



VAN GROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

DEELSTUDIE

SLIB- EN SEDIMENTATIEGEVOELIGHEID

VAN DE OPDRIJVENDE

DAKSTUW

E. Riemers
Mei 1988.

Inhoudsopgave.

Samenvatting.

2a

Hoofdstuk 1.

1.0. Doel van de studie	pag. 2
1.1. Inleiding	2
1.2. Beschrijving huidige situatie op de Nieuwe Waterweg	3
1.3. Hoe ontstaat slib en waar komt het vandaan.	4
1.4. Huidige sediment transport.	4

Hoofdstuk 2.

2.0. Aanpak sedimentatieproblematiek	6
2.1. Bepaling van het bodemtransport.	6
2.2. Transportbepaling met behulp van Engelung en Hansen.	12
2.3. Sedimentatie door slib.	15
2.4. Sedimentatie in de drempel	17
2.5. Ontwerp van een zandvang.	18

Hoofdstuk 3.

3.1. Het schoon houden van de drempel en zandvangen.	19
3.2. Verdiepen van de drempel	19

Literatuurlijst.

Bijlagen.

Samenvatting.

De doelstelling van deze afstudeeropdracht is een analyse te maken of een eventuele stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg technisch en economisch haalbaar is.

In de hoofdstudie is gekozen voor een opdrijvende dakstuw, welke is gelegen in een open betonnen drempel op de bodem van de Nieuwe Waterweg. In deze deelstudie zal gekeken worden naar de aanzanding en aanslibbing van deze opdrijvende dakstuw. Tevens zullen een aantal mogelijke oplossingen worden gegeven hoe deze sedimentatie kan worden tegengegaan dan wel worden verminderd.

In deze deelstudie wordt onderscheid gemaakt tussen twee soorten transportmechanismen die verantwoordelijk zijn voor de sedimentatie van de open betonnen drempel.

Ten eerste is dit het sediment dat zich rollend over de bodem voortgeweept. Dit transport is te voorspellen met behulp van empirische formules. In dit verslag zijn twee formules met elkaar vergeleken. Te weten de formule van Engelund en Hansen en de formule van Bijker. De uitkomst van het zandtransport berekend met de formule van Engelund en Hansen is dermate hoog dat er getwijfeld moet worden aan de toepasbaarheid hiervan in deze situatie. Er is hier dan ook verder uitgegaan van de formule van Bijker. Het tweede transportmechanisme is dat van het zwevende transport. Aan de hand van slibmetingen is een poging gedaan de hoeveelheid slib te berekenen dat in de drempel tot bezinking komt. Deze twee transportmechanismen te samen geven een indruk van de hoeveelheid sediment wat er in de drempel tot bezinking komt. Dit komt ongeveer neer op 7,2 mm per strekkende meter breedte per dag.

Te veel sediment in de drempel kan de werking van de stormvloedkering negatief beïnvloeden en er is daarom gekeken naar mogelijke oplossingen om deze sedimentatie te voorkomen dan wel dit sediment te verwijderen zodat geen gevaar voor de werking van de kering ontstaat. Een van de oplossingen is het maken van zandvangen voor en achter de drempel met als doel het sediment uit de drempel te houden. Nadelen die aan deze oplossing verbonden zijn is dat niet al het sediment gevangen wordt en er dus een mogelijkheid moet bestaan het sediment uit de drempel te verwijderen. Tevens moeten de zandvangen regelmatig worden leeggebaggerd wat duur is maar ook veel hinder voor de scheepvaart oplevert. Een tweede mogelijkheid is om de drempel te verdiepen en het sediment met behulp van een dustpan uit deze verdiepte drempel te verwijderen.

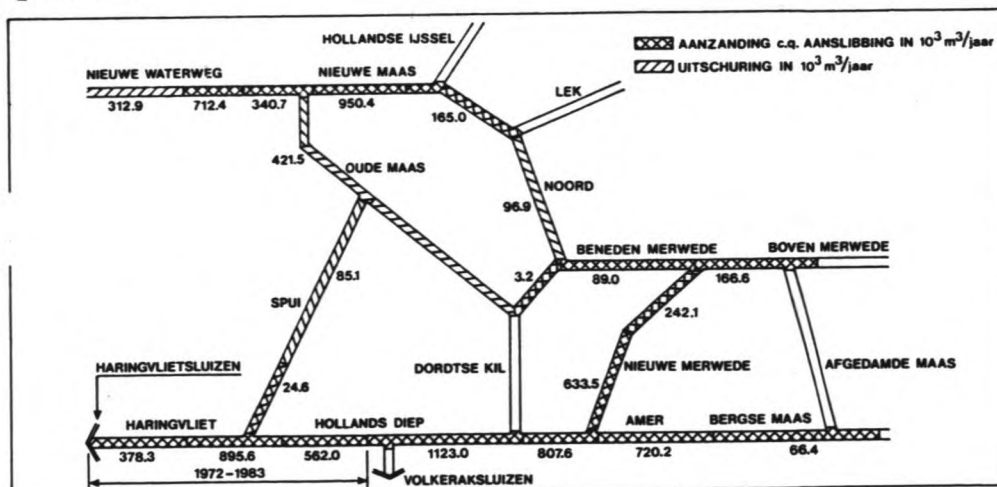
1.0 Doel van de deelstudie.

Het doel van deze deelstudie is om enig inzicht te verkrijgen in het verloop van aanslibbing en/of uitschuring als gevolg van het plaatsen van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg nabij km. 1025.5. Hiervoor zijn zandtransport berekeningen gemaakt. Tevens zal gekeken worden hoe het sediment uit de drempel, waarin de keringselementen zijn gelegen, kan worden verwijderd.

1.1 Inleiding.

Een delta gebied in natuurlijke ontwikkeling wordt gekenmerkt door voortdurende, maar vaak langzame veranderingen in de bodemvorm. Gaat men nu kunstmatig een verandering aanbrengen, kan dit leiden tot relatief snelle veranderingen. Deze veranderingen te onderkennen is van groot belang voor de veiligheid, de scheepvaart, de natuur en het milieu enerzijds en een eventuele randvoorwaarde voor het voorgenomen kunstwerk anderzijds. De gedeeltelijke afsluiting van de zee-armen in het Delta gebied heeft morfologische gevolgen voor het gebied dat zich uitstrekt van de bovenstroomse rivieren tot en met de kustzone. Het getij kan nu alleen nog via de Nieuwe Waterweg het beneden rivieren gebied binnendringen. Het zeewater, dat tijdens de vloedstroom is binnen gekomen kan, met het water dat wordt aangevoerd door de Lek, Maas en Waal, ook alleen langs de Nieuwe Waterweg weer afstromen naar zee. Daarnaast speelt de in 1970 gereedgekomen Rijnkanalisatie een rol. Dit veroorzaakt dat de Waal bij lage afvoer van de Boven-Rijn nu meer water afvoert dan voor de kanalisatie en de Lek omdat de stuwen in de Neder-Rijn dit zo regelen. Afhankelijk van de afvoer kan een deel van het water, tijdens de eb-periode, afstromen via de Haringvlietstuwen. Hier is een spuiprogramma opgesteld dat zodanig is dat de afvoer via de Nieuwe Waterweg op minimaal 1500 m³/s wordt gehouden. Dit is gedaan om de verzilting van het Noordelijk Delta-bekken zoveel mogelijk te beperken. De belangrijkste veranderingen, die de vele wijzigingen met zich meebrengt, is opgetreden in de verdeling van de oppervlaktewater afvoer langs de verschillende riviertakken. Hierdoor zullen forse veranderingen optreden in de hydraulische situatie en als gevolg hiervan in de bodemligging van de beneden rivieren. Om hier enig inzicht in te krijgen zijn sedimenttransport berekeningen uitgevoerd. Hierbij is als uitgangspunt een stromingstoestand genomen die optreedt bij gemiddeld getij op zee en een gemiddelde boven afvoer. Om deze berekeningen te toetsen zijn vele proefmetingen in de riviertakken gedaan. Uit deze onderzoeken is het volgende beeld ontstaan.

figuur 1.1.



Er treedt sedimentatie op langs de zuidrand van het noordelijk Deltabekken op de drie Merweden, de oude Maas voor Dordrecht, in het zuidelijke deel van het Spui, in de Nieuwe Maas en in een deel van de Nieuwe Waterweg. Opvallend bij het sedimentatie proces zijn de grote hoeveelheden die tot afzetting komen op het traject Nieuwe Merwede - Hollandsdiep - Haringvliet en de Amer. Gemiddeld is dat hier 5,4 miljoen m³, terwijl het hele noordelijke deltabekken (uigezonderd de Maasmond en de havens) ongeveer 7,9 miljoen m³ sedimenteerd. Uit onderzoek blijkt dat het sedimentatie proces langzaam van oost naar west opschuift. Erosie treedt op in de Noord, de Oude Maas, een groot deel van het Spui en in de mond van de Nieuwe Waterweg. Op grond van onderzoek naar de ontwikkeling van de bodemligging mag verwacht worden dat dit in de toekomst doorzet totdat een evenwicht is bereikt. In het algemeen is de verwachting dat op middellange termijn in het noordelijk deltabekken sedimentatie zal blijven optreden, behalve op de Noord, de Oude Maas en het Spui, die verder zullen uitschuren. De geschetste ontwikkelingen kunnen een aantal minder gunstige neven-effecten met zich meebrengen. Bij doorgaande sedimentatie neemt de beschikbare diepte af, waardoor problemen kunnen ontstaan voor de zeevaart op de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg. Dit is echter te verhelpen door regelmatig te baggeren. Een ander gevolg zal de afname zijn van het doorstroomprofiel, waardoor een goede en vlotte afvoer van water en ijs kan worden belemmerd. Dan is er ook nog het probleem van de verontreiniging. Doordat aan sediment microorganismen zijn gehecht en deze met het sediment worden afgezet zal het te baggeren sediment steeds meer verontreinigd raken. Bij doorgaande uitschuring, in de eerder genoemde riviertakken, bestaat de kans, als er geen maatregelen worden genomen, dat er instabiliteit ontstaat voor bruggen, tunnels en oevers.

1.2 Beschrijving huidige situatie op de Nieuwe Waterweg

Riviermondingen in vlakke gebieden, die uitmonden in een water dat onderhevig is aan eb en vloed, voeren niet alleen het water van het achtergelegen gebied af, maar zijn ook onderhevig aan een eb- en vloedstroming. Dit wil zeggen dat er water binnen stroomt als de waterstand op zee hoger wordt en er water uitstroomt als de waterstand weer lager wordt. Dit houdt dus in dat de stromingsrichting omkeerbaar is. De Nieuwe Waterweg is zo'n riviermonding. Zoals bekend is wordt de waterbeweging op de Nieuwe Waterweg hoofdzakelijk bepaald door twee randvoorwaarden. De eerste randvoorwaarde is de bovenstroomse welke de mate van afvoer en de daarbij behorende waterstand aangeeft. De tweede randvoorwaarde is een benedenstroomse die opgelegd wordt door de waterstand op zee. Dit betekent dat de vloedstroming lager is dan de ebstroming. Onderstaande snelheden zijn gemiddelde snelheden over de vertikaal in de vaarbaan van het hoofdwater. Deze snelheden gelden voor het traject van km. 1014 tot km. 1029.

gemiddeld tij	vloedstroom	1,08 m/s
gemiddeld tij	ebstroom	1,58 m/s
gemiddeld springtij	vloedstroom	1,33 m/s
gemiddeld springtij	ebstroom	1,69 m/s

Er is echter nog een belangrijke factor die de waterbeweging op de Nieuwe Waterweg bepaald en wel het dichtheidsverschil tussen het zoete

rivierwater en het zoute zeewater. Het zoete rivierwater is lichter dan het zoute zeewater waardoor een zogenaamde zouttong de rivier op kan trekken. Deze zouttong maakt een heen en weer gaande beweging onder invloed van de eb- en vloedbeweging. Tevens is de mate van landindringing afhankelijk van de bovenafvoer, dit wil zeggen dat bij lage afvoer de indringing groot is en bij hoge afvoer klein. Uit gegevens die vrij gekomen zijn bij het onderzoek naar de minimalisering van onderhoudsbaggerwerk blijkt dat de zouttong zich beweegt tussen km.1020 en km.1030 bij een gemiddelde bovenafvoer (ca.2200 m³/s). Een ander verschijnsel wat de binnentrekkende zouttong geeft is dat de waterstroming een zodanige verdeling over de vertikaal heeft dat de stroming aan de bodem landinwaarts gericht is terwijl de oppervlaktestroming zeewaarts gericht is. Deze stroming aan de bodem is bepalend voor de grootte van het te transporteren sediment langs de bodem. Terwijl de menging van het zoute met zoete water verantwoordelijk is voor het ontstaan van hogere slibconcentraties.

1.3 Hoe ontstaat slib en waar komt het vandaan.

Zoals bekend is word sediment op twee manieren door een rivier vervoerd. Als eerste is er het sediment dat rollend over de bodem word voortbewogen. Ten tweede is er het sediment dat in suspensie (zwevend) door de rivier word vervoerd. Het sediment in suspensie bestaat uit kleine kleideeltjes. Het dichtheidsverschil word veroorzaakt door zoutverschillen. Door een chemische reactie kan sedimentatie optreden. De opgeloste kleideeltjes zijn klein en negatief geladen. Dit betekent dat de electrostatische krachten overheersen en de deeltjes elkaar afstoten en daardoor klein en gemakkelijk in suspensie blijven, zodat de deeltjes door turbulentie blijven zweven. Door het toenemen van het zoutgehalte zijn de positieve ionen Na⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, enz instaat deze electrostatische kracht te neutraliseren. Dit betekent dat de kleideeltjes elkaar niet meer zullen afstoten en daardoor instaat zijn samen te klonteren, waardoor de zwaartekracht gaat overheersen en bezinken. Er is echter nog een slib aanvoermecanisme en wel vanuit zee. Uiteraard is een deel van de van zee uit aangevoerde hoeveelheid slib eerder in de rivier bezonken en weer in suspensie gebracht. Een ander deel van het uit zee aangevoerde slib is afkomstig van de zuidelijke Noordzee (Vlaamse banken) en van de loswal Noord waar een continue sliblozing plaatsvindt en door onderstroom wordt teruggevoerd.

1.4 Huidige sediment transport.

Uit onderzoeken is gebleken dat de Nieuwe Waterweg te beschouwen is als een importerend estuarium. Dit wil zeggen dat er gemiddeld meer sediment tijdens de vloed naar binnen wordt gevoerd dan er met eb weer uitgaat. Het is op het ogenblik nog niet mogelijk een sluitende sedimentbalans voor de Nieuwe Waterweg op te stellen. Om toch enig inzicht te verkrijgen over de sedimentatie van de Nieuwe Waterweg wordt gebruik gemaakt van de baggergegevens voor het op diepte houden van de vaargeul. Met betrekking tot dit project zijn de gegevens geïnventariseerd voor het traject van km.1020 - km.1029. Uit het overzicht van de baggeractiviteiten in de periode van 1986 tot 1987 kan geconcludeerd worden dat met name binnenbochten als sedimentatie gebieden zijn aan te merken. Hieruit volgen dan de volgende gegevens

met betrekking tot de hoeveelheden gebaggerd sediment.
 traject 1013 - 1020 ca. 150.000 m³/j.
 traject 1020 - 1022 ca. 1.000.000 m³/j.
 traject 1022 - 1030 ca. 200.000 m³/j.

Aan de hand van deze gegevens is nog niet vast te stellen waar het sediment van afkomstig is. Dit kunnen we bereiken door het nemen van bodemonmonsters. De verdeling van de sedimentfracties is het resultaat van een gecompliceerd samenspel van zoet en zout water en sediment. Zoals uit onderzoek is gebleken bedraagt het sedimentgehalte van de Rijn bij Lobith gemiddeld 43 mg/l. Dit is overwegend zwevend transport. Op grond van onderzoek uitgevoerd in 1971, 1976 en 1986 blijkt de bodem tussen km.1022 - km.1029 vrijwel geheel uit zand te bestaan. Nabij de bocht van Maassluis wordt in de bodemonmonsters een wezenlijk slib aandeel gevonden.

granuele samenstelling in % 1986				
km.	fractie <2	<16	<63	<210 um
1027,5	1	1	1	2
1025,5	1	1	2	6
1022,5	1	1	2	13
1021,7	5	8	18	82
1021,3 buiten	9	15	24	82
1021,3 binnen	5	8	15	84
1020,4	7	11	21	72
1014,2	3	5	6	31
1012,5	15	25	40	74
1010,5	19	34	50	73

tabel 1.1.

Dit is als volgt te verklaren. De zouttong, die zich onder gemiddelde omstandigheden beweegt tussen de bocht van Maassluis (bij eb) en de locatie waar de Oude en Nieuwe Maas zich samenvoegen (bij vloed), verschuift bij lage afvoer naar het westen. In deze periode van het jaar vindt dan voornamelijk aanslibbing in de bocht van Maassluis plaats.

2.0. Aanpak sedimentatieproblematiek.

Zoals reeds eerder is vermeld spelen er twee verschillende sedimentatie mechanismen een rol. Voor het voorspellen van de hoeveelheid te baggeren sediment moet dus naar beide mechanismen gekeken worden. Als eerste wordt er gekeken naar dat sediment wat zich rollend over de bodem voortbeweegt. Als tweede wordt er gekeken naar de sedimentatie die ontstaat doordat kleine zwevende kleideeltjes uitvlokken en daardoor bezinken. Als laatste zullen dan een aantal mogelijke oplossingen worden aangedragen om dit sediment te verwijderen.

2.1. Bepaling van het bodemtransport.

Formules die voor een open waterloop met een bodem bestaande uit loskorrelig materiaal (zand, grind) het sediment transport en de ruwheid voorspellen, gaan uit van een *stationaire uniforme stroming*. Omdat het hier steeds gaat om turbulente stromingen, is er prake van statistisch stationaire stroming.

We beschouwen hier een brede waterloop met gegeven bodemmateriaal (Δ , D) en een gegeven bodemhelling (i_b). Per eenheid van breedte is de afvoer q van water met bekende eigenschappen (ρ , ν). De volgende vragen kunnen nu worden gesteld:

- 1- Welke ruwheid (C) zal er ontstaan via de beddingvormen.
- 2- Welk transport (s) van bodem materiaal treedt er op.

Deze twee vragen zijn gekoppeld, omdat het bodemtransport mede van de ruwheid afhangt. Als er sprake is van een transportformule dan geldt deze dus steeds voor het transport van bodem materiaal bij stationaire uniforme stroming. Dit zelfde is het geval voor de (alluviale) ruwheid. De betreffende formules hebben een sterk experimentele inslag. Meestal wordt er met enkele theoretische beschouwingen een grondvorm voor de formule van transport of ruwheid gekozen, voorzien van enkele coëfficiënten. Metingen worden gedaan en gebruikt om deze coëfficiënten vast te stellen.

En verschil tussen het voorspellen van de ruwheid (C) en het transport (s) is dat met behulp van metingen in situ de ruwheid (C) redelijk goed te bepalen is. Toetsing van ruwheidvoorspellers aan deze metingen geeft dan een keuze voor de ruwheid op die plaatsen en/of tijden dat geen metingen zijn verricht. Zandtransportmetingen daarentegen zijn veel bewerkelijker. Erg nauwkeurige metingen van het zandtransport zijn niet mogelijk. Verder is het zo dat in de natuur zelden de beddingvormen voorkomen behorende bij een stationaire uniforme stroming omdat de afvoer Q een functie is van de tijd ($Q(t)$).

Er bestaan een groot aantal transportformules [lit.1], die allemaal een beperkte nauwkeurigheid en toepassingsgebied hebben. Bij elk rivier probleem moet een keuze worden gemaakt voor de te gebruiken formule. De transportformules hebben veelal een gedaante van een verband tussen de stroomparameter (Y) en de transportparameter (X). De invloed van de beddingvormen wordt dan op een of andere wijze, b.v. in de stroomparameter via een ribbelfactor, verdisconteerd. Hier wordt gekozen voor de transportformule van Engelund en Hansen (E-H). Deze formule houdt geen rekening met begin van beweging en is dus in die buurt niet toepasbaar. Deze formule is getoetst voor een gemiddelde korreldiameter (D_{50}) >

0,190 mm. Deze formule ziet er als volgt uit:

$$s / (D_{50}^3 * g * \Delta)^{1/2} = 0,05 / (1 - \epsilon) * (C^2 / g) * (\Delta * D_{50} / a * i_b)^{-5/2}$$

s = sedimenttransport [m²/s].

D₅₀ = gemiddelde diameter van bodem materiaal [m].

g = zwaartekrachtversnelling [m/s²].

$\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho = (2,65 - 1,02) / 1,02 = 1,60$

ϵ = poriegehalte van de afgezette laag (40%) = 0,4.

C = ruwheid [m^{1/2}/s].

a = waterdiepte [m].

i_b = bodemhelling.

Op eenvoudige wijze is voor de formule van E-H na te gaan hoe het zandtransport afhankelijk is van de verschillende parameters. Daartoe wordt steeds een van de parameters gevarieerd, waarbij de andere constant wordt verondersteld:

$$\begin{aligned} -1- u_* &= (g * a * i_b)^{1/2} & u_* &\sim u \quad (\text{als de ruwheid (C) niet verandert}) \\ & & s &\sim u^5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -2- \text{de afhankelijkheid van de korreldiameter t.o.v. het transport.} \\ s &\sim D^{-1} \end{aligned}$$

Om een berekening van het bodemtransport te kunnen maken moet de ruwheid van de bodem gekend zijn. Deze ruwheid is afhankelijk van de bodem samenstelling en de beddingvorm.

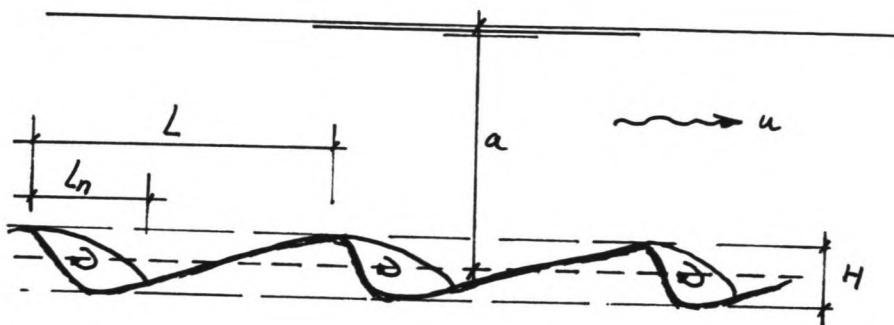
Bij de voorspelling van de alluviale ruwheid van een rivierbedding met een helling i_b, een afvoer q en een bepaalde korreldiameter D kunnen twee wegen bewandeld worden:

- 1- Er kan direct worden uitgegaan van de bepaling van C.
- 2- Er kan eerst worden geschat de afmetingen van de beddingvormen en daarna kan met behulp daarvan een C waarde worden bepaald.

Voor het inzicht is het van belang om de hydraulische weerstand van een alluviale bedding nader te analyseren. Daartoe behoort in de eerste plaats gekeken te worden naar de ruwheid van een alluviaal bed met of zonder transport. In dit geval zal de k_N waarde samenhangen met de korrelgrootte (verdeling). De grove korrels bepalen de k_N waarde. Globaal geldt dan:

$$k_N = \alpha * D_{50} \quad \text{met } \alpha \sim 3.$$

Dat k_N > D₅₀ komt, omdat er altijd wel enige onregelmatigheden in de bedding aanwezig zijn. Door de uitzeving is het overigens niet mogelijk voor een riviervak nauwkeurig de waarde van D₅₀ vast te stellen.



figuur 2.1.

In figuur 2.1. is een geschematiseerd duin weergegeven. Achter de duintop is een neer aanwezig. Over de lengte $L - L_n$ is er wrijvingsverlies aanwezig. Door de vertraging achter de top treedt er een carnotverlies op. De schuifspanning (τ_b) aan de bodem kan worden verdeeld in een gedeelte (τ'_b) als gevolg van de korrelweerstand en een gedeelte (τ''_b) als gevolg van het vertragingverlies. Met gebruik van de Darcy-Weisbach ruwheidsfactor geldt: [lit.1]

$$\tau_b = \tau'_b + \tau''_b = 1/8 * f' * \rho * u^2 + 1/8 * f'' * \rho * u^2 = 1/8 * f * \rho * u^2.$$

De waarde van f' kan worden bepaald bij een gegeven korrelsamenstelling. Voor f'' is met behulp van de impulsvergelijking af te leiden:

$$f'' = 4 * \alpha * H^2 / (a * L).$$

Hierbij is α een vormfactor. Experimenteel blijkt α af te hangen van de verhoudingen H/a en H/L . Globaal geldt $\alpha=3$.

Hier wordt gebruik gemaakt van de studie van Van Rijn (1984) om een ruwheid te voorspellen. De volgende parameters zijn hier van belang: [lit.2]

Dimensiloze korrelgrootte:

$$D_* = [\Delta * g / \nu^2]^{1/3} * D_{50}.$$

Dimensiloze schuifspanning:

$$= \tau_b / (\rho * g * \Delta * D_{50}) = u_*^2 / (g * \Delta * D_{50})$$

'Transport stage parameter' (maat voor hoever we van begin van beweging af zitten).

$$T = (\theta' - \theta_{cr}) / \theta_{cr}$$

θ' = dimensiloze Shieldsparameter voor een vlak bed situatie.

Voor $\theta_{cr} = f(D_*)$ heeft Van Rijn de volgende tabel samengesteld.

bereik D_*	θ_{cr}
$D_* < 4$	$\theta_{cr} = 0,24 D_*^{-1}$
$4 < D_* < 10$	$\theta_{cr} = 0,14 D_*^{0,64}$
$10 < D_* < 20$	$\theta_{cr} = 0,04 D_*^{0,1}$
$20 < D_* < 150$	$\theta_{cr} = 0,013 D_*^{0,23}$
$D_* > 150$	$\theta_{cr} = 0,055$

tabel 2.1.

De waarden van H en L volgen uit de volgende empirische relaties:

$$H/a = 0,110 * [D_{50}/a]^{0,3} * [1 - e^{-T/2}] * [25 - T]$$

$$H/L = 0,015 * [D_{50}/a]^{0,3} * [1 - e^{-T/2}] * [25 - T]$$

Vervolgens wordt door Van Rijn gesteld dat de totale k_N waarde wordt opgebouwd uit k_N' (bij vlak bed als gevolg van de korrelruwheid) en k_N'' (als gevolg van het carnotverlies).

$$k_N = k_N' + k_N''$$

Tenslotte wordt k_N'' gelieerd aan H en L volgens:

$$k_N'' = 1,1 * H * \{1 - e^{-25H/L}\}$$

Om de methode van Van Rijn toe te kunnen passen moeten een aantal gegevens bekend zijn te weten:

- de bodemhelling van de waterloop: $i_b = 10^{-4}$
- de viscositeit: $\nu = 10^{-6}$
- het debiet q: $q = ?$

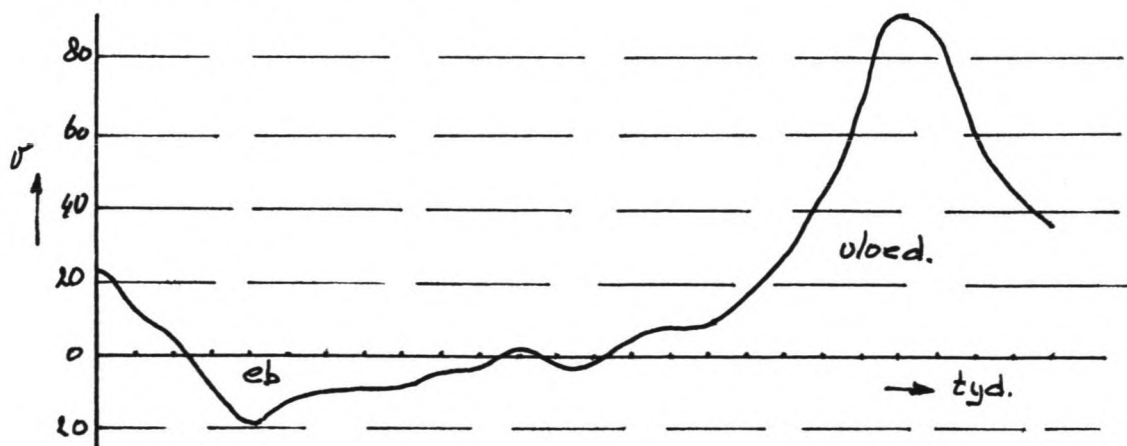
Zoals reeds bekend is is het sedimenttransport afhankelijk van de schuifspanning aan de bodem. Deze schuifspanning wordt veroorzaakt door het langs stromende water nabij de bodem. Daar we hier te maken hebben met een tweelagen stroming (zout water langs de bodem en zoet water aan de oppervlakte) kan niet zomaar de gemiddelde snelheid over de diepte genomen worden als maat voor de bij deze snelheid optredende schuifspanning. Om een betere maat voor de bodemschuifspanning te vinden wordt de gemiddelde stroomsnelheid bepaald over een klein gedeelte van het snelheidsprofiel. Hier is aangenomen dat de snelheid van -12.00 m N.A.P. tot de bodem maatgevend is voor de bodemschuifspanning. Dit betekent ook dat het ontstaan van ribbels, die een maat zijn voor de bodemruwheid (C), bij deze snelheden optreden. De gemiddelde stroomsnelheid is bepaald met behulp van de stroomsnelheidsmetingen. (zie bijlagen).

tijd	punt 1	punt 2	punt 3	gem. [cm/s]	s [m ² /s]
6.00	-35	-25	-10	-23	1,7 *10 ⁻⁷
6.30	-30	0	0	-10	2,7 *10 ⁻⁹
7.00	-15	0	0	- 5	8,4 *10 ⁻¹¹
7.35	+10	0	+10	+ 7	4,5 *10 ⁻¹⁰
8.00	+22	+20	+15	+19	6,6 *10 ⁻⁸
8.30	+10	+15	+15	+13	1,0 *10 ⁻⁸
9.00	+10	+10	+10	+10	2,7 *10 ⁻⁹
9.30	+12	---	+ 5	+ 9	1,6 *10 ⁻⁹
10.00	+15	---	0	+ 8	8,8 *10 ⁻¹⁰
10.30	+20	-10	0	+ 3	6,5 *10 ⁻¹²
11.00	+10	0	0	+ 3	6,5 *10 ⁻¹²
11.30	-10	0	---	- 3	6,5 *10 ⁻¹²
12.00	+10	0	---	+ 3	6,5 *10 ⁻¹²
12.30	+ 5	0	---	+ 2	8,6 *10 ⁻¹³
13.00	- 5	- 7	---	- 6	2,1 *10 ⁻¹⁰
13.30	-10	- 5	---	- 8	8,8 *10 ⁻¹⁰
14.00	-15	- 2	---	- 8	8,8 *10 ⁻¹⁰
14.30	-22	-10	---	-16	2,8 *10 ⁻⁸
15.00	-27	-25	---	-26	3,2 *10 ⁻⁷
15.30	-60	-30	---	-45	5,0 *10 ⁻⁶
16.00	-75	-65	---	-70	4,5 *10 ⁻⁵
16.30	-100	-80	---	-90	1,6 *10 ⁻⁴
17.00	-100	-65	---	-83	1,1 *10 ⁻⁴
17.30	-70	-40	---	-55	1,4 *10 ⁻⁵
18.00	-65	-25	---	-45	5,0 *10 ⁻⁶
18.30	-40	-25	---	-33	1,1 *10 ⁻⁶

- is landinwaarts gerichte stroming.
+ is zeewaarts gerichte stroming.

tabel 2.2.

Snelheidsverloop aan de bodem.



figuur 2.2.

Zoals reeds eerder is vermeld neemt het bodemtransport toe met de vijfde macht van de stroomsnelheid. Dit betekent dus ook dat de ruwheid van de bodem als gevolg van het ontstaan van ribbels plaats vindt bij de hogere stroomsnelheden. Voor de bepaling van de ribbelhoogte als maat voor de bodemruwheid wordt de stroomsnelheid stationair uniform verondersteld. Daar we hier te maken hebben met een niet stationaire stroming moet een gemiddelde stroomsnelheid gevonden worden die een soortgelijke bodemruwheid veroorzaakt. Hier is er van uitgegaan dat dit plaats vindt bij een stroomsnelheid van 0,8 m/s. Hieruit volgt dan een equivalent debiet van $q=16 \times 0,8=12,8 \text{ m}^2/\text{s}$. Nu is het mogelijk geworden om met de theorie van Van Rijn een C waarde te vinden. De volgende gegevens zijn bekend:

$$\begin{aligned} D_{50} &= 0,25 \text{ mm} = 0,25 \times 10^{-3} \text{ m} \\ D_{90} &= 2,0 \text{ mm} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m} \\ k_N' &= 3 \times D_{50} = 6,0 \times 10^{-3} \text{ m} \\ \nu &= 10^{-6} \\ l_b &= 10^{-4} \\ q &= 12,8 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Er kan nu een waterdiepte a' worden berekend waarvoor geldt dat de bodem bestaat uit een vlak bed en alleen de waarde k_N' maatgevend voor de ruwheid.

$$q = 18 \log(12 \times a' / k_N') \times a'^{3/2} \times l_b^{1/2}$$

$$12,8 = 18 \log(12 \times a' / 6,0 \times 10^{-3}) \times a'^{3/2} \times 10^{-2}$$

Met behulp van een programmeerbare rekenmachine wordt voor $a'=6,673 \text{ m}$ gevonden.

$$D_* = (\Delta \times g / \nu^2)^{1/3} \times D_{50} = (1,60 \times 9,8 / 10^{-12})^{1/3} \times 0,25 \times 10^{-3} = 6,257$$

$$\theta' = a' \times l_b / (\Delta \times D_{50}) = 6,673 \times 10^{-4} / (1,60 \times 0,25 \times 10^{-3}) = 1,668$$

$$\theta_{cr} = 0,14 \times D_*^{0,64} = 0,14 \times 6,257^{0,64} = 0,453$$

$$T = (\theta' - \theta_{cr}) / \theta_{cr} = (1,668 - 0,453) / 0,453 = 2,68$$

$$\begin{aligned} H/a &= 0,11 \times (D_{50}/a)^{0,3} \times [1 - e^{-T/2}] \times [25 - T] \\ &= 0,11 \times (0,00025/16)^{0,3} \times [1 - e^{-2,68/2}] \times [25 - 2,68] = 0,066 \end{aligned}$$

$$H/L = 0,015 \times ((H/a)/0,11) = 0,015/0,11 \times 0,066 = 8,941 \times 10^{-3}$$

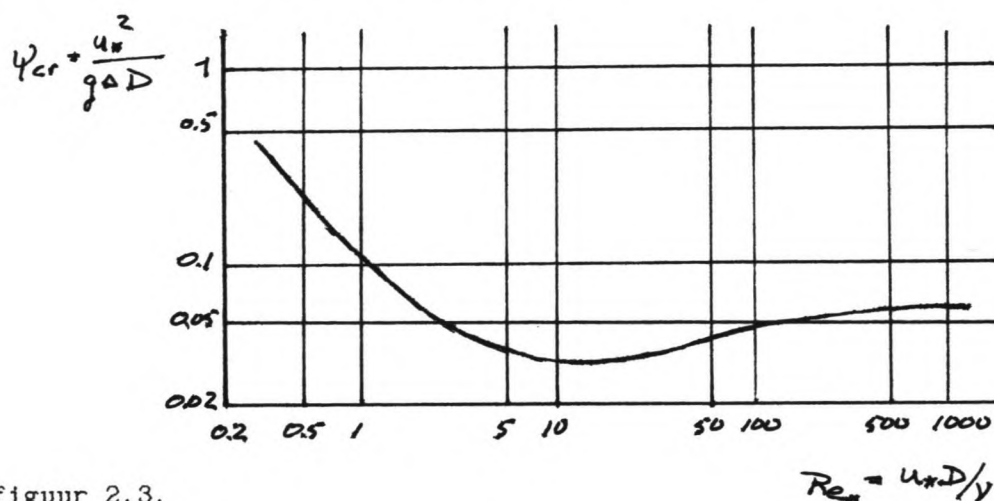
$$k_N'' = 1,1 \times H \times (1 - e^{-25H/L}) = 1,1 \times 1,03 \times (1 - e^{-0,223}) = 0,231 \text{ m.}$$

$$k_N = k_N' + k_N'' = 0,006 + 0,231 = 0,237 \text{ m.}$$

$$C = 18 \log(12 \times 16 / 0,229) = 52,3 \text{ m}^{1/2}/\text{s.}$$

Bij de nu bekende ruwheid (C) is het mogelijk geworden om met behulp van de formule van E-H het bodemtransport uit te rekenen. We moeten ons echter wel realiseren dat deze formule niet geldt zodra we dicht bij

het punt komen waar begin van beweging geldt. Met behulp van de Shields-kromme kan de critieke schuifspanning worden bepaald.



figuur 2.3.

De parameter ψ_{cr} hangt af van de korrelvorm, de viscositeit, het snelheidsprofiel enz. Door Shields werd experimenteel aangetoond, dat het stromingsbeeld rond de korrel wordt gekenmerkt door het Reynoldsgetal $Re_* = u_* D / \nu$. De 'Shieldsparameter' wordt nu $\psi_{cr} = u_*^2 / g \Delta D$. Shields heeft deze waarden gevonden door het extrapoleren van kleine zandtransporten naar geen transport.

$Re_* = (g a i_b)^{1/2} D_{50} / \nu = (9,8 \cdot 16 \cdot 10^{-4})^{1/2} \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} / 10^{-6} = 31,3$
 Uit de grafiek volgt nu een ψ_{cr} van 0,035. Om gebruik te mogen maken van de transportformule van E-H wordt gesteld dat ψ_{cr} een factor 10 hoger ligt, dus $\psi_{cr} = 0,35$. Met het gegeven dat $u_* \sim u$, kan de minimale snelheid worden berekend waarvoor E-H geldt:
 $u = (g \Delta D \psi_{cr})^{1/2} = (9,8 \cdot 1,65 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,35)^{1/2} = 0,038 \text{ m/s}$.
 Dit betekent dat over de gehele getijperiode E-H toepasbaar is.

2.2. Transportbepaling met behulp van Engelund en Hansen.

Zoals reeds eerder is vermeld is het transport afhankelijk van de snelheid van het water. De gevormde ruwheid (C) op de bodem wordt constant verondersteld. We kunnen de watersnelheid bij deze ruwheid berekenen. Het berekende transport volgens de formule van E-H treedt dan ook bij deze snelheid op.

$$u = C (a i_b)^{1/2} = 52,3 (16 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 2,1 \text{ m/s}$$

$$s / (D_{50}^3 g \Delta)^{1/2} = 0,05 / (1 - \epsilon) * (C^2 / g) * (\Delta D_{50} / a i_b)^{-5/2} =$$

$$s / ((0,25 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 9,8 \cdot 1,60)^{1/2} = 0,05 / (1 - 0,4) * (52,3^2 / 9,8) * (1,60 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} / 16 \cdot 10^{-4})^{-5/2}.$$

$$s = 0,011 \text{ m}^2/\text{s}.$$

We weten ook het verband tussen het transport en de snelheid n.l. $s \sim u^5$. Dit betekent dat we nu het transport bij willekeurige snelheden kunnen uitrekenen als verhouding met het zojuist berekende transport.

Bij voorbeeld: Stel dat de snelheid 10% toeneemt dan weten we dat dit een extra transport van 61% oplevert. Een soortgelijk iets gebeurt er bij een snelheidsafname. De berekende transporten zijn weergegeven in tabel 2.2.

Met behulp van de berekende transporten is het mogelijk om een gemiddeld transport over de gehele getijperiode te bepalen door alle transporten op te tellen en te delen door het aantal waarnemingen. Hieruit volgt een gemiddeld transport van $s = 1,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Dit komt overeen met een dagelijks transport van $s = 1,13 \text{ m}^3/\text{dag}$ per strekkende meter breedte.

Dit transport is erg hoog en doet vermoeden dat een groot deel van dit berekende transport zwevend transport is. Een deel van dit transport zal dan niet in de drempel tot bezinking komen. Een andere mogelijkheid is dat de formule van E-H hier niet toepasbaar is. Bijker heeft een formule ontwikkeld om het sedimenttransport langs de kust te voorspellen. Deze formule van Bijker berekent het sedimenttransport op basis van de schuifspanning op de bodem als gevolg van een constante stroming door de getijbeweging en als gevolg van de schuifspanning die ontstaat door de orbitaal beweging van de korte golven. Door de grote diepte van de Nieuwe Waterweg wordt hier aangenomen dat de schuifspanning aan de bodem alleen door de getijstroom wordt veroorzaakt. De berekening van het te verwachten transport ziet er als volgt uit.

$$C' = 18 \cdot \log(12 \cdot a / D_{50}) = 18 \cdot \log(12 \cdot 16 / 400 \cdot 10^{-6}) = 102,3$$

$$C = 18 \cdot \log(12 \cdot a / k) = 18 \cdot \log(12 \cdot 16 / 0,237) = 52,3$$

$$\mu = (C/C')^{3/2} = 0,366 \text{ (ribbelfactor)}.$$

$$\tau_c = \int g \cdot v^2 / C^2 = 1020 \cdot 9,8 \cdot (0,9)^2 / (52,3)^2 = 2,96 \text{ N/m}^2$$

$$\begin{aligned} S_b &= B \cdot D_{50} \cdot g^{1/2} \cdot v \cdot C^{-1} \cdot \exp[-0,27 \cdot \Delta \cdot D_{50} \cdot \int g / (\mu \cdot \tau_c)] \\ &= 5 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (9,8)^{1/2} \cdot 0,9 \cdot (52,3)^{-1} \cdot \exp[-0,27 \cdot 1,60 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \\ &\quad \cdot 1020 \cdot 9,8 / (0,366 \cdot 2,96)] \\ &= 2,48 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sm}. \end{aligned}$$

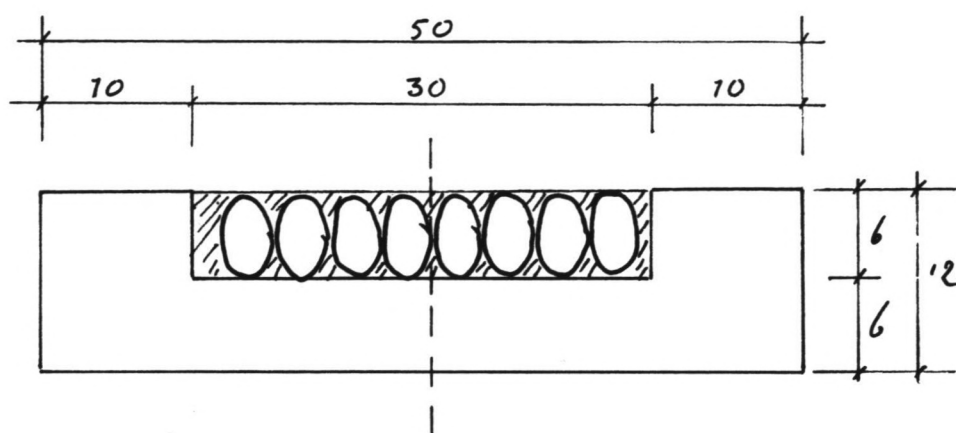
Dezelfde berekening kan uitgevoerd worden voor de andere snelheden.

$v=0,55 \text{ m/s}$	$\tau_c = 1,11 \text{ N/m}^2$	$S_b = 2,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sm}$
$v=0,83 \text{ m/s}$	$\tau_c = 2,52 \text{ N/m}^2$	$S_b = 1,92 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sm}$
$v=0,70 \text{ m/s}$	$\tau_c = 1,79 \text{ N/m}^2$	$S_b = 1,01 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sm}$
$v=0,45 \text{ m/s}$	$\tau_c = 0,74 \text{ N/m}^2$	$S_b = 6,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sm}$

Uit deze berekende transporten volgt een gemiddeld transport over de getijperiode van $S_b = 2,24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sm}$. Dit komt overeen met een transport van $S_b = 0,193 \text{ m}^3/\text{dag}$ per strekkende meter drempellengte.

In onderstaande figuur 2.4. is een doorsnede getekend van de drempel waarin de keringselementen zijn gelegen. De open ruimte tussen, onder en boven de keringselementen bedraagt ongeveer 50 m^2 per meter lengte van de drempel. Dit impliceert dat met het berekende zandtransport de drempel in $50 / 0,193 = 260$ dagen volgestroomd is. In werkelijkheid zal dit nog eerder zijn daar hier nog geen rekening is gehouden met het bezinken van zwevend transport. Bij deze snelheid van volstromen van de

drempel kan overwogen worden om zandvangen voor en achter de drempel te ontwerpen. Hier wordt later op terug gekomen.



figuur 2.4.

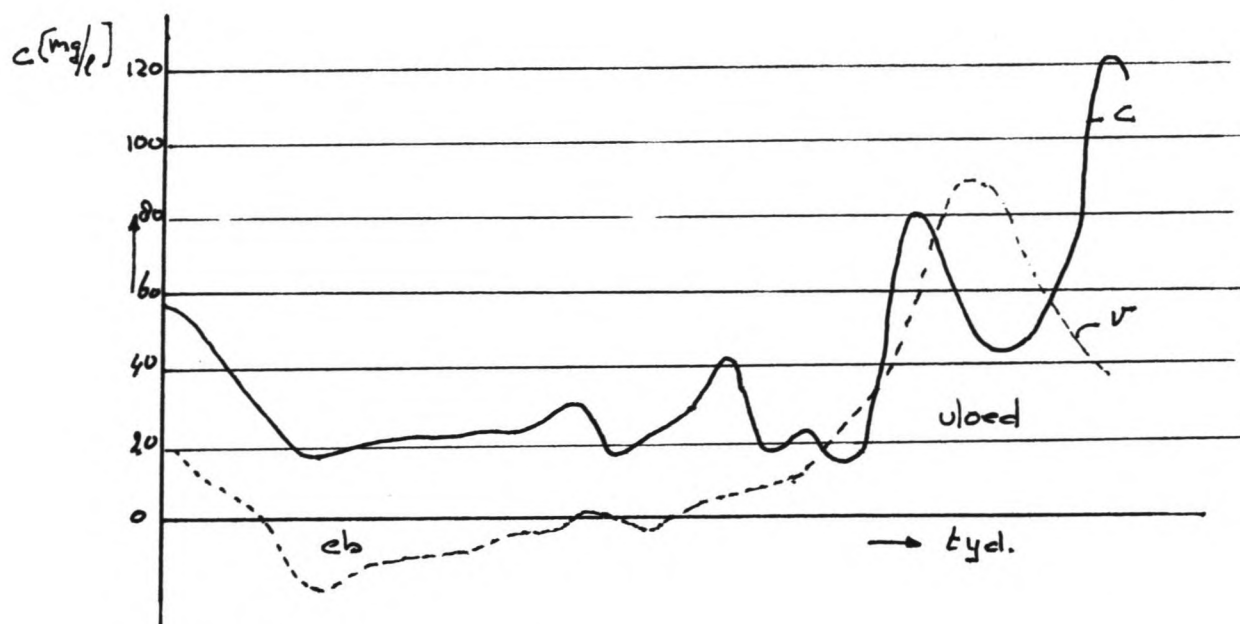
2.3. Sedimentatie door slib.

De sedimentatie van de drempel met de keringselementen is niet alleen afhankelijk van het bodemtransport maar ook van het sediment dat in zwevende toestand door de rivier wordt vervoerd. Om een indruk te krijgen hoe het concentratieverloop nabij de bodem is, is in navolgende tabel deze concentratie uitgerekend met behulp van de meetgegevens (zie bijlagen). De weergegeven concentratie is die concentratie die aanwezig is in de onderste twee meter.

tijd	punt 1		punt 2		gem. gr/s	v cm/s	conc. mg/l
	>50	<50	>50	<50			
6.00	10	14	15	15	13,5	23	58
6.30	9	10	1	1	5,3	10	53
7.00	2	2	2	1	1,8	5	35
7.30	2	2	1	1	1,5	7	21
8.00	4	6	2	2	3,5	19	18
8.30	0	0	15	7	5,5	13	42
9.00	0	1	5	3	2,3	10	23
9.30	2	2	-	-	2,0	9	22
10.00	1	3	-	-	2,0	8	25
10.30	2	3	12	8	6,3	3	208 ?
11.00	1	1	1	0	0,8	3	25
11.30	1	1	1	1	1,0	3	33
12.00	0	0	1	1	0,5	3	17
12.30	0	1	0	1	0,5	2	25
13.00	1	1	2	3	1,8	6	29
13.30	0	2	8	4	3,5	8	44
14.00	3	2	0	0	1,3	8	16
14.30	5	9	1	1	4,0	16	25
15.00	4	5	2	5	4,0	26	15
15.30	20	27	10	9	16,5	45	37
16.00	25	95	28	85	58,3	70	83
16.30	55	90	40	25	52,5	90	58
17.00	60	35	26	30	37,8	83	45
17.30	35	33	23	18	27,3	55	49
18.00	30	33	15	45	30,8	45	68
18.30	15	17	21	110	40,8	33	123

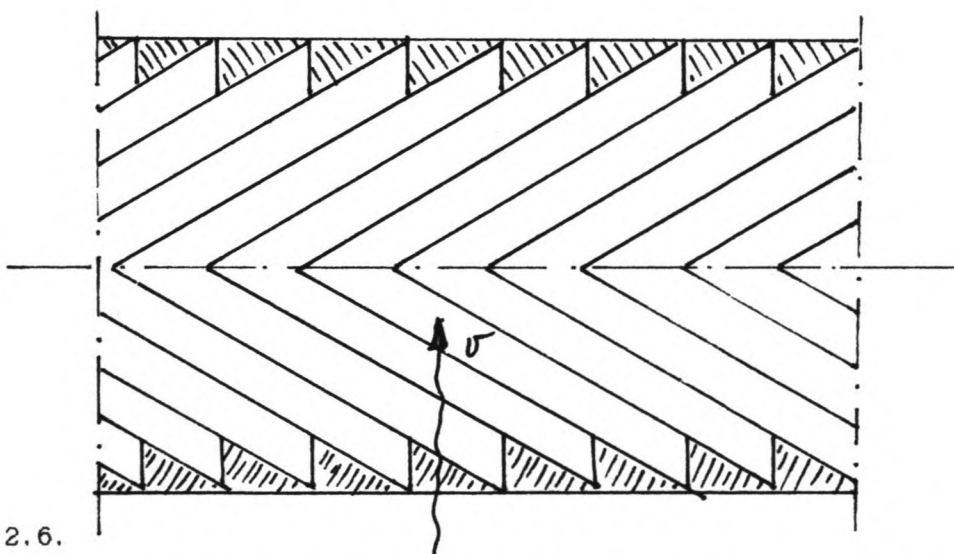
tabel 2.3.

In de figuur 2.5. is duidelijk te zien dat de maximale sediment concentratie optreedt nadat de stroomsnelheid maximaal is geweest. Dit is eenvoudig te verklaren als we bedenken dat het neergeslagen sediment wordt losgewoeld met het toenemen van de schuifspanning. De turbulentie draagt er dan zorg voor dat dit losgewoelde sediment zwevende wordt gehouden. Met het afnemen van de watersnelheid neemt ook de turbulentie af en zal het sediment weer willen bezinken waardoor de concentratie aan de bodem zal toenemen.



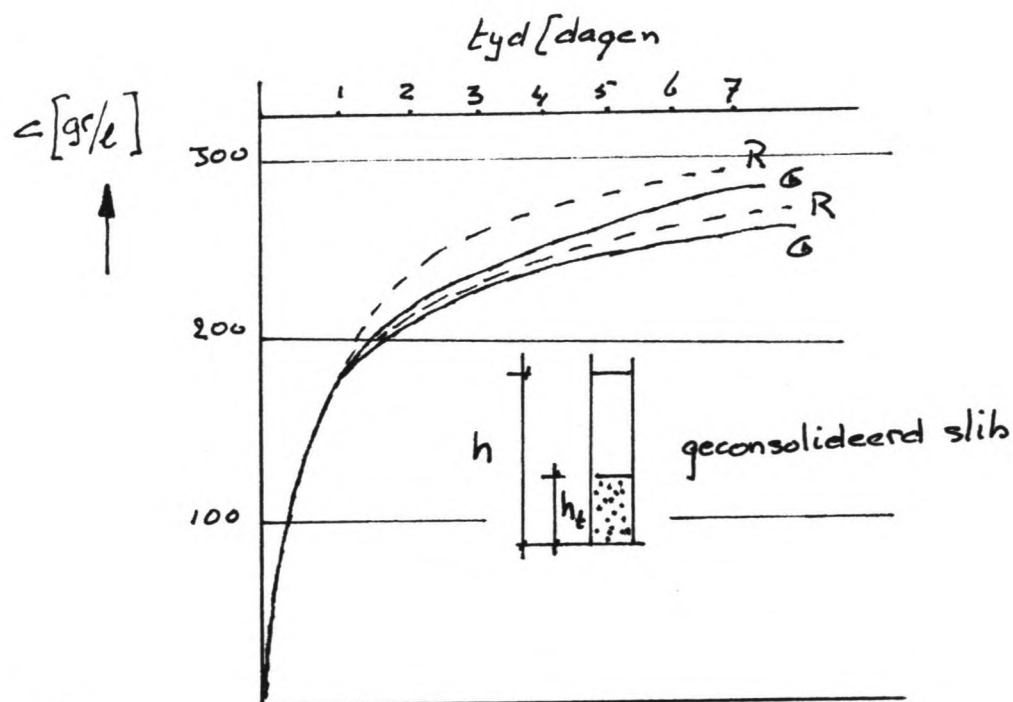
figuur 2.5.

Om nu iets te kunnen zeggen hoe de sedimentconcentratie in de drempel onder de keringselementen zal verlopen wordt eerst gekeken hoe de stroming over de drempel en de daarin liggende keringselementen plaats vind.



figuur 2.6.

Bij toenemende sedimentconcentratie zal door turbulentie het open gedeelte (1) in de drempel (daar zijn de scharnieren geplaatst) dezelfde concentratie aannemen als de daarboven gelegen vloeistofstroom. Het water dat nu een hogere concentratie aan vaste deeltjes krijgt, krijgt daardoor ook een hogere soortelijke massa. De vloeistof onder de keringselementen heeft nog de lage concentratie en doordoor ook een lagere soortelijke massa. Er zal nu onder de keringselementen een uitwisselingsstroming ontstaan waarbij de vloeistof met lage concentratie aan sedimentdeeltjes wordt verdrongen door de vloeistof met een hoge concentratie aan sedimentdeeltjes. Aangenomen wordt dat er volledige uitwisseling plaats vindt in de tijd dat de maximale concentratie aanwezig is. Dit betekent dat bij ieder getij de maximale concentratie van 123 mg/l onder de keringselementen wordt bereikt. Tussen twee opeenvolgende maxima zal bezinking plaatsvinden.



figuur 2.7.

Uit consolidatie proeven, die met Rotterdams en Guyanees slib zijn gedaan, blijkt dat een met slib gevulde cylinder na een halve dag al zover bezonken is dat de concentratie is opgelopen tot ongeveer 100 gr/l. Dit betekent in dit geval dat de gemiddelde laag van 0,64 cm. met een concentratie van 123 mg/l is uitgezakt tot een laag van $0,64 \times 123 / 100000 = 0,8 \text{ mm}$. Deze redenering zou opgaan wanneer geen aanvulling zou plaatsvinden. Doordat het sediment uitzakt wordt de concentratie in de bovenlaag kleiner dan die van de omgeving en zal er dus aanvulling plaatsvinden. Aangenomen wordt dan ook dat de aanvulling zodanig is dat er in een getij een slibneerslag plaatsvindt van 1 mm met een concentratie van 100 gr/l. Ook blijkt uit de consolidatie proeven dat de maximale concentratie van het bezonken slib 300 gr/l bedraagt. Dit betekent dat er per getij een laag slib neerslaat van $1/3 \text{ mm}$ met een concentratie van 300 gr/l een soortelijkgewicht van 1180 kg/m^3 . Bij een jaarlijkse sluiting van de kering is er dus $365 \times 2 \times 1/3 = 234 \text{ mm}$ gesedimenteerd.

2.4. Sedimentatie in de drempel.

In de voorgaande paragrafen zijn berekeningen uitgevoerd ter bepaling van de hoeveelheid te verwijderen sediment. Dit is opgebouwd uit:

-a- zand (rollend en half zwevend). Gemiddeld is dit $0,193 \text{ m}^3/\text{dag}$.

Dit komt overeen met een laag van $0,193/30 = 6,5 \text{ mm}$.

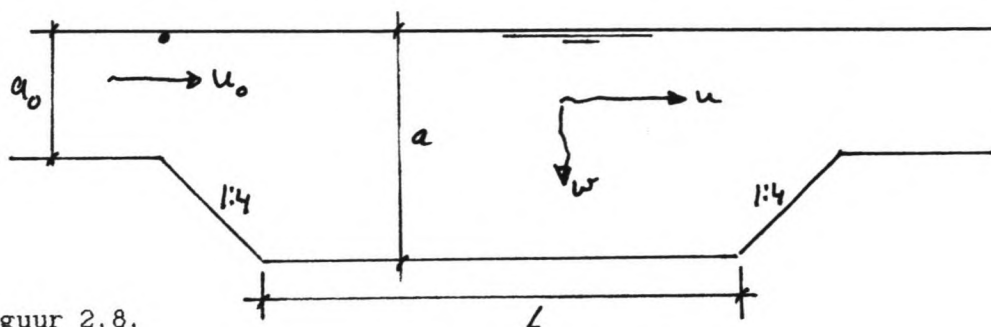
-b- slib. Uitgezakt komt de sliblaagdikte overeen met $0,7 \text{ mm}$.

Totaal bezinkt er ongeveer $7,2 \text{ mm}$ sediment per dag.

Dit alles is berekent op basis van een gemiddeld getij en een bovenafvoer van $1013 \text{ m}^3/\text{s}$. Beter is het om de sedimentatie te bepalen bij een dominante afvoer. Daar ik niet de beschikking heb over deze gegevens wordt hier aangenomen dat deze gegevens gelden als meetgevend.

2.5. Ontwerp van een zandvang.

Het beginsel van een zandvang bestaat uit het verlagen van de stroomsnelheid (u) door het vergroten van de breedte en/of de diepte. Daardoor treedt onder invloed van de valsnelheid (W) sedimentatie op.



figuur 2.8.

Uit figuur 2.8. volgt dat een deeltje, dat zich bij het begin van de zandvang aan de waterspiegel bevindt, nog juist in de zandvang terecht komt als $L/a > u/W$. De bodem van de zandvang zal dan meestal lager liggen dan de aansluitende waterlopen. Met $Q = B \cdot a \cdot u$ geeft dit:

$$Q/W = L \cdot B \quad (1)$$

Deze beschouwing is te optimistisch, omdat de opwaartse beweging als gevolg van *turbulente diffusie* is verwaarloosd. Aan de andere kant is de beschouwing te pessimistisch, omdat in figuur 2.8. eigenlijk de voorwaarde $L/a_0 > u/W$ al voldoende is. Bovendien geeft vergelijking (1) geen uitspraak over de diepte. Deze moet in ieder geval zo groot zijn, dat er in de zandvang geen noemenswaardig bodemtransport plaatsvindt. Voor een zandvang door alleen diepte-vergroting toe te passen blijft de waarde van q constant en is er alleen enige invloed op de ruwheid (C). Voor dit geval heeft Van Rijn (1985) een groot aantal berekeningen uitgevoerd, waarvan het resultaat hier kan worden gebruikt. (zie bijlage) De efficiency van de zandvang wordt gedefinieerd als

$$E = (s_0 - s_1)/s_0$$

s_0 = aangeboden transport.

s_1 = transport op de bodem van de zandvang.

er geldt nu:

$$E = f(u_0, W/u_{*0}, (a - a_0)/a_0, L/a_0, \tan \gamma)$$

γ = de hoek die het talud van de zandvang maakt met de horizontaal.

Voor de valsnelheid van kleine deeltjes geldt de wet van Stokes.

$$W = (\Delta \cdot g \cdot D^2) / (18 \cdot \nu)$$

Als voorbeeld de volgende berekening:

De locatie van de kering bevindt zich bij Km.1025. Uit de granuele samenstelling van de bodem aldaar (zie tabel 1.1. blz 4.) blijkt dat 96% van de deeltjes groter is dan $0,21 \cdot 10^{-3}$ m.

De valsnelheid van deze deeltjes bedraagt:

$$W = (1,65 \cdot 9,81 \cdot (0,21 \cdot 10^{-3})^2) / (18 \cdot 10^{-6}) = 0,04 \text{ m/s.}$$

$$u_{*0} = (9,81 \cdot 16 \cdot 10^{-4})^{1/2} = 0,125 \text{ m/s}$$

$$W/u_{*0} = 0,32$$

Door nu te manipuleren met het talud en de diepte van de zandvang kan bij een gegeven efficiency de benodigde lengte gevonden worden.

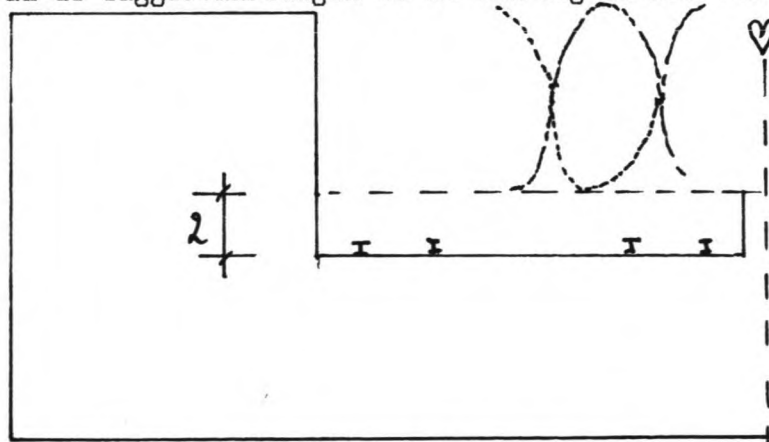
3.1. Het schoon houden van de drempel en de zandvangen.

Baggerwerkzaamheden zijn in de Nieuwe Waterweg een continue terugkerende bezigheid. Er zijn verschillende methoden om de vaarweg op diepte te houden en een zandvang te ontdoen van zijn opgevangen sediment. In het kader van de Minimalisering Kosten Onderhoudsbaggerwerkzaamheden [lit.6] is een onderzoek gedaan naar de effectiviteit van de verschillende baggermethoden en hoe deze te optimaliseren. Een van de belangrijkste parameters voor de effectiviteit van het baggerproces is de dichtheid van de gesedimenteerde laag. Een andere heel belangrijke factor is die van het volumepercentage gas in de te baggeren specie. Uit onderzoek is gebleken dat 3 a 5 volumepercenten gas dit baggerrendament aanzienlijk kunnen verlagen. Het gedrag van het gas in slib is als volgt te karakteriseren. In de zuigbuis zal op toenemende hoogte de absolute druk afnemen. Door het stijgen van de gasbellen zal het volume van de bellen toenemen. (b.v. bij een zuigdiepte van 30 meter zo'n 15 maal). Tengevolge van de grote hoeveelheden gas valt het drukverschil over de pomp weg. Om een goed zuigproces te kunnen onderhouden moet dit gas voor de pomp worden afgevoerd.

De te ontwerpen zandvangen kunnen met behulp van een sleephopperzuiger worden leeggezogen. Voor de drempel waarin de keringselementen liggen moet echter iets anders worden verzonnen. Uit de berekening volgt een aanslibbing van ca. 25 cm. per jaar. In de randvoorwaarden voor het functioneren van de kering is gesteld dat deze maximaal 1 maal per jaar gesloten mag worden voor de benodigde onderhoudswerkzaamheden. Met de gevonden aanslibbing kan gesteld worden dat 1 maal per jaar voldoende is. In dit geval staan de keringselementen vertikaal en is het mogelijk geworden om onder de elementen door de bodem schoon te maken. Gedacht wordt aan de volgende oplossing. De geconsolideerde sliblaag wordt schoongemaakt met behulp van een dustpan. Dit is een groot soort stofzuiger met waterjets. Deze waterjets spuiten water onder hoge druk waarmee het mogelijk is geworden om het geconsolideerde slib los te spoelen en daardoor gemakkelijk op te zuigen. Deze dustpan is aangesloten op een lange buis welke het slibmengsel afvoert naar een opvangbak. Als er niet wordt gebaggerd ligt de dustpan op het landhoofd en kan daardoor continue worden onderhouden.

3.2. Verdiepen van de drempel.

Een mogelijke oplossing voor het beperken van de hinder voor de scheepvaart van de baggervaartuigen in de vaarweg is het verdiepen van de drempel.



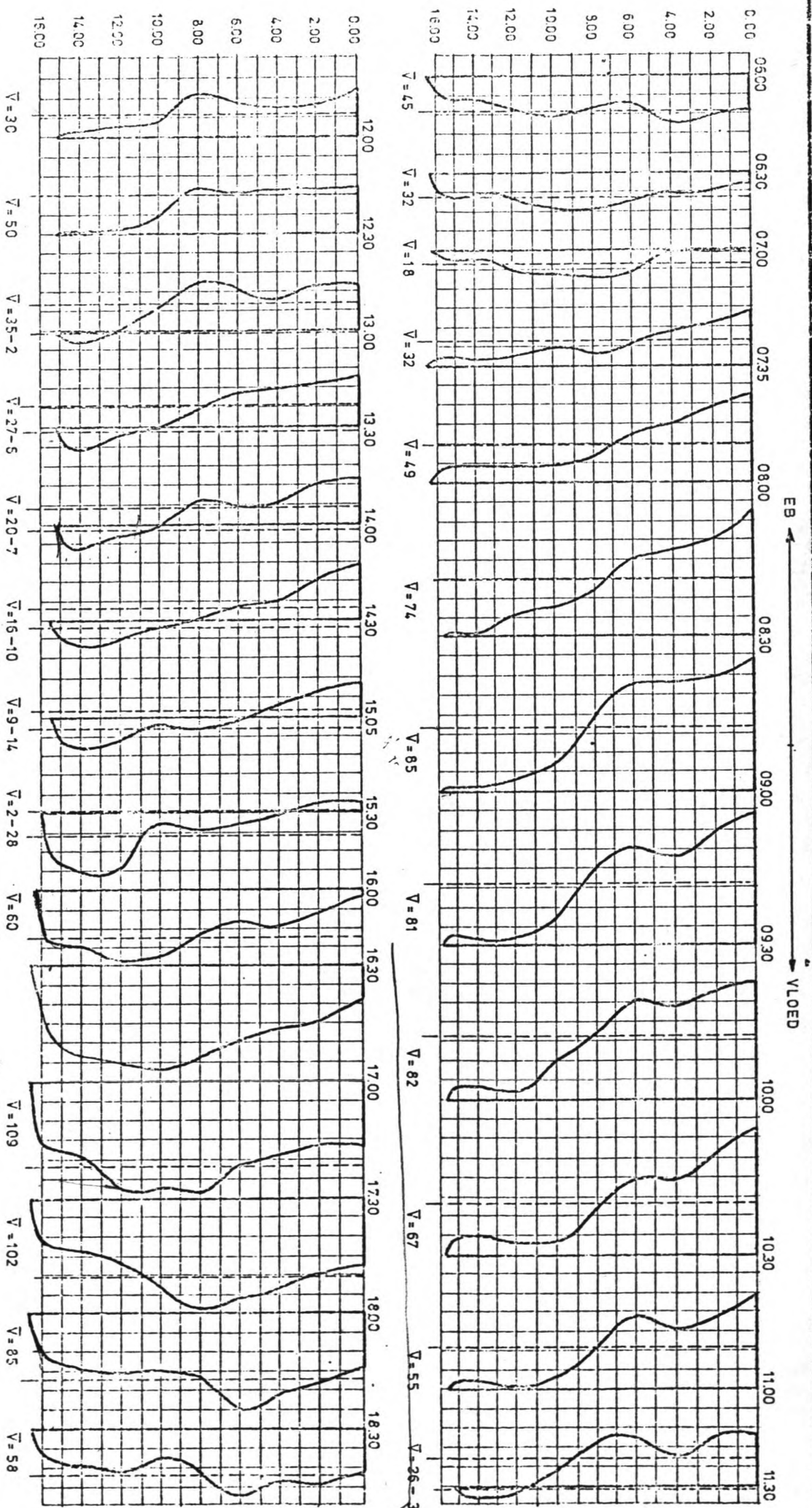
figuur 2.9.

Zoals in figuur 2.8. is aangegeven is het mogelijk om de keringselementen in het midden te ondersteunen waardoor twee gangen ontstaan die dan als sediment opvangbak fungeren. Met behulp van een dustpan en een pomp op een rail is het mogelijk geworden om continue sediment te verwijderen. Het afgevoerde sediment kan dan worden opgevangen in een verzamelbak en elders worden geloosd.

Literatuurlijst

- 1 Vloeistofmechanica b71N (juli 1984) T.U.D.
Prof. dr. ir. M. de Vries
- 2 Rivieren f8N (1985) T.U.D.
Prof. dr. ir. M. de Vries
- 3 Rivierwaterbouwkunde b.o. f13B (juni 1986) T.U.D.
Prof. dr. ir. M. de Vries
- 4 Coastal Engineering (I) f11A (januari 1986) T.U.D.
W.W. Massie, P.E.
- 5 Eindrapportage slibwolksignalering MKO R 87.11
Rijkswaterstaat
- 6 MKO Minimalisering Kosten Onderhoudsbaggerwerk (mei 1987)
Rotterdam, Rijkswaterstaat.
- 7 Stroom- zout en sedimentmeting Kmr.1021 (juni 1976)
Gemeentewerken Rotterdam.





AFVGER RIJN TE LOBITH 1013 m³/sec. (28-6-1976)

SCHAAL: hor 1 cm = 50 cm/sec = ———

vert 1 cm = 200 cm

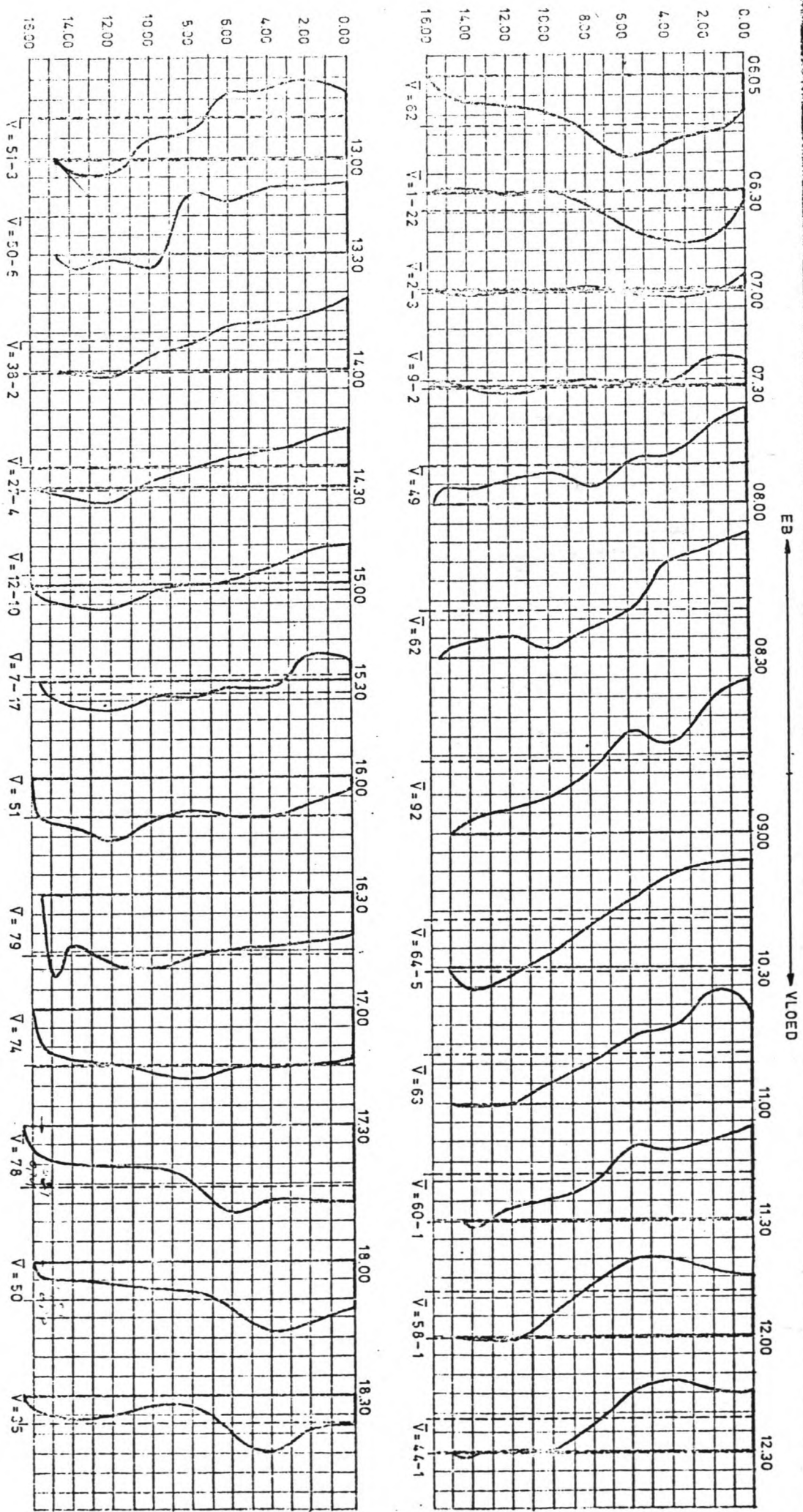
STROOMVERTIKALEN
STROOMSNELHEID 1 OP DE RAAI

Km. 1021.
PUNT 1

GEHEENTWERKEN ROTTERDAM,
AFD HAVENWERKEN-STUDIEBUREAU

6

d.d 30 JUNI 1976



AFVOER RIJN TE LOBITH 1013 m³/sec. (28-6-1976)

SCHAAL: hor 1cm = 50 cm/sec = 1

vert 1cm = 200 cm

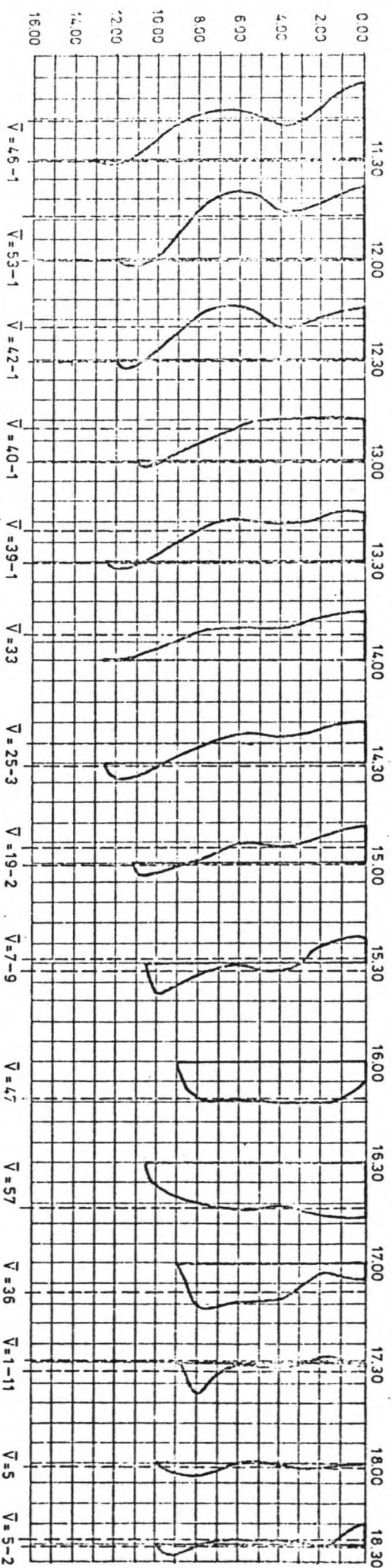
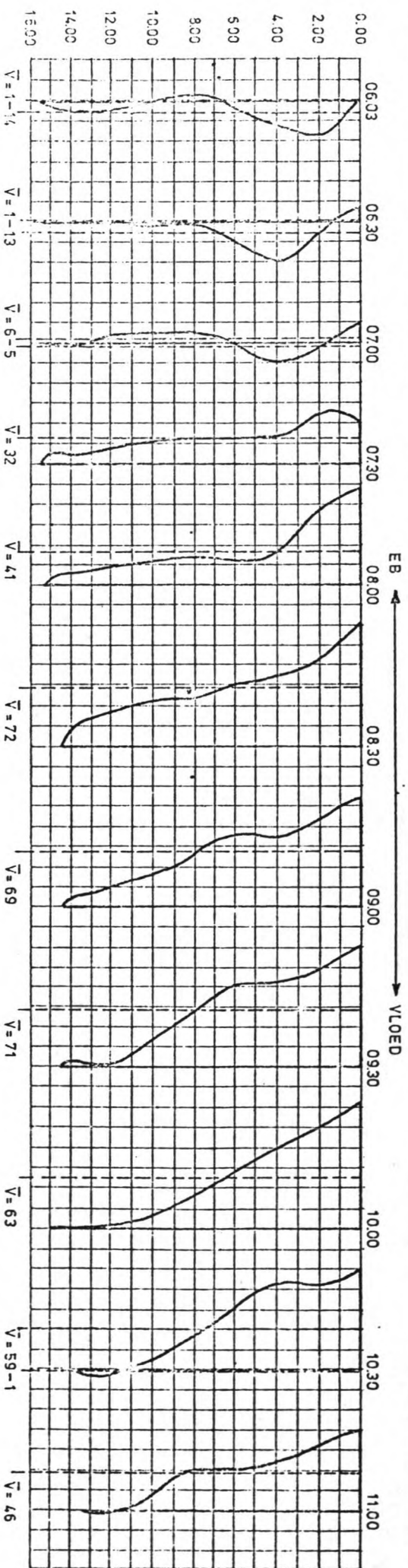
10 200

STROOMVERTIKALEN
STROOMSNELHEID 1 OP DE RAAL

KM 1021
PUNT 2

SEMELINGWERKEN ROTTERDAM
AEN WED. J. VAN DER WERKEN - ROTTERDAM

30 JUNI 1976



AFVOER RIJN TE LOBITH 1013 m³/sec. (28-6-1976)
 SCHAKEL: hor 1 cm = 50 cm/sec =
 vert 1 cm = 200 cm

STROOVERTIKALEN
 STROOMSNELHEID L OP DE RAAL

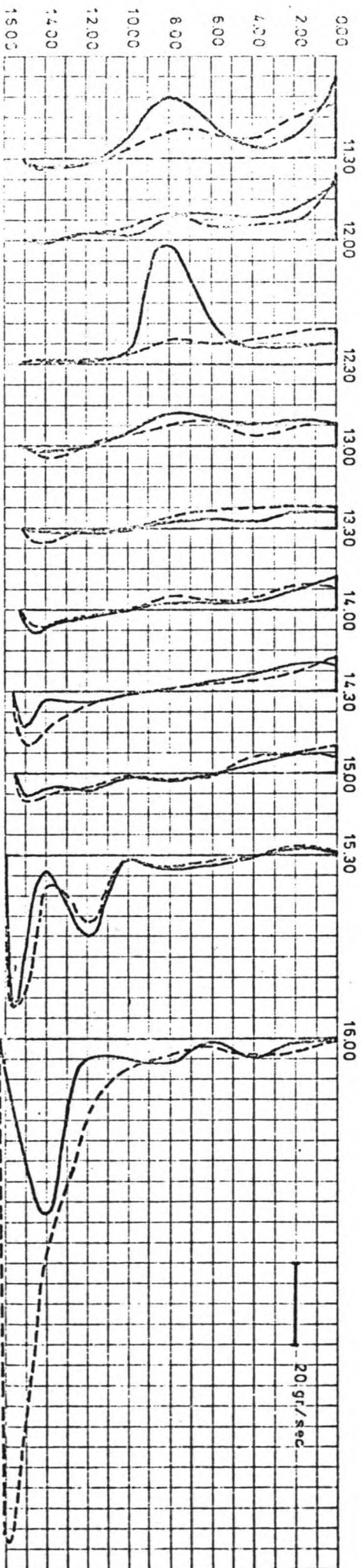
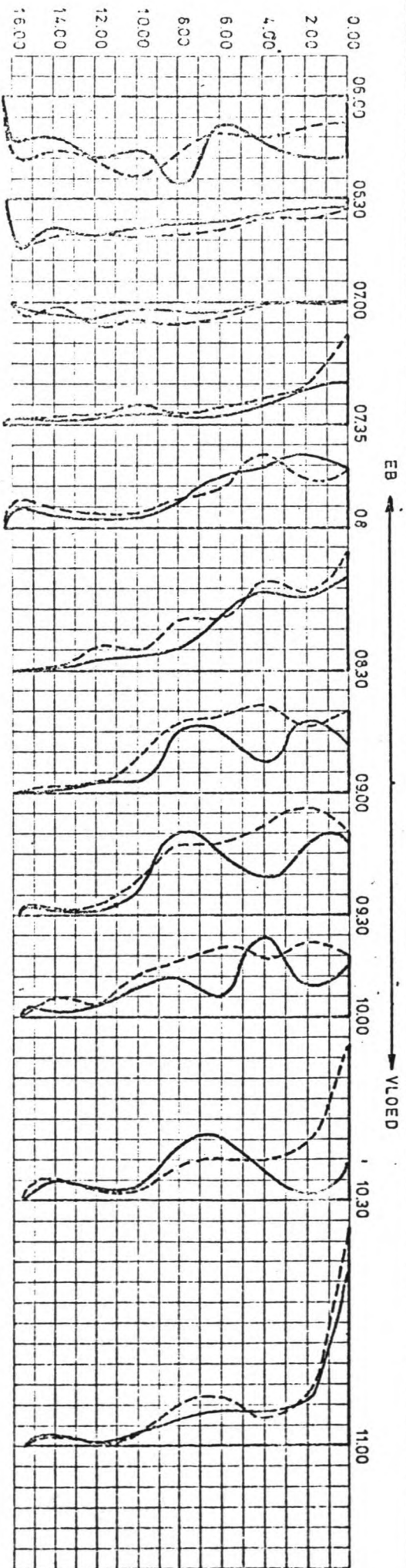
Km 1021
 PUNT 3

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM

dd. 30 JUNI 1976

AFD. VERK. DIJKE

8



AFVOER RYN TE LOBITH

1013 m³/sec (d.d. 28-6-1976)

SCHAAL:

HOR: 1 cm =

VERT: 1 cm = 200 cm

SEDIMENTTRANSPORT

CEMENTIWERKEN ROTTERDAM
AFD. HAVENWERKEN - S'JOD-BUREAU

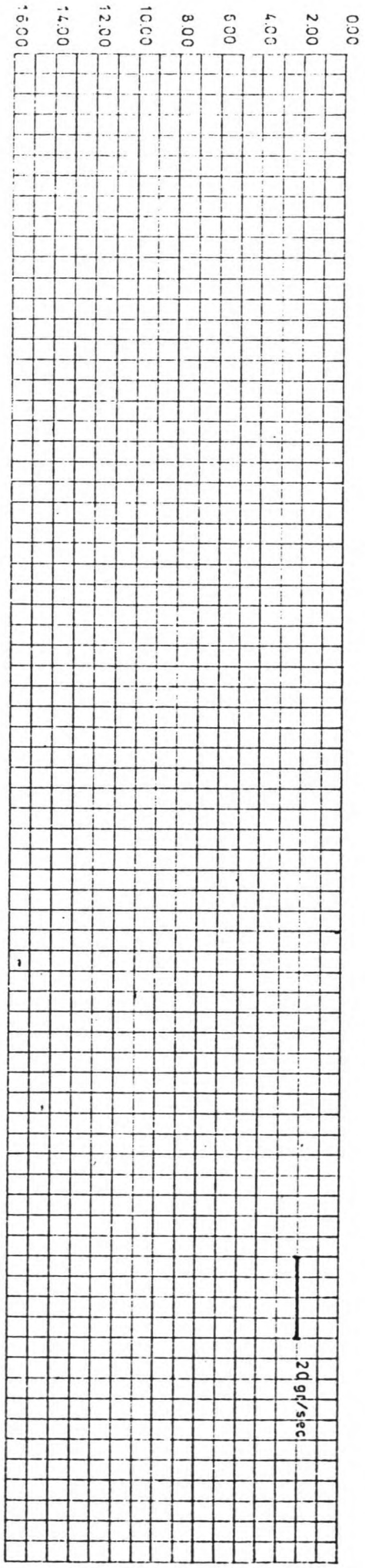
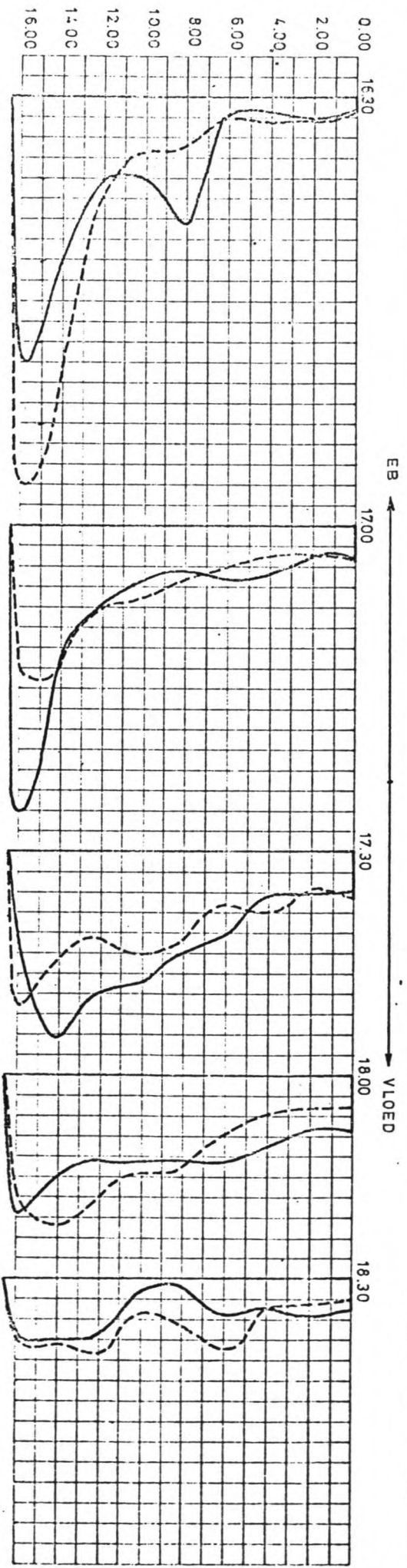
blad 1

141

d.d. 30 JUNI 1975

Km. 1021

PUNT 1



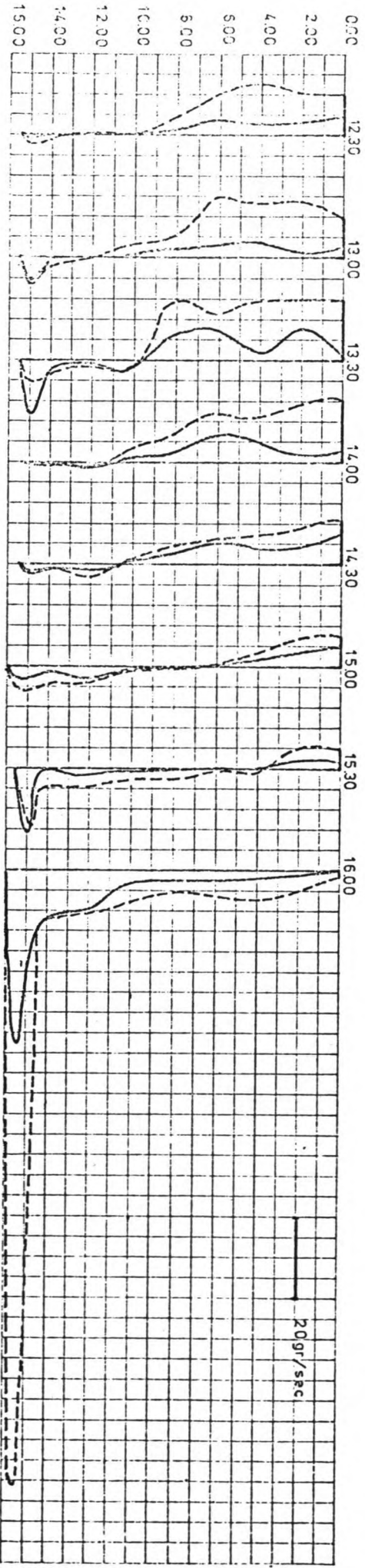
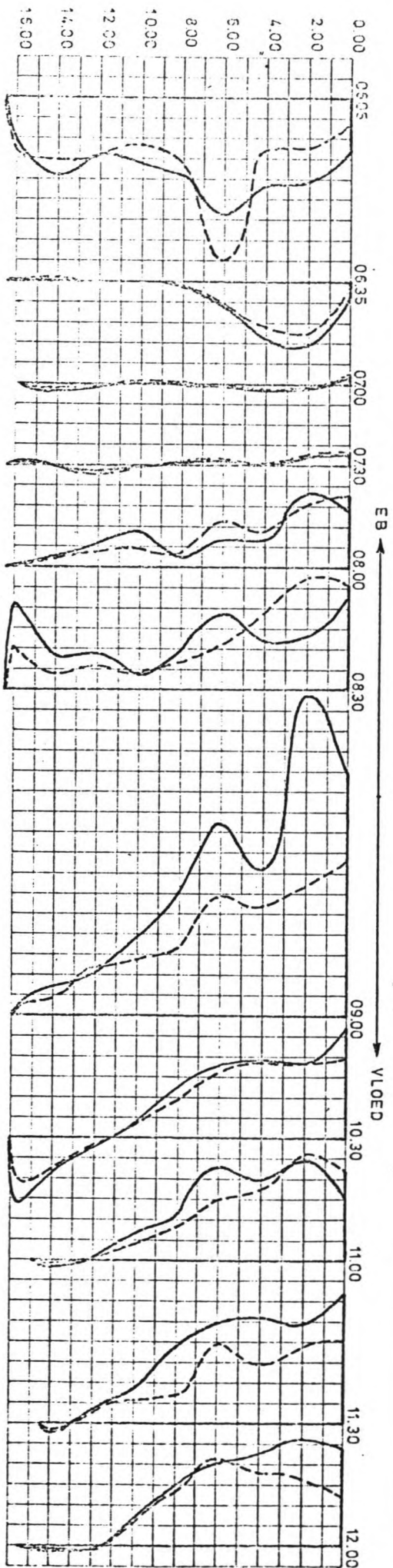
AFVIER RUN TE LOBITH 1013 m³/sec. (d.d. 28-6-1976)
 SCHAKAL:
 HOR : 1 cm =
 VERT : 1 cm = 200 cm.

— > 50 μ
 - - - < 50 μ

20 g/sec

SEDIMENTTRANSPORT

GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM		blad 2		Km. 1021 PUNT 1
AEG HAVENWERKEN - STUDBUREAU		142		
				d.d. 30 JUNI 1976



AFVOER RUN TE LOBITH 1013 m³/sec. (d.d. 28-6-1976)
 SCHAKAL:
 HOR : 1 cm =
 VERT : 1 cm = 200 cm.

SEDIMENTTRANSPORT

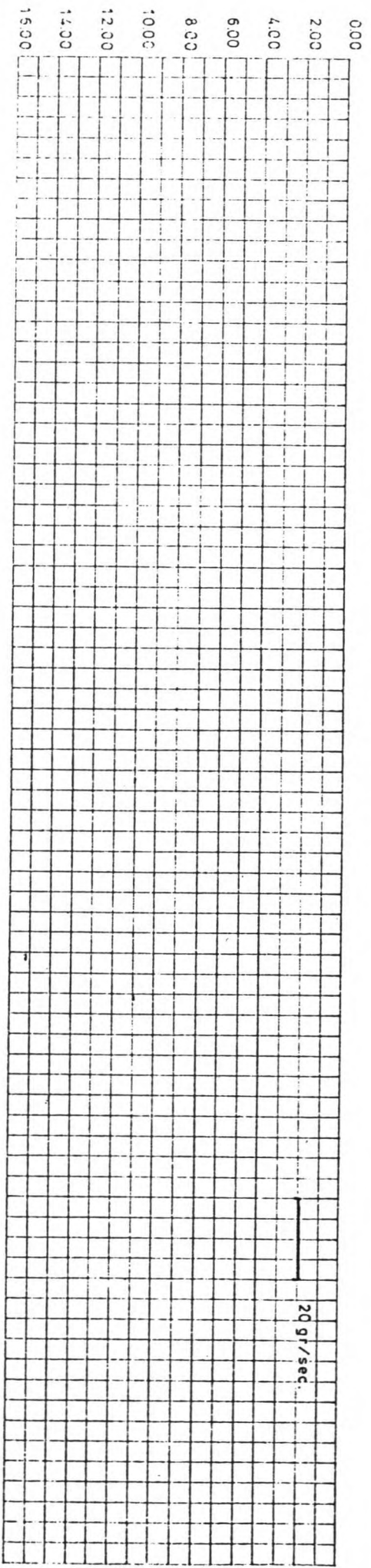
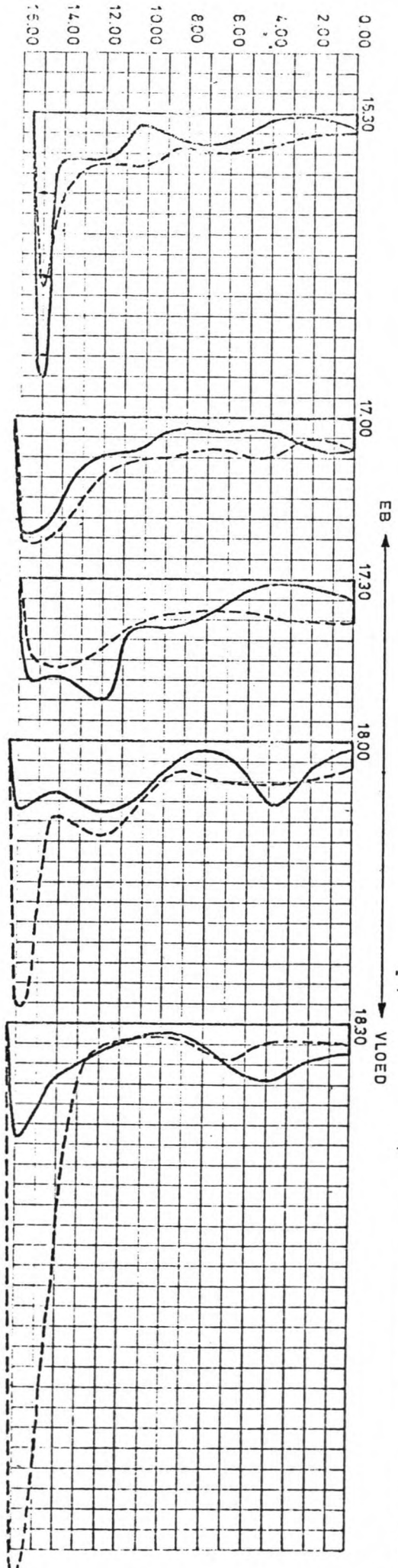
blad 1

Km. 1021

PUNT 2

CEMENTWERKEN ROTTERDAM

d.d. 30 JUNI 1975



AFVOER RUN TE LOBITH 1013 m³/sec.(d.d. 26-6-1976)
 SCHAAL:
 HOR : 1 cm =
 VERT : 1 cm = 200 cm.

SEDIMENTTRANSPORT			
GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM			
A&O HAVENWYSEN-STUDIEBUREAU			
blad 2			
152			
d.d. 30 JUNI 1976			
Kmr. 1021			
PUNT 2			

Fig. 3.3 Efficiency zandvang bij alleen verdieping (van Rijn, 1985)

Lijnen voor gelijke waarden van W/u^*_{*0}

