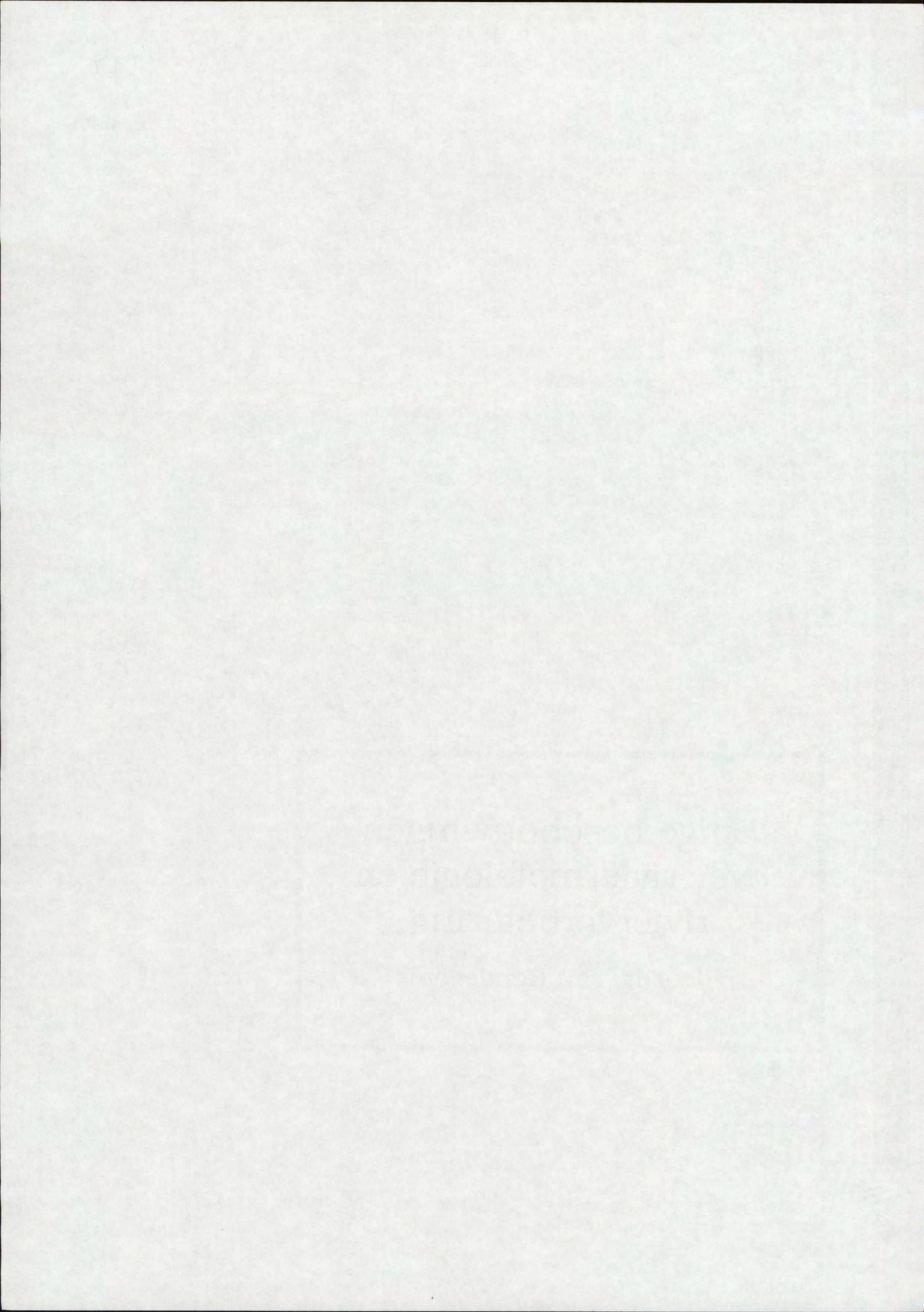


226494

Enige beschouwingen  
over riviermorfologie en  
rivierverbetering  
door Ir. van Bendegom





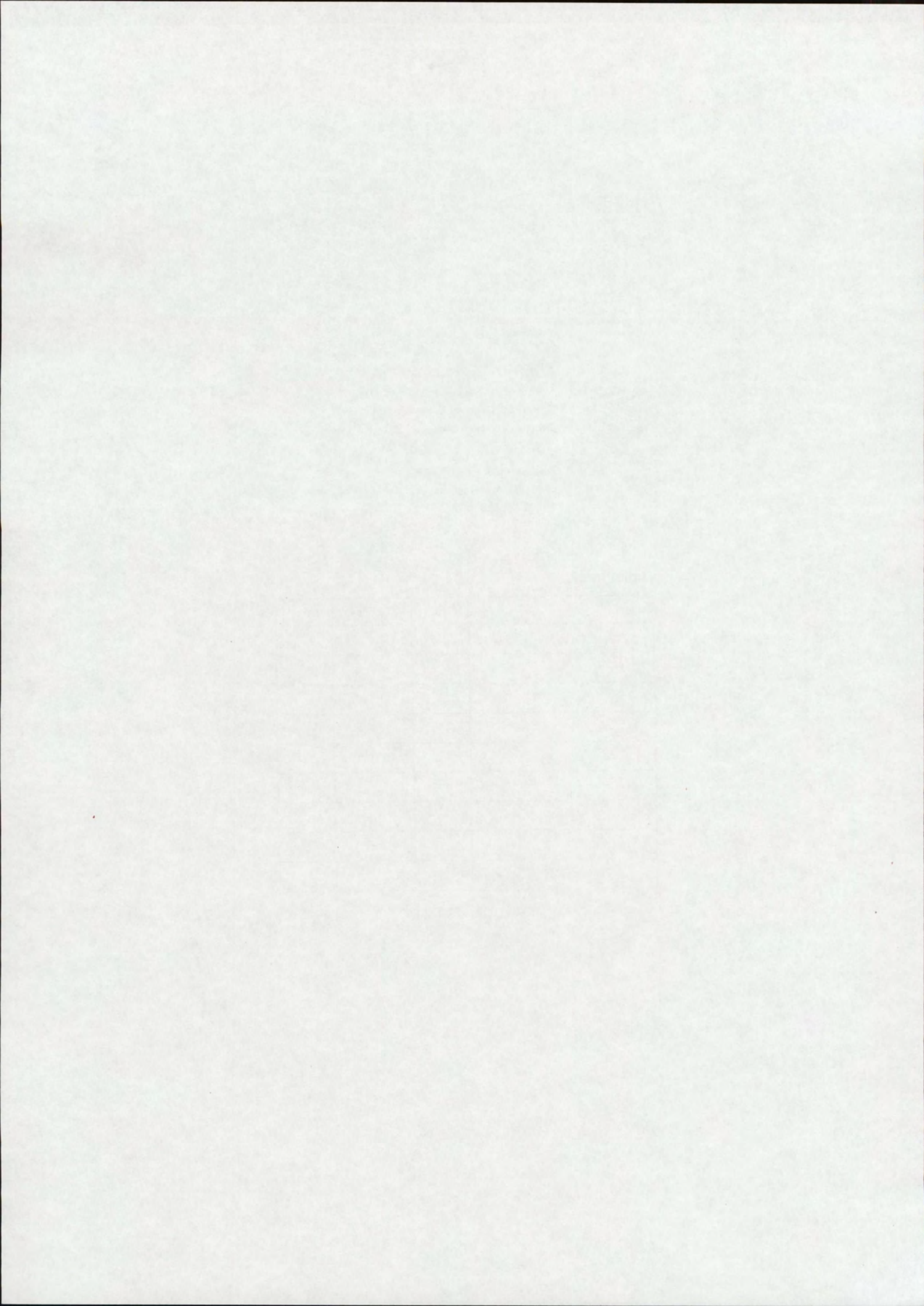
Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Directie Oost-Nederland

Postbus 9070  
6800 ED Arnhem  
Tel. 026 - 3688355

### Bibliotheek

naam	afd.	retour	paraaf

S.V.P. TIJDIG VERLENGEN



Enige beschouwingen over  
riviermorphologie en  
rivierverbetering.

Nota 47.2

RWS Dr. Gaidensand  
Bibliothek

mit dem Buchstaben A  
ist die Buchstabe A  
nicht verbunden.  
A. W. G.

EENIGE BESCHOUWINGEN OVER

RIVIERMORPHOLOGIE

EN

RIVIERVERBETERING

IR. L. VAN BENDEGOM

INGENIEUR VAN DEN RIJSWATERSTAAT

47.2





EWIGE BESCHOUWINGEN OVER

RIVIERMORFOLOGIE

en

RIVIERVERBETERING

door

Ir. L. VAN BENDEGOM

ingenieur van den Rijkswaterstaat.

-----

1. Inleiding. Door den Studiedienst in de directie Bovenrivieren van den Rijkswaterstaat worden sinds een tiental jaren metingen en berekeningen verricht en hypothesen opgesteld omtrent de water- en zandbeweging in rivieren. Hoewel deze onderzoekingen in de eerste plaats dienen ter verkrijging van gegevens betreffende de Nederlandsche Rijnakken, kunnen hieruit toch ook gevolgtrekkingen worden gemaakt, die voor andere rivieren en deels ook voor zeearmen toepasselijk zijn.

Het lag in de bedoeling om deze algemeene gevolgtrekkingen in een meer uitgebreide publicatie vast te leggen, zoodra het onderzoek geheel gereed zou zijn. Door oorlogshandelingen gingen echter alle meetinstrumenten en vrijwel alle resultaten der onderzoekingen verloren. Aangezien het nog wel eenige jaren zal duren, alvorens het onderzoek met alle controlemetingen voltooid zal zijn, zonder dat hierdoor, naar wordt verwacht, de gevonden uitkomsten principieele wijzigingen zullen ondergaan, lijkt het wel gewenscht en verantwoord om nu reeds het een en ander mede te deelen omtrent de opgestelde hypothesen.

Uiteraard zal dit in eenigszins populaireren vorm geschieden hetgeen het artikel ook voor niet direct-geïnteresseerden aantrekkelijker kan maken.

Doel van dit onderzoek is om wetten op te stellen, zij het slechts onvolmaakte, die in voldoende mate de verschijnselen weergeven, die zich bij de beweging van water en vaste stoffen in rivieren voordoen.

Tot de belangrijkste dezer verschijnselen behoort de vorming en vervorming van het bed der rivieren, met banken, geulen, kronkelingen, enz.

De zandbeweging, die dit bij de meeste rivieren bepaalt, wordt op haar beurt weer grotendeels beheerscht door de waterbeweging. Daarom zal allereerst het een en ander worden verteld omtrent deze waterbeweging; daarna zal de zandbeweging worden besproken, terwijl tenslotte getracht zal worden een de hand van de gevonden resultaten enkele verschijnselen te verklaren.

2. Kortgele wrijvingsweerstand bij eenparige waterbeweging. Bij de berekeningen worden de volgende grootheden ingevoerd:

X as, langs de stroombaan, positief in de stroomrichting;  
Y as,  $\perp$  de stroombaan, bij gekromde stroombanen negatief in de richting naar het middelpunt van de kromming;  
Z as, vertikaal met 0 punt op den bodem  
zhoogte boven den bodem

Zwaartediepte

$i_x$  = verhang in de X richting; positief, indien delend langs de positieve X as.

$i_y$  = verhang in de Y richting; eveneens positief, indien delend langs de positieve Y as

$h_x$  en  $h_y$  = vervallen over afstanden  $l_x$  en  $l_y$ ;

q en  $Q$  = waterafvoer, respectievelijk per m' breedte en per stroombaan of rivier.

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

De watersnelheid, met ontbondenen V en U respectievelijk langs X en Y as.

$V_g, V_1, V_z, V_{opp}$ , enz. betrekken de snelheden langs de X as respectievelijk gemiddeld in de vertikaal, op 1 m boven den bodem, op hoogte z, aan de oppervlakte enz. r-straal van de stroombaankromming.

$\rho$  en  $\rho_w$  = dichtheden respectievelijk van zand en water.  
g = versnelling van de zwaartekracht.

Aangehouden wordt het kg.m.sec.stelsel.

Bij vrijstroomende rivieren is de waterbeweging door de aanwezigheid van bochten, banken, uitwerpende kribben, zandribbels, enz. zeer ongelijkmatig, zoodat van een eenparige beweging geen sprake is.

De weerstand, die zich tegen de waterbeweging verzet, wordt nu gesplitst in een deel, dat bij eenparige waterbeweging zou optreden en een deel, dat door de versnellingen en vertragingen van het water wordt veroorzaakt.

Voor de bepaling van de weerstand bij eenparige beweging bestaan zowel theoretische als empirische formules.

De meetresultaten van den Studiedienst gaven geen bevestiging van de bestaande theoretische formules. Daarom wordt nog steeds gebruik gemaakt van empirische formules waarvan de bekendste zijn die van de Chézy en van Strickler. Deze luiden respectievelijk:

$$V_g = c \cdot Z^{1/2} \cdot i_x^{1/2} \quad (1) \quad \text{en} \quad V_g = \frac{k}{\epsilon^{1/6}} \cdot Z^{2/3} \cdot i_x^{1/2} \quad (2)$$

waarin:

$\epsilon$  de relatieve bodemruwheid ( $n$ ) voorstelt en c en k "constanten" zijn, die voor de Rijntakken respectievelijk op omstreeks 48 en 20 m<sup>2</sup>/sec zijn te stellen.

De formule van Strickler geeft de beste uitkomsten, indien in aanmerking wordt genomen, dat bij rivieren met beweeglijke bodem bij stijging van den waterstand ook de bodemribbels of althans de zandkorrels op den bodem in afzettingen toenemen. Hier op wordt verder nog teruggekomen.

Indien de bodemruwheid  $\epsilon$ , die een functie is van de bodemribbel en zandkorrelafmetingen, ongeveer evenredig zou toenemen met de waterdiepte, zou voor dit geval de formule van Strickler overgaan in die van de Chézy. Dit is nog een punt van onderzoek.

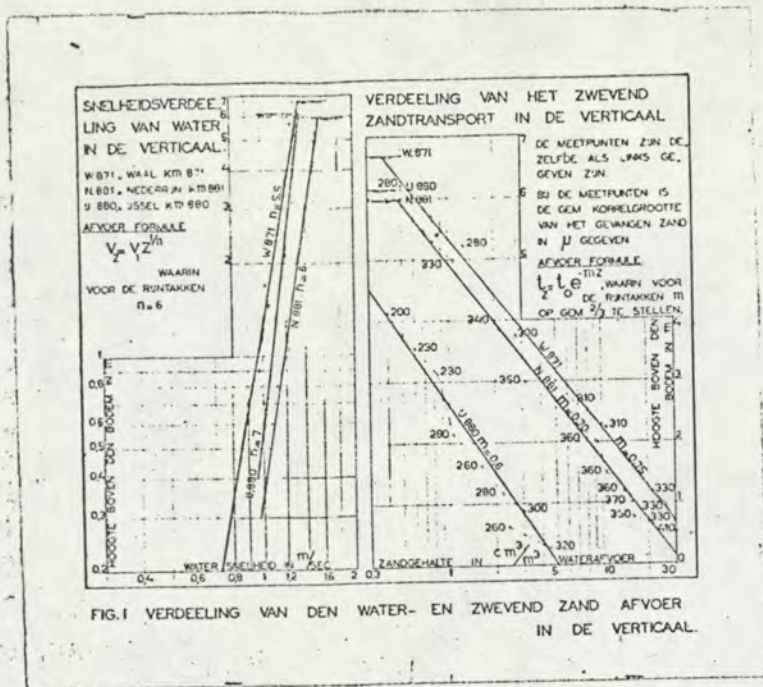
Ook voor de snelheidsverdeling in de vertikaal bestaan vele empirische formules. Uit metingen bleek, dat deze verdeelingen aanzien van de Rijntakken, het beste weer te geven was door de formule

$$V_z = V_1 \cdot z^{1/n} \quad (3)$$

waarin n voor de Rijntakken op omstreeks 6 is te stellen.

Dit is dus een hogere graadsparabool met verticale as. De watersnelheid op of even onder den bodem is gelijk nul.





Uit de linkerhelft van figuur 1 moge blijken, dat de sanna omtrent de snelheidsverdeling in goede overeenstemming is met dezerzijds verrichte metingen.

Aangezien het voor het verdere onderzoek noodzakelijk is om een sanna te doen omtrent het verband tusschen de in de vertikaal optredende snelheidsgradient en de andere grootheden in uit de gevonden snelheidsverdeling bepaald welke dit verband is. hoewel deze werkwijze niet juist is te noemen, geven de resultaten, ook voor andere stroomingstoestanden een rechtvaardiging ervan.

Het blijkt nu, dat bij sanna van de formules 2 en 3, voor elk punt van de vertikaal de optredende schuifspanning evenredig is met de snelheidsgradient in 't kwadraat, n.l.:

$$K_x \cdot l^2 \left( \frac{dV}{dz} \right)^2 \quad (4)$$

Dat is dus dezelfde formule als de theoretische van Prandtl en v. Karman. echter heeft hier de grootheid  $l$ , een andere waarde, n.l.:

$$l^2 = \left( \frac{36}{7} \right)^2 \cdot \frac{\rho \cdot g}{k^2} \cdot \frac{(Z-z)z}{Z} \cdot z \left( \frac{\epsilon}{Z} \right)^{1/3} \quad (5)$$

Steeds is tot nu toe gesproken over den waartand van den bodem.

Van invloed zijn verder evenwel nog de oppervlaktewrijving en de wadvrijving. De eerste wordt verwaarloosd, voor de tweede wordt het bekend veronderstelde begrip hydraulischestroomvoerd. waar dit laatste niet toegestaan is, n.l. bij de stroombeban - en zandberekeningen, wordt een reductie coefficient ingevoerd voor de stroombeban nabij de wanden.

De algemeene formule van Strickler kan worden omgewerkt tot:

$$Q = \frac{k}{\epsilon^{1/6}} \cdot B \cdot Z^{5/3} \cdot l_x^{1/2} \quad (6)$$

of bij een verval  $h_x$  over een stroombebanlengte  $l_x$ :

$$Q = \frac{k}{\epsilon^{1/6}} \cdot \frac{B \cdot Z^{5/3}}{l_x^{1/2}} h_x^{1/2} \quad (7)$$

$$\text{of: } h_x = Q^2 W_1 \quad (8)$$



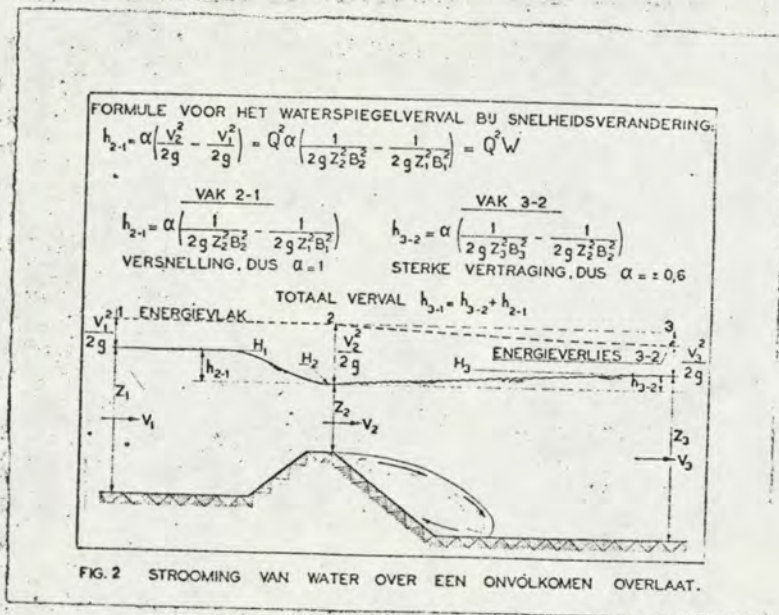
waarin  $H_1$ , de weerstand ten gevolge van de wrijvings voorstelt.

3. Bijkomende weerstand ten gevolge van de onvolkomenheid der wateroverloop.

Zooals bekend mag worden verondersteld ligt het vlak van potentiële energie van stroomend water op een hoogte van  $\frac{V^2}{2g}$  boven de waterspiegel. Bij zeer geleidelijke vertraging van het water aan deze hoogte, noemenswaardige snelheidshoogte of Bernoulli-tarm, waar grotendeels omgezet worden in potentiële hoogte van de waterspiegel. Bij sterke vertraging van het water is dit niet het geval.

In het algemeen gesproken kan potentiële energie zonder verlies worden omgezet in bewegingsenergie, het omgekeerde echter niet. In wel gaat dat te meer energie verloren naar mate de vertraging sterker is.

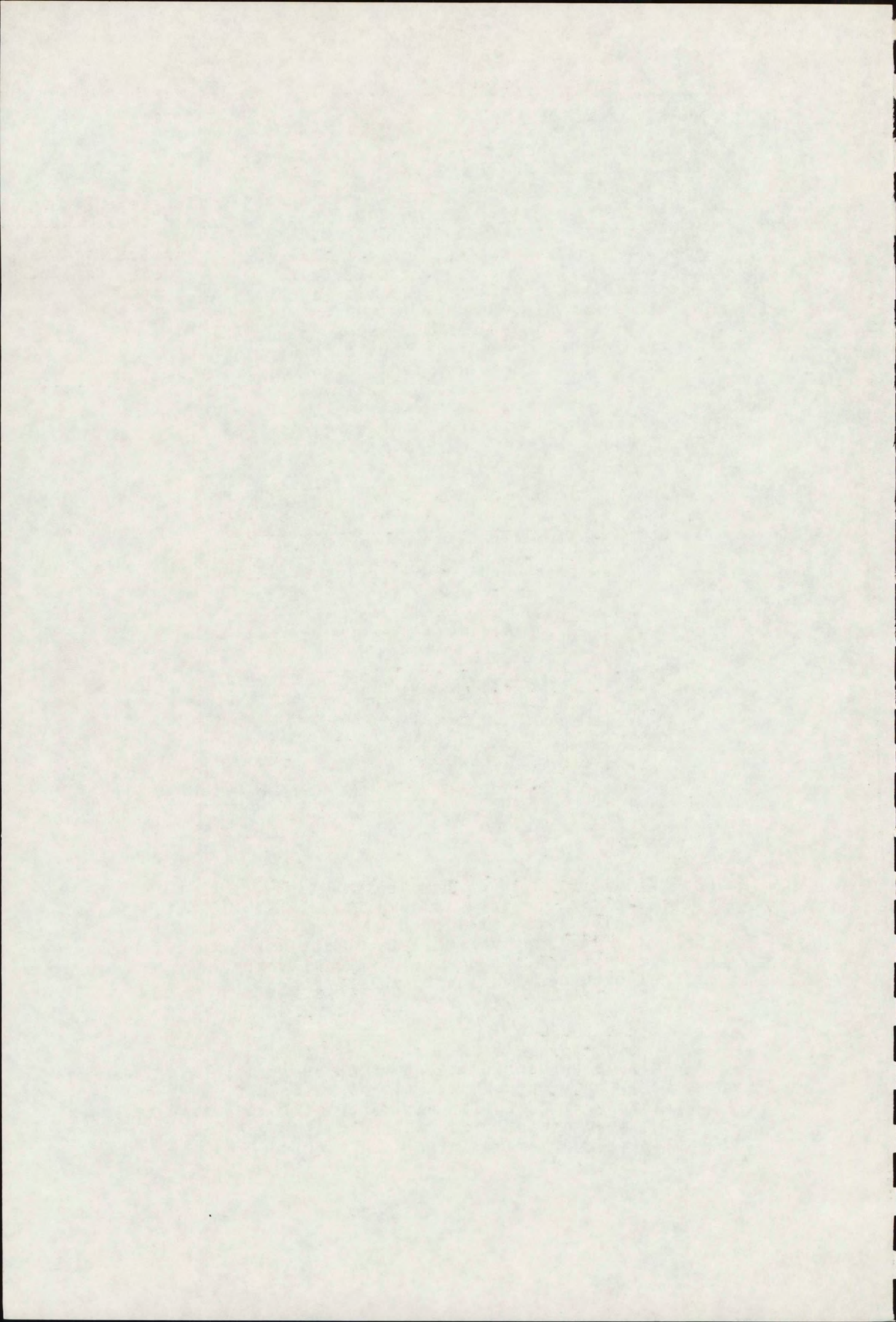
Bij de berekeningen van den Studiedienst wordt nu dit energieverlies berekend als functie van de mate van verkleining der energiehoogten over een vaklengte.



In figuur 2 is de berekeningswijze aan de hand van een voorbeeld uiteenzet. Uit deze figuur blijkt, dat, indien we het energieverlies stellen op:  $(1 - \alpha)$  maal het verschil in snelheidshoogte aan beneden- en bovengrens van het beschouwde vak, de verandering van de waterspiegel over deze vaklengte zal bedragen:

$$h_x = \alpha \left( \frac{V_{\text{onder}}^2}{2g} - \frac{V_{\text{boven}}^2}{2g} \right) \quad (9)$$

Bij de berekening dient er op te worden gelet, dat steeds gerekend wordt stroomopwaarts gaande. In dat geval heeft  $h_x$  een positieve waarde, indien het water stroomopwaarts gaande stijgt. De waarde van  $\alpha$  is nu afhankelijk van de mate van vertraging. Bij de berekeningen werd voorloopig aangenomen:





snelheidsverandering	$\alpha$
botsing	0 a 0.2
zeer sterke vertraging	0.2 a 0.4
sterke vertraging (scherpe overlast)	0.4 a 0.6
gelidelijke vertraging (flauwe overlast)	0.6 a 0.8
zeer gelidelijke vertraging (zomerbed)	0.8 a 1.0
versnelling	1.0 of iets hooger

Eventuele insnoeringen, ten gevolge van het loslaten van den stroom van den wand dienen in rekening te worden gebracht.

Formule 9 kan nog anders worden geschreven, n.l.:

$$h_x = \alpha \cdot Q^2 \left( \frac{1}{2gZ_0^2 \cdot B_0^2} - \frac{1}{2gZ_b^2 \cdot B_b^2} \right) \quad (10)$$

of  $h_x = Q^2 \cdot W_2 \quad (11)$  waarin  $W_2$  een

de bijzondere weerstand ten gevolge van de ongelijkmatigheid der waterbeweging voorstelt.

#### 4. Invloed van krachten, die loodrecht op de stroomrichting werken.

In het voorgaande is de invloed besproken, die krachten, werkende in de richting van den stroom, op de waterbeweging uitoefenen. Er dient echter ook rekening te worden gehouden met andere krachten. Dit zijn de krachten, veroorzaakt door de horizontale stroomdraadkromming (centrifugale kracht) en door de afdwaling van de aarde (kracht van Coriolis). Als reactie tegen deze beide krachten stelt zich een dwarsverhang van de waterspiegel in. Hierbij kan een populaire vergelijking worden getrokken met een wielrenner. Bij deze wrot in de bochten een dwarsverhang aangebracht, zodat de wielrenners niet uit de bocht vliegen.

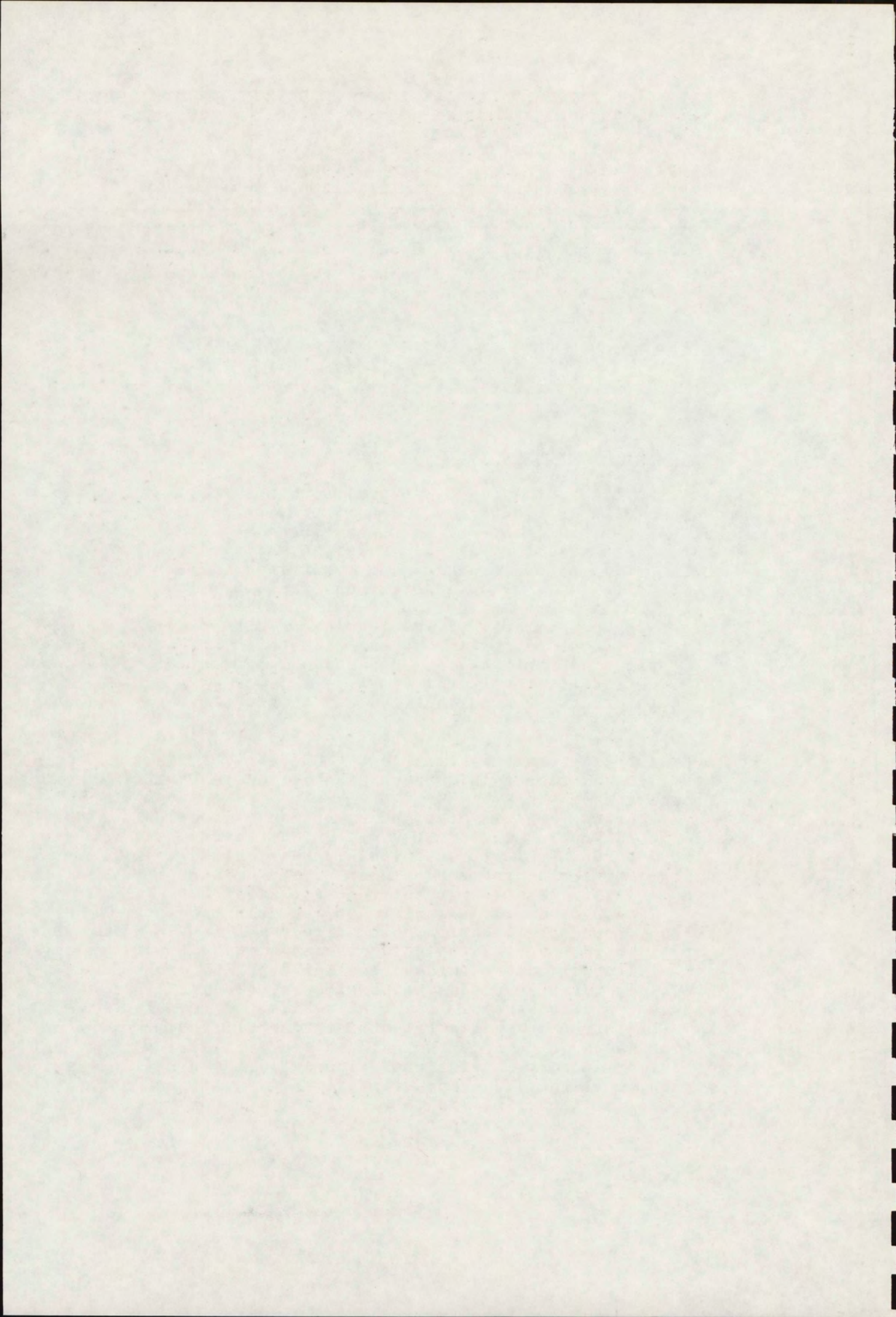
De grootte van de centrifugale bedraagt per eenheidsheid  $\frac{V^2}{r}$ .

Treedt een dwarsverhang  $h_y$  op, dan zal de hierdoor per eenheidsheid veroorzaakte kracht  $g \cdot h_y$  evenwicht maken met de centrifugale kracht. Dit dwarsverhang zal dus een grootte moeten hebben van  $\frac{V^2}{g \cdot r}$ .

Voor een geheele stroombaan met een gemiddelde snelheid  $V_g$  wordt nu in plaats van  $V$  de gemiddelde snelheid  $V_g$  genomen. Afgezien van het feit, dat hier niet de gemiddelde maar de middelbare snelheid moet worden genomen, is ook dan de formule niet geheel juist. Dit zage uit het volgende blijken.

Indien we de vergelijking met de wielrenner nog even vervolgen, kunnen we opmerken, dat de dwarsverhang in de bochten bepaald wordt naar de snelheid van de gemiddelde wielrenner. Een wielrenner, die brutaal sneller rijdt dan gemiddeld, zal toch uit de bocht vliegen, terwijl een in zijn rijdsnelheid gemiddelde wielrenner in de bocht naar binnen zal afglijden.

Bij stroomend water tredt iets dergelijks op. Zoals we eerder zagen is de watersnelheid in een vertikaal niet overal dezelfde; doordat de vloeiwijdte vloeus is, is de snelheid aan den bodem kleiner, dus de waterspiegel daarentegen groter dan de gemiddelde snelheid in de vertikaal; dus ook de centrifugale kracht. Daarentegen veroorzaakt het dwarsverhang van de waterspiegel op alle er onder gelegen waterdeeltjes een even grote kracht, die ongeveer zal corresponderen met de gemiddelde snelheid in de vertikaal. Het gevolg zal zijn, dat de waterdeeltjes aan de oppervlakte "uit de bocht zullen vliegen", die nabij den bodem daarentegen naar binnen zullen afglijden.



Dit verschijnsel is uitvoerig besproken in een publicatie van Wittmann en Böss; de grootte der uitwijkingen werd door de Studiedienst herhaaldelijk opgemeten.

Aangezien het water in bochten hierdoor een schroef- of spiraalvormige beweging heeft, noemt men deze beweging spiraalstrooming.

Doordat de snelheid aan den bodem naar binnen afwijkt, zal de bodemwrijving een component hebben in de richting dwars op stroomrichting. Het dwarsverhang moet ook hiervoor de reactie leveren. Uit berekeningen van den Studiedienst is gebleken, dat het totale dwarsverhang 6% grooter is dan volgens de eerder vermelde formule.

De tweede tangentiële kracht is die, veroorzaakt door de aaswenteling van de aarde. Voor de afleiding ervan moge worden verwezen naar het verslag van de Staatscommissie Zuiderzee. De grootte van de kracht bedraagt voor onze breedtegraad per massaeenheid 0.0001.V. De kracht is horizontaal, dwars op de stroomrichting gericht en op het noordelijk halfrond naar rechts wijzend (stroomafwaarts kijkend).

Hiertegen stelt zich als reactie weer een kracht in, die iets grooter moet zijn dan  $0.0001 \frac{V^2}{g}$ , aangezien ook hier spiraalstrooming en dus een component van de bodemwrijving optreedt.

De invloed van de kracht van Coriolis is voor smalle rivieren niet groot, zij komt voor de Rijnstroom ongeveer overeen met de invloed, die een bocht met een straal van 10 km zou hebben.

Het is van groot belang voor de kennis van de vorming en vervorming van rivieren bovengenoemde spiraalstrooming in formules vast te kunnen leggen. Aan de hand van figuur 3 zal de dezerzijds gevolgde methode van oplossing van dit probleem worden behandeld.

De bij de strooming optredende krachten zijn die, veroorzaakt door:

1. het langsverhang. Deze is gericht langs de positieve X-as en heeft voor een volume-deeltje met de eenheid van oppervlak en hoogte dz een waarde  $\rho \cdot g \cdot i_x \cdot dz$ . De hierdoor optredende schuifspanning op hoogte z bedraagt dus:  $\rho \cdot g \cdot (Z-z) \cdot i_x$  ;

2. het dwarsverhang. Deze is gericht langs de Y-as in negatieve richting; de kracht per vloeistofdeeltje bedraagt  $-\rho \cdot g \cdot i_y \cdot dz$ , de schuifkracht  $-\rho \cdot g \cdot (Z-z) \cdot i_y$  ;

3. de centrifugaalkracht. Voor een vloeistofdeeltje met eenheid van oppervlak en hoogte dz bedraagt de kracht  $\frac{\rho}{r} \cdot W^2 \cdot dz$ . Nemen we aan, dat de straal r gemeten wordt langs de X-as en dat deze constant is voor de hele vertikaal, dan worden de ontbondenen van deze kracht:  $-\frac{\rho}{r} \cdot V \cdot U \cdot dz$  en  $\frac{\rho}{r} \cdot V^2 \cdot dz$ .

De schuifspanningen op hoogte z worden dan:  $\int_z^Z \frac{\rho}{r} \cdot V \cdot U \cdot dz$  en  $\int_z^Z \frac{\rho}{r} \cdot V^2 \cdot dz$  ;

4. de kracht van Coriolis. Deze bedraagt voor een vloeistofdeeltje  $a \cdot \rho \cdot W \cdot dz$  waarbij dus voor Nederland  $a = 0.0001$  te stellen. De ontbondenen langs X en Y as worden respectievelijk:  $\pm a \cdot \rho \cdot U \cdot dz$  en  $\mp a \cdot \rho \cdot V \cdot dz$

De schuifspanningen respectievelijk:

$$\int_z^Z \pm a \cdot \rho \cdot U \cdot dz \quad \text{en} \quad \int_z^Z \mp a \cdot \rho \cdot V \cdot dz$$



In verband met de vroegere aanneme omtrent de richting van de positieve Y-as geldt in deze formules het bovenste teeken voor een rechtsdraaiende, het onderste voor een linksdraaiende bocht.

De totale schuifspanningen zijn nu aan de hand van bovenstaande formules te bepalen.

Zoals ook bij de rechtlijnige waterbeweging gedaan werd, zal ook hier de schuifspanning gelijk worden gesteld aan het product der kwadraten van lengte en snelheidsgradient, dus:

$$K = l^2 \left( \frac{dW}{dz} \right)^2$$

Deze ontbonden langs X en Y as geeft:

$$K_x = l^2 \left| \frac{dW}{dz} \right| \frac{dV}{dz} \quad (12) \quad \text{en} \quad K_y = l^2 \left| \frac{dW}{dz} \right| \frac{dU}{dz} \quad (13)$$

Hierbij heeft l dus dezelfde waarde als in de formule voor rechtlijnige waterbeweging.

Het vraagstuk wordt oplosbaar, indien de beide, uit de voorgaande vergelijkingen af te leiden, differentiaalvergelijkingen de in figuur 3 genoemde vereenvoudigingen ondergaan.

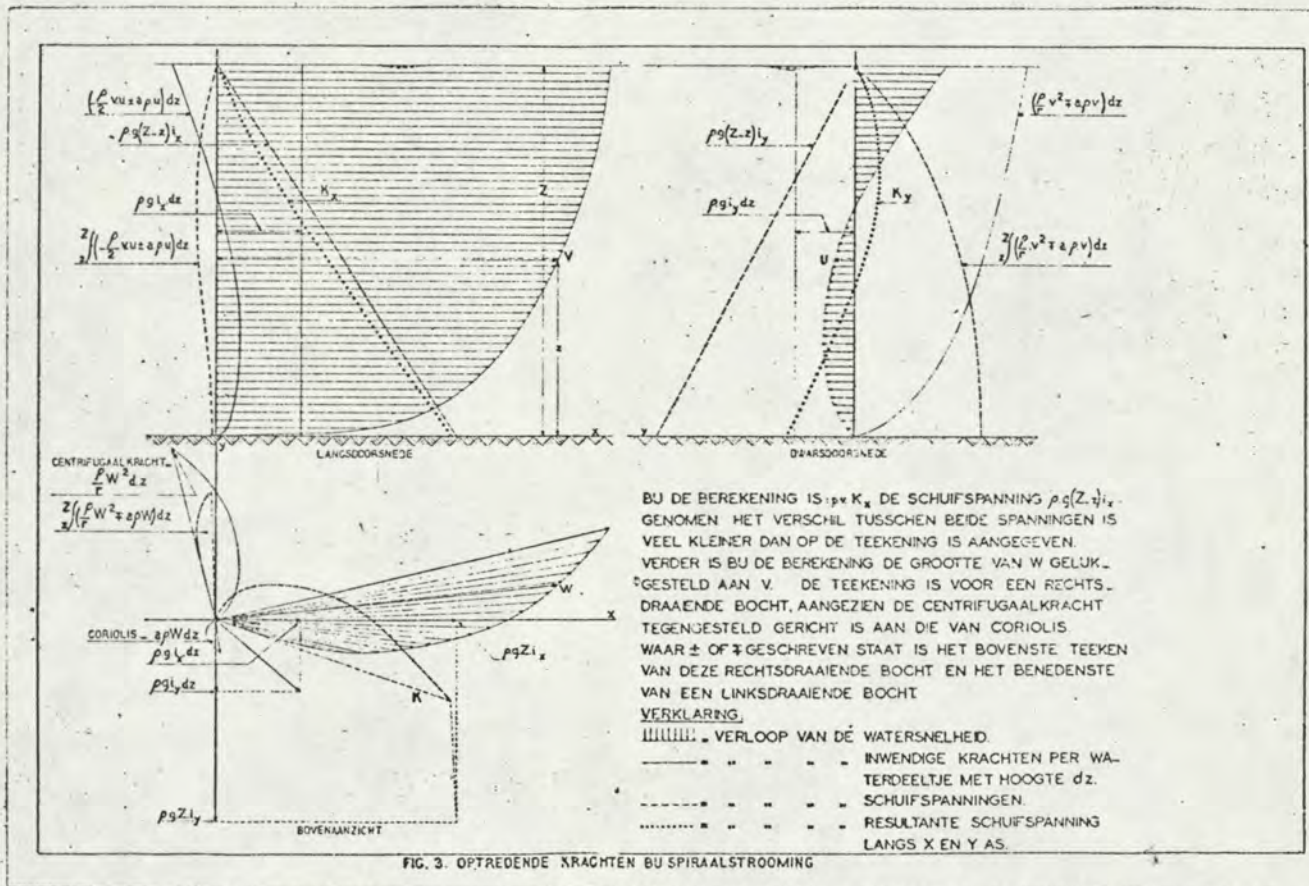


FIG. 3. OPTREDENDE KRACHTEN BIJ SPIRAALSTROMING

De gang der berekening zal hier niet volledig in cijfers worden weergegeven; in woorden is deze als volgt:

Door de vereenvoudigingen is de vergelijking van de X as oplosbaar. De hieruit gevonden waarde van V kan nu worden ingevuld in de vergelijking voor de Y as.

Deze is nu oplosbaar, waarbij iy als onbekend aanwezig blijft. De kunnen echter nog een vergelijking opstellen voor de totale waterafvoer in de Y richting. Aangezien de X as gedefinieerd is als de richting van de gemiddelde waterafvoer, zal de totale waterafvoer van de vertikaal in de Y richting gelijk nul moeten zijn. Dus:

$$\int_0^z U dz = 0 \quad (14)$$



Hiermede is het geheele probleem oplosbaar geworden. Onder andere kunnen nu de volgende formules worden opgesteld:

$$V_z = V_1 z^{1/6} \quad (15) \quad \text{en} \quad V_g = k \left( \frac{Z}{\epsilon} \right)^{1/6} \cdot Z^{1/2} \cdot i_x^{1/2} \quad (16)$$

(dus Strickler en 6e graadsparabool) en dus:

$$V_1 = \frac{7}{6} \frac{k}{\epsilon^{1/6}} \cdot Z^{1/2} \cdot i_x^{1/2} \quad (17)$$

De formule van de snelheidsverdeling in de Y richting is zeer ingewikkeld en ook van weinig belang; daarom zal deze niet worden gegeven. Wel zijn van belang de grootte van het dwarsverhang van de oppervlakte snelheid en van de bodeskracht. Deze zijn:

$$i_y = -1,060 \frac{V_g^2}{gR} \pm 1,024 \frac{a}{g} V_g \quad (18)$$

$$U_{opp} = +0,02 g \frac{k^2}{\epsilon^{1/2}} \frac{V_g}{gR} Z^{1/2} \mp 0,015 \frac{k^2}{\epsilon^{1/2}} \cdot Z^{1/2} \frac{a}{g} \quad (19)$$

$$K_{y_{bodem}} = -0,039 \frac{a \cdot V_g^2 \cdot Z}{R} \pm 0,021 a \cdot V_g \cdot Z \quad (20)$$

en: 
$$\frac{U_{opp}}{V_{opp}} = 0,027 \frac{V_g^2}{gR i_x} \quad (21)$$

$$\frac{K_{y_{bodem}}}{K_{x_{bodem}}} = t_g \lambda = 0,039 \frac{V_g^2}{gR i_x} \quad (22)$$

Deze laatste formules kunnen we nog vereenvoudigen, indien we de formule van Chézy invoeren  $C = 50 \text{ m}^2/\text{sec}$  stellen en de kracht van Coriolis verwaarlozen. Dan worden deze bij benadering:

$$\frac{U_{opp}}{V_{opp}} = 6 \frac{Z}{R} \quad (23) \quad \text{en} \quad \frac{K_{y_{bodem}}}{K_{x_{bodem}}} = t_g \lambda = 10 \frac{Z}{R} \quad (24)$$

### 5. Berekening van de totale waterhuizing.

Bij rivierstudies komen vaak vraagstukken aan de orde betreffende de waterafvoer, de verdeling hiervan over het bed, de stroomnelheden en -richtingen, het verloop van de waterspiegel, enz. Niet steeds is het mogelijk om de gevraagde gegevens door metingen te verschaffen. In het bijzonder is dit het geval, indien het betreft de toestand ~~van~~ eventueel uit te voeren werken. De benodigde gegevens zijn in dat geval alleen te verkrijgen door berekeningen.

Zoals wij reeds eerder zagen, komen in de hierbij te gebruiken formules empirische "constanten" voor, die voor verschillende riviervakken een verschillende waarde kunnen hebben. Daarom is het wel zeer gewenscht om deze constanten voor de betreffende riviervakken door inter- of extrapolatie van uit metingen verkregen resultaten te bepalen.

De rekenmethoden, die bij den Studiedienst worden gevolgd om den stroomingstoestand in bepaalde riviervakken te leeren kennen, zijn afhankelijk van de aischen, die worden gesteld en de samenstelling van het beschouwde riviervak.

De eenvoudigste methode is die der opseenvolgende dwarsprofielen. Deze methode wordt gebezigd, indien de afstroming regelmatig is, zoals in een genormaliseerd zombed, en alleen het verband tusschen afvoer, de lokaal snelheid en verloop van het langverhang wordt gevraagd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de algemeene weerstandformule 
$$h_x = Q^2 (W_1 + W_2)$$
, waarin

$W_1$  en  $W_2$  de vroeger behandelde weerstanden respectievelijk ten gevolge van normale en bijzondere wrijving voorstellen.

In het dwarsprofiel onregelmatig van diepte, kan  $W_1$  te worden bepaald door sommatie der deelen, en wel zodanig dat





$$\frac{1}{W_1} = \frac{1}{W_a} + \frac{1}{W_b} + \dots \text{ enz.}$$

Een dergelijke berekeningmethode kan niet worden toegepast, indien de strooming in het winterbed een geheel andere richting heeft als die in het zomerbed en op haar weg kaden en andere weerstanden passeert. In dat geval wordt het systeem der stroombaanberekening toegepast. Zijn de zijdelingse begrenzingen dezer stroombanen door de natuur bepaald bijvoorbeeld door dijken, ruggen, bebouwing enz., dan is de berekening nog vrij eenvoudig.

Meestal zijn de stroombanen echter niet door de natuur bepaald. In dat geval wordt de volgende berekeningmethode gevolgd:

Zoo goed mogelijk wordt een stroombaanwet geschatst. Dit kan nu volledig worden doorgerkend, zoodat de afvoeren en snelheden van de afzonderlijke stroombanen bekend zijn evenals het verloop der waterstanden. Men dient echter nog gecontroleerd te worden of de stroombanen juist zijn geschatst. Deze controle is de volgende. Op bepaalde afstanden worden lijnen getrokken loodrecht op de stroombanen. Het verloop van de waterstanden langs deze lijnen is bekend. Dit verloop moet in overeenstemming zijn met het te berekenen dwarsverhang. Nu was dit dwarsverhang gelijk aan :

$$\frac{1,06 V_g^2}{g \cdot r} \quad \text{Over een afstand } l_y \text{ is dus het verval}$$

$$h_y = l_y \cdot i_y = l_y \cdot \frac{1,06 V_g^2}{g \cdot r} = \frac{Q^2 1,06 \cdot l_y}{B^2 Z^2 g \cdot r} \quad (25)$$

Indien het optredende dwarsverval niet overeenstemt met het volgens bovenstaande formule berekende verval, moet het geschatste wet worden verschoven en opnieuw doorgerkend en gecontroleerd. Eventueel moet een tweede correctie worden aangebracht.

Het eenige routine is een dergelijke berekening snel te verrichten, vooral indien de formules der weerstanden in nomogrammen worden weergegeven.

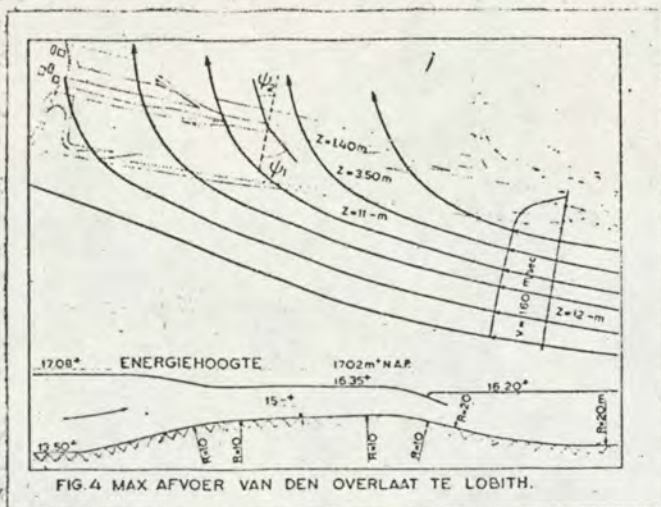
In figuur 7 is een voorbeeld gegeven van de uitkomsten van een dergelijke berekening voor het zomerbed van een riviervak.

Een moeilijkheid doet zich voor, indien een stroombaan onder een schieve hoek een kade passeert. Zoodanig bekend vindt in dat geval een plotselinge verandering van de stroomrichting plaats. Het verschijnsel is analoog aan dat bij breking van licht of van andere golven op de grens van twee verschillende media. Voor het geval van strooming over een kade kan een differentiaal vergelijking worden opgesteld. De hieruit af te leiden formule luidt:

$$\frac{\tan \psi_1}{\tan \psi_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (26)$$

In figuur 4 is dit schematisch voorgesteld:





De formule geldt alleen bij versnelling van het water, niet bij vertraging.

Een tweede moeilijkheid bij de stroombaanberekening doet zich voor, indien in een stroombaan een volkomen overlaat aanwezig is. In dat geval is het verval niet direct een functie van afvoer en weerstand, maar moet eerst een schetting van den afvoer over de overlaat worden gedaan. In 't algemeen wordt voor volkomen overlaten de theoretische formule  $q = 17 Z^{3/2}$  gebezigd, waarin  $q$  de afvoer in m<sup>3</sup>/ml/sec voorstelt en  $Z$  de hoogte van de waterspiegel bovenstrooms van de overlaat boven de kruin van de overlaat. In werkelijkheid is de afvoer kleiner en wordt de uitkomst met een coëfficiënt vermenigvuldigd, die afhankelijk is van innoering, aanstroosing, enz.

Door den Studiedienst wordt een latest gewijzigde formule toegepast, waarbij niet de hoogte van de waterspiegel wordt genomen maar de hoogte van de energielijn. Indien verder rekening wordt gehouden met de schieve aanstroosing, die te berekenen is, met een eventuele innoering en verder met een eventuele verticale stroomtraackromming, kan de bovengenoemde coëfficiënt = 1 worden gesteld. In figuur 4 is een voorbeeld gegeven van de berekende maximum afvoer over de overlaat te Lobith.

Bij het ontwerp van rivierwerken zal men vaak gegevens willen hebben over den stroomingstoestand na uitvoering der werken. De berekening zal den cijfers opleveren omtrent de verhoging of verlaging van waterstanden, die door deze uitvoering zullen optreden. Voor de waterstanden bovenstrooms van deze werken kan over het algemeen worden volstaan met een stukwaaibeberkening. Voor het geval de waterstandsveranderingen ten opzichte van de waterdiepte niet groot zijn (max. ± 5%) kan deze stukwaaibeberkening eenvoudig zijn. Voor dat geval is een vereenvoudigde formule afgeleid, die luidt:

$$S_1 = S_0 \cdot e^{-\frac{3h}{Z_m}}, \text{ waarin}$$

- $S_0$  = waterstandsverandering aan het beginpunt
- $S_1$  = waterstandsverandering l m stroomopwaarts
- $h$  = normale hoogteverschil over de afstand l
- $Z_m$  = maatgevende waterdiepte. Deze kan worden gedefinieerd als de waterdiepte, die een bakvormige rivier met dezelfde waterspiegelbreedte en verloop zou moeten hebben om eenzelfde hoeveelheid water af te voeren.



Ook bij de stroombaanberekening wordt nog geen gedetailleerde kennis verkregen omtrent de beweging der afzonderlijke waterdeeltjes. Om deze te leeren kennen dient de spiraalbeweging zooals die eerder werd besproken, te worden ingevoerd.

De berekening wordt nu zoodanig, dat eerst de ligging der gemiddelde stroombaan wordt bepaald aan de hand der vroeger besproken stroombaanberekening. Daarna kunnen de afwijkingen van de waterdeeltjes in de verticale ten opzichte van de stroombaan worden berekend en ingetekend.

In figuur 7 is een voorbeeld gegeven van deze strooming in een zomerbed zowel voor het geval van een horizontale bodem als van een bodemligging, die met de zandbeweging in evenwicht is.

### 6. De zandbeweging.

De studie van de waterbeweging in rivieren kan nuttige gegevens verschaffen omtrent te verwachten waterstanden, snelheden, afvoeren en dergelijke. Zij kan echter geen inzicht geven in de vorming en vervorming van het bed van rivieren, indien niet tevens de beweging van vaste stoffen wordt onderzocht. Van deze vaste stoffen is bij de behandelde studie voor de Rijnstakken alleen het zand en het fijnere grind van belang. Hoewel het slibtransport van de Rijn niet onaanzienlijk is (nabij Lobith te stellen op onstreeks 3 miljoen ton tegen 500.000 m<sup>3</sup> zand per jaar) speelt het bij de vervorming van het zomerbed van genoemde rivieren geen rol. Door de groote watersnelheden treedt geen bezinking op (althans niet in het zomerbed). Ook in het tijgebied, waar de waterbeweging bij vloed stagneert, wordt het bezonken slib bij eb weer afgevoerd. Pas in het aangegabied van zout- en zoetwater kan de slibafzetting van belang worden.

De bodem van het zomerbed van de bovenrivieren bestaat den ook uit zuiver zand, dat door het stroomende water in beweging wordt gebracht.

Deze beweging kan zijn een rollende en springende beweging van het zand over den bodem of een meer zwavende beweging, waarbij de zanddeeltjes over groote afstanden door het water worden meegenomen zonder den bodem te raken.

Bij de metingen wordt daarom onderscheid gemaakt tusschen bodem- en zwevend transport, hoewel de grens niet scherp is.

Door den Studiedienst zijn, in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium te Delft, instrumenten ontworpen voor de meting van deze transporten.

In het volgende zullen enkele meetresultaten en hieruit opgestelde berekeningen en beschouwingen worden behandeld.

Bij kleine watersnelheden beweegt het zand zich gelijkmatig over een horizontalen bodem, waarbij de transporteerden hoeveelheid zand voor opeenvolgende punten dezelfde is. Meet de watersnelheid toe, dan wordt deze gelijkmatigheid verbroken en treedt ribbelforming op, zooals dat meer in de natuur het geval is waar wrijvingsvlakken tusschen twee ongelijkmatige stoffen aanwezig zijn.

In figuur 5 is een vertakkende schets gegeven van een dergelijke ribbel.



FIG. 5 ZANDRIBBEL.



Indien de ribbel zich onvervormd voortplant, moet het zandtransport op elk punt evenredig zijn met de hoogte van dit punt boven het vlak X-X

$$\text{of: } \frac{dh}{dx} = a \frac{dt}{dx}$$

Hieruit is een hypothese op te zetten, waaruit zou blijken dat de helling van de ribbel toeneemt met de watersnelheid en afneemt met de waterdiepte. Het verband tusschen de hoogte van de ribbel en andere grootheden is niet bekend. Waarschijnlijk neemt deze toe met de waterdiepte. Bij vallend water zou dus de hoogte afnemen en het grofste bodemmateriaal blijven liggen.

Hieruit zou ook te verklaren zijn, dat op sommige rivier- vakken onder de ribbel een laag van zeer grof materiaal aanwezig is. De dikte van deze laag is dan een maat voor de grootste ribbels.

Voor de berekening van de zandbeweging bestaan vele zand- transportformules. Hierop zal in dit artikel niet nader worden ingegaan. Voor een beschouwing over de meest gebruikte formules moge worden verwezen naar een artikel in "de Ingenieur" van 11 Juli 1941 van de hand van Ir. J.B. Schijf en professor Ir. J.Th. Thijssen.

Hiernaar verwijzend, kan worden opgemerkt dat ook dezer- zijds de voorkeur wordt gegeven aan de formule van Du Boys, waarin het zandtransport wordt bepaald als functie van de op den bodem werkende kracht, de sleepkracht gezegd. Voor Straub werden de in bovengenoemde formule voorkomende empirische con- stanten nader bepaald. Het blijkt nu evenwel, dat deze constan- ten in 't geheel niet in overeenstemming zijn met de bij den Studiedienst gevonden meetresultaten.

Om met deze meetresultaten eenigszins in overeenstemming te zijn, zal de formule van Du Boys dezerzijds worden omgewerkt tot:

*Conclusie!*  $t = 4 V_1^2 (V_1^2 - V_{1gr}^2) \text{ m}^3/\text{m}'/\text{elmaal}$

Hierin wordt dus het zandtransport gegeven als functie van de watersnelheid op een bepaalde hoogte n.l. 1 m boven den bodem.

Hiermede wordt niet bedoeld om een nieuwe formule toe te voegen aan de reeds bestaende formules, aangezien het aantal metingen hiervoor te klein en de spreiding der meetresultaten te groot is.

De grenssnelheid voor het in beweging komen van het zand is op grond van theoretische beschouwingen te bepalen, waarbij gebruik wordt gemaakt van het feit, dat de tangens van de hoek van natuurlijk talud van zand op 0.6 is te stellen en ongeveer constant is voor verschillende korrel grootten. We vinden dan dat de grenssnelheid evenredig is te stellen aan  $d^{2/3}$

In totaal weret de formule dan:

$$t = 4 V_1^2 (V_1^2 - 36 d^{2/3}) \text{ m}^3/\text{m}'/\text{elmaal} \quad (28)$$

Bij de volgende berekeningen wordt de formule in eenige- zins andere vorm gebruikt, waarbij t als functie van  $V_g$  wordt geschreven. Deze luidt:

$$t = 8 \frac{V_g^2}{Z^{1/3}} \left( \frac{V_g^2}{Z^{1/3}} - 25 d^{2/3} \right) \quad (29)$$





Het typische van deze formule is, dat de korreldiameter alleen in de grensnelheid aanwezig is, doch niet in het overige deel der formule.

Deze formule gaat uit van homogeen zand. Voor toepassing in de natuur wordt uit de zeefkromme een maatgevende korreldiameter bepaald, n.l. die maaswijdte, waardoor 50% van het zand valt.

Indien in de natuur door het water naar zand wordt aangevoerd, dan kan worden aangevoerd, zal de grofste fractie van het zand blijven liggen. Dit zal bij de berekeningen in eenmerking dienen te worden genomen.

Het zwevende transport is in de eerste plaats afhankelijk van het bodemtransport. De verdeling van dit zwevend transport in de vertikaal blijkt een regelmatig verloop te hebben, indien we voor een bepaalde korrelgrootte of korrelgroottegroep het zandgehalte van het water uitzetten als functie van de waterdiepte. Deze formule luidt:

$$t_z = t_0 \cdot e^{-mz} \quad (30)$$

waarin  $t_z$  en  $t_0$  respectievelijk de zandgehalten voorstellen op hoogte  $z$  en nabij den bodem.

Bij de onderzoeken bleek  $m$  een waarde te hebben van onstreeks 2/3.

Waarschijnlijk zal  $m$  echter een functie zijn van de korreldiameter. Voor slib bedraagt  $m$  nul, aangezien de concentratie van het slib in de vertikaal bij sterk turbulente rivieren als de lijn constant is.

Op de rechterhelft van figuur 1 zijn de resultaten weergegeven van enkele zandgehaltmetingen terwijl op de linkerhelft de bijbehorende snelheidsvertikalen zijn ingetekend. De eerder genoemde formule wordt voorgesteld door de getrokken lijnen op de rechterhelft van de figuur.

In dit geval is de korrelgrootte van het zwevend zand vrij homogeen; zou dit niet het geval zijn, dan zou door sommatie van de verschillende korrelgroepen een aan den bodem naar rechts afbuigende kromme ontstaan.

Voor de bepaling van het totale zwevend transport behoeft dus slechts geseten te worden op één diepte.

Op theoretische gronden is de bovengenoemde formule af te leiden. Een dergelijke berekening werd door Lakkavek gepubliceerd in een der rapporten van het Scheepvaartcongres 1935, gehouden te Brussel; hierbij ging het echter over het voorkomen van stof in de lucht.

Een direct verband tusschen zwevend transport en bodemtransport is niet te geven. Bij onderzoek van de zeefkromme van het over den bodem getransporteerde zand blijkt wel, dat de typische knik, die in deze kromme optreedt daarin gelegen is, dat de fijnere zandkorrels, die ontbreken, in zwevend toestand wel den getransporteerde.

De richting, die het bodemtransport inslaat zal bij een vlakken rivierbodem gelijk zijn aan de richting van de resulterende bodemkracht. Bij rechte stroombanen is dit dus evenwijdig aan de as van de stroombaan en bij gebogen stroombanen zal de tangens van de afwijkingshoek gelijk zijn aan het quotiënt van  $K_y$  en  $K_x$  aan den bodem.



Over het algemeen zal de bodem niet vlak zijn, doch in X en Y richting hellen. Noemen we deze hoeken respectievelijk  $\beta_x$  en  $\beta_y$  (positief, indien dalend in positieve richting), dan zullen de door de zwaartekracht veroorzaakte krachten op een korrel met diameter d langs den bodem respectievelijk bedragen:

$$\frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_z - \rho_w) \cdot g \cdot \sin \beta_x \quad \text{en} \quad \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_z - \rho_w) \cdot g \cdot \sin \beta_y$$

Is de zandkorrel niet rond, dan zullen deze bedragen nog vermenigvuldigd dienen te worden met een vermenigvuldiger e, die over het algemeen iets grooter dan één zal zijn.

Bovengenoemde massa'skrachten moeten worden vergeleken met de op het oppervlak van de korrel werkende krachten, veroorzaakt door de sleepkracht.

Aangezien, zooals we vroeger zagen, de bodemsleepkrachten respectievelijk bedragen:

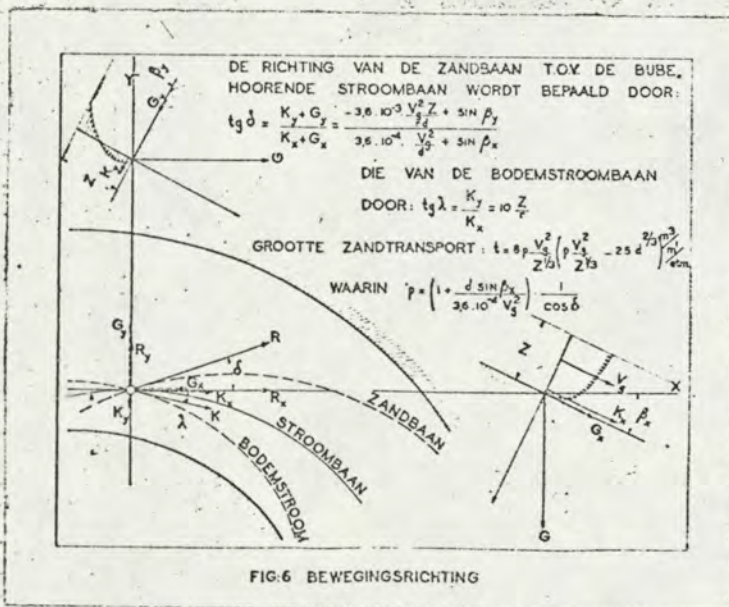
$$K_x = \rho_w \cdot g \cdot Z \cdot i_x \quad \text{en} \quad K_y = -0.04 \rho_w \frac{V_g^2 Z}{P}$$

(bij verwaarloozing van de kracht van Coriolis) zullen de krachten, die een zandkorrel hiervan ondervindt (onder aanname, dat  $V_g^2 = 2500 \cdot Z \cdot i_x$ ), respectievelijk bedragen:

$$f \cdot \frac{\rho_w \cdot g \cdot V_g^2}{2500} \cdot \frac{1}{4} \pi d^2 \quad \text{en} \quad -0.04 f \cdot \rho_w \frac{V_g^2 Z}{P} \cdot \frac{1}{4} \pi d^2$$

Hierin stelt f de zogenoemde stuwcoëfficiënt voor. Deze is afhankelijk van het getal van Reynolds en zal bij de beschouwde rivierzanden onstreks één bedragen. We zullen voorloopig aannemen, dat het quotient van e en f één is.

In figuur 6 is een schematisch beeld gegeven van de optredende krachten.



Na uitwerken van de formule voor de resulteerende richting van de op een zandkorrel werkende kracht blijkt deze te zijn:

$$\text{tg } \delta = \frac{-3.6 \cdot 10^{-3} \frac{V_g^2 Z}{P} + \sin \beta_y}{3.6 \cdot 10^{-4} \frac{V_g^2}{P} + \sin \beta_x} \quad (31)$$

In het bovenstaande wordt geen rekening gehouden met de invloed van de kracht, veroorzaakt door de kromming van de baan van de zandkorrel. In verband met de verhoudingsgewijs langzame en de schokgewijs voortbeweging van het zand lijkt een dergelijke verwaarloozing volkomen gerechtvaardigd.



Voor de bepaling van de grootte van het zandtransport dienen we de in de zandtransportformule voorkomende sleepkrachten of kwadraten der gemiddelde snelheid te vermenigvuldigen met een factor  $p$ .

De zandtransportformule 26 wordt in dit geval:

$$t = 4p \cdot V_1^2 (p \cdot V_1^2 - 36d^{2/3}) \quad (32)$$

waarin:

$$p = \left(1 + \frac{d \sin \beta_x}{36 \cdot 10^{-4} V_1 r}\right) \frac{1}{\cos \delta} \quad (33)$$

Zooda uit de formules blijkt is de bewegingsrichting afhankelijk van de korrelgrootte van het zand. Bij de berekening voor rivieren met heterogene samenstelling van het zand wordt nu de richting van het transport der verschillende korrelgroepen elk voor zich bepaald; voor de grootte van het transport wordt echter het totaal genomen.

Aan de hand van de voorbeelden in het volgende zal nu de berekeningsmethode nader worden beschreven.

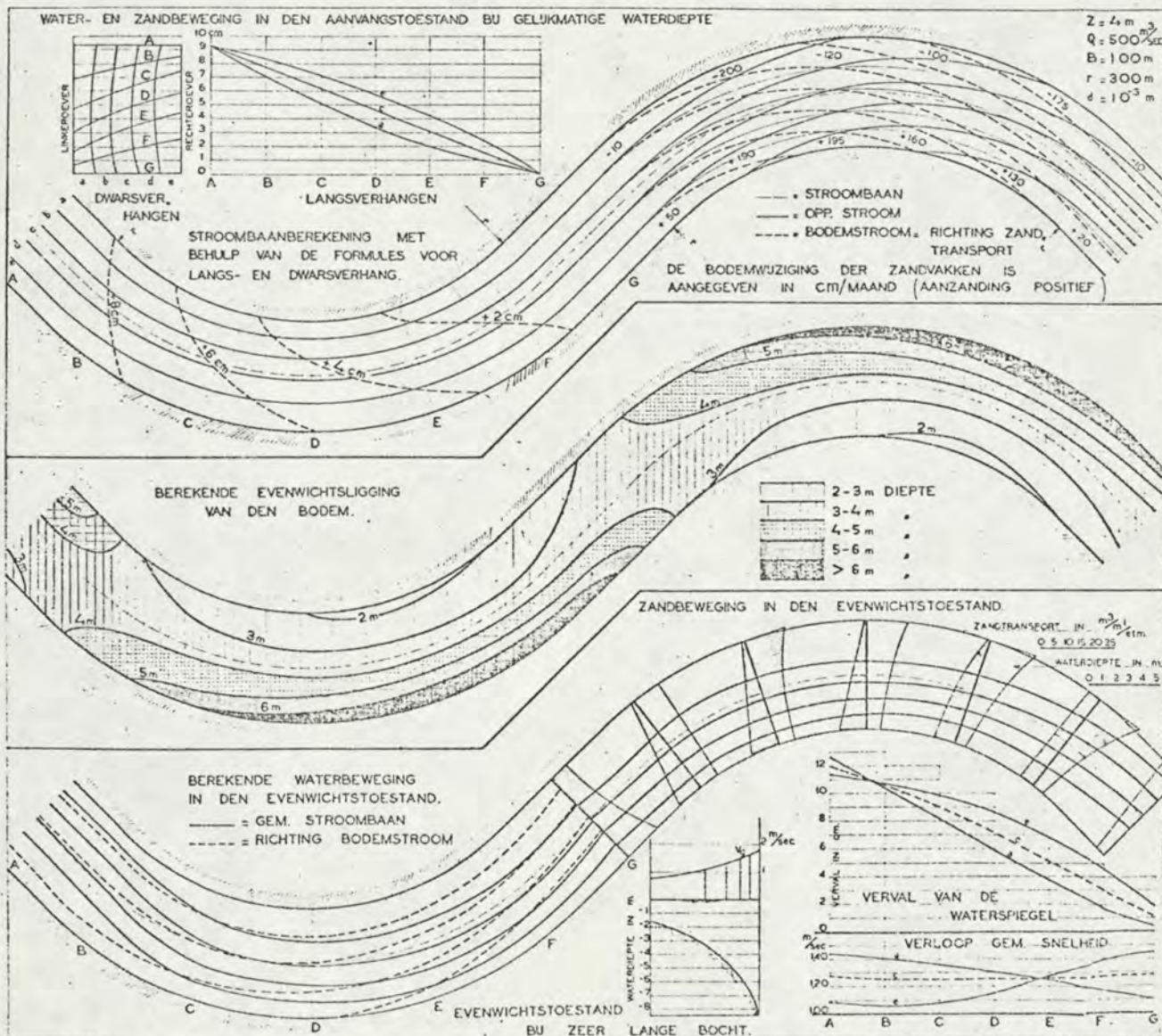


FIG. 7 GLOBALE BEREKENING VAN DE WATER- EN ZANDBEWEGING EN DE BODEMLIGGING IN EEN RIVIERBOCHT.

### 7. Toepassingen.

Aan de hand van figuur 7 zal allereerst de rekenmethode



nader worden besproken. Als voorbeeld wordt genomen een denkbeeldig riviervak met een bodembreedte van 100 m, een gelijkmatige diepte van 4 m en een watersnijvoer van 500 m<sup>3</sup>/sec, terwijl de korrelgrootte van het homogeen bodemmateriaal op 1000  $\mu$  is gesteld.

Op het linkerbovendeel zijn de stroombanen geteekend, terwijl op de rechterhelft van deze figuur de spiraalstroaming is aangegeven. De berekeningsmethode van beiden werd reeds eerder gegeven.

Door toepassing van, wat men zou kunnen noemen, de bewegingsvergelijking en de continuïteitsvergelijking voor de zandbeweging is nu na te gaan hoe de bodemligging zich zal wijzigen.

Onder bewegingsvergelijking wordt dan verstaan de vroeger opgestelde algemene zandtransportformule. De continuïteitsvergelijking zegt, dat het verschil tusschen in en uitgestroomde hoeveelheid zand voor een zandbaanvak, gedeeld door het oppervlak, gelijk is aan de wijziging in hoogteligging van dit vak. Op de rechterhelft van de bovenste figuur is de berekening uitgevoerd; terwille van de eenvoud zijn de vakken hier zeer groot genomen.

We nemen nu een roedenig tijdsverloop aan, dat de wijzigingen belangrijke invloed zouden hebben op den stroomingstoestand. De gevonden treppen in hoogteligging worden nu vervangen door vloeiende bodemlijnen, waerna bij deze bodemligging de waterbeweging opnieuw wordt bepaald. Hieruit wordt weer de zandbeweging berekend, enz.

Na enkele malen rekenen zijn de wijzigingen in de bodemligging zoo gering gevonden, dat de eindtoestand geteekend kan worden.

In de figuur zijn de tusschentoestanden weggelaten. In het middendeel van de figuur is de bodemligging in den eindtoestand weergegeven, terwijl in het ondergedeelte links de waterbeweging en rechts de zandbeweging in dien toestand is geschetst.

Aan de hand van de uitkomsten van bovenstaande berekening kunnen de volgende algemene opmerkingen over rivierbochten en overgangen worden gemaakt.

Zooals ook uit de figuur blijkt, stelt zich bij rivierbochten een dwarshelling van den bodem in, waarbij de geul in de buitenbocht en de bank in de binnenbocht komt te liggen. Dit wordt veroorzaakt door de spiraalstroaming, die het zand naar de binnenbocht brengt. Uit de formule voor de voortplantingsrichting van de zandbeweging is deze dwarshelling direct af te leiden. Bij een lange bocht zullen n.l. in opeenvolgende dwarsprofielen de stroombanen van het water en het zand evenwijdig met de as van de rivier moeten loopen. Dus  $\tan \delta = 0$ . Dit betekent, dat de krachten, die langs de as op een zandkorrel werken, te weten de kracht ten gevolge van de spiraalstroaming en de ontbondens van de zwaartekracht, elkaar moeten opheffen. Of uit (31):

$$\sin \beta = 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{V_s^2 Z}{rd} \quad (32)$$

Door Lely werd reeds de empirische formule opgesteld, dat voor de zijtakken de sinus van deze hoek gelijk was te stellen aan ongeveer  $22/r$ . Dit blijkt in overeenstemming met bovenstaande formule, indien we de waarden voor  $V_s$ ,  $Z$  en  $d$  invullen, zooals die voor de zijtakken bij middelbaren rivierstand gelden.

Hierin wordt tevens een bevestiging gevonden van de veronderstelling, dat de bodemligging van rivieren in 't algemeen bepaald wordt door de omtandigheden, zooals die zich bij gemiddelden stand voordoen.

Door Lely werd tevens gevonden, dat de gemiddelde water-





diepte in bochten kleiner was dan in rechte riviervakken. Dit is overeens uit de formules te berekenen. Steeds moet hierbij in het oog worden gehouden, dat evenwicht van den bodem pas wordt bereikt, indien het totale zandtransport door elk dwarsprofiel van de rivier eenzelfde grootte heeft.

Voor de scheepvaart kunnen scherpe bochten veel hinder opleveren, niet, omdat er niet voldoende diepte aanwezig zou zijn - deze is n.l. in de buitenbocht steeds grooter dan de diepte op rechte vakken - maar voornamelijk omdat de breedte van de vaargeul, door de aanwezigheid van de bank in de binnenbocht, gering kan zijn, vergeleken met die in rechte vakken. Een ander bezwaar kan zijn, dat door de spiraalbeweging de oppervlaktestroom op de buitenbocht is gericht. Hoe sterk dit het geval kan zijn toont figuur 8.

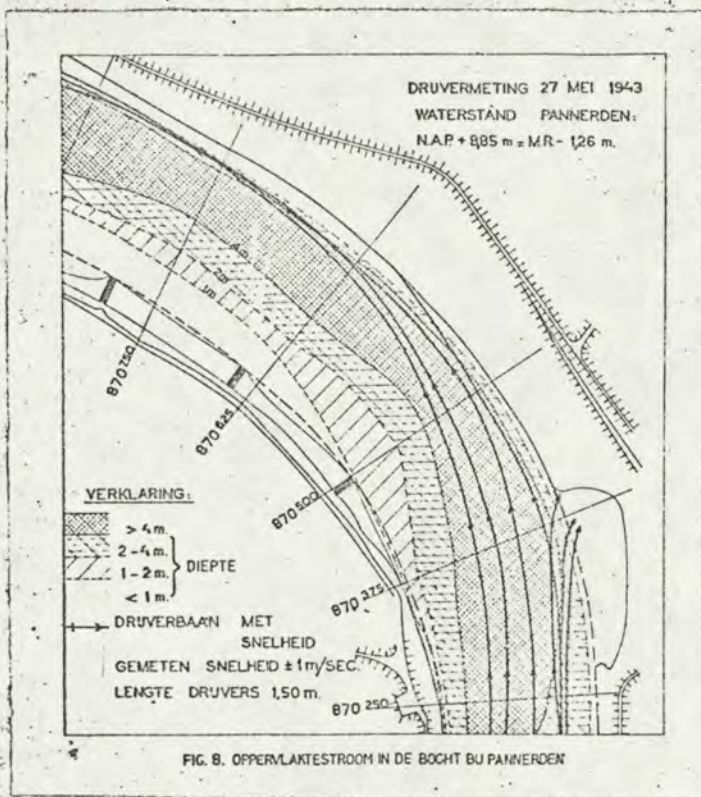


FIG. 8. OPPERVLAKTESTROOM IN DE BOCHT BIJ PANNERDEN

Van de tot nu toe toegepaste middelen, om bij scherpe bochten den toestand ten aanzien van de scheepvaart te verbeteren, is het meest radicale middel, n.l. de bochtafsnijding, ook het eenig afdoende middel gebleken.

Het periodiek wegbaggeren van de bank in de binnenbocht kan tijdelijk verbetering geven. Wordt dit echter geregeld herhaald, dan zal door te weinig zandaanvoer het beneden de bocht gelegen riviervak uitschuren, de waterstanden zullen dalen en de toestand in de bocht zal nog ongunstiger worden dan hij reeds was.

Een ander middel was het aanbrennen van z.g. grondkribben in buitenbochten op zoodanige diepte, dat de scheepvaart er overheen kon varen. De bedoeling was om het natte dwarsprofiel te verminderen, waardoor uitschuring in de binnenbocht zou optreden. Om hiermede effect te bereiken zou men de kribben echter zoo dicht opeen moeten leggen, dat voor denzelfden prijs een doorlopende bodemverdediging zou kunnen worden aangebracht. Wil deze effect hebben, aan moet de oppervlakte erven zoo hoog mogelijk liggen. Het bezwaar is, dat bij bodemverlaging, zooals die op de klijntakken optreedt, een dergelijke verdedi-



ging een vast punt zou vormen en maatgevend zou kunnen worden voor de vaardiepte.

Door den stadiediensd wordt thans met behulp van de opgestelde rekenmethode, een middel tot verbetering van rivierbochten onderzocht, waarbij het zand met behulp van zandleidende bodemvoorzieningen gedwongen wordt voorgeschreven banen te volgen, waardoor aanzanding in binnenbochten voorkomen zou kunnen worden. De bedoeling is dit met behulp van modelonderzoek nader te bezien.

Bij rivierwerken kan de naar de binnenbocht gerichte zandbeweging voordel geven. Projecteert men n.l. in of nabij buitenbochten de uitmondingen van havens en dergelijke, dan is geen aanzanding van deze monden ten gevolge van het door de rivier getransporteerde bodeszand te vrezen, aangezien het transport hier gering is en de bodem diep is gelegen.

Ten aanzien van rivierovergangen tusschen twee tegengesteld gerichte bochten kan het volgende worden opgemerkt.

Het blijkt, dat het zandtransport in de overgangen van den eenen naar den anderen oever oversteekt. In rivierovergangen en in rechte riviervakken is de sleepkracht in het midden van de rivier echter niet voldoende om dit geconcentreerde zand te transporteren. Aldaar treedt dus aanzanding op.

Daartegenover staat, dat de toevoer van zand naar de gedeelten van het bed, die nabij de oevers zijn gelegen te gering is, zoodat aldaar uitschuring optreedt. Een evenwichtstoestand stelt zich in, doordat de dwarswallingen, die ten gevolge van aanzanding en uitschuring optreden, het zandtransport de vereischte spreiding geven over het dwersprofiel.

Hiermede is dus de verklaring gegeven voor de zandruggen, die in overgangen optreden. Deze zandruggen zijn het, die de vaardiepte op rivieren bepalen. Daarom is de vaardiepte ook steeds kleiner dan de gemiddelde diepte van de rivier; op de Waal bedraagt het verschil bij middelbare waterstand onstreeks 1 m. Bij laagwater is het verschil geringer, doordat de water- en zandbeweging dan anders is en uitschuring van de bank optreedt.

Door een juiste vormgeving van de rivierovergangen moet getracht worden de hoogte van genoemde ruggen zoo klein mogelijk te doen zijn. Een andere mogelijkheid is om ter plaatse van de rug de rivier een weinig te versmallen, waardoor de sleepkracht ter plaatse grooter wordt en dus de evenwichtsligging van den bodem lager.

In de hierboven besproken gevallen is de berekende eindtoestand stabiel. Er zijn echter ook gevallen te noemen, waarbij de eindtoestand niet stabiel is. Bedoeld wordt hiermede, dat het in sommige gevallen mogelijk is, dat bij eenzelfde situatie, waterafvoer enz. geheel verschillende bodemliggingen in den eindtoestand kunnen worden verkregen. Het meest typische voorbeeld hiervan is de breede rechte rivier. Nemen we als begintoeestand een horizontale bodem, dan beweegt het water en dus ook het zand zich rechtlijnig voort. De eindtoestand is weer een horizontale bodem, waarbij het bodemtransport gelijkmatig is verdeeld over het dwersprofiel. Deze toestand is echter zeer onstabiel, hetgeen direct uit een berekening blijkt. Brengen we n.l. tijdelijk een storing aan of gaan we van een andere begintoeestand uit, dan blijkt het bed zich steeds sterker te gaan kronkelen. Zijn de oevers vastgeslagd, dan treedt pas evenwicht in, als de kronkels tegen de oevers leunen. Zijn er geen oevers, dan worden de kronkels tenlotte zoo groot, dat zij elkaar raken, waardoor kortsluitingen optreden.

Het kan van belang zijn, dit zogenaamd meanderen van rivieren aan de hand van de formules nader te onderzoeken en de



te gaan welke het verband is tusschen deze zoogenaamd natuurlijke kroning der rivieren en de andere grootheden. Mogelijk is dan de verklaring te vinden, waarom in sommige gevallen dit meanderen zooveel sterker plaats vindt dan in andere gevallen.

Bij sterk genormaliseerde rivieren kan het meanderen in slechts geringe mate plaats vinden. Het kan echter toch hinderlijk zijn omdat de meanders zich langzaam verplaatsen, waardoor de vaargeul niet stabiel van ligging is.

Ook bij rezeren treden dergelijke instabiele toestanden op. Het zal misschien mogelijk zijn om met behulp van soortgelijke berekeningen, als hierboven beschreven, een indruk te verkrijgen betreffende de verplaatsingen van geulen en banken. Het niet stationneer zijn van den stroomingstoestand maakt de berekening echter gecompliceerder.

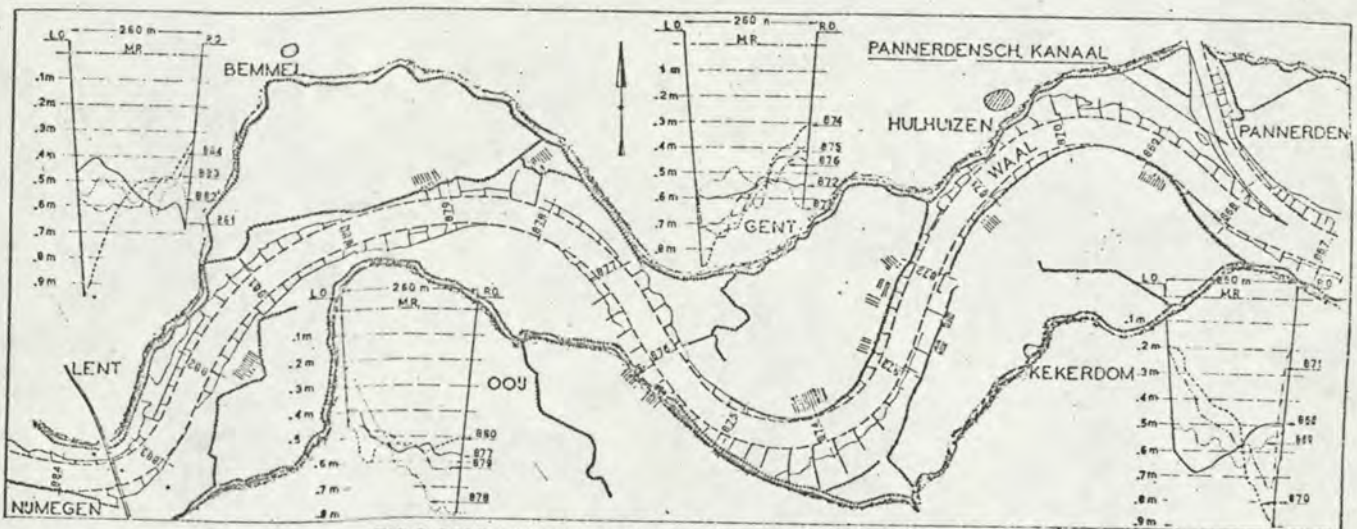


FIG:9 BODEMLIGGING ZOMERBED WAAL km.867-884

Tenslotte moge aan de hand van figuur 9 waarop de rivier de Waal tusschen Rijmegen en het splitsingspunt bij Pannerden is afgebeeld, eenige voorbeelden van minder goede rivierverken worden besproken.

Op dit riviergedeelte zijn een vijftal punten aan te wijzen, die hinder voor de scheepvaart kunnen geven, te weten, drie scherpe bochten, respectievelijk nabij de kms. 870, 874 en 883 en twee ongunstige rivierovergangen nabij de kms 872 en 880.

De scherpste van deze bochten is die te Rijmegen; de straal van de bocht bedraagt hier minder dan 1000 m, waardoor de scheepvaartgeul in het 260 m breede zomerbed plaatselijk slechts 10- m bedraagt. Bovendien verpt de stroom sterk naar den hollen oever uit, waardoor hinder wordt ondervonden bij manoeuvreeren van schepen.

Leer in het algemeen gesproken zijn voor de Nederlandsche Rijnstakken bochten met stralen van onstreeks 5 maal de normaalbreedte van het zomerbad slecht, van onstreeks 10 maal de normaalbreedte goed te noemen. Bij belangrijke grotere stralen treedt daarentegen weer het gevaar op, dat de rivier in de bocht gaat meanderen.

De laatste doet zich voor bij de genoemde overgangen. Bij de eerste is de overgang te lang en bovendien flauw gevormd in dezelfde richting als de bovengesproken scherpe bocht; bij de tweede betreft het een overgangsveld tusschen twee bochten, die



in dezelfde richting zijn gekroond. In beide gevallen vindt daardoor een te vroeg oversteken van een deel van het water plaats, waardoor stroomverlekking in de buitenbocht en dus neerslag van het grove materiaal, dat zich door de buitenbocht beweegt optreedt. Hier vormen zich dan ook grindbanken, die hinder voor de vaart geven.

Uit het bovenstaande volgt, dat het ongewenscht is om lange overgangsbogen te projecteeren benedenstrooms van scherpe bochten en ook dat men opsevolgende bochten, afvolgend in dezelfde richting en gescheiden door een recht vak, beter kan vereenigen tot een bocht met grootere straal.

Tenslotte kan wel worden gezegd, dat het zinloos is zich bij het projecteeren van rivierverbeteringen te laten leiden door de bestaande wiskundige formules voor bogen, overgangsbogen en rechte vakken. Het op het oog schijnt van het gewenschte verloop van het bed en het eventueel controleeren van twijfelgevallen met behulp van de opgestelde rekenmethode lijkt de beste uitkomsten te geven.

B. Besluit.

Wat de hier beschreven theorie is het mogelijk gebleken een aantal verschijnselen, die zich in de natuur voordoen te verklaren, met uitsluiting van alle andere verklaringen. De ligging en vervorming van geulen en banken is met de opgestelde formules te berekenen, indien tenminste de waterbeweging normaal is. Maar dit laatste is het geval is, zooals bij het optreden van wervelstraten enz. treden verschijnselen op, die nog niet in formules zijn vast te leggen.

Mit de opgestelde theorie uitgereken tot een betrouwbaar hulpmiddel bij het ontwerpen van rivierwerken, dan zullen de verschillende empirische constanten nog nauwkeuriger aan de hand van metingen dienen te worden bepaald.

Deze rekenmethode biedt een tweede mogelijkheid van onderzoek naast de bestaande methode, het modelonderzoek. Dit laatste heeft ongetwijfeld het groote voordeel, dat de waterbeweging, vooral indien de wrijving een onderschikte rol speelt, nauwkeuriger met de werkelijkheid in overeenstemming zal zijn, terwijl bij de beschreven methode de weg van minsten waartand voor het water door berekening slechts te benaderen is.

Ten aanzien van de zandbeweging geldt dit voordeel niet. Hierbij kan het modelonderzoek nog geen nauwkeurige gegevens leveren, doch werd reeds een beeld gegeven van den toestand. Door interpretatie van dit beeld kunnen echter wel bepaalde conclusies worden getrokken.

Hoewel ook de resultaten van de rekenmethode, zooals reeds gezegd is, nog niet volkomen nauwkeurig zijn (de sisch zou b.v. kunnen zijn een nauwkeurigheid in hoogteligging van banken, geulen enz. van 5 à 10 cm), komt het toch voor dat deze grooter is dan bij modelonderzoek.

Lisschien zouden de beste resultaten bij zandtransportproblemen worden verkregen, indien de beide methoden van onderzoek gecombineerd zouden worden in dien zin, dat eerst het onderzoek in een model zou worden verricht, waarna de gevonden resultaten betreffende de bodemligging gecorrigeerd zouden worden aan de hand van berekeningen.









# DE INGENIEUR

## B. BOUW- EN WATERBOUWKUNDE 1.

Ir. L. VAN BENDEGOM.

### Eenige beschouwingen over riviermorphologie en rivierverbetering.

#### 1. Inleiding.

Door den Studiedienst in de Directie Bovenrivieren van den Rijkswaterstaat worden sinds een tiental jaren metingen en berekeningen verricht en hypothesen opgesteld omtrent de water- en zandbeweging in rivieren. Hoewel deze onderzoeken in de eerste plaats dienen ter verkrijging van gegevens betreffende de Nederlandsche Rijn-takken, kunnen hieruit toch ook gevolgtrekkingen worden gehaald, die voor andere rivieren en deels ook voor zee-armen toepasselijk zijn.

Het lag in de bedoeling, om deze algemeene gevolgtrekkingen in een meer uitgebreide publicatie vast te leggen, zoodra het onderzoek geheel gereed zou zijn. Door oorlogshandelingen gingen echter alle meetinstrumenten en vrijwel alle resultaten dier onderzoeken verloren. Aangezien het nog wel eenige jaren zal duren, alvorens het onderzoek met alle controlemetingen voltooid zal zijn, zonder dat hierdoor, naar wordt verwacht, de gevonden uitkomsten principieele wijzigingen zullen ondergaan, lijkt het wel gewenscht en verantwoord, om nu reeds het een en ander mede te deelen omtrent de opgestelde hypothesen.

Doel van dit onderzoek is om weten op te stellen, zij het slechts onvolmaakte, die in voldoende mate de verschijnselen weergeven, die zich bij de beweging van water en vaste stoffen in rivieren voordoen.

Tot de belangrijkste dezer verschijnselen behoort de vorming en vervorming van het bed der rivieren, met banken, geulen, kronkelingen, enz.

De zandbeweging, die dit bij de meeste rivieren bepaalt, wordt op haar beurt weer grotendeels beheerscht door de waterbeweging. Daarom zal allereerst de waterbeweging worden behandeld; daarna zal de zandbeweging worden besproken, terwijl tenslotte getracht zal worden aan de hand van de gevonden resultaten enkele verschijnselen te verklaren.

#### 2. Normale wrijvingsweerstand bij eenparige waterbeweging.

Bij de berekeningen worden de volgende grootheden ingevoerd:

- X-as, langs de stroombaan, positief in de stroomrichting;
- Y-as,  $\perp$  de stroombaan, bij gekromde stroombanen negatief in de richting naar het middelpunt van de kromming;
- Z-as, vertikaal, met 0 punt op den bodem;
- z = hoogte boven den bodem;
- Z = waterdiepte;
- $i_x$  = verhang in de X-richting; positief, indien dalend langs de positieve X-as.
- $i_y$  = verhang in de Y-richting; eveneens positief, indien dalend langs de positieve Y-as;
- $h_x$  en  $h_y$  = vervallen over afstanden  $l_x$  en  $l_y$ ;
- q en Q = waterafvoer, respectievelijk per m' breedte en per stroombaan of rivier;

W = watersnelheid, met ontbondenen V en U respectievelijk langs X en Y as;

$V_0, V_1, V_2, V_{opp}$  enz. beteekenen dan de snelheden langs de X-as respectievelijk gemiddeld in de vertikaal, op 1 m boven den bodem, op hoogte z, aan de oppervlakte enz.; r = straal van de stroombaankromming;

$\rho_z$  en  $\rho_w$  = dichtheden respectievelijk van zand en water; g = versnelling van de zwaartekracht.

Aangehouden wordt het m kg sec-stelsel.

Bij vrijstreamende rivieren is de waterbeweging door de aanwezigheid van bochten, banken, uitwerpende kribben, zandribbels, enz. zeer ongelijkmatig, zoodat van een eenparige beweging geen sprake is.

De weerstand, die zich tegen de waterbeweging verzet, wordt nu gesplitst in een deel, dat bij eenparige waterbeweging zou optreden en een deel, dat door de versnellingen en vertragingen van het water wordt veroorzaakt.

Voor de bepaling van den weerstand bij eenparige beweging bestaan zoowel theoretische als empirische formules.

Door den Studiedienst wordt nog steeds gebruik gemaakt van de bekende empirische formules van DE CHÉZY en STRICKLER, die goed in overeenstemming zijn te brengen met de meetresultaten en die handig zijn in 't gebruik. Zij luiden respectievelijk:

$$V_0 = c.Z^{1/2} i_z^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

en

$$V_0 = \frac{c}{k^{1/4}} Z^{1/2} i_z^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

waarin: k de relatieve bodemruwheid (m) voorstelt en c en  $\epsilon$  „constanten" zijn, die voor de Rijntakken respectie-

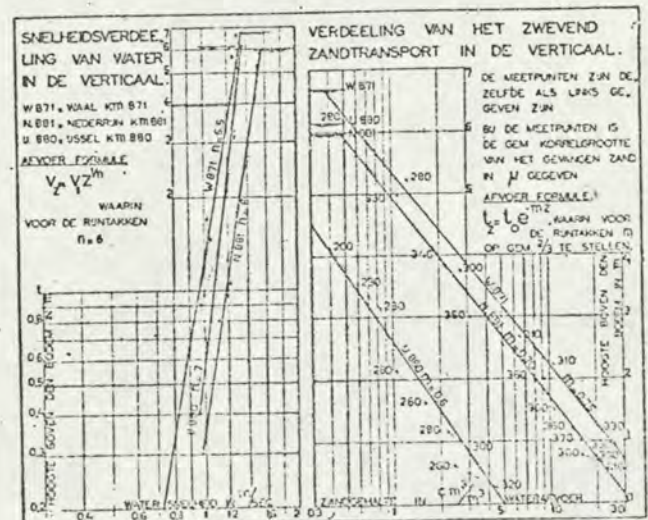


Fig. 1. Verdeling van water- en zwevend zand-afvoer in de verticaal.



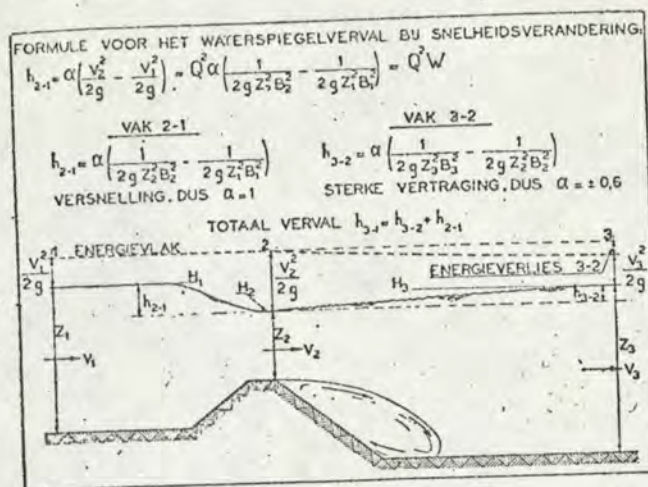


Fig. 2. Strooming van water over een onvolkomen overlaat.

velijk op omstreeks 50 en 25 m<sup>1/2</sup>/sec. zijn te stellen. De formule van STRICKLER geeft de beste uitkomsten indien in aanmerking wordt genomen, dat bij rivieren met beweeglijke bodem bij stijging van den waterstand ook de bodemribbels of althans de zandkorrels op den bodem in afmetingen toenemen. Hierop wordt verder nog terugkomen.

Indien de bodemruwheid *k*, die een functie is van de bodemribbel en zandkorrelafmetingen, ongeveer evenredig zou toenemen met de waterdiepte, zou voor dit geval de formule van STRICKLER overgaan in die van DE CHÉZY. Dit is nog een punt van onderzoek.

Ook voor de snelheidsverdeling in de vertikaal bestaan vele empirische formules. Uit metingen bleek, dat deze verdeling ten aanzien van de Rijntakken goed weer te geven was door de formule:

$$V_z = V_1 \cdot z^{1/n} \dots \dots \dots (3)$$

waarin *n* voor de Rijntakken op omstreeks 6 is te stellen.

Dit is dus een hoogere-gradsparabool met verticale as. De watersnelheid op of even onder den bodem is gelijk nul.

Uit de linkerhelft van Fig. 1 moge blijken, dat de aanname omtrent de snelheidsverdeling in goede overeenstemming is met dezerzijds verrichte metingen.

Aangezien het voor het verdere onderzoek noodzakelijk is, een aanname te doen omtrent het verband tusschen den in de vertikaal optredenden snelheidsgradiënt en de andere grootheden is uit de gevonden snelheidsverdeling bepaald, welke dit verband is. Hoewel deze werkwijze niet fraai is te noemen, geven de resultaten, ook voor andere stroomingstoestanden, een rechtvaardiging ervan.

Het blijkt nu, dat bij aanname van de formules (2) en (3), voor elk punt van de vertikaal de optredende schuifspanning evenredig is met den snelheidsgradiënt in 't kwadraat, n.l.:

$$K_x = \rho_w \cdot l^2 \cdot \left( \frac{dV}{dz} \right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

Dat is dus dezelfde formule als de theoretische van PRANDTL en v. KARMAN. Echter heeft hier de grootheid *l*, genaamd mengweg, een andere waarde, n.l.:

$$l^2 = \left( \frac{36}{7} \right) \frac{z \cdot g \cdot (Z - z) \cdot z^2}{\epsilon^2 \cdot Z} \left( \frac{k}{z} \right)^{1/3} \dots \dots (5)$$

Substitueert men nu (5) en (4) en vult men voor *K<sub>x</sub>* de schuifspanning op hoogte *z* =  $\rho_w \cdot g \cdot (Z - z) \cdot i_x$  in, dan vindt men door integratie van de differentiaalvergelijking de formules (2) en (3).

Steeds is tot nu toe gesproken over den weerstand van den bodem.

Van invloed zijn verder evenwel nog de oppervlakte-wrijving en de wandwrijving. De eerste wordt verwaarloosd, voor de tweede wordt het bekend veronderstelde begrip *hydraulische straal* ingevoerd. Waar dit laatste niet toegeestaan is, n.l. bij stroombaan- en zandberekeningen, wordt een reductie-coëfficiënt ingevoerd voor de stroombanen nabij de wanden.

De algemeene formule van STRICKLER kan worden omgewerkt tot:

$$Q = \frac{\epsilon}{k^{1/4}} \cdot B \cdot Z^{1/2} \cdot i_x^{1/2} \dots \dots \dots (6)$$

of bij een verval *h<sub>x</sub>* over een stroombaanlengte *l<sub>x</sub>*:

$$Q = \frac{\epsilon}{k^{1/4}} \cdot \frac{B \cdot Z^{1/2}}{l_x^{1/2}} \cdot h_x^{1/2} \dots \dots \dots (7)$$

of:

$$h_x = Q^2 \cdot W_1 \dots \dots \dots (8)$$

waarin *W<sub>1</sub>* den weerstand ten gevolge van de normale wrijving voorstelt.

3. Bijzondere weerstand tengevolge van de ongelijkmatigheid der waterbeweging.

Zooals bekend mag worden verondersteld, ligt het vlak van totale energie van stroomend water op een hoogte van omstreeks *V*<sup>2</sup>/2*g* boven den waterspiegel. Bij zeer geleidelijke vertraging van het water kan deze hoogte, genaamd *snelheidshoogte*, weer grootendeels omgezet worden in potentieele hoogte van den waterspiegel. Bij sterke vertraging van het water is dit niet het geval.

In het algemeen gesproken kan potentieele energie zonder verlies worden omgezet in bewegingsenergie, het omgekeerde echter niet. En wel gaat des te meer energie verloren, naar mate de vertraging sterker is.

Bij de berekeningen van den Studiedienst wordt nu dit energieverlies berekend als functie van de mate van verkleining der energiehoogte over een vaklengte.

In Fig. 2 is de berekeningswijze aan de hand van een voorbeeld uiteengezet. Uit deze figuur blijkt, dat, indien we het energieverlies stellen op: (1 - α) maal het versbil in snelheidshoogte aan beneden- en bovengrens van het beschouwde vak, de verandering van den waterspiegel over deze vaklengte zal bedragen:

$$h_x = \alpha \left( \frac{V_{\text{onder}}^2}{2g} - \frac{V_{\text{boven}}^2}{2g} \right) \dots \dots (9)$$

Bij de berekening dient er op te worden gelet, dat steeds gerekend wordt stroomopwaarts te gaan. In dat geval heeft *h<sub>x</sub>* een positieve waarde, indien de waterspiegel, stroomopwaarts rekenende, stijgt.

De waarde van α is nu afhankelijk van de mate van vertraging. Bij de berekeningen werd voorloopig aangehouden:

Snelheidsverandering	α
botsing . . . . .	0 à 0.2
zeer sterke vertraging . . . . .	0.2 à 0.4
sterke vertraging (scherpe overlaat) . . . . .	0.4 à 0.6
geleidelijke vertraging (flauwe overlaat) . . . . .	0.6 à 0.8
zeer geleidelijke vertraging (zomerbed) . . . . .	0.8 à 1.0
versnelling . . . . .	1.0 of iets hooger

Bovengenoemde coëfficiënten berusten echter op slechts weinig waarnemingen.



Eventuele insnoeringen ten gevolge van het loslaten van den stroom van den wand, dienen in rekening te worden gebracht.

Formule (9) kan nog anders worden geschreven, n.l.:

$$h_x = \alpha \cdot Q^2 \left( \frac{1}{2g Z_o^2 \cdot B_o^2} - \frac{1}{2g Z_b^2 \cdot B_b^2} \right) \quad (10)$$

of

$$h_x = Q^2 \cdot W_2 \dots \dots \dots (11)$$

waarin  $W_2$  dus den bijzonderen weerstand ten gevolge van de ongelijkmatigheid der waterbeweging voorstelt.

**4. Invloed van krachten, die loodrecht op de stroomrichting werken.**

In het voorafgaande is de invloed besproken, die krachten, werkende in de richting van den stroom, op de waterbeweging uitoefenen. Er dient echter ook rekening te worden gehouden met andere krachten. Dit zijn de krachten, die de horizontale stroomdraadkromming (centrifugaalversnelling) veroorzaken en die de door de aswenteling van de aarde (kracht van CORIOLIS) veroorzaakte afbuiging der stroombanen opheffen. Genoemde krachten treden op, doordat zich een dwarsverhang van den waterspiegel instelt. Hierbij kan een populaire vergelijking worden getrokken met een wielrenner. Bij deze wordt in de bochten een dwarsstelling aangebracht, zoodat de wielrenners deze bochten volgen.

De grootte van de „centrifugaalkracht” bedraagt per massa-eenheid  $V^2/r$ .

Treedt een dwarsverhang  $i_v$  op, dan zal de hierdoor per massa-eenheid veroorzaakte kracht  $g \cdot i_v$  evenwicht maken

met de centrifugaalkracht. Dit dwarsverhang zal dus een grootte moeten hebben van  $V^2/gr$ .

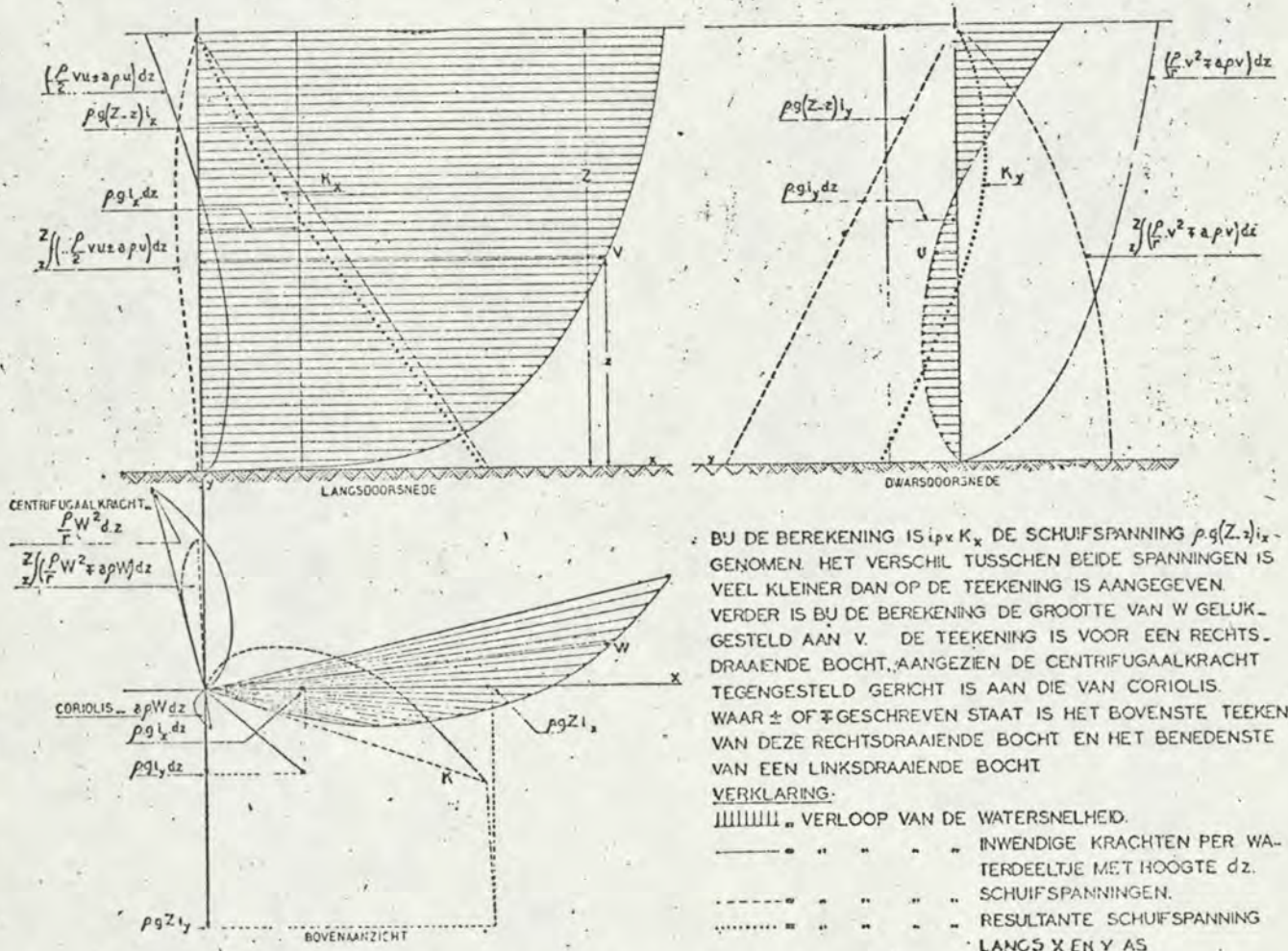
Voor een geheele stroombaan met een gemiddelde snelheid =  $V_g$  wordt nu in plaats van  $V$  de gemiddelde snelheid  $V_g$  genomen. Afgezien van het feit, dat hier niet de gemiddelde maar de middelbare snelheid moet worden genomen, is ook dan de formule niet geheel juist. Dit moge uit het volgende blijken.

Indien we de vergelijking met de wielrenner nog even volhouden, kunnen we opmerken, dat de dwarsstelling in de bochten bepaald wordt naar de snelheid van den gemiddelden wielrenner. Een wielrenner, die beduidend sneller rijdt dan genoemd gemiddelde, zal toch uit de bocht vliegen, terwijl een langzaam rijdende wielrenner in de bocht naar binnen zal afglijden.

Bij stroomend water treedt iets dergelijks op. Zooals we eerder zagen, is de watersnelheid in een vertikaal niet overal dezelfde; doordat de vloeistof viskeus is, is de snelheid aan den bodem kleiner, aan den waterspiegel daarentegen grooter dan de gemiddelde snelheid in de vertikaal, dus ook de centrifugaalkracht. Daarentegen veroorzaakt het dwarsverhang van den waterspiegel op alle er onder gelegen waterdeeltjes een even groote kracht, die ongeveer zal correspondeeren met de gemiddelde snelheid in de vertikaal. Het gevolg zal zijn, dat de waterdeeltjes aan de oppervlakte „uit de bocht zullen vliegen”, die nabij den bodem daarentegen naar binnen zullen afwijken.

Dit verschijnsel is o.a. uitvoerig besproken in een publicatie van WITTMANN en BÖSS; de grootte der uitwijkingen werd door den Studiedienst herhaaldelijk opgemeten.

Aangezien het water in bochten hierdoor een schroef-



BIJ DE BEREKENING IS  $i_p \times K_x$  DE SCHUIFSpanNING  $\rho g(z \cdot i_x)$  GENOMEN. HET VERSCHIL TUSSEN BEIDE SPANNINGEN IS VEEL KLEINER DAN OP DE TEEKENING IS AANGEGEVEN. VERDER IS BIJ DE BEREKENING DE GROOTTE VAN  $W$  GELUKGESTELD AAN  $v$ . DE TEEKENING IS VOOR EEN RECHTS-DRAAIENDE BOCHT, AANGEZIEN DE CENTRIFUGAALKRACHT TEGENGESTELD GERICHT IS AAN DIE VAN CORIOLIS. WAAR  $\pm$  OF  $\mp$  GESCHREVEN STAAT IS HET BOVENSTE TEEKEN VAN DEZE RECHTS-DRAAIENDE BOCHT EN HET BENEDENSTE VAN EEN LINKSDRAAIENDE BOCHT.

VERKLARING:  
 ||||| „ VERLOOP VAN DE WATERSNELHEID.  
 —••••• „ INWENDIGE KRACHTEN PER WAT-  
 TERDEELTJE MET HOOGTE  $dz$ .  
 - - - - - „ SCHUIFSpanNINGEN.  
 ..... „ RESULTANTE SCHUIFSpanNING  
 LANGS  $X$  EN  $Y$  AS

Fig. 3. Optredende krachten bij spiraalstrooming.





of spiraalvormige beweging verkrijgt, noemt men deze beweging: spiraalstrooming.

Doordat de snelheid aan den bodem naar binnen afwijkt, zal de bodemwrijving een component hebben in de richting dwars op de stroomrichting. Het dwarsverhang moet hiervoor de reactie leveren. Uit berekeningen van den Studiedienst is gebleken, dat het totale dwarsverhang 6% grooter is dan volgens de eerder vermelde formule.

De tweede tangentieele kracht is die, veroorzaakt door de aswenteling van de aarde. Voor de afleiding ervan moge worden verwezen naar het verslag van de Staatscommissie Zuiderzee. De grootte van de kracht bedraagt voor onzen breedtegraad per massa-eenheid ruim 0.0001 V. De kracht is horizontaal, dwars op de stroomrichting gericht en op het noordelijk halfrond naar rechts wijzend (stroomafwaarts kijkend).

Door de kracht van CORIOLIS zou het water een versnelling  $\perp$  de stroombaan ondervinden, dus een gekromde baan gaan beschrijven. Ter opheffing van deze kromming stelt zich als reactie weer een dwarsverhang-kracht in, die iets grooter moet zijn dan  $0.0001 V/g$ , aangezien ook hier spiraalstrooming en dus een component van de bodemwrijving optreedt.

De invloed van de kracht van CORIOLIS is voor smalle rivieren niet groot; zij komt voor de op de Rijntakken voorkomende stroomsnelheden, die  $\pm 1m/sec$ . bedragen, ongeveer overeen met den invloed, die een bocht met een straal van 10 km zou hebben.

Het is van groot belang voor de kennis van de vorming en vervorming van rivieren, bovengenoemde spiraalstrooming in formules vast te kunnen leggen. Aan de hand van Fig. 3 zal de dezerzijds gevolgde methode van oplossing van dit probleem worden behandeld.

De bij de strooming optredende krachten zijn die, veroorzaakt door:

1. Het langsverhang. Dit is gericht langs de positieve X-as en heeft voor een volumedeeltje met de eenheid van oppervlak en hoogte dz een waarde  $\rho g \cdot i_x \cdot dz$ . De hierdoor optredende schuifspanning op hoogte z bedraagt dus:  $\rho g \cdot (Z - z) \cdot i_x$ .

2. Het dwarsverhang. Dit is gericht langs de Y-as in negatieve richting; de kracht per vloeistofdeeltje bedraagt  $-\rho g \cdot i_y \cdot dz$ , de schuifkracht  $-\rho g \cdot (Z - z) \cdot i_y$ .

3. De centrifugaalkracht. Voor een vloeistofdeeltje met eenheid van oppervlak en hoogte dz bedraagt de kracht  $\frac{\rho}{r} \cdot W^2 \cdot dz$ . Nemen we aan, dat de straal r gemeten wordt langs de Y-as en dat r constant is voor de heele vertikaal, dan worden de ontbondenen van deze kracht:  $-\frac{\rho}{r} \cdot V \cdot U \cdot dz$  en  $\frac{\rho}{r} \cdot V^2 \cdot dz$ .

De schuifspanningen op hoogte z worden dan:

$$\int_z^Z -\frac{\rho}{r} \cdot V \cdot U \cdot dz \quad \text{en} \quad \int_z^Z \frac{\rho}{r} \cdot V^2 \cdot dz.$$

4. De kracht van CORIOLIS. Deze bedraagt voor een vloeistofdeeltje  $a \cdot \rho \cdot W \cdot dz$ , waarbij dus voor Nederland  $a = 0.0001$  is te stellen. De ontbondenen langs X- en Y-as worden respectievelijk:  $\pm a \cdot \rho \cdot U \cdot dz$  en  $\mp a \cdot \rho \cdot V \cdot dz$ .

De schuifspanningen respectievelijk:

$$\int_z^Z \pm a \cdot \rho \cdot U \cdot dz \quad \text{en} \quad \int_z^Z \mp a \cdot \rho \cdot V \cdot dz$$

In verband met de vroegere aanname omtrent de richting

van de positieve Y-as geldt in deze formules het bovenste teeken voor een rechtsdraaiende, het onderste voor een linksdraaiende bocht.

De totale schuifspanningen zijn nu aan de hand van bovenstaande formules te bepalen.

Zooals ook bij de rechtlijnige waterbeweging gedaan werd, zal ook hier de schuifspanning gelijk worden gesteld aan het product der kwadraten van mengweg en snelheidsgradiënt, dus:

$$K = \rho \cdot l^2 \left( \frac{dW}{dz} \right)^2$$

Deze ontbonden langs X- en Y-as geeft:

$$K_x = \rho \cdot l^2 \left| \frac{dW}{dz} \right| \frac{dV}{dz} \dots \dots \dots (12)$$

en

$$K_y = \rho \cdot l^2 \left| \frac{dW}{dz} \right| \frac{dU}{dz} \dots \dots \dots (13)$$

Hierbij heeft l dezelfde waarde als in de formule voor rechtlijnige waterbeweging.

Het vraagstuk wordt oplosbaar, indien de beide, uit de voorgaande vergelijkingen af te leiden, differentiaalvergelijkingen de in Fig. 3 genoemde vereenvoudigingen ondergaan.

De gang der berekening zal hier niet volledig in cijfers worden weergegeven; in woorden is deze als volgt:

Door de vereenvoudigingen is de vergelijking van de X-as oplosbaar. De hieruit gevonden waarde van V kan nu worden ingevuld in de vergelijking voor de Y-as.

Deze is nu oplosbaar, waarbij  $i_y$  als onbekend aanwezig blijft. We kunnen echter nog een vergelijking opstellen voor den totalen waterafvoer in de Y-richting. Aangezien de X-as gedefinieerd is als de richting van den gemiddelden waterafvoer, zal de totale waterafvoer van de vertikaal in de Y-richting gelijk nul moeten zijn. Dus:

$$\int_0^Z U dz = 0 \dots \dots \dots (14)$$

Hiermede is het geheele probleem oplosbaar geworden. Onder andere kunnen nu de volgende formules worden opgesteld:

$$V_x = V_1 z^{1/6} \dots \dots \dots (15)$$

en

$$V_y = \epsilon \left( \frac{Z}{k} \right)^{1/6} Z^{1/2} \cdot i_x^{1/2} \dots \dots \dots (16)$$

(dus STRICKLER en 6e graadsparabool) en dus:

$$V_1 = \frac{7}{6} \cdot \frac{\epsilon}{k^{1/6}} \cdot Z^{1/2} \cdot i_x^{1/2} \dots \dots \dots (17)$$

De formulé van de snelheidsverdeling in de Y-richting is zeer ingewikkeld en ook van weinig belang; daarom zal deze niet worden gegeven. Wel zijn van belang de grootte van het dwarsverhang van de oppervlaktesnelheid en van de bodemkracht. Deze zijn:

$$i_y = -1,060 \frac{V_0^2}{g \cdot r} \pm 1,024 \frac{a}{g} V_0 \dots \dots (18)$$

$$U_{opp} = +0,02 g \frac{\epsilon^2}{k^{1/2}} \cdot \frac{V_0}{g \cdot r} \cdot Z^{1/2} \mp 0,015 \frac{\epsilon^2}{k^{1/2}} \cdot Z^{1/2} \cdot \frac{a}{g} \dots (19)$$

$$K_{y \text{ bodem}} = -0,039 \frac{\rho_w V_0^2 \cdot Z}{r} \pm 0,021 a \cdot \rho_w V_0 \cdot Z \dots (20)$$

Aangezien  $V_{opp}$  en  $K_x$  beide bekend zijn, volgt hieruit, bij verwaarloozing van CORIOLIS:



$$\frac{U_{opp}}{V_{opp}} = 0,025 \frac{V_g^2}{g \cdot r \cdot i_x} \dots \dots (21)$$

$$\frac{K_{ybodem}}{K_{xbodem}} = tg \lambda = 0,039 \frac{V_g^2}{r \cdot g \cdot i_x} \dots \dots (22)$$

De laatste formules kunnen we nog vereenvoudigen, indien we de formule van Chézy invoeren en  $C = 50 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{sec}$ . stellen. Dan worden de formules bij benadering:

$$\frac{U_{opp}}{V_{opp}} = 6 \frac{Z}{r} \dots \dots (23)$$

en

$$\frac{K_{ybodem}}{K_{xbodem}} = tg \lambda = 10 \frac{Z}{r} \dots \dots (24)$$

5. Berekening van de totale waterbeweging.

Bij rivierstudies komen vaak vraagstukken aan de orde betreffende den waterafvoer, de verdeling hiervan over het bed, de stroomsnelheden en -richtingen, het verloop van den waterspiegel, enz. Niet steeds is het mogelijk om de gevraagde gegevens door metingen te verschaffen. In het bijzonder is dit het geval, indien het betreft den toestand na eventueel uit te voeren werken. De benodigde gegevens zijn in dat geval alleen te verkrijgen door berekeningen. Zooals wij reeds eerder zagen, komen in de hierbij te gebruiken formules coëfficiënten voor, die voor verschillende riviervakken een verschillende waarde kunnen hebben. Daarom is het wel zeer gewenscht om deze coëfficiënten voor de betreffende riviervakken door inter- of extrapolatie van uit metingen verkregen resultaten te bepalen.

De rekenmethoden, die bij den Studiedienst worden gevolgd om den stroomingstoestand in bepaalde riviervakken te leeren kennen, zijn afhankelijk van de eischen, die worden gesteld en de samengesteldheid van het beschouwde riviervak.

De eenvoudigste methode is die der opeenvolgende dwarsprofielen. Deze methode wordt gebezigd, indien de afstrooming regelmatig is, zooals in een genormaliseerd zomerbed, en alleen het verband tusschen afvoer, gemiddelde snelheid en verloop van het langsverhang wordt gevraagd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de algemeene weerstandsformule  $h_x = Q^2(W_1 + W_2)$ , waarin  $W_1$  en  $W_2$  de vroeger behandelde weerstanden respectievelijk ten gevolge van normale en bijzondere wrijving voorstellen.

Is het dwarsprofiel onregelmatig van diepte, dan dient  $W_1$  te worden bepaald door sommatie der delen, en wel zoodanig dat:

$$\frac{l}{W_1^{\frac{1}{2}}} = \frac{l}{W_a^{\frac{1}{2}}} + \frac{l}{W_b^{\frac{1}{2}}} + \dots \dots \text{enz.}$$

Een dergelijke berekeningsmethode kan niet worden toegepast, indien de strooming in het winterbed een geheel andere richting heeft dan die in het zomerbed en op haar weg kaden en andere weerstanden passeert. In dat geval wordt het systeem der stroombaanberekening toegepast. Zijn de zijdelingsche begrenzingen dezer stroombanen, door de natuur bepaald, bijvoorbeeld door dijken, ruggen, bebouwing, enz., dan is de berekening nog vrij eenvoudig.

Meestal zijn de stroombanen echter niet door de natuur begrensd. In dat geval wordt de volgende berekeningsmethode gevolgd:

Zoo goed mogelijk wordt een stroombaanmet geschetst. Dit kan nu volledig worden doorgerekend, zoodat de afvoeren en snelheden van de afzonderlijke stroombanen bekend zijn, evenals het verloop der waterstanden. Thans dient echter nog gecontroleerd te worden of de stroombanen juist zijn geschetst. Deze controle is de volgende. Op be-

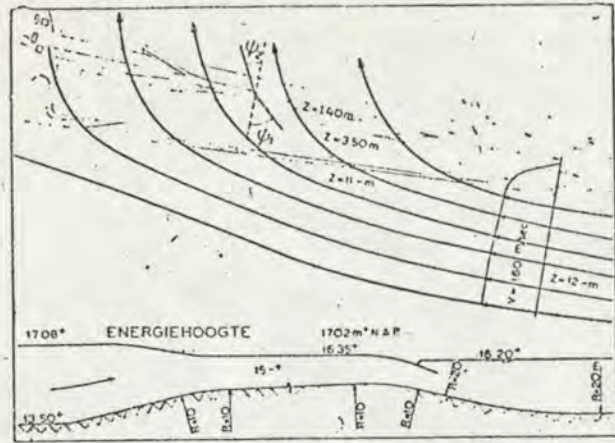


Fig. 4. Max. afvoer van den overlaat te Lobith.

paalde afstanden worden lijnen getrokken loodrecht op de stroombanen. Het verloop van de waterstanden langs deze lijnen is bekend. Dit verloop moet in overeenstemming zijn met het te berekenen dwarsverhang. Nu was dit dwarsverhang gelijk aan:

$$\frac{1,06 V_g^2}{g \cdot r}$$

Over een afstand  $l_v$  is dus het verval

$$h_v = l_v \cdot i_v = l_v \cdot 1,06 \frac{V_g^2}{g \cdot r} = Q^2 \frac{1,06 \cdot l_v}{B^2 \cdot Z^2 \cdot g \cdot r} \dots (25)$$

Indien het optredende dwarsverval niet overeenstemt met het volgens bovenstaande formule berekende verval, moet het geschetste net worden verschoven en opnieuw doorgerekend en gecontroleerd. Eventueel moet een tweede correctie worden aangebracht.

Met eenige routine is een dergelijke berekening snel te verrichten, vooral indien de formules der weerstanden in nomogrammen worden weergegeven.

In Fig. 7 is een voorbeeld gegeven van de uitkomsten van een dergelijke berekening voor het zomerbed van een riviervak.

Een moeilijkheid doet zich voor, indien een stroombaan onder een scheven hoek een kade passeert. Zooals bekend vindt in dat geval een plotselinge verandering van de stroomrichting plaats. Het verschijnsel is analoog aan dat bij breking van licht of van andere golven op de grens van twee verschillende media. Voor het geval van strooming over een kade kan een differentiaal vergelijking worden opgesteld. De hieruit af te leiden formule leidt tot:

$$\frac{tg \psi_1}{tg \psi_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \dots \dots (26)$$

In Fig. 4 is dit schematisch voorgesteld:

De formule geldt alleen bij versnelling van het water, niet bij vertraging.

Een tweede moeilijkheid bij de stroombaanberekening doet zich voor, indien in een stroombaan een volkomen overlaat aanwezig is. In dat geval is het verval niet direct een functie van afvoer en weerstand, maar moet eerst een schatting van den afvoer over den overlaat worden gedaan.

Voor de bepaling van den afvoer wordt gebruik gemaakt van de algemeene formule  $q = 1,7 Z^{\frac{3}{2}} \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{sec}$ . waarin  $Z$  de hoogte van de energielijn boven den overlaat voorstelt. Wordt hierbij rekening gehouden met eventueele scheve aanstrooming en met contractie, dan kan de gebruikelijke afvoercoëfficiënt = 1 worden gesteld.

In Fig. 4 is als voorbeeld de berekening van den max. afvoer van den overlaat te Lobith gegeven.





Fig. 5. Zandribbel.

Bij het ontwerp van rivierwerken zal men vaak gegevens willen hebben over den stroomingstoestand na uitvoering der werken. De berekening zal dan cijfers opleveren omtrent de verhoging of verlaging van waterstanden, die door deze uitvoering zullen optreden. Voor de waterstanden bovenstrooms van deze werken kan over het algemeen worden volstaan met een stuwkrommeberekening. Voor het geval de waterstandsveranderingen ten opzichte van de waterdiepte niet groot zijn (max.  $\pm 5\%$ ) kan deze stuwkrommeberekening eenvoudig zijn. Voor dat geval is een vereenvoudigde formule afgeleid, die luidt:

$$S_i = S_o \cdot e^{-\frac{3h}{Z_m}}$$

- $S_o$  = waterstandverandering aan het beginpunt;
- $S_i$  = waterstandverandering  $l$  m stroomopwaarts;
- $h$  = normale hoogteverschil over den afstand  $l$ ;
- $Z_m$  = maatgevende waterdiepte. Deze kan worden gedefinieerd als de waterdiepte, die een bakvormige rivier met dezelfde waterspiegelbreedte en verhang zou moeten hebben, om eenzelfde hoeveelheid water af te voeren.

Ook bij de stroombaanberekening wordt nog geen gedetailleerde kennis verkregen omtrent de beweging der afzonderlijke waterdeeltjes. Om deze te leeren kennen dient de spiraalbeweging, zooals die eerder werd besproken, te worden ingevoerd.

De berekening wordt nu zoodanig, dat eerst de ligging der gemiddelde stroombanen wordt bepaald aan de hand der vroeger besproken stroombaanberekening. Daarna kunnen de afwijkingen van de waterdeeltjes in de vertikaal ten opzichte van de stroombaan worden berekend en ingeteekend.

In Fig. 7 is een voorbeeld gegeven van deze strooming in een zomerbed zoowel voor het geval van een horizontalen bodem als van een bodemligging, die met de zandbeweging in evenwicht is.

### 6. De zandbeweging.

De studie van de waterbeweging in rivieren kan nuttige gegevens verschaffen omtrent te verwachten waterstanden, snelheden, afvoeren en dergelijke. Zij kan echter geen inzicht geven in de vorming en vervorming van het bed van rivieren, indien niet tevens de beweging van vaste stoffen wordt onderzocht. Van deze vaste stoffen is bij de behandelde studie voor de Rijntakken alleen het zand en het fijnere grind van belang. Hoewel het slibtransport van den Rijn niet onaanzienlijk is (nabij Lobith te stellen op omstreeks 3 miljoen t tegen 500.000 m<sup>3</sup> zand per jaar) speelt het bij de vervorming van het zomerbed van genoemde rivieren geen rol. Door de groote watersnelheden treedt geen bezinking op (althans niet in het zomerbed). Ook in het gebied, waar de waterbeweging bij vloed stagneert, wordt het bezonken slib bij eb weer afgevoerd. Pas in het menggebied van zout- en zoetwater kan de slibafzetting van belang worden.

De bodem van het zomerbed van de bovenrivieren bestaat dan ook uit zuiver zand, dat door het stroomende water in beweging wordt gebracht.

Deze beweging kan zijn een rollende en springende beweging van het zand over den bodem of een meer zwevende beweging, waarbij de zanddeeltjes over groote afstanden door het water worden meegenomen zonder den bodem te raken.

Bij de metingen wordt daarom onderscheid gemaakt tusschen bodem- en zwevend transport, hoewel de grens niet scherp is.

Door den Studiedienst zijn, in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium te Delft, instrumenten ontworpen voor de meting van deze transporten.

In het volgende zullen enkele meetresultaten en hieruit opgestelde berekeningen en beschouwingen worden behandeld.

Bij kleinere watersnelheden beweegt het zand zich gelijkmatig over een horizontalen bodem, waarbij de getransporteerde hoeveelheid zand voor opeenvolgende punten dezelfde is. Neemt de watersnelheid toe, dan wordt deze gelijkmatigheid verbroken en treedt ribbelvorming op, zooals dat meer in de natuur het geval is waar wrijvingsvlakken tusschen twee ongelijkmatige stoffen aanwezig zijn.

In Fig. 5 is een vertekende schets gegeven van een dergelijke ribbel.

Indien de ribbel zich onvervormd voortplant, moet het zandtransport op elk punt evenredig zijn met de hoogte van dit punt boven het vlak  $X-X$ .

$$\text{of: } \frac{dh}{dx} = a \frac{dt}{dx}$$

*hypothese van Exner.*

Hieruit is een hypothese op te zetten, waaruit zou blijken dat de helling van de ribbel toeneemt met de watersnelheid en afneemt met de waterdiepte. Het verband tusschen de hoogte van de ribbel en andere grootheden is niet bekend. Waarschijnlijk neemt deze toe met de waterdiepte. Bij vallend water zou dus de hoogte afnemen en het grofste bodemmateriaal blijven liggen.

Hieruit zou ook te verklaren zijn, dat op sommige riviervakken onder de ribbel een laag van zeer grof materiaal aanwezig is. De dikte van deze laag is dan een maat voor de grootste ribbels.

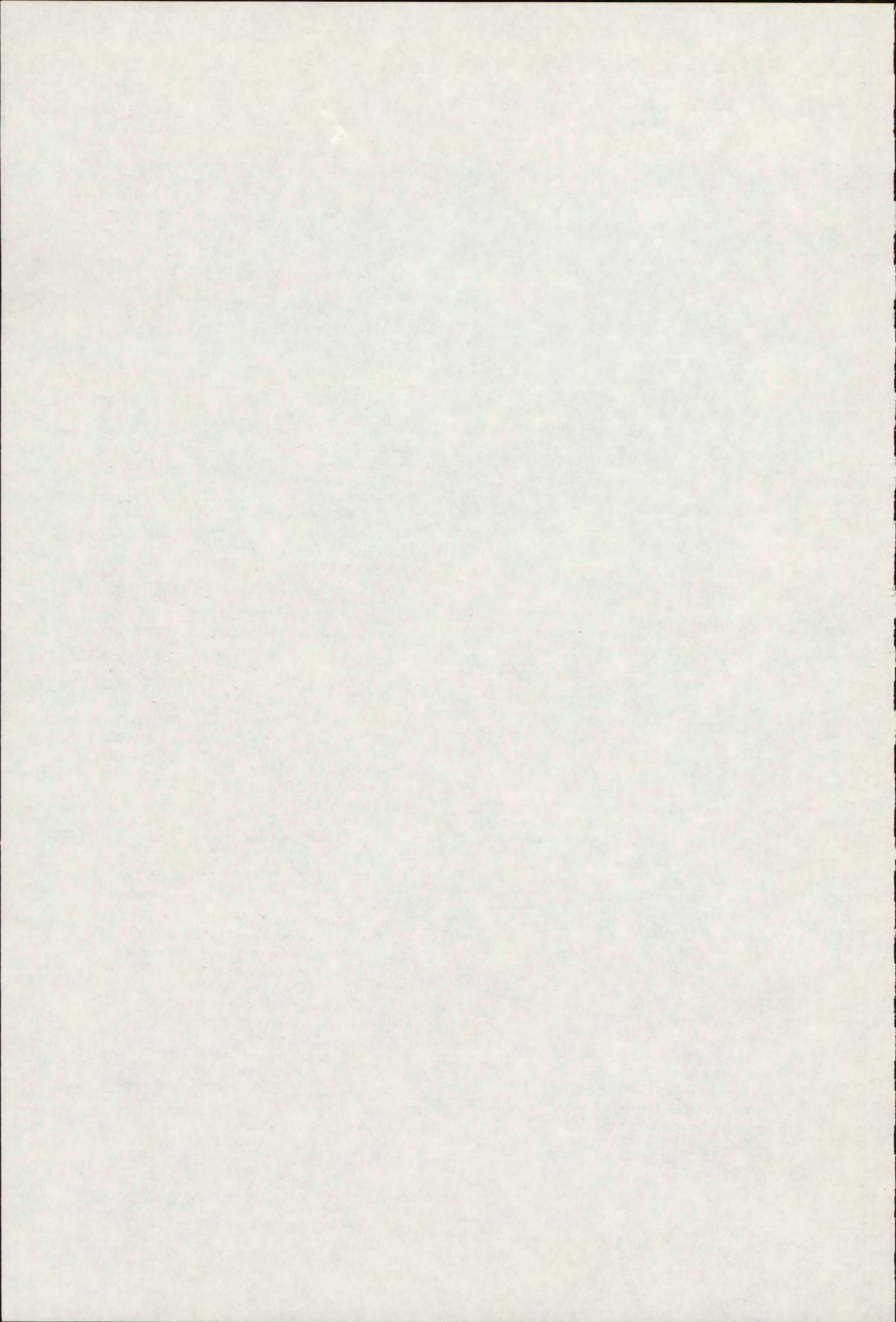
Voor de berekening van de zandbeweging bestaan vele zandtransportformules. Hierop zal in dit artikel niet nader worden ingegaan. Voor een beschouwing over de meest gebruikte formules moge worden verwezen naar een artikel in *De Ingenieur* van 11 Juli 1941 van de hand van ir. J. B. SCHIJF en prof. ir. J. Th. THUISSE.

Hiernaar verwijzend kan worden opgemerkt, dat ook dezerzijds de voorkeur wordt gegeven aan de formule van Du Boys, waarin het zandtransport wordt bepaald als functie van de op den bodem, werkende kracht, de sleepkracht. Door STRAUB werden de in bovengenoemde formule voorkomende empirische constanten nader bepaald. Het blijkt nu evenwel, dat deze constanten niet in overeenstemming zijn met de bij den Studiedienst gevonden meetresultaten.

Om met deze meetresultaten enigszins in overeenstemming te zijn, zal de formule van Du Boys dezerzijds worden omgewerkt tot:

$$t = 4 V_1^2 (V_1^2 - V_{197}^2) m^2/m^3/\text{ctmaal}$$

Hierin wordt dus het zandtransport gegeven als functie van de watersnelheid op een bepaalde hoogte boven den bodem, dus niet als functie van bijv. de gemiddelde



snelheid. Bij den Studiedienst wordt voor genoemde hoogte 1 m boven den bodem genomen, aangezien de watersnelheid op deze hoogte bij de op de Rijntakken voorkomende waterdiepten weinig invloed ondervindt van bodem en oppervlakte en goed te meten is. Uit (2) en (3) volgt, dat de watersnelheden op één bepaalde hoogte evenredig zijn met den wortel uit de sleepkracht.

Hiernede wordt niet bedoeld om een nieuwe formule toe te voegen aan de reeds bestaande, aangezien het aantal metingen hiervoor te klein en de spreiding der meetresultaten te groot is.

De grenssnelheid voor het in beweging komen van het zand is op grond van theoretische beschouwingen te bepalen, waarbij gebruik wordt gemaakt van het feit, dat de tangens van den hoek van natuurlijk talud van zand op 0,6 is te stellen en ongeveer constant is voor verschillende korrelgrootten. We vinden dan, dat de grenssnelheid, voor de onderzochte korrelgrootten (> 400 μ), evenredig is te stellen aan d<sup>1/2</sup>.

In totaal wordt de formule:

$$t = 4 V_1^2 (V_1^2 - 36 d^{1/2}) m^3/m^1/etmaal \quad (28)$$

Bij de volgende berekeningen wordt de formule in eenigszins anderen vorm gebruikt, waarbij t als functie van V<sub>v</sub> wordt geschreven. Deze luidt:

$$t = 8 \frac{V_v^2}{Z^{1/3}} \left( \frac{V_v^2}{Z^{1/3}} - 25 d^{1/2} \right) \quad (29)$$

In tegenstelling tot de formule van STRAUB e.a. is in de formule de korreldiameter alleen in de grenssnelheid aanwezig, doch niet in het overige deel der formule.

Deze formule gaat uit van homogeen zand. Voor toepassing in de natuur wordt uit de zeeffromme een maatgevende korreldiameter bepaald, n.l. die maaswijdte, waardoor 50% van het zand valt.

Indien in de natuur door het water meer zand wordt aangevoerd dan kan worden afgevoerd, zal de grootste fractie van het zand blijven liggen. Dit zal bij de berekeningen in aanmerking dienen te worden genomen.

Het zwevende transport is in de eerste plaats afhankelijk van het bodemtransport. De verdeling van dit zwevend transport in de vertikaal blijkt een regelmatig verloop te hebben, indien we voor een bepaalde korrelgrootte of korrelgroottegroep het zandgehalte van het water uitzetten als functie van de waterdiepte. Deze formule luidt:

$$t_z = t_0 \cdot e^{-mz} \quad (30)$$

waarin t<sub>z</sub> en t<sub>0</sub> respectievelijk de zandgehalten voorstellen op hoogte z en nabij den bodem.

Bij de onderzoeken bleek m een waarde te hebben van omstreeks 2/3.

Waarschijnlijk zal m echter een functie zijn van den korreldiameter. Voor slib bedraagt m nul, aangezien de concentratie van het slib in de vertikaal bij sterk turbulente rivieren als de Rijn constant is.

Op de rechterhelft van Fig. 1 zijn de resultaten weergegeven van enkele zandgehalte-metingen, terwijl op de linkerhelft de bijbehorende snelheidsvertikalen zijn ingetekend. De eerder genoemde formule wordt voorgesteld door de getrokken lijnen op de rechterhelft van de figuur.

In dit geval is de korrelgrootte van het zwevend zand vrij homogeen; zou dit niet het geval zijn, dan zou door sommatie van de verschillende korrelgroepen een aan den bodem naar rechts afbuigende kromme ontstaan.

Voor de bepaling van het totale zwevend transport heeft dus slechts gemeten te worden op één diepte.

Op theoretische gronden is de bovengenoemde formule af te leiden. Een dergelijke berekening werd door MAKKA-

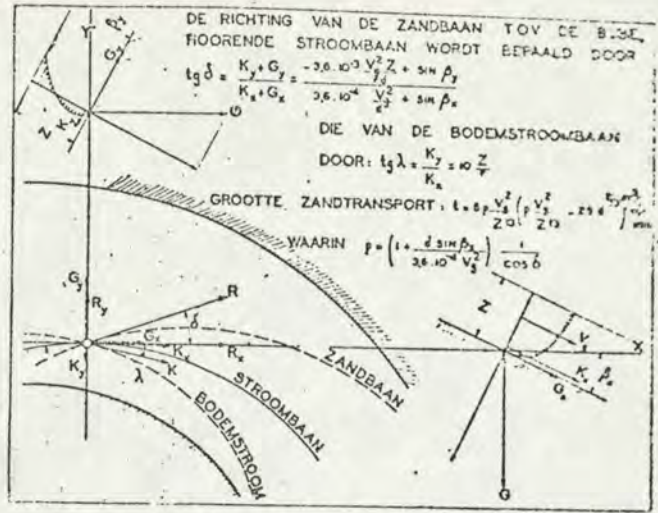


Fig. 6. Bewegingsrichting.

VEEF gepubliceerd in een der rapporten van het Scheepvaartcongres 1935, gehouden te Brussel; hierbij ging het echter over het voorkomen van stof in de lucht.

Een direct verband tusschen zwevend transport en bodemtransport is niet te geven. Bij onderzoek van de zeeffromme van het over den bodem getransporteerde zand blijkt wel, dat de typische knik, die in deze kromme optreedt, daarin gelegen is, dat de fijnere zandkorrels, die ontbreken, in zwevend toestand worden getransporteerd.

De richting, die het bodemtransport inslaat, zal bij een vlakken rivierbodern gelijk zijn aan de richting van de resulterende bodemkracht. Bij rechte stroombanen is dit dus evenwijdig aan de as van de stroombaan en bij gebogen stroombanen zal de tangens van den afwijkingshoek gelijk zijn aan het quotiënt van K<sub>y</sub> en K<sub>x</sub> aan den bodern.

Over het algemeen zal de bodern niet vlak zijn, doch in X-en Y-richting hellen. Noemen we deze hoeken respectievelijk β<sub>x</sub> en β<sub>y</sub> (positief, indien dalend in positieve richting), dan zullen de door de zwaartekracht veroorzaakte krachten op een korrel met diameter d langs den bodern respectievelijk bedragen:

$$\frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot \sin \beta_x$$

en

$$\frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot \sin \beta_y \quad (= \text{massa} \times \text{ontbondenen v/d versnelling})$$

Is de zandkorrel niet rond, dan zullen deze bedragen nog vermenigvuldigd dienen te worden met een vormfactor ε, die over het algemeen iets grooter dan één zal zijn.

Bovengenoemde massakrachten moeten worden vergeleken met de op het oppervlak van de korrel werkende krachten, veroorzaakt door de sleepkracht.

Aangezien, zooals we vroeger zagen, de bodernsleepkrachten respectievelijk bedragen:

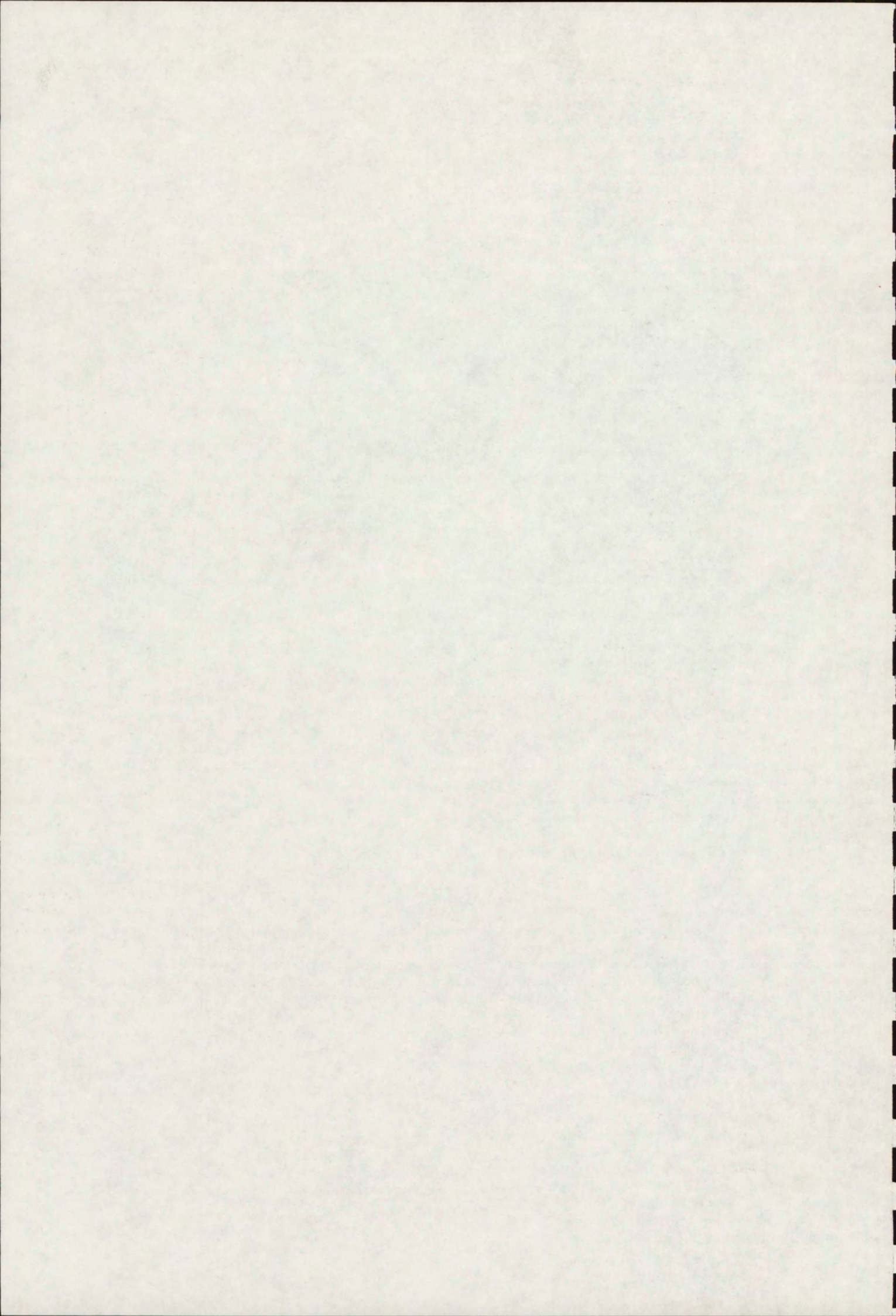
$$K_x^1 = \rho_w \cdot g \cdot Z \cdot i_x$$

en

$$K_y^1 = -0,04 \rho_w \frac{V_v^2 \cdot Z}{r} \quad [\text{zie formule (20)}]$$

(bij verwaarloozing van de kracht van CORIOLIS) zullen de krachten, die een zandkorrel hiervan ondervindt (onder aanname, dat V<sub>v</sub><sup>2</sup> = 2500 · Z · i<sub>z</sub>), respectievelijk bedragen:

$$K_x^2 = f \cdot \frac{\rho_w \cdot g \cdot V_v^2}{2500} \frac{1}{2} \pi d^2$$





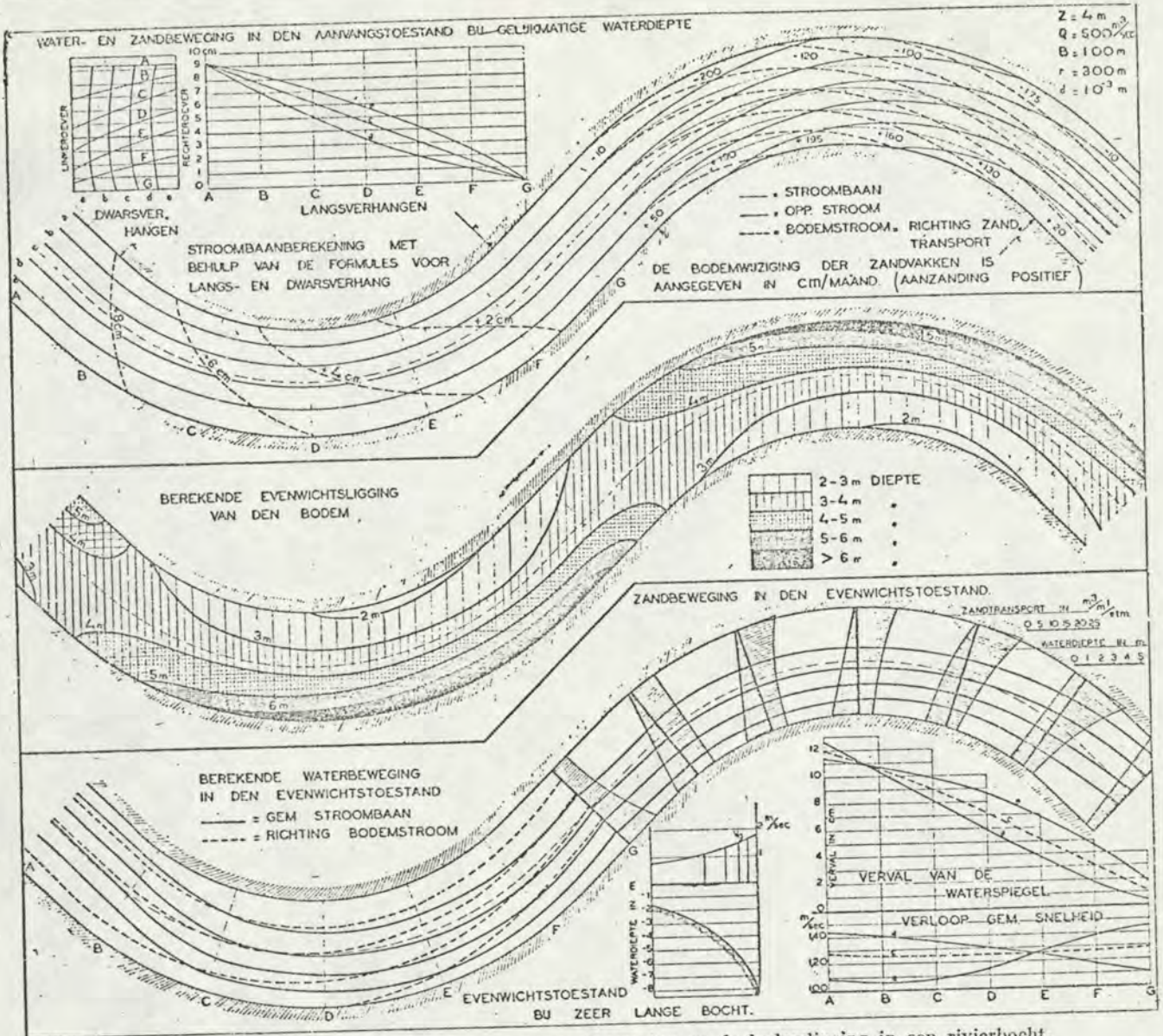


Fig. 7. Globale berekening van de water- en zandbeweging en de bodemligging in een rivierbocht.

en

$$K_v = -0,04 f \cdot \rho_w \frac{V_o^2 \cdot Z}{r} \frac{1}{4} \pi d^2$$

Hierin stelt  $f$  den zoogenaamden stuwdrückoefficiënt voor. Deze is afhankelijk van het getal van REYNOLDS en zal bij de beschouwde rivierzanden omstreeks één bedragen. We zullen voorloopig aanhouden, dat het quotiënt van  $e$  en  $f$  één is.

In Fig. 6 is een schematisch beeld gegeven van de optredende krachten.

Na uitwerken van de formule voor de resulterende richting van de op één zandkorrel werkende kracht, blijkt deze te zijn:

$$\frac{K_v + G/v}{K_x + G/x} = \operatorname{tg} \delta = \frac{-3,6 \cdot 10^{-3} \frac{V_o^2 \cdot Z}{r \cdot d} + \sin \beta_v}{3,6 \cdot 10^{-4} \frac{V_o^2}{d} + \sin \beta_x} \quad (31)$$

In het bovenstaande wordt geen rekening gehouden met den invloed van de kracht, veroorzaakt door de kromming van de baan van een zandkorrel. In verband met de verhoudingsgewijs langzame en de schoksgewijze voortbeweging van het zand lijkt een dergelijke verwaarloozing volkomen gerechtvaardigd.

Evenmin is rekening gehouden met het feit, dat de bodem gebibbeld is. Door dit laatste kunnen in de neeren achter de ribbels spiraalstromingen ontstaan, waardoor het zand een weinig in de Y-richting kan worden verplaatst.

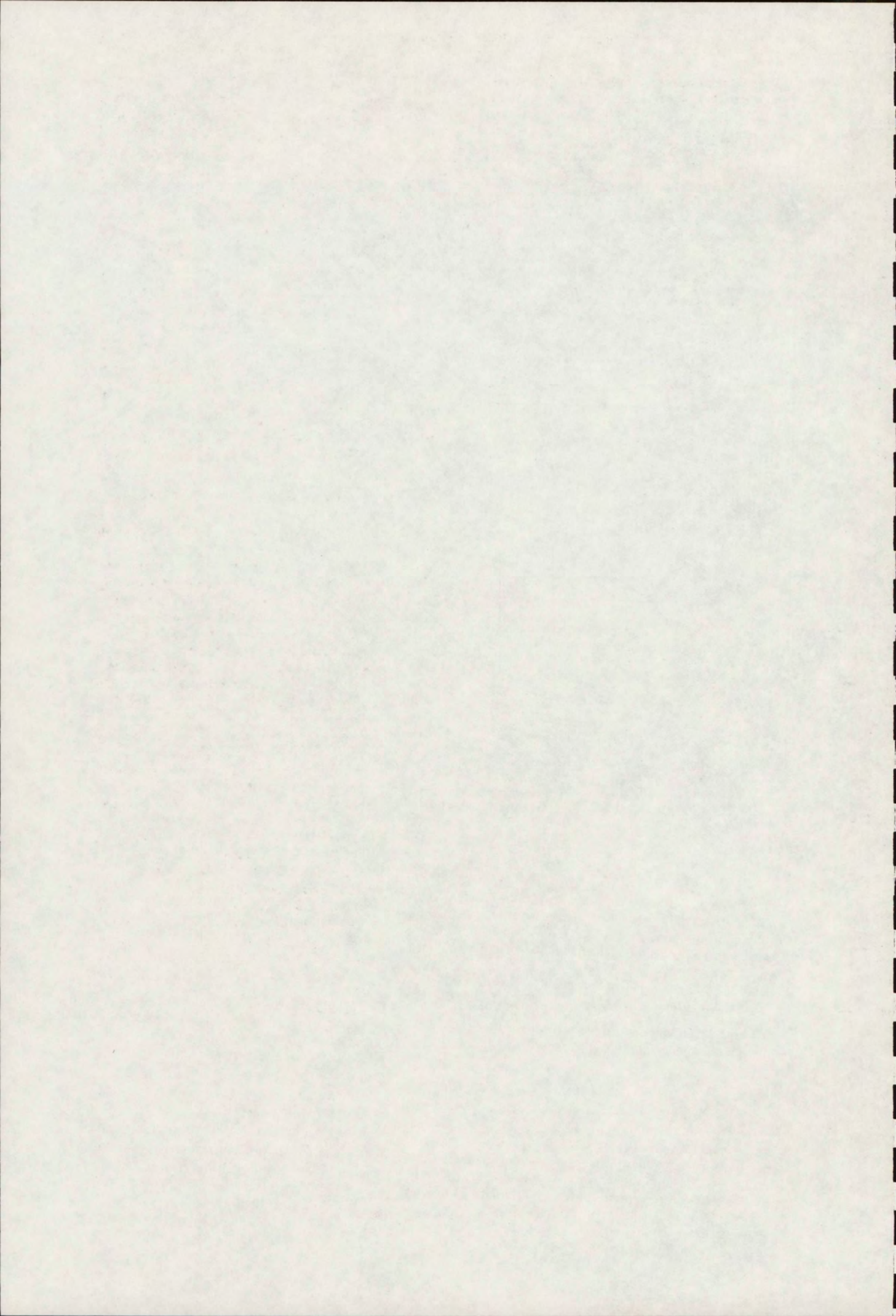
De eerder gegeven zandtransportformule geldt alleen bij vlakken bodem. Is dit laatste niet het geval, dan dient in de formule een factor  $p$  te worden ingevoegd (zie Fig. 6). Deze factor wijkt over het algemeen slechts weinig van één af.

Zoals verder uit de formules blijkt is de bewegingsrichting afhankelijk van de korrelgrootte van het zand. Bij de berekening voor rivieren met heterogene samenstelling van het zand wordt nu de richting van het transport der verschillende korrelgroepen elk voor zich bepaald; voor de grootte van het transport wordt echter het totaal genomen.

### 7. Toepassingen.

Aan de hand van Fig. 7 zal allereerst de rekenmethode nader worden besproken. Als voorbeeld wordt genomen een denkbeeldig riviervak met een bodembreedte van 100 m, een gelijkmatige diepte van 4 m en een waterafvoer van 500 m³/sec, terwijl de korrelgrootte van het homogene bodemmateriaal op 1000  $\mu$  is gesteld.

Op het linkerbovendeeel zijn de stroombanen getekend



terwijl op de rechterhelft van deze figuur de spiraalstrooming is aangegeven. De berekeningsmethode van beide werd reeds eerder gegeven.

Door toepassing van, wat men zou kunnen noemen, de bewegingsvergelijking en de continuïteitsvergelijking voor de zandbeweging is nu na te gaan, hoe de bodemligging zich zal wijzigen.

Onder bewegingsvergelijking wordt dan verstaan de vroeger opgestelde algemeene zandtransportformule. De continuïteitsvergelijking zegt, dat het verschil tussen in- en uitgestroomde hoeveelheid zand voor een zandbaanvak, gedeeld door het oppervlak, gelijk is aan de wijziging in hoogteligging van dit vak. Op de rechterhelft van de bovenste figuur is de berekening uitgevoerd; terwille van den eenvoud zijn de vakken hier zeer groot genomen.

We nemen nu een zoodanig tijdsverloop aan, dat de wijzigingen belangrijken invloed zouden hebben op den stroomingstoestand. De gevonden trappen in hoogteligging worden nu vervangen door vloeiende bodemlijnen, waarna bij deze bodemligging de waterbeweging opnieuw wordt bepaald. Hieruit wordt weer de zandbeweging berekend, enz.

Na enkele malen rekenen zijn de wijzigingen in de bodemligging zoo gering gevonden, dat de eindtoestand geteekend kan worden.

In de figuur zijn de tusschentoestanden weggelaten. In het middendeel van de figuur is de bodemligging in den eindtoestand weergegeven, terwijl in het ondergedeelte links de waterbeweging en rechts de zandbeweging in dien toestand is geschetst.

Aan de hand van de uitkomsten van bovenstaande berekening kunnen de volgende algemeene opmerkingen over rivierbochten en -overgangen worden gemaakt.

Zooals ook uit de figuur blijkt, stelt zich bij rivierbochten een dwarshelling van den bodem in, waarbij de geul in de buitenbocht en de bank in de binnenbocht komt te liggen. Dit wordt veroorzaakt door de spiraalstrooming, die het zand naar de binnenbocht brengt. Uit de formule voor de voortplantingsrichting van de zandbeweging is deze dwarshelling direct af te leiden. Bij een lange bocht zullen n.l. in opeenvolgende dwarsprofielen de stroombanen van het water en het zand evenwijdig met de as van de rivier moeten loopen. Dus  $tg \delta = 0$ . Dit beteekent, dat de krachten, die langs de Y-as op een zandkorrel werken, te weten de kracht ten gevolge van de spiraalstrooming en de ontbondene van de zwaartekracht, elkaar moeten opheffen. Of uit (31):

$$\sin \beta_v = 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{V_g^2 Z}{r \cdot d} \dots \dots (32)$$

of rond:

$$10 \frac{Z^2 \cdot i_x}{d} \cdot \frac{1}{r}$$

Door ir. C. W. LELY werd reeds de empirische formule opgesteld, dat voor de Rijntakken de sinus van dezen hoek gelijk was te stellen aan omstreeks  $22/r$ . Dit blijkt in overeenstemming met bovenstaande formule, indien we de waarden voor  $V_g$ ,  $Z$  en  $d$  invullen, zooals die voor de Rijntakken bij middelbaren rivierstand gelden.

Hierin wordt tevens een bevestiging gevonden van de veronderstelling, dat de bodemligging van rivieren in 't algemeen bepaald wordt door de omstandigheden, zooals die zich bij gemiddelden stand voordoen.

Door LELY werd tevens gevonden, dat de gemiddelde waterdiepte in bochten kleiner was dan in rechte riviervakken. Dit is eveneens uit de formules te berekenen. Steeds moet hierbij in het oog worden gehouden, dat evenwicht van den bodem pas wordt bereikt, indien het totale

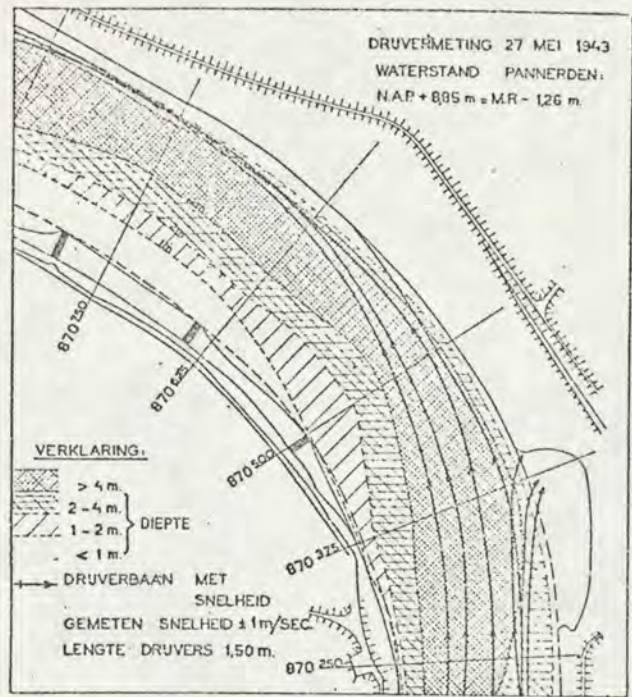


Fig. 8. Oppervlaktestroom in de bocht bij Pannerden.

zandtransport door elk dwarsprofiel van de rivier eenzelfde grootte heeft.

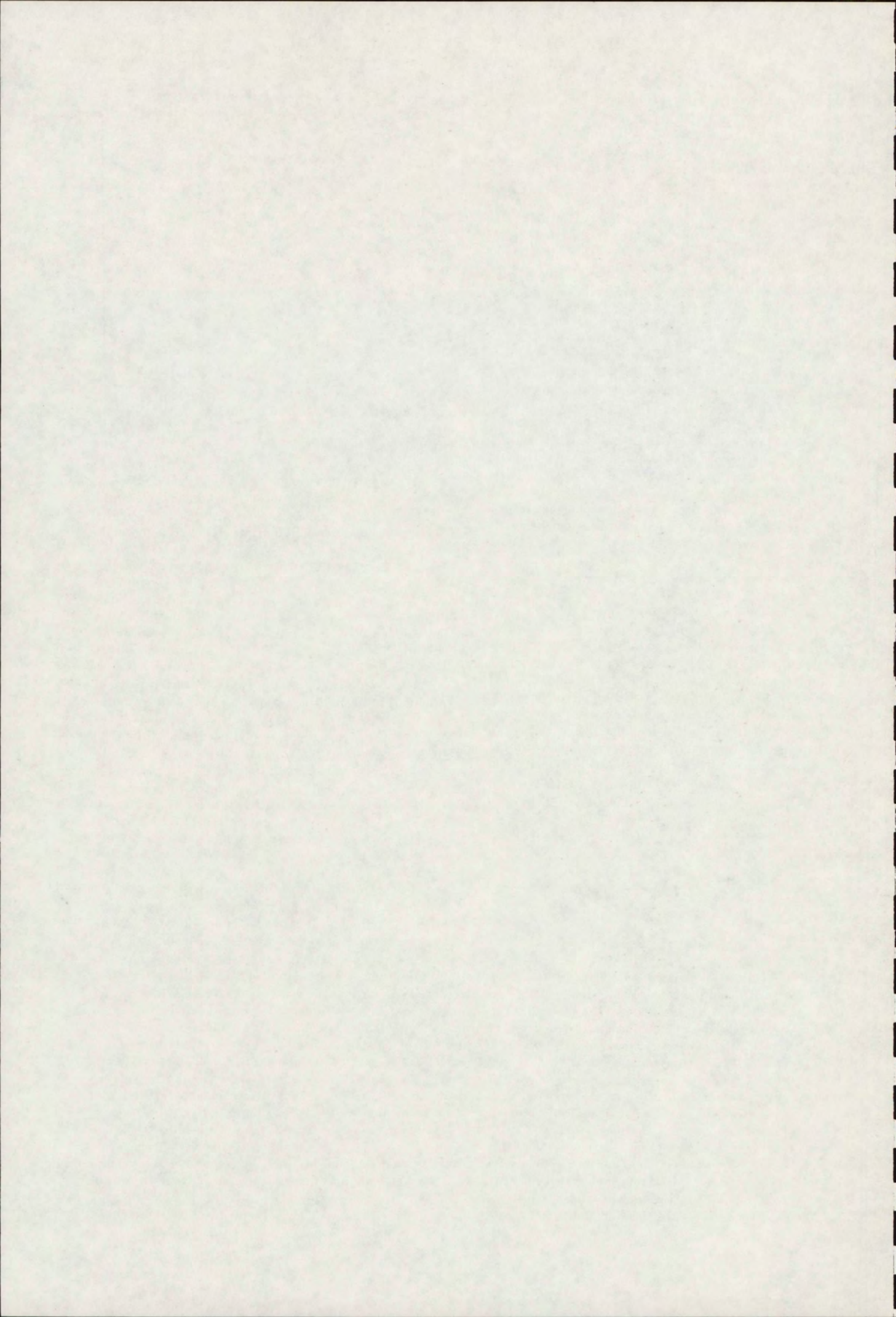
Voor de scheepvaart kunnen scherpe bochten veel hinder opleveren, niet, omdat er niet voldoende diepte aanwezig zou zijn — deze is n.l. in de buitenbocht steeds grooter dan de diepte op rechte vakken — maar voornamelijk omdat de breedte van de vaargeul, door de aanwezigheid van de bank in de binnenbocht, gering kan zijn, vergeleken met die in rechte vakken. Een ander bezwaar kan zijn, dat door de spiraalbeweging de oppervlaktestroom op de buitenbocht is gericht. Hoe steik dit het geval kan zijn toont Fig. 8.

Van de tot nu toe toegepaste middelen, om bij scherpe bochten den toestand ten aanzien van de scheepvaart te verbeteren, is het meest radicale middel, n.l. de bocht-afsnijding, ook het enig afdoende middel gebleken.

Het periodiek wegbaggeren van de bank in de binnenbocht kan tijdelijk verbetering geven. Wordt dit echter geregeld herhaald, dan zal door te weinig zandaanvoer het beneden de bocht gelegen riviervak uitschuren, de waterstanden zullen dalen en de toestand in de bocht zal nog ongunstiger worden dan hij reeds was.

Een ander middel was het aanbrengen van z.g. grondkribben in buitenbochten op zoodanige diepte, dat de scheepvaart er overheen kon varen. De bedoeling was, om het natte dwarsprofiel te verminderen, waardoor uitschuring in de binnenbocht zou optreden. Om hiernede effect te bereiken zou men de kribben echter zoo dicht opeen moeten leggen, dat voor denzelfden prijs een doorlopende bodemverdediging zou kunnen worden aangebracht. Wil deze effect hebben, dan moet de oppervlakte ervan zoo hoog mogelijk liggen. Het bezwaar is, dat bij bodemverlaging, zooals die op de Rijntakken optreedt, een dergelijke verdediging een vast punt zou vormen en maatgevend zou kunnen worden voor de vaardiepte.

Door den Studiedienst wordt thans met behulp van de opgestelde rekenmethode een middel tot verbetering van rivierbochten onderzocht, waarbij het zand met behulp van zandleidende bodemvoorzieningen gedwongen wordt voorgeschreven banen te volgen, waardoor aanzanding in binnenbochten voorkomen zou kunnen worden. De bedoe-



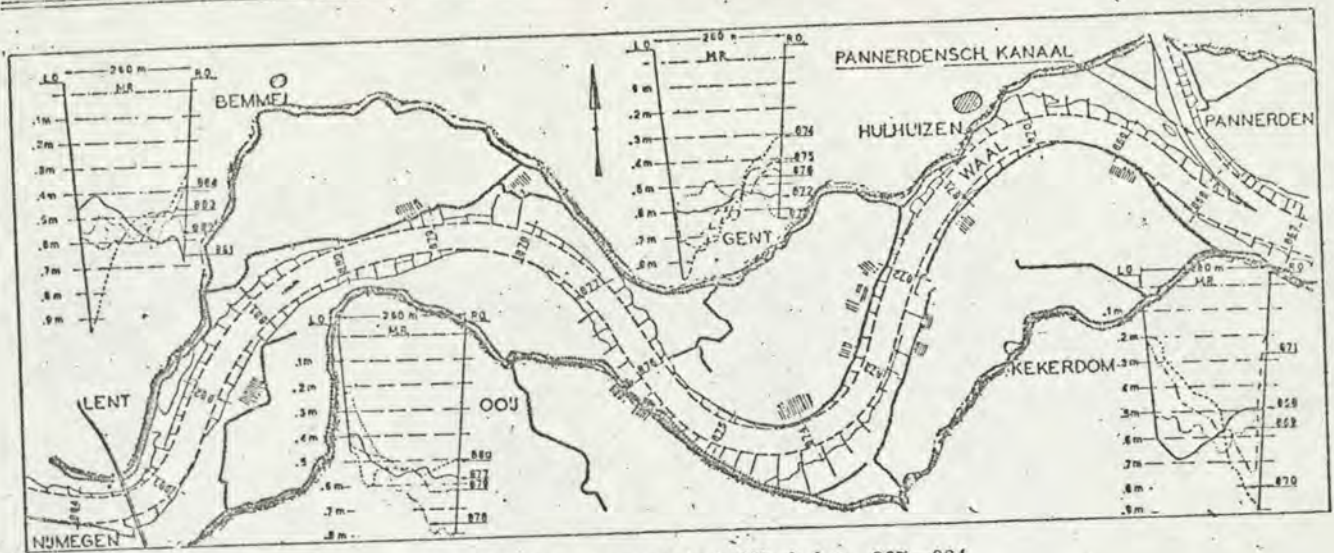


Fig. 9. Bodemligging zomerbed Waal km. 867—884.

ling is dit met behulp van modelonderzoek nader te bezien.

Bij rivierwerken kan de naar de binnenbocht gerichte zandbeweging voordeel geven. Projecteert men n.l. in of nabij buitenbochten de uitmondingen van havens en dergelijke, dan is geen aanzanding van deze monden tengevolge van het door de rivier getransporteerde bodemzand te vreezen, aangezien het transport hier gering is en de bodem diep is gelegen.

Ten aanzien van rivierovergangen tusschen twee tegengesteld gerichte bochten kan het volgende worden opgemerkt.

Het blijkt, dat het zandtransport in de overgangen van den eenen naar den anderen oever oversteekt. In rivierovergangen en in rechte riviervakken is de sleepkracht in het midden van de rivier echter niet voldoende om dit geconcentreerde zand te transporteren. Aldaar treedt dus aanzanding op.

Daartegenover staat, dat de toevoer van zand naar de gedeelten van het bed, die nabij de oevers zijn gelegen te gering is, zoodat aldaar uitschuring optreedt. Een evenwichtstoestand stelt zich in, doordat de dwarshellingen, die ten gevolge van aanzanding en uitschuring optreden, het zandtransport de vereischte spreiding geven over het dwarsprofiel.

Hiermede is dus de verklaring gegeven voor de zandruggen, die in overgangen optreden. Deze zandruggen zijn het, die de vaardiepte op rivieren bepalen. Daarom is de vaardiepte ook steeds kleiner dan de gemiddelde diepte van de rivier; op de Waal bedraagt het verschil bij middelbaren waterstand omstreeks 1 m. Bij laagwater is het verschil geringer, doordat de water- en zandbeweging dan anders is en uitschuring van de bank optreedt.

Door een juiste vormgeving van de rivierovergangen moet getracht worden, de hoogte van genoemde ruggen zoo klein mogelijk te doen zijn. Een andere mogelijkheid is om ter plaatse van den rug de rivier een weinig te versmallen, waardoor de sleepkracht ter plaatse grooter wordt en dus de evenwichtsligging van den bodem lager.

In de hierboven besproken gevallen is de berekende eindtoestand stabiel. Er zijn echter ook gevallen te noemen, waarbij de eindtoestand niet stabiel is. Bedoeld wordt hiermede, dat het in sommige gevallen mogelijk is, dat bij eenzelfde situatie, waterafvoer enz., geheel verschillende bodemliggingen in den eindtoestand kunnen worden verkregen. Het meest typische voorbeeld hiervan is de breede rechte rivier. Nemen we als begintoestand een horizontalen

bodem, dan beweegt het water en dus ook het zand zich rechtlijnig voort. De eindtoestand is weer een horizontale bodem, waarbij het bodemtransport gelijkmatig is verdeeld over het dwarsprofiel. Deze toestand is echter zeer onstabiel, hetgeen direct uit een berekening blijkt. Brengen we n.l. tijdelijk een storing aan of gaan we van een anderen begintoestand uit, dan blijkt het bed zich steeds sterker te gaan kronkelen. Zijn de oevers vastgelegd, dan treedt pas evenwicht in, als de kronkels tegen de oevers leunen. Zijn er geen oevers, dan worden de kronkels tenslotte zoo groot, dat zij elkaar raken, waardoor kortsluitingen optreden.

Het kan van belang zijn, dit zoogenaamd *meanderen* van rivieren aan de hand van de formules nader te onderzoeken en na te gaan welk het verband is tusschen deze, zoogenaamd natuurlijke kromming der rivieren en de andere grootheden. Mogelijk is dan de verklaring te vinden, waarom in sommige gevallen dit meanderen zooveel sterker plaats vindt dan in andere gevallen.

Bij sterk genormaliseerde rivieren kan het meanderen in slechts geringe mate optreden. Het kan echter toch hinderlijk zijn omdat de meanders zich langzaam verplaatsen, waardoor de vaargeul niet stabiel van ligging is.

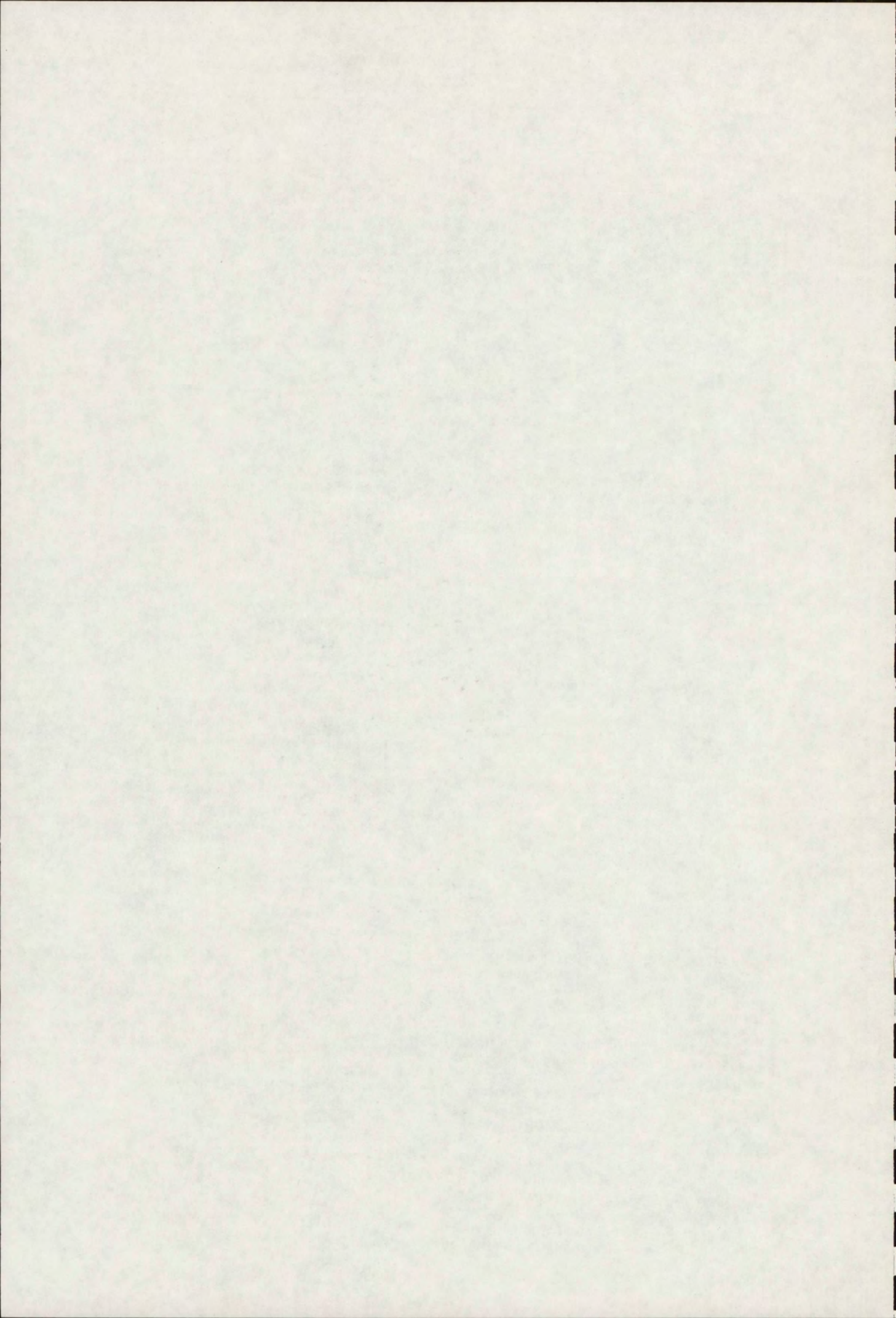
Ook bij zeearmen treden dergelijke instabiele toestanden op. Het zal misschien mogelijk zijn om met behulp van soortgelijke berekeningen, als hierboven beschreven, een indruk te verkrijgen betreffende de verplaatsingen van geulen en banken. Het niet-stationnair zijn van den stroomingstoestand maakt de berekening echter gecompliceerder.

Tenslotte mogen aan de hand van Fig. 9 waarop de rivier de Waal tusschen Nijmegen en het splitsingspunt bij Pannerden is afgebeeld, eenige voorbeelden van minder goede riviervakken worden besproken.

Op dit riviergedeelte zijn een vijftal punten aan te wijzen, die hinder voor de scheepvaart kunnen geven, te weten, drie scherpe bochten, respectievelijk nabij de kms. 870, 874 en 883 en twee ongunstige rivierovergangen nabij de kms. 872 en 880.

De scherpste van deze bochten is die te Nijmegen; de straal van de bocht bedraagt hier minder dan 1000 m, waardoor de scheepvaartgeul in het 260 m breede zomerbed plaatselijk slechts 100 m bedraagt. Bovendien werpt de stroom sterk naar den hollen oever uit, waardoor hinder wordt ondervonden bij manoeuvreeren van schepen.

Zeer in het algemeen gesproken zijn voor de Nederlandse Rijntakken bochten met stralen van omstreeks 5 m.



de normaalbreedte van het zomerbed slecht, van omstreeks 10 maal de normaalbreedte goed te noemen. Bij belangrijk grootere stralen treedt daarentegen weer het gevaar op dat de rivier in de bocht gaat meanderen.

Dit laatste doet zich voor bij de genoemde overgangen. Bij de eerste is de overgang te lang en bovendien flauw gekromd in dezelfde richting als de bovengelegen scherpe bocht; bij de tweede betreft het een overgangsvak tusschen twee bochten, die in dezelfde richting zijn gekromd. In beide gevallen vindt daardoor een te vroeg oversteken van een deel van het water plaats, waardoor stroomverlamming in de buitenbocht en dus neerslag van het grove materiaal, dat zich door de buitenbocht beweegt, optreedt. Hier vormen zich dan ook grindbanken, die hinder voor de vaart geven.

Uit het bovenstaande volgt, dat het ongewenscht is om lange overgangsbogen te projecteeren benedenstrooms van scherpe bochten en ook dat men opeenvolgende bochten, afbuigend in dezelfde richting en gescheiden door een recht vak, beter kan vereenigen tot een bocht met grooteren straal.

Tenslotte kan wel worden gezegd, dat het zinloos is zich bij het projecteeren van rivierverbeteringen te laten leiden door de bestaande wiskundige formules voor bogen, overgangsbogen en rechte vakken. Het op het oog schetsen van het gewenschte verloop van het bed en het eventueel controleeren van twijfelgevallen met behulp van de opgestelde rekenmethode, lijkt de beste uitkomsten te geven.

### 3. Besluit.

Met de hier beschreven theorie is het mogelijk gebleken een aantal verschijnselen, die zich in de natuur voordoen, te verklaren. De ligging en vervorming van geulen en banken is met de opgestelde formules te berekenen, indien tenminste de waterbeweging normaal is. Waar dit laatste niet het geval is, zooals bij het optreden van wervelstraten enz. treden verschijnselen op, die niet in formules zijn vast te leggen.

Wil de opgestelde theorie uitgroeien tot een betrouwbaar hulpmiddel bij het ontwerpen van rivierwerken, dan zullen de verschillende empirische constanten nauwkeuriger aan de hand van metingen dienen te worden bepaald.

Deze rekenmethode biedt een tweede mogelijkheid van onderzoek naast de bestaande methode, het modelonderzoek. Dit laatste heeft ongetwijfeld het groote voordeel, dat de waterbeweging, vooral indien de wrijving een ondergeschikte rol speelt, nauwkeurig met de werkelijkheid in overeenstemming zal zijn, terwijl bij de beschreven methode de weg van minsten weerstand voor het water door berekening slechts te benaderen is.

Ten aanzien van de zandbeweging geldt dit voordeel niet. Hierbij kan het modelonderzoek nog geen nauwkeurige gegevens leveren, doch werd meer een beeld gegeven van den toestand. Door interpretatie van dit beeld kunnen echter wel bepaalde conclusies worden getrokken.

Hoewel ook de resultaten van de rekenmethode, zooals reeds gezegd is, nog niet nauwkeurig zijn (de eisch zou b.v. kunnen zijn een nauwkeurigheid in hoogteligging van banken, geulen enz. van 5 à 10 cm), komt het toch voor dat deze grooter is dan bij modelonderzoek, en nog verder op te voeren is door nadere bepaling van de gebezigde coëfficiënten.

Misschien zouden de beste resultaten bij zandtransportproblemen worden verkregen, indien de beide methoden van onderzoek gecombineerd zouden worden in dien zin, dat eerst het onderzoek in een model zou worden verricht, waarna de gevonden resultaten betreffende de bodemligging gecorrigeerd zouden worden aan de hand van berekeningen.

## INGEZONDEN.

### Het verband tusschen bouwkosten en het tekort aan arbeidskrachten.

Onder dit opschrift verscheen in *De Ingenieur* van 20 December 1946 een beschouwing van ir. J. W. G. Baron SLOET.

Betoogd wordt daarin, dat van de belasting van het bouwapparaat slechts 25% zou zijn ingeschakeld. Het eerste wordt aangenomen omdat in Maart, April en Mei 1946 gebleken zou zijn, dat het beschikbare apparaat viermaal zooveel materiaal kon verwerken dan volgens het Bouwplan 1946 zou worden toegewezen. Het tweede is volgens ir. SLOET vaststaand, omdat geen werklooze bouwvakarbeiders bij de Arbeidsbureaux zijn ingeschreven.

Dus is zijn conclusie: de arbeider reageert scherp door langzaam werken als hij vermoedt dat de materialenaanvoer stagneert en presteert maar 25%. De aannemer zou daar niets tegen kunnen doen.

Het betoog wordt op deze wijze opgebouwd in een te groot vertrouwen op allerlei overheidsmaatregelen inzake contrôle, regeling en registratie van het bedrijf zonder er rekening mede te houden of deze maatregelen effectief en de daaruit verkregen cijfers reëel zijn.

Hoe men uit de meestal met vertraging verkregen toewijzingen voor materialen of verstrekking van bonnen aan het bouwbedrijf in zijn geheel iets over de *verwerking* daarvan kan concluderen in een zoo korte periode van drie maanden, is mij een raadsel. Zelfs, indien men — waar geen sprake van is — over den werkelijken aanvoer naar alle bouwwerken over een zoodanig kort tijdsbestek gegevens zou hebben, staat nog niets vast omtrent den *tijdsduur* van verwerking. Dat in het voorjaar 1946 op dergelijke gegevens zou zijn aangetoond, dat het bouwapparaat viermaal zooveel zou kunnen verwerken als bedoeld was toe te wijzen, lijkt mij minstgenomen zeer aanvechtbaar.

Ook de tweede grondslag van het betoog, dat het bouwapparaat volledig is ingeschakeld, omdat er geen werkloozen staan ingeschreven, is een wankel fundeering.

De vrijwillige registratie van de bouwvakarbeiders in 1945 is mislukt. Gepubliceerd is dit nooit, maar volgens geruchten is het aantal dat zich heeft laten inschrijven onder de 10% gebleven van het verwachte aantal! De afkeer om zich te laten inschrijven was zeer groot; in den bezettingstijd was voldoende narigheid ondervonden van ergens ingeschreven te staan!

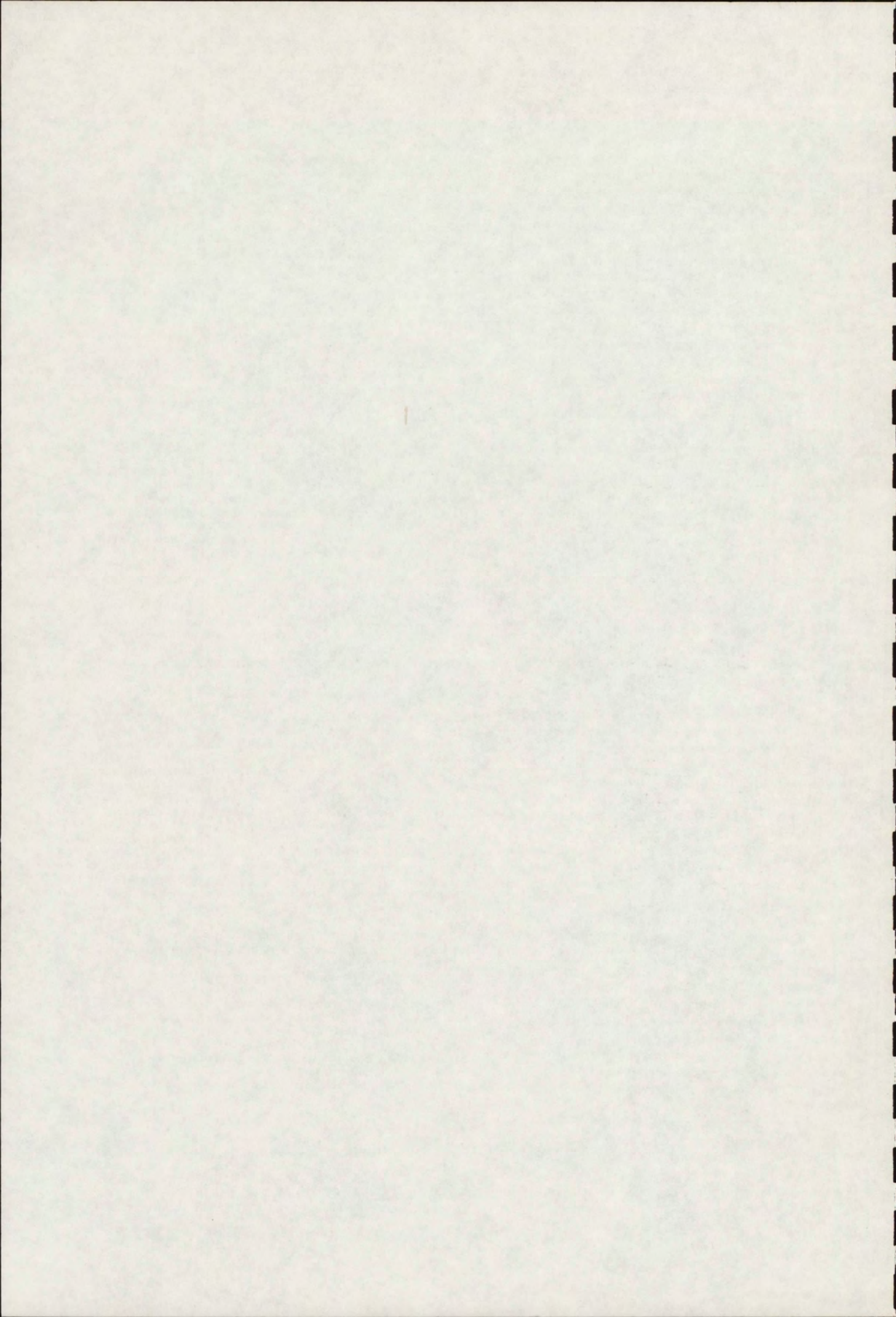
Er wordt nu getracht, via de patroons een registratie tot stand te brengen, maar van de ongeveer twintig duizend patroons zal hierbij wel een beduidend aantal verstek laten gaan. Men blijft dus min of meer in den blinde tasten.

Zijn beide grondslagen van het betoog van ir. Baron SLOET zoo onbetrouwbaar, dan vallen ook zijn gevolgtrekkingen. En gelukkig ook de zeer merkwaardige dat vermeerdering van het aantal arbeiders (door om- en herscholing) voorloopig niet alleen overbodig is, maar ook de bouwkosten verhoogt omdat deze meerdere arbeiders gezamenlijk met de reeds werkzame dezelfde hoeveelheden materialen te verwerken krijgen en allen dus nog langzamer zullen gaan werken en de kosten per eenheid werk dus verder zullen stijgen.

Heeft ir. SLOET geen oogmerk overdacht, hoe grievend deze onderstellingen voor onze bouwvakarbeiders zijn en hoe, indien de zaken zoo stonden, wij over een wederopbouw van ons vaderland beter maar konden zwijgen?

En hoe ziet de zaak van aannemersstandpunt bezien er uit? Het jaar 1946 is het jaar van terugkeer tot normale aanbestedingen, het tijdperk van regie werd afgesloten. Wel wordt nog verrekening gehandhaafd op materiaalprijzen en op den officieelen loonstandaard, maar de arbeidsprestatie, de hoeveelheid arbeidsuren voor elk werkonderdeel te besteden komt nu weer geheel voor risico van den aannemer. Voor zijn inschrijving bij een besteding moet hij zich dus terdege rekenschap geven van de door hem verwachte arbeidsprestatie. Zoo deze prestatie, zooals ir. SLOET ons wil doen gelooven, in een jaar tijds wegens oorspronkelijken goeden materiaal-aanvoer met daarop volgende stagnatie daarvan op een kwart van het oorspronkelijke kan terug vallen, met gevolg dat voor werkonderdelen loonbedragen kunnen wisselen tusschen een bedrag en het viervoud daarvan, dan beteekenen dit risico's die niet kunnen worden gedragen. Zeker niet, als dit zoo algemeen zou zijn als door de uitdrukking „het apparaat is slechts voor 25% belast” wordt aangeduid en deze niet gelden voor een enkel bouwwerk of een enkele categorie werken, maar het geheele bouwbedrijf treffen.

Door ir. SLOET worden ook met volkomen stilzwijgen de





uitvoerige publicaties over het indexcijfer in het bouwbedrijf voorbij gegaan, verschenen in het tijdschrift *Bouw* van 4 Mei, 17 Aug. en 7 Dec. 1946. Daarin wordt de arbeidsprestatie door de deskundige commissie tekenmale op 70% van de vooroorlogse geschat en dus van een dergelijken terugval niet geweten. De subcommissie Wegverhardingen schat (n<sup>o</sup>. van 7 Dec.) zelfs 75%.

Onnodig feitelijk hieraan toe te voegen, dat, ware de voorstelling van ir. SLOET juist, het aanbesteden van werken na de eerste ervaringen op zeer groote moeilijkheden zou zijn gestuit.

Hoe is het evenwel mogelijk, dat een dergelijk betoog wordt opgebouwd, dat zoo in strijd raakt met wat er (zij het dan niet in statistischen cijfervorm) in werkelijkheid waar te nemen valt? De conclusie moet wel zijn, dat een te groot vertrouwen in statistisch cijfermateriaal hiertoe leidt, gepaard gaande met een onvoldoende besef van hoe weinig waarde dergelijke cijfers in het bouwbedrijf helaas nog zijn.

Waar hierin het gevaar schuilt, dat bij de overheidsmaatregelen voor het bouwbedrijf te veel van dergelijke grondslagen wordt uitgegaan, kan het zijn nut hebben hierover nog iets meer te zeggen.

Bij maatregelen voor materialen-distributie, registratie, loon- en prijsvoorschriften enz. zijn de grootere bedrijven steeds genoodzaakt, zich hieraan te onderwerpen; de kleinere, die door hun geringe personeelsterkte en materiaalbehoefte en door hun zeer groote aantal ieder voor zich moeilijk te controleren en te dresseeren zijn, kunnen zich gemakkelijker daaraan onttrekken. Juist door hun groote aantal oefenen deze vermoedelijk wel degelijk een belangrijken invloed uit op alles wat in het bedrijf gebeurt. Zij kunnen reeds alleen daardoor het statistisch materiaal onbetrouwbaar maken.

Er komt bij, dat na de bevrijding geen openlijke behandeling in de volksvertegenwoordiging heeft plaats gehad over de wijze, waarop de overheid zal moeten ingrijpen ter bevordering van een juist verantwoord gang van zaken bij den wederopbouw, zoodat er geen goed begrip van de beweegredenen tot en de noodzaak van de maatregelen bij de groote massa van patroons en werknemers is ontstaan. Men is door blijven dokteren op allerlei tijdens de bezetting gedeeltelijk onder Duitschen invloed genomen regelingen. Zeer begrijpelijk heerscht daardoor in het bouwbedrijf een gevoel van onbehagen en een afkeer van al den papieren rommel, dien de overheidsregelingen met zich meeslepen. Temeer, omdat in sommige gevallen de regeling wordt afgedwongen door het al of niet uitgesproken dreigement van stopzetting van den materiaaltoevoer. Men gevoelt zich, evenals onder de bezetting, overgeleverd aan de albeslissende overheid. Reden om met cijfermateriaal, uit formulieren verkregen, zeer voorzichtig te zijn.

Ten aanzien van het door ir. Baron SLOET opgeworpen vraagpunt, zouden in dit verband de volgende vragen te stellen zijn:

Hoeveel arbeiders zijn nog bij opruimings- en afbraakwerkzaamheden betrokken?

Hoeveel materiaal komt uit afbraak of op een of andere zwarte wijze beschikbaar en wordt zwart versterkt in kleine karweitjes, onderhoud of herstellingen, waarbij in verhouding een veel grooter percentage van de totale kosten aan loon wordt besteed dan in het Bouwplan 1946 aangenomen?

Hoeveel bouwvakarbeiders zijn in dit zwarte werk ondergedoken en dus wel in het bouwvak werkzaam, doch niet officieel geregistreerd?

Hoeveel vroegere bouwvakarbeiders zijn in andere vakken werkzaam, omdat de voorwaarden daar aantrekkelijker zijn en minder vrees bestaat voor ontslag wegens materiaalgebrek?

De antwoorden op deze vragen zullen moeilijk of niet te geven zijn en toch zijn dit alle factoren die beantwoording vragen tot oplossing van de groote vraag.

Ook in Engeland is men dezen zomer geschrokken, blijkens een publicatie in de *News Chronicle*, van de hoeveelheid werk en materialen, die buiten de officieele vergunningen aan zwart werk verzet werden.

Men kan groote waardeering hebben voor de pogingen van de zijde van het Ministerie van Wederopbouw om beter inzicht te krijgen in de toestanden in ons bouwbedrijf. Men kan daarbij volkomen inzien, dat een regelende overheid voor een doeltreffenden wederopbouw noodzakelijk is. Maar daarnaast zal men moeten erkennen, dat de zaken in dit zoo gevarieerde bedrijf niet eenvoudig liggen en dat een goede medewerking

van het bedrijf volstrekt vereischt is, om voldoende grondslagen voor te nemen maatregelen te verkrijgen.

Deze medewerking is alleen te verwachten, indien een meer openlijke bespreking van hetgeen met de maatregelen beoogd wordt, plaats vindt en indien een ruimere en meer democratische basis voor al die voorschriften wordt gekozen dan de grondslagen uit den bezettingstijd.

Met den wensch, dat het toch mogelijk zal blijken in samenwerking met het bedrijf, dat zoo gaarne de handen uit de mouwen steekt, voldoende gegevens te verkrijgen om de overheid bij haar leidende taak bij den wederopbouw houvast te geven, besluit ik deze opmerkingen.

Ir. C. TELLEGEN.

#### Naschrift.

Het betoog van ir. TELLEGEN verliest zich in neven-verschijnselen, waardoor de door mij willens en wetens vrij van bijkomstigheden gehouden hoofdzaken worden vervaagd. Ir. T. spreekt bovendien zich zelf tegen, waardoor hij het door mij naar voren gebrachte verschijnsel nog accentueert. Ten slotte verwisselt hij oorzaak en gevolg.

Het eerst bespreekt hij de 25% belasting van het bouwapparaat. Tot deze 25% concludeer ik uit verschillende verschijnselen. De geringe prestatie wordt o.m. verklaard door het scherp reageren van den arbeider. Dit is een ook vóór den oorlog reeds bekend verschijnsel en geenszins een inventie van mij ter verklaring van een uit de lucht gegrepen prestatie van 25%.

Ik zou mijn betoog hebben opgebouwd in te groot vertrouwen op overheidsmaatregelen en statistische gegevens. Ik kan hierop slechts zeggen, dat ik geneigd ben, sceptisch en kritisch te staan tegenover de thans bekende statistische cijfers, en daarom de gegevens, waarop ik mijn betoog heb gegrond, zorgvuldig en geheel los van bedoelde statistieken heb verzameld. Officieele cijfers leiden geenszins tot hetgeen ik naar voren breng. De registraties mislukten immers, waardoor nooit tot een surplus aan arbeidskrachten kan worden geconcludeerd!

Grievend voor de bouwvakarbeiders of anderen kan mijn betoog nooit zijn, want mijn heele redeneering is duidelijk een poging, de juiste verhoudingen aan het licht te brengen, en dit kan slechts zijn tot voordeel van alle erbij betrokkenen.

De indexcijfers uit *Bouw* heb ik grondig bestudeerd, en daarin tot mijn voldoening een bevestiging van mijn redeneering gevonden. Immers blijkt de totale loonpost op een werk tusschen 28-II en 30-VI gedaald, maar daarna sterk gestegen te zijn, niettegenstaande het gemiddelde uurloon gelijk gebleven is gedurende de laatste periode. Trouwens, sinds het basisjaar 1938/39 is de totale loonpost in belangrijk sterkere mate gestegen dan het gemiddelde uurloon. Uit de hiervoor gegeven indexcijfers laat zich reeds een arbeidsprestatie berekenen van 54%! Op welke wijze de in bedoelde publicatie aangenomen 70% is bepaald, is mij niet bekend. Maar mochten hierin nog weer andere factoren zijn verdisconteerd, dan zou de totale prestatie niet veel boven de 40% liggen. Dit geldt voor Rotterdam en Den Haag. N.m.m. liggen in deze groote steden de arbeidsverhoudingen anders dan op het platteland, zoodat de door mij berekende 25% al tamelijk plausibel wordt.

Blijkbaar is mijn opponent nog meer overtuigd van het bestaan van ondergedoken bouwvakarbeiders dan ik. Of dit in zwart werk is of in andere beroepen, is om het even. Uit beide „duikadressen” moeten zij in het oirbare bouwbedrijf terugkeeren: een reden temeer echter om het „tekort aan bouwvakarbeiders” nader onder de loupe te nemen.

Ir. J. W. G. Baron SLOET.

\* \* \*

De Voorlichtingsdienst van het Ministerie van Openbare Werken en Wederopbouw meldt, dat een onderzoek ingesteld zal worden naar de verschillen, die in onderscheiden deelen van het land ontstaan door afwijkingen in de arbeidersbezetting. De uitslag van deze studie zal in een ingedrukt eventueel in verkorten vorm, worden opgenomen. Het wenschelijk geoordeeld, tot dat tijdstip de discussie te sluiten.

De Redactie

