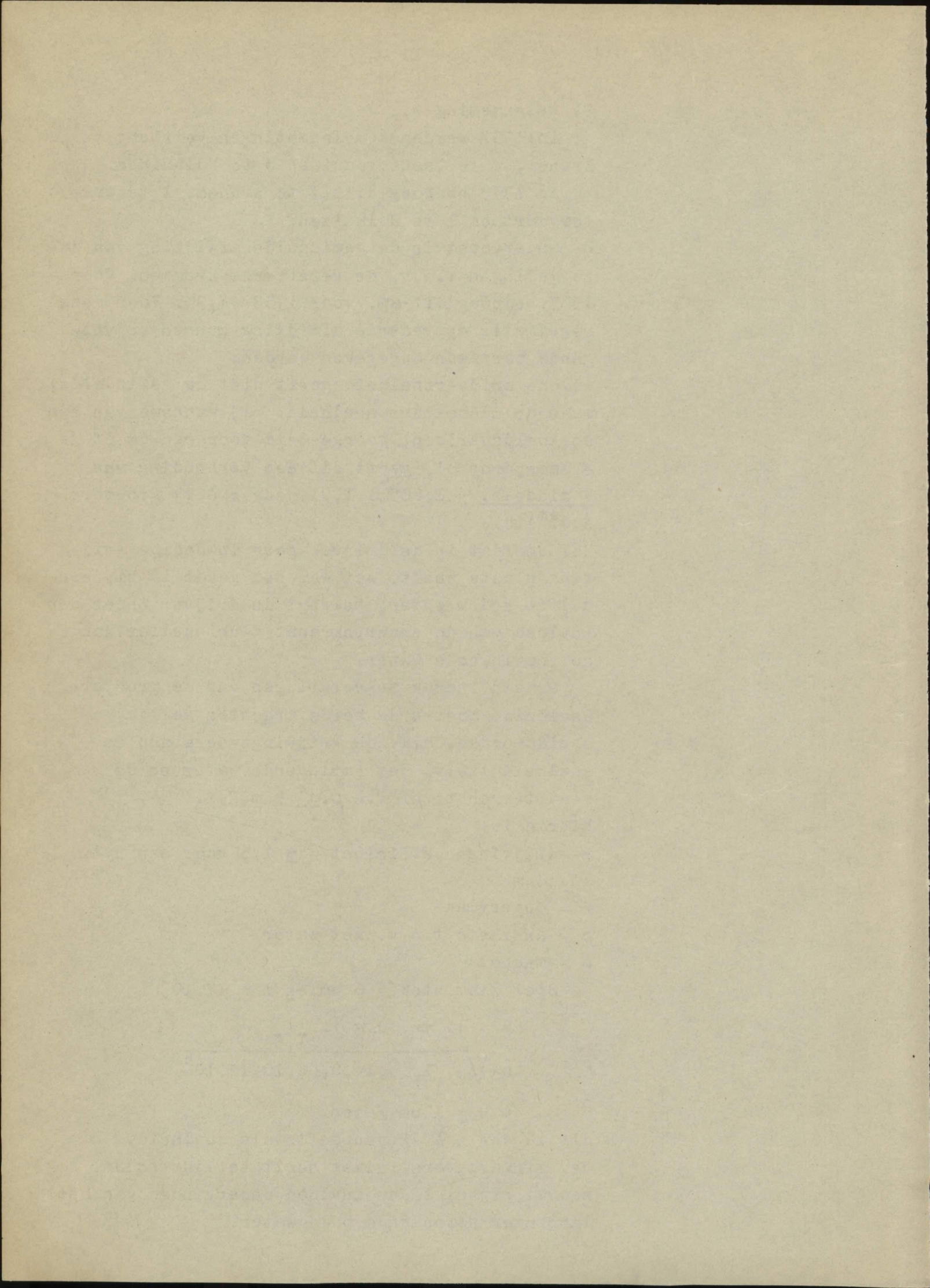
$$\text{of } u = \pm 1 \text{ cm / sec.}$$

dit is dus  $\frac{1}{2}$  à 1% van de totale snelheid.

3e. stokdrijvers reiken nooit tot den bodem, zoodat zij niet den invloed ondervinden van het langzamer stroomende bodemwater.

T 4.9.8

$$\int_0^{\rho \cdot l} \frac{1}{2} \rho u^2 E \cdot dl = 0$$



Indien de drijver gemiddeld 0.70 m te kort is kan bij de optredende snelheidsverdeeling en diepte een te groote snelheid optreden van 4 à 5% (zie rapport 4).

Deze 3 oorzaken geven dus voor de stokdrijvers een te groote snelheid van 5 à 7%. Dit is in goede overeenstemming met de metingen .

Dit in aanmerking nemende, bedraagt de middelbare fout voor de molenmetingen voor 1937 - 1,85% en voor 1938 - 3,65%.

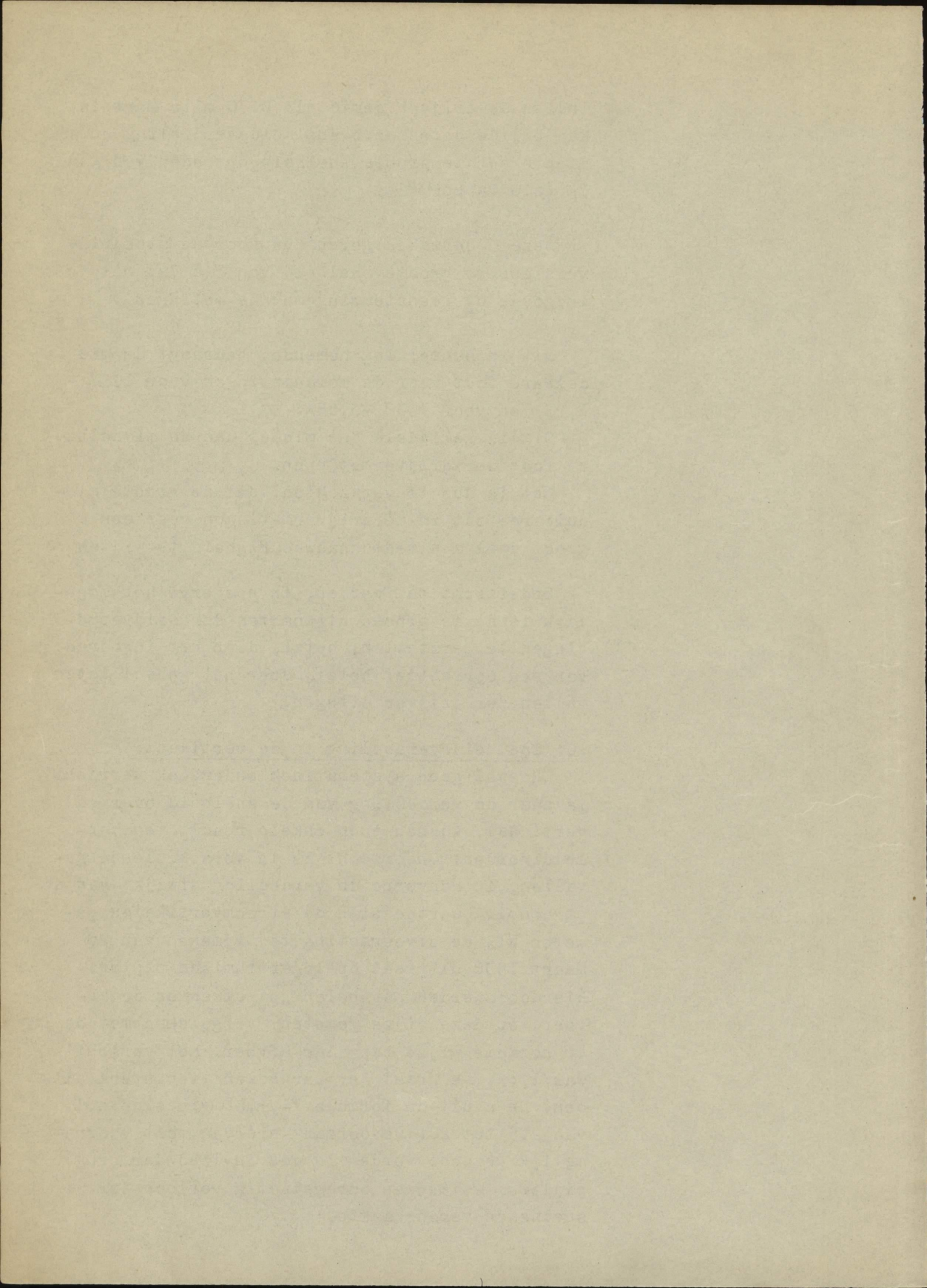
Dit is gemiddeld dus minder dan de middelbare fout der drijvermetingen.

Het is dus te verwachten, dat de groote middelbare fout in de drijvermetingen voor een groot deel aan meetonnauwkeurigheid te wijten is.

Onderzocht zal worden, in hoeverre het mogelijk is de te groote uitkomsten der drijvermetingen te herstellen, hetzij door het invoeren van een correctie, hetzij door het geheel laten vallen der drijvermetingen.

#### 10. Snelheidsverdeeling in de vertikaal.

Hoewel geen systematisch onderzoek verricht is naar de verdeeling van de snelheid over de vertikaal, kunnen toch enkele resultaten vermeld worden. Onderzocht is in verschillende gevallen, in hoeverre de verdeeling afwijkt van de parabool. Daartoe zijn de stroomvertikalen gemeten bij de afvoermeting te Nijmegen van 20 Maart 1938 uitgezet op logaritmisch papier. Hierdoor werden parabolen getrokken en de afvoer, op deze wijze gemeten, vergeleken met de op normale wijze bepaalde afvoer. Het verschil was 1,4%. De graad der parabolen liep sterk uiteen. De  $n$  uit de formule  $V = \sqrt{g} \cdot h^n$  wisselde n.l. van 2,5 tot 20. De oorzaak hiervan moet voornamelijk gezocht worden in den invloed der brugpijlers, welke een onregelmatig verloop der snelheden veroorzaakte.



De variatie van  $n$  is n.l. op andere plaatsen in de rivier kleiner en wisselt van 4 tot 9, gemiddeld 6 à 7. Bij de oevers treden de grootste afwijkingen op. De afwijkingen van de parabool zijn niet groter dan de variatie in stroomsnelheid. Deze variatie neemt naar den bodem toe en kan op 1 m hierboven reeds 10% afwijken van het gemiddelde. Onderzocht zal nog worden de middelbare fout in de afwijking en het verloop van de gemiddelde snelheid.

#### 11. Bochtmetingen.

Om een nader inzicht te verkrijgen in het stroomen van water en zand door bochten en dus in de wijze van bodenvorming in de bochten, zijn eenige stroomdraadmetingen verricht in de bochten van Malburgen en Wageningen.

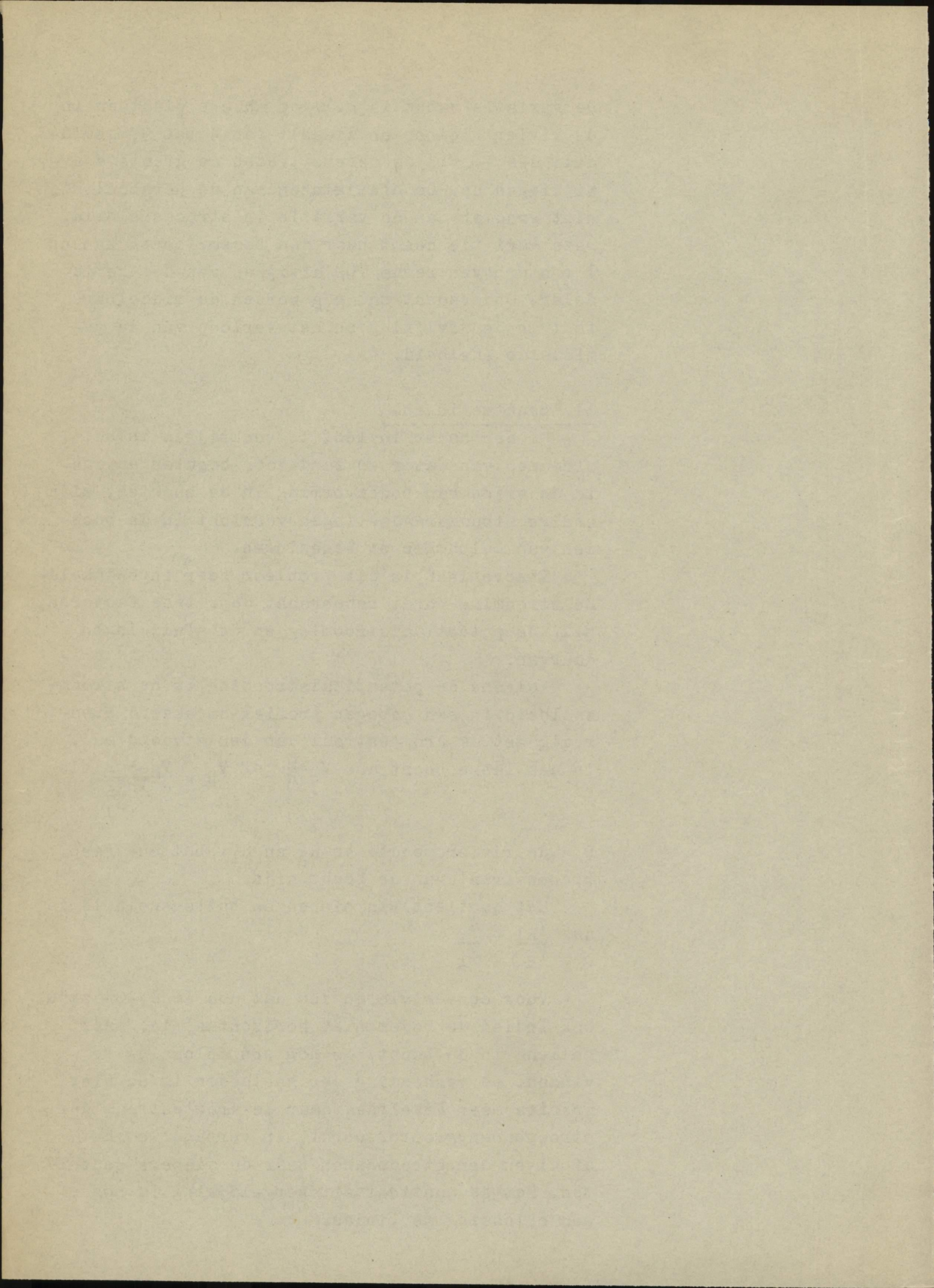
Theoretisch is dit probleem zeer ingewikkeld. De streaming wordt beheerscht door twee factoren, n.l. de potentiaalstreaming en de afwijkingen daarvan.

Volgens de potentiaalstreaming is de stroomsnelheid in een gebogen profiel omgekeerd evenredig met de kromtestraal van den stroomdraad, in een lange bocht dus  $V_R = \frac{C}{R}$  of  $V_R = \frac{V_{gem} B}{R \ln \frac{R_2}{R_1}}$  als

$B$  = de rivierbreedte en  $R_2$  en  $R_1$ , buiten- resp. binnenstraal van de bocht zijn.

Het quotient van binnen en buitensnelheid is dus  $\frac{V_{R1}}{V_{R2}} = \frac{R_2}{R_1}$

Voor onze rivieren zou dat dus 10 à 20% zijn. Ook indien de bodem niet horizontaal is, maar hellend in de bocht, is nog een oplossing te vinden. De verhouding der snelheden is nu niet precies meer dezelfde, daar de kromtestraal der stroombanen groter wordt, in verband met het afbuigen der stroombanen naar de diepere gedeelten. Met de continuïteitsvergelijking is nog een oplossing te vinden.





Het beeld wordt verstoord door de afwijkingen van de potentiaaltheorie, n.l. de in- en uitwendige wrijving. De inwendige wrijving geeft de spiraalstrooming, de uitwendige (bodem en wand) geeft loslaten (wandwrijving) of verlamming (bodemwrijving) van den stroom.

In het bijgevoegde verslag voor het congres te Washington wordt dit nader behandeld. Hierin is ook een gedeelte der metingen te vinden, welke in de bochten van Malburgen en Wageningen verricht zijn. Duidelijk is te constateren, dat in de bocht bij Malburgen bij hoogen waterstand de uitwendige bodemwrijving (dus de stroomverlamming) en de binnenbocht minder groot wordt t.o.v. de buitenbocht.

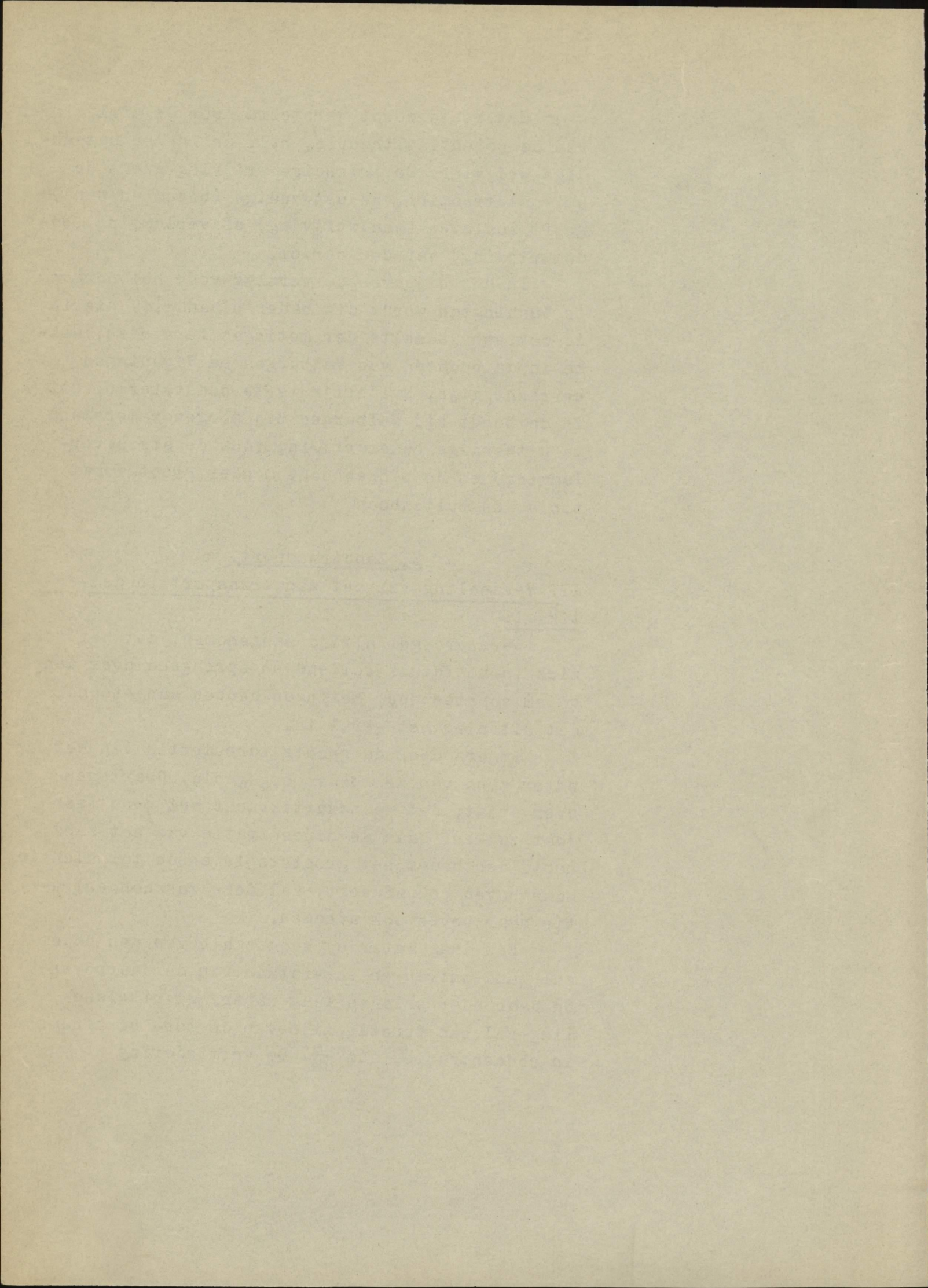
#### B. Zandtransport.

##### 12. Verdeeling van het zandtransport in de vertikaal.

Werd vroeger altijd aangenomen, dat het zand zich in hoofdzaak rollend en springend over den bodem voortbewoog, metingen hebben aangetoond, dat dit niet het geval is.

Immers door de groote turbulentie van het water zand van den bodem opgegooid. Daartegenover staat, dat de zwaartekracht het zand weer doet zakken. Daar de concentratie van het zand nabij den bodem het grootste is en de turbulentie naar boven ook afneemt, zal deze zandconcentratie naar boven ook afnemen.

Een laag water op hoogte  $h$  boven den bodem zal zand ontvangen en afstaan van de daarboven en daaronder gelegen laag water. De uitwisseling zal een functie zijn van de toe- of afname in concentratie, dus  $\frac{ds}{dh}$ . De vermindering



van concentratie door zakking van het zand door de zwaartekracht zal een functie zijn van de concentratie zelf, dus van  $s$ .

Dus is te stellen  $A \frac{ds}{dh} = B s$   
of geïntegreerd:  $S = S_0 e^{-\frac{h}{L}}$

waarin  $S_0$  = theoretische bodemconcentratie

$S$  = concentratie op hoogte  $h$  en

$L$  = constante, afhankelijk van korrelgrootte watersnelheidsverdeling, verhouding s.g. water-zand temperatuur, enz.

Uit de verrichte metingen is gebleken, dat de verdeling van de concentratie zich inderdaad instelt volgens de gegeven formule. Zie verder het verslag van het congres te Washington.

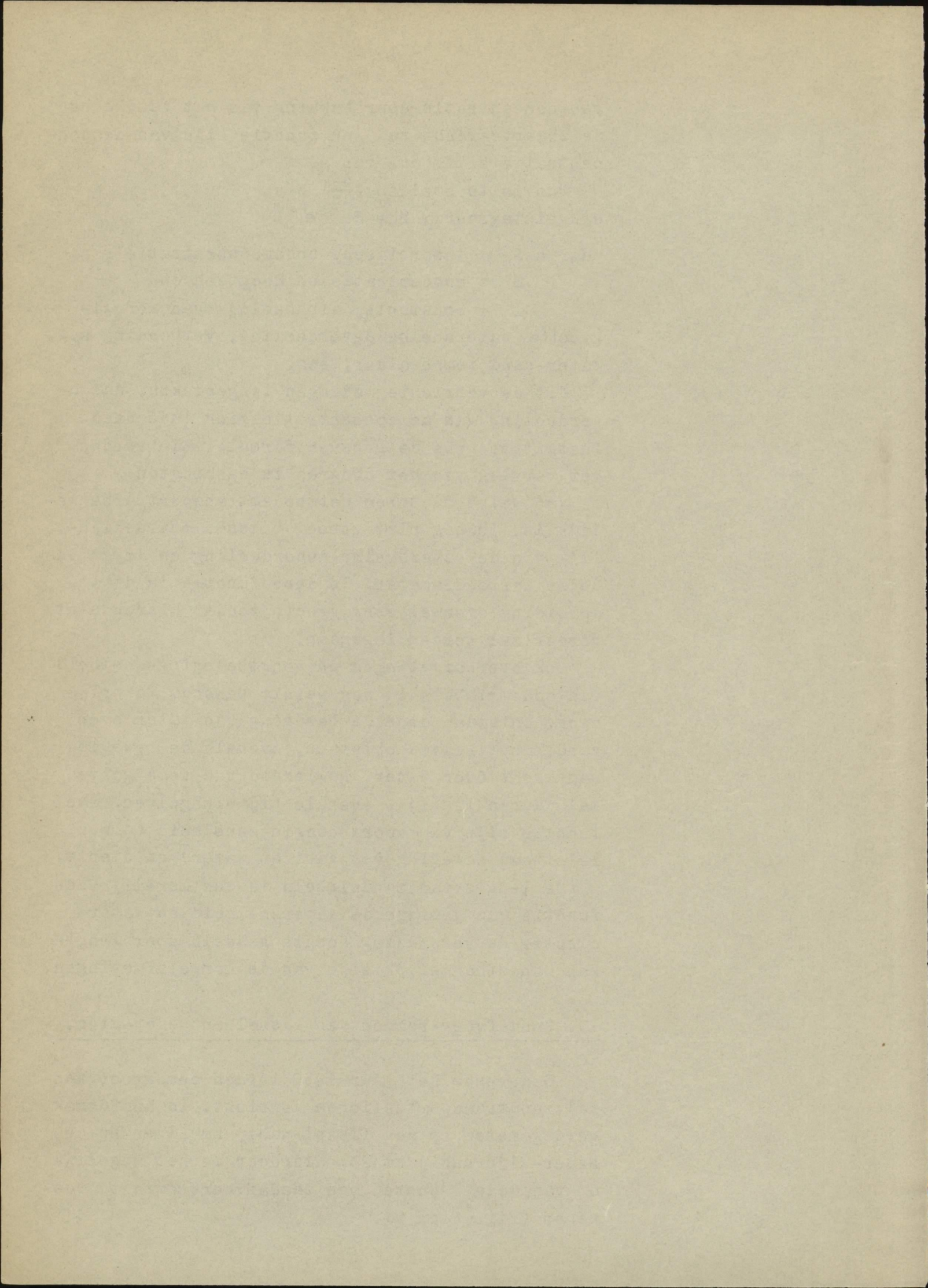
Van welke factoren het bodemtransport afhankelijk is, is nog niet geheel bekend. Waarschijnlijk van de watersnelheidsverdeling en de gemiddelde korreldiameter. In deze functie is de spreiding evenwel zeer groot, zoodat hierop niet verder zal worden ingegaan.

Ook over afmetingen en voortbewegingssnelheid van bodemribbels is nog weinig bekend. De wrijving, ontstaan door de beweging van water over zand, doet golven ontstaan, evenals de beweging van lucht over water. De lengte van deze golven zal waarschijnlijk, evenals bij windgolven, een functie zijn van voortbewegingssnelheid (d.w.z. relatieve beweging van zand en water) en diepte.

De lengte van zandribbels is dus mogelijk een functie van gemiddelde watersnelheid en waterdiepte. De verhouding hoogte gedeeld door lengte kan dan afhankelijk zijn van de korrelafmetingen.

### 13. Zandafvoerkrommen van IJssel en Neder-Rijn.

Gedurende het jaar 1938 werden een groot aantal zandtransportmetingen verricht. In hoofdzaak werd gemeten op den IJssel nabij km 21 en op den Neder-Rijn nabij km 23. Hierdoor is het mogelijk om van deze 2 punten een zandafvoerkromme te tekenen (fig. 5 en 6).



De nauwkeurigheid is evenwel nog niet groot. De middelbare fout van de IJsselkromme bedraagt 35,7% die van den Neder-Rijn 17,4%. Het is niet met zekerheid te zeggen, of dit te wijten is aan werkelijk optredende variatie in zandtransport of dat de meetmethode niet nauwkeurig is.

Uit de zandsfvoerkromme is, met behulp van de frequentiekrommen der standen, het totale zandtransport voor een gemiddeld jaar berekend. Voor de hoge standen waren niet voldoende zandtransportmetingen bekend, zoodat geëxtrapoleerd is moeten worden.

Op de fig. 7 en 8 zijn de totale zandtransporten per waterstandsgroep van 20 cm en per gemiddeld jaar geteekend.

Het totale zandtransport blijkt nu voor den IJssel 93000 m<sup>3</sup> per jaar en voor den Neder-Rijn (km 23) 136.000 m<sup>3</sup> per jaar te bedragen.

De nauwkeurigheid hiervan kan niet groot zijn. Mogelijk lijkt mij een fout van 20% voor den IJssel en van 15% voor den Neder-Rijn.

Van andere punten op de rivieren waren nog niet voldoende gegevens bekend om daarvan afvoerkrommen te teekenen.

#### HOOFDSTUK IV.

Overzicht en meetprogramma 1939.

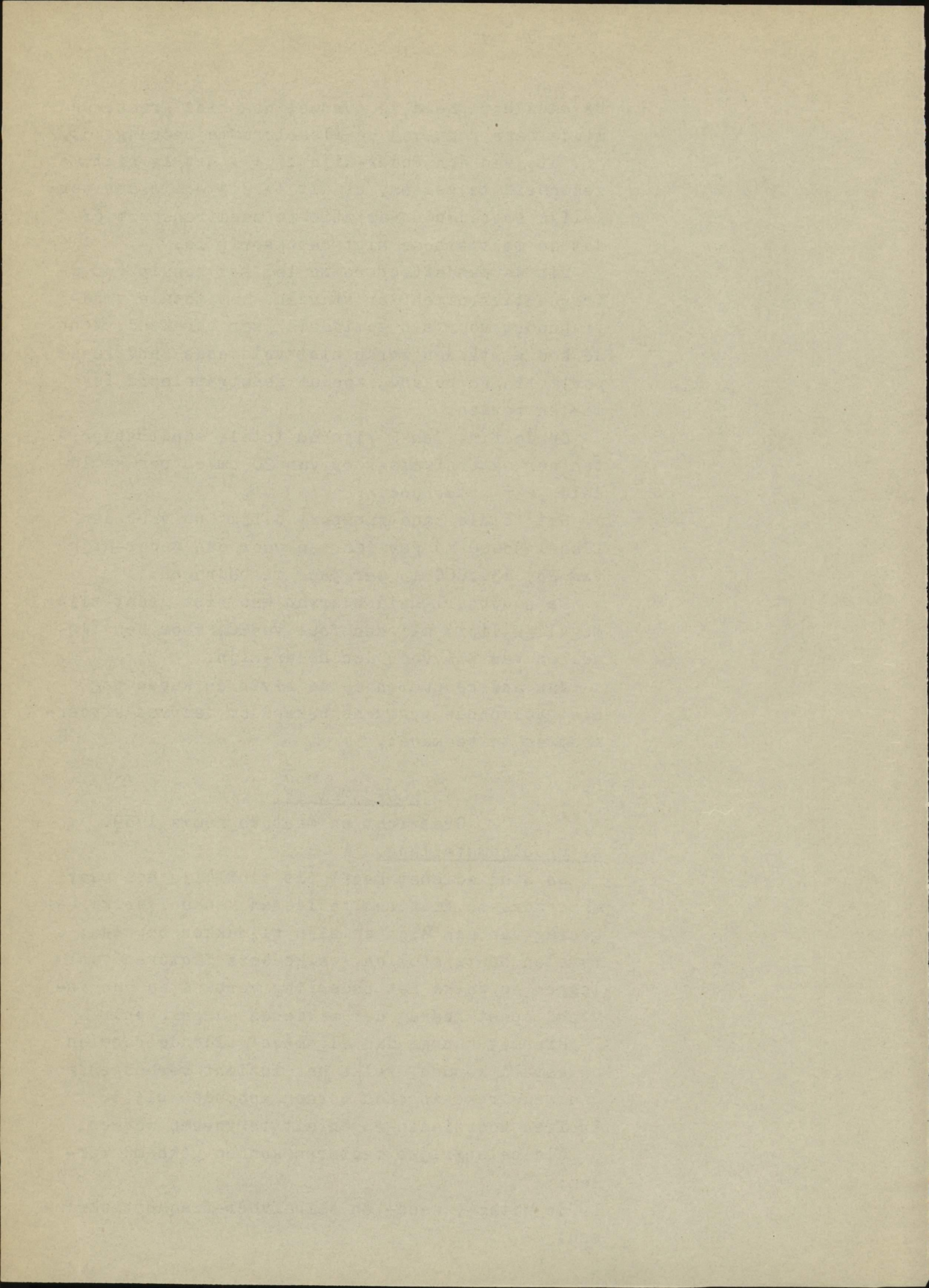
##### A. Probleemstelling.

De Studiedienst heeft tot richtlijn van haar onderzoek de factoren te leeren kennen, welke het gedrag van den Rijn en zijn zijtakken bepalen; regelen op te stellen, welke deze factoren vastleggen en welke het onderling verband en hun invloed op het gedrag der rivieren aangegeven.

Hieruit kunnen dan algemeen geldende regelen opgesteld worden, welke het inzicht verhoogen en waarmede rekening kan worden gehouden bij te treffen voorzieningen en uit te voeren werken.

Als belangrijke factoren kunnen genoemd worden:

1. de water-, zand- en slibafvoer-frequentiekrommen;



2. het tracé,
3. het langs- en dwarsprofiel,
4. de bodemgesteldheid,
5. de eigenschappen van het zand en slib,
6. de soort van monding,
7. de plaats en de hoedanigheid van samenvloeiingen en splitsingen.

#### B. Projecten van onderzoek.

Om de eerder genoemde factoren te kunnen bepalen, zijn een aantal onderzoekingen noodig, welke in 3 groepen zijn te splitsen, en welke, groep, in hoofdzaak betrekking hebbende op het water.

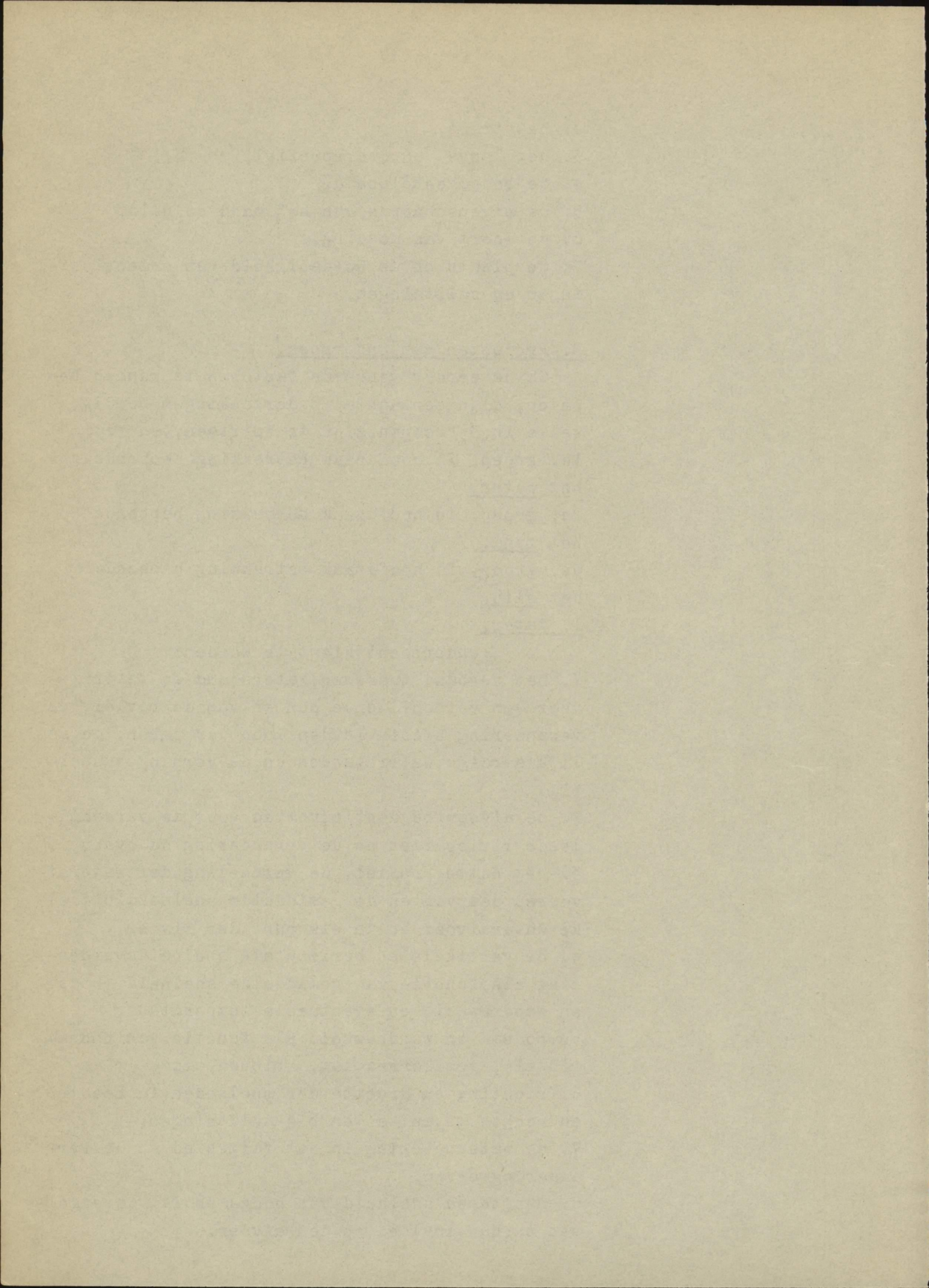
2e, groep, in hoofdzaak betrekking hebbende op het zand.

3e, groep, in hoofdzaak betrekking hebbende op het slib.

##### 1. Water.

Onderzocht dient te worden:

1. het verband tusschen waterstand en waterafvoer van verschillende punten van de rivier, de verandering hierin in den loop der jaren, de gelijkwaardige waterstanden en de verhangen daarbij.
2. de afvoerfrequentiekrommen voor de verschillende rivierarmen en de verandering daarvan,
3. het natte profiel, de verdeeling der waterafvoeren daarvan en de gemiddelde snelheid bij elke waterafvoer en in elk punt der rivier,
4. de vertikale en horizontale snelheidsverdeling als functie van gemiddelde snelheid, bodem- en wandruwheid en eventueele temperatuur,
5. bodem- en wandruwheid als functie van bodemribbels, gem.korrel diam, kribben, enz.
6. richting en grootte der snelheden in bochten en rechte gedeelten en bij splitsingen,
7. de waterbeweging in het tijgebied en de verandering ervan,
8. hoogte en snelheid van hoog- en laagwatergolven en hun invloed op den afvoer.





## 2. Zand.

Om een juist inzicht te verkrijgen betreffende bodemdaling, ligging van bochten, splitsingen, vaar - diepte, enz. is het noodig het verband te kennen tusschen water- en zandbeweging.

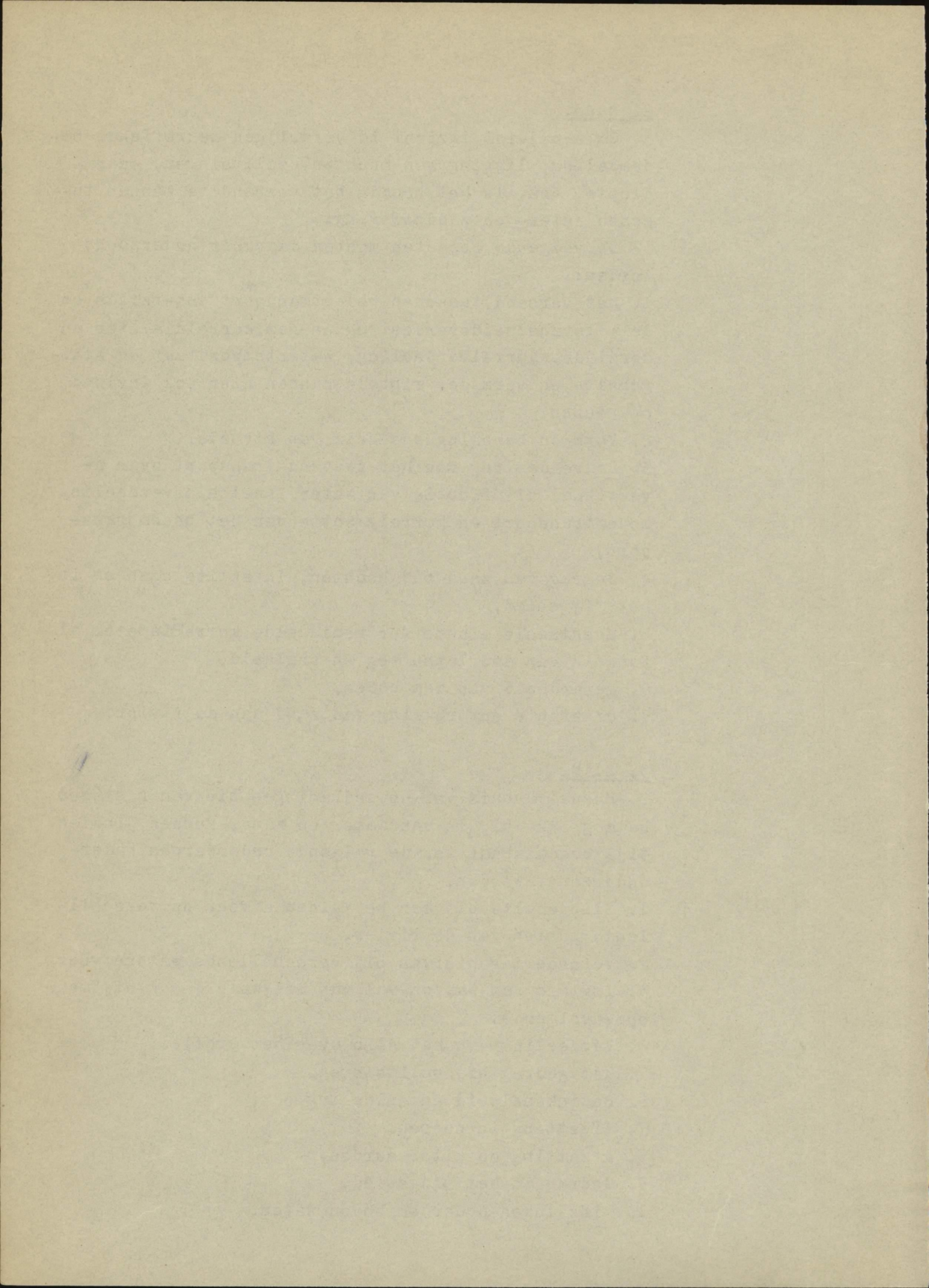
De volgende objecten moeten daarvoor onderzocht worden:

1. het verband tusschen bodemtransport eenerzijds en de watersnelheidsverdeeling en gem. korreldiameter anderzijds. Korrelverdeeling, watertemperatuur en slibgehalte en vorm der ribbels kunnen hier ook invloed op hebben,
2. Vorm en bewegingssnelheid van ribbels,
3. de verdeeling van het zwevend transport over de vertikaal als functie van water, snelheidsverdeeling, bodemtransport en korrelgrootte van het bodemtransport,
4. Gedrag van zand bij bochten, in splitsingen en in het tijgebied,
5. Eventueele afname der gemiddelde korreldiameter als functie van doorlopen weg en snelheid,
6. geaardheid van den bodem,
7. constante onttrekking van zand aan de rivier.

## 3. Slib.

Hoewel kennis van de gedragingen hiervan niet zoo belangrijk is, als van water en zand, kunnen, indien tijd beschikbaar is, de volgende onderwerpen nader onderzocht worden.

1. Slibgehalte bij een bepaalden afvoer op verschillende punten van de rivier.
2. Verandering hiervan bij verschillende waterafvoer.
3. Invloed van was en val van het water, ook bij meer opeenvolgende.
4. Verdeeling van het slib over het profiel.
5. Het gedrag bij splitsingen.
6. bezinksnelheid en oplossing.
7. Afzetting in neeren.
8. Afzetting op uiterwaarden,
9. Gedrag in het tijgebied.
10. inklinken onder en boven water.



11. Verband tusschen droog gewicht, droog volume en nat volume.
12. Samenstelling van het slib.
13. Invloed van de watertemperatuur.

c. Methode van onderzoek: instrumenten.

Cok hier zal de indeeling in 3 groepen aangehouden worden:

1. Het water. Jaarlijks wordt door tenminste 10 afvoermetingen de afvoerkromme bepaald voor ieder der rivierarmen; deze geeft dus het verband tusschen waterstand en afvoer. Deze krommen geven dus de van jaar tot jaar plaats gevonden verandering in waterstand bij dezelfde afvoeren; eveneens de verandering in de verdeeling van het water over de zijtakken.

Voor het meten van den afvoer wordt gebruik gemaakt van drijvers of molentjes. De drijvers geven altijd te groote uitkomsten en wel om de 3reeds vroeger genoemde redenen.

Onderzocht zal nog worden of een correctie inde uitkomsten gerechtvaardigd is.

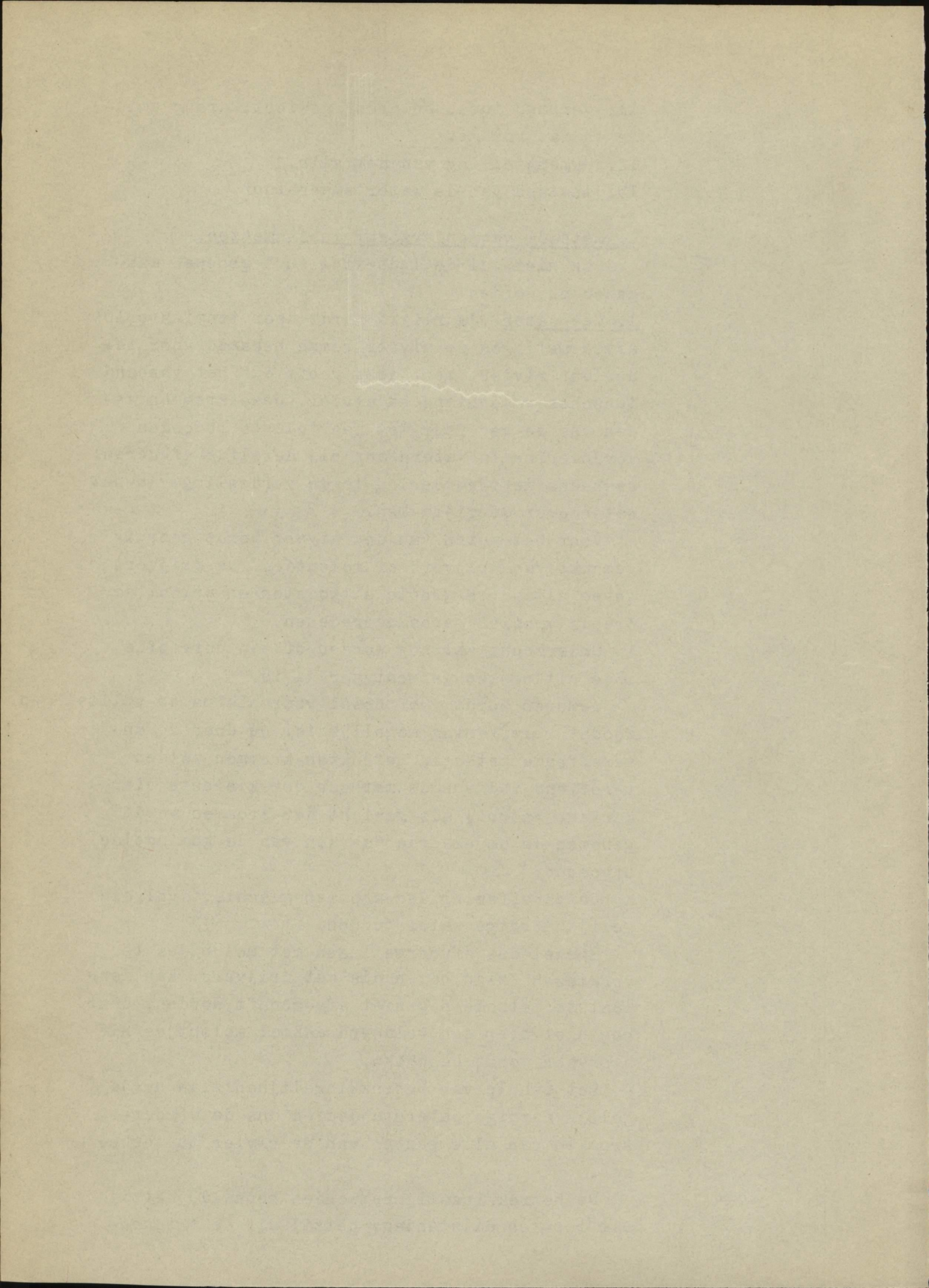
Gemeten wordt voor zowel voor als na de splitsingen, zoodat vereffening mogelijk is. De door de onvereffende metingen getrokken krommen worden vereffend volgens de methode der kleinste vierkanten, waarbij als gewicht der krommen wordt genomen de omgekeerde waarden van de gemiddelde afvoeren.

De vereffening der krommen geschiedt volgens gelijkwaardige waterstanden.

Hoewel dus afvoermetingen met molentjes te verkiezen zijn boven die met drijvers, kan deze laatste methode nog niet afgeschaft worden, daar nog niet over een voldoende aantal molentjes hier voor wordt beschikt.

Met behulp van betrekkinglijnen zijn nu de gelijkwaardige waterstanden en dus de afvoerkrommen van alle punten van de rivier te teekenen.

De betrekkinglijnen worden bepaald, hetzij uit top- en dalstanden, hetzij uit de frequen-



tie der waterstanden aan de verschillende peilschalen. Deze laatste methode is beter, maar ook tijdroovender.

Uit de frequenties der waterstanden zijn nu ook de frequenties der afvoeren te bepalen.

Bij al deze krommen wordt gerekend met stroomjaren, dus van 1 November tot 1 November. Het natte profiel wordt bepaald t.o.v.O.L.R. (de waterstand, welke 20 dagen per jaar onderschreden is over de periode 1926-1930) en wel voor de Waal, Boven-Rijn, Neder-Rijn en Lek om de 3 jaren en den IJssel om de 4 jaren. Alleen het genormaliseerde gedeelte van Pann.kanaal en Neder-Rijn (tot Doorwerth) wordt ieder jaar gepeild.

Uit afvoer en natprofiel is de gem.snelheid te bepalen. De verdeeling van de snelheid over het profiel kan met molentjes bepaald worden.

De afmetingen en voortplantingssnelheden van bodemribbels kunnen met behulp van het echolood bepaald worden.

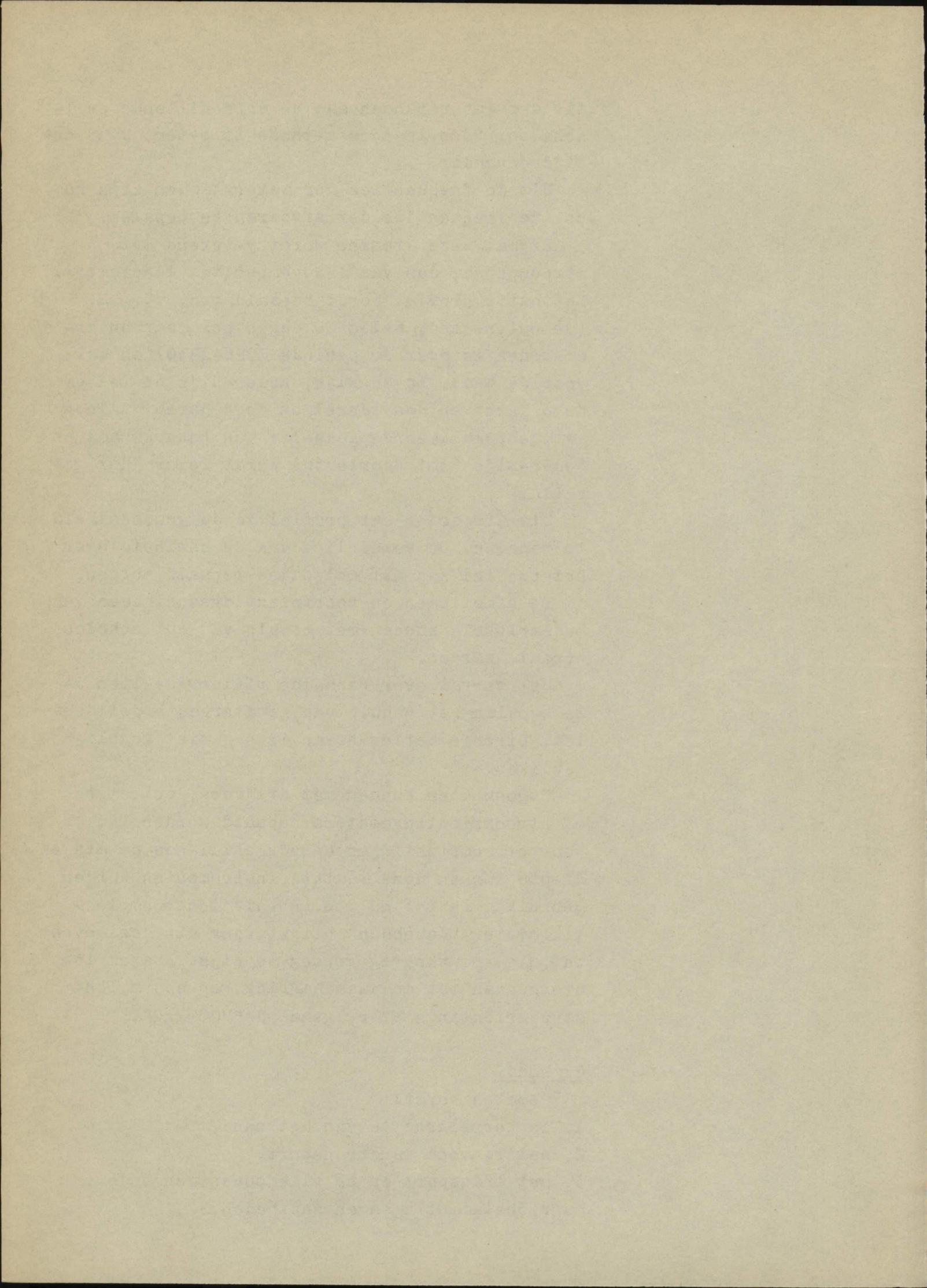
Het verval over bepaalde riviergedeelten is te bepalen met behulp van gewaterpaste peilschalen. Directe meting ervan is nog niet mogelijk gebleken.

Stroombanen kunnen met drijvers, molentjes of stroomrichtingsmeters bepaald worden. Ook voor stroomrichtingen op verschillende plaats en diepte kunnen deze laatste instrumenten worden gebruikt. De tot nu toe gebruikte stroomrichtingsmeter "Jacobson" blijkt voor dit doel evenwel niet nauwkeurig genoeg te zijn. Daarom is overgegaan tot de aanschaffing van een molenstroomrichtingsmeter, genaamd "POTOMAC".

## 2. Zand.

Gemeten wordt:

1. de korrelgrootte van het zand,
2. het zwevend zandtransport,
3. het transport op en vlak boven den bodem,
4. ribbelafmetingen en snelheden.



### 5. richting van het bodemtransport.

Voor het eerste punt worden de normale zeven gebruikt; de bezinkingsmeter bleek voor de bovenrivieren minder geschikt, in verband met de grofkorreligheid van het zand.

Voor het transport wordt gebruik de C.C. en de Z.Z.Z. De eerste blijkt niet zeer betrouwbaar te zijn, de tweede voldoet zeer goed. Vergelijking tusschen beide toestellen is noodzakelijk.

Het bodemtransport wordt gemeten met de B.T. M.A., welke matig voldoet. Verbetering schijnt voorlopig nog niet te verwachten te zijn.

De richting van het bodemtransport is te bepalen met behulp van een bodemkijker, welke evenwel eenige verbetering behoeft.

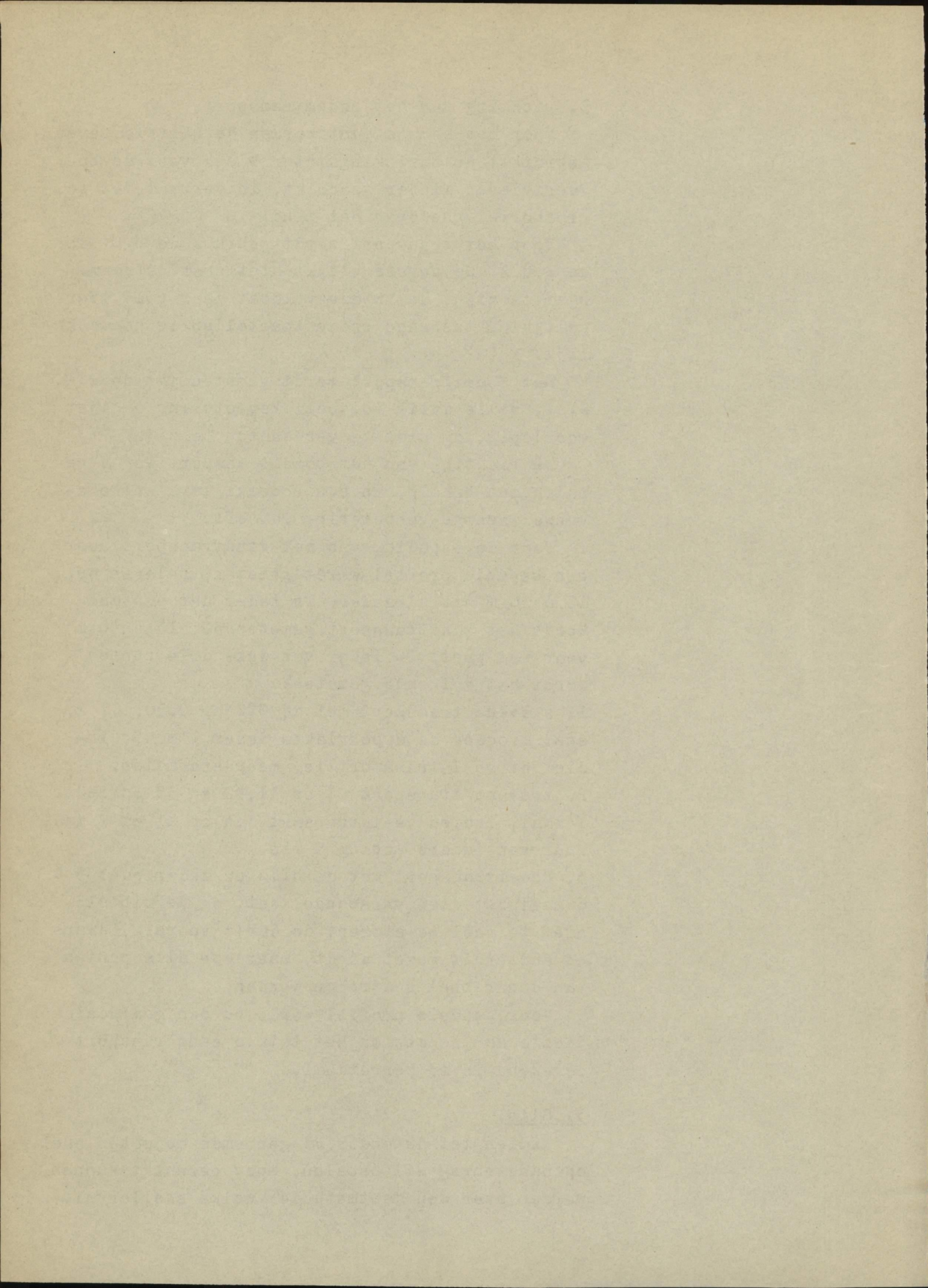
Voor de bepaling van het zandtransport door een bepaald profiel wordt gemeten, gelegen op, 10 à 20 m uit elkander. In ieder der punten wordt het zandtransport gemeten 30, 15 en 0 m voor dat punt. In ieder van deze drie punten wordt het volgende gemeten:

1. zwevend transport met de ZZZ op 0.50, 1, 2, enz. m onder de oppervlakte ieder 1 maal; indien er veel transport is, meerdere malen.
2. zwevend transport CC op 11, 22 en 33 cm ieder 1 maal, indien veel transport dan op 11 cm 2 maal. Duur van iedere meting 5 min.
3. bodemtransport met de BTMA op ieder punt 5 à 6 maal met dien verstande, dat, om de ribbel niet te veel te storen, de davit vooruit, dwars en achteruit gezet wordt, waardoor alle punten van den ribbel bestreken worden.

Voor geheele profiel wordt nu een gemiddelde diepte aangenomen en het totale zandtransport berekend in m<sup>3</sup> per etmaal.

### 3. Slib.

Indien met de onder B3 genoemde objecten snel en nauwkeurig wil bepalen, moet geschikt kunnen worden over een meetmethode, welke sneller uit-





komsten geeft dan de tot nu toe gebruikte, nl. de methode van bezinken en eventueel drogen en wegen van het slib.

Daarom zal allereerst een onderzoek moeten worden ingesteld om te komen tot een betere methode van meten van het slibgehalte.

Met deze methode kunnen dan alle genoemde onderwerpen onderzocht worden.

D. WERKPROGRAMMA 1939.

1. IJkingen      a. echolood  
                  b. Ottmolens  
                  c. molens-drijvers  
                  d. Potomac  
                  e. CC en ZZZ  
                  f. BTMA
2. Afvoermetingen -- 10 drijvermetingen  
  n molenmetingen.

Snelheidsverdeeling.

Stroomrichtingsmetingen.

Verhangmetingen

3. Zandtransport      a. Waal  
                          b. overige takken  
                          c. tijgebied  
                          d. in bochten  
                          e. in de vertikaal.

Slibmetingen.

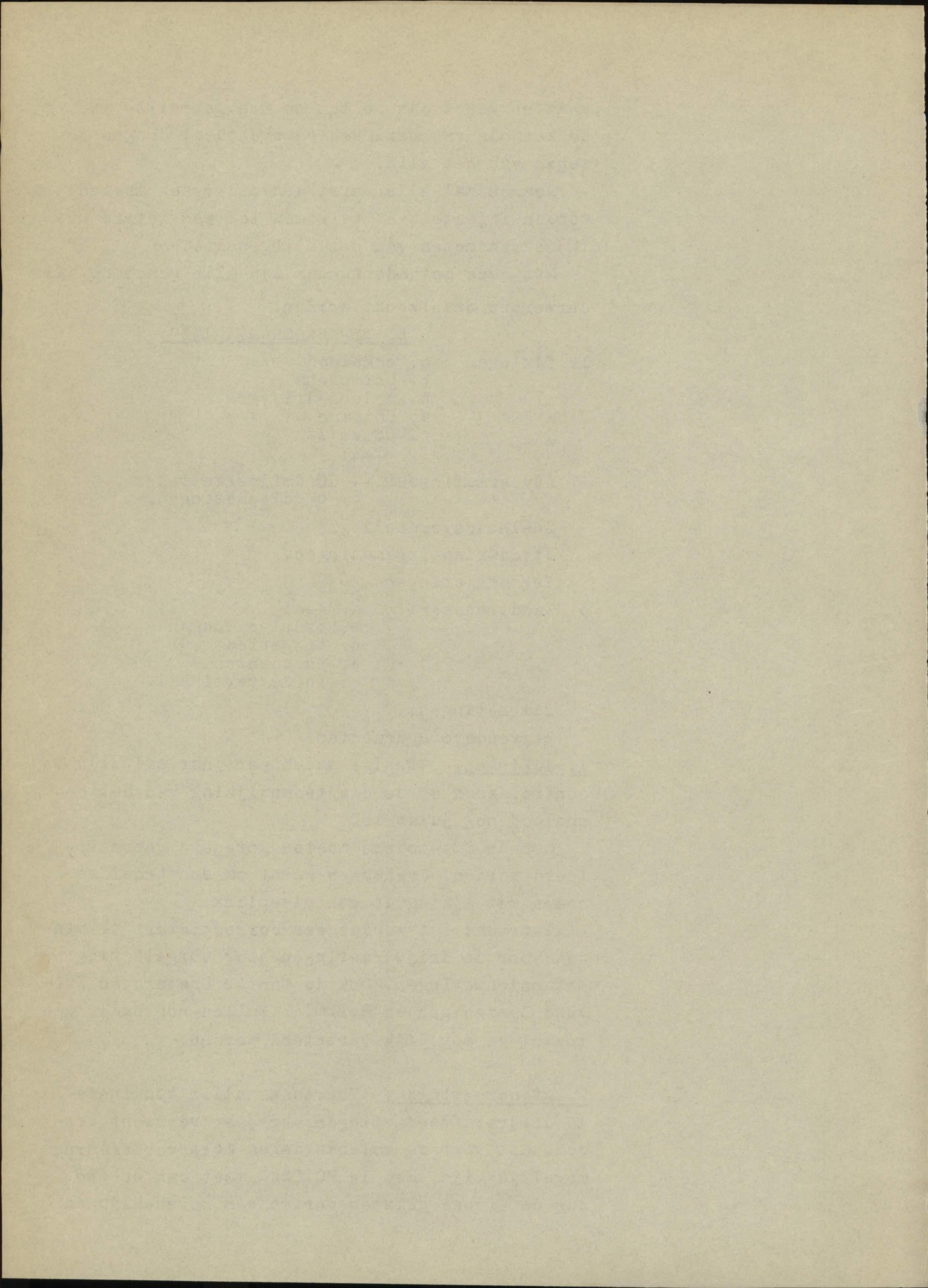
Bijzondere opdrachten.

1. IJkingen.      Enige malen per jaar zal zijn te controleeren of de diepteaanwijzing van het echolood nog juist is.

Ook de Ott-molens moeten geregeld gecontroleerd worden. Overwogen wordt om een proef te nemen met ijking in een sleeptank.

Getracht zal worden een correctieterm te vinden voor de drijvermetingen door vergelijking met molenmetingen. Ook de Canter Cremers en Zwend Zandzuiger en B.T.M.A. zullen nog nader getoetst en mogelijk verbeterd worden.

2. Afvoermetingen.      Voortaan zullen tenminste 10 drijverafvoermetingen per jaar verricht worden. Ook voor de molenmetingen moet vereffening mogelijk zijn. Met de POTOMAC moet dan op één dag de afvoer gemeten worden van Boven-Rijn en



Pann.kanaal. Dit zal mogelijk wel te bereiken zijn door het integratiesysteem te volgen.

De snelheidsverdeeling in de vertikaal in 1 punt zal gemeten worden gedurende langeren tijd zooat gemiddeld en middelbare fouten bekend zijn.

Met de FOTOMAC zal in bochten en rechte rivervakken en richting der watersnelheid bepaald worden, zoowel aan de oppervlakte als aan den bodem.

Verder gegaan zal worden met de pogingen om een goede verhangmeter te construeeren.

3. Dit jaar zal het zandtransport van de Waal bepaald worden. Bij beschikbare tijd zullen ook nog metingen op andere verricht worden.

Arnhem, Maart 1939.

wg. L van Bendegom

