



Waterloopkundige aantasting
van vaarwegdwarsprofielen

doc.rapport opzet, voorbereiding
en uitvoering prototype-metingen
Hartelkanaal (OeBes-'81)



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

Waterloopkundige aantasting van vaarwegdwarsprofielen

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

Deel van documentatierapport omtrent opzet, voorbereiding
en uitvoering van prototypemetingen Hartelkanaal (OeBes -'81)

VOORWOORD

In opdracht van de Deltadienst van Rijkswaterstaat wordt door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft systematisch onderzoek naar de aantasting van dwarsprofielen van vaarwegen verricht (onderzoek M III5). Hoofddoel hiervan is te komen tot ontwerpcriteria voor oeververdedigingsconstructies van scheepvaartkanalen.

Hiertoe is eerst onderzoek verricht naar de waterbeweging zoals die veroorzaakt wordt door in een kanaal varende schepen. Vervolgens werden de erosieaspecten in de vaargeul en de schade aan de oeverbekledingen onderzocht.

Gezien de beperkingen die modelonderzoek kent leek het wenselijk om de resultaten van het modelonderzoek in de werkelijkheid te verifiëren. Zodoende werden in september 1981 in het Hartelkanaal ter plaatse van de Beerdam (Maasvlakte) prototype-proeven uitgevoerd met enkele duwformaties, onder de naam: OeBes - '81.

Ondergetekende werd door de Deltadienst in de gelegenheid gesteld om aanwezig te zijn bij de proeven en daar bij de transportmetingen te assisteren. In het kader van zijn afstuderen aan de TH-Delft in de richting Algemene Civiele Techniek werd door ondergetekende een deel van een documentatierapport over de opzet en voorbereiding van OeBes '81 verzorgd, alsmede een ruwe analyse van enige meetresultaten verricht.

Voor U ligt thans het deel van het documentatierapport dat verzorgd is door ondergetekende. Het bevat achtereenvolgens (nummering volgens de aanvankelijke opzet van het totale rapport):

-Verhandeling over hetgeen bij de aanvang van de proeven bekend was omtrent de waterbeweging zoals die veroorzaakt wordt door een in een kanaal varend schip; (Hoofdstuk 4);

- Verhandeling over hetgeen bij de aanvang van de proeven bekend was omtrent de belasting op oevers door de waterbeweging veroorzaakt door varende schepen, alsmede enige bestaande ontwerpformules voor oeververdedigingen (Hoofdstuk 4);
- Beschrijving van het programma van eisen en de gekozen opzet van de metingen (Hoofdstuk 4);
- Predictie van de tijdens de proeven te verwachten waterbeweging en hoeveelheid transport (Hoofdstuk 4);
- Beschrijving van de gerealiseerde meetopstelling (Hoofdstuk II);
- Beschrijving van de uitvoering van de metingen (Hoofdstuk I4).

Bij de samenstelling van dit rapport is onder meer gebruik gemaakt van interne nota's welke opgesteld waren ter voorbereiding van de proeven. Daar deze nota's, zoals is aangegeven, voor intern gebruik waren bestemd zijn deze niet in de literatuurlijst opgenomen.

Ondergetekende is veel dank verschuldigd aan de Deltadienst van Rijkswaterstaat voor de toestemming om de OeBes - proeven te mogen bijwonen en in het bijzonder aan de heren H.G. Blaauw en M van der Wal voor hun immer bereidwilligheid tot het verstrekken van informatie.

Delft, juli 1981 A. Ferguson

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk 4 : De waterbeweging in het kanaal

4.0	<u>Waterstanden Hartelkanaal</u>	4.0.I
4.I	<u>Waterbeweging veroorzaakt door voortbewegend schip</u>	I.I
4.I.0	Translatiegolven	I.I
4.I.I	Scheepsgebonden waterbeweging	I.6
4.I.I.0	Korte beschrijving waterbewegingscomponenten	I.6
4.I.I.I	Nadere beschrijving waterbewegingscomponenten	I.8
4.I.I.I.A	Retourstroom, waterspiegeldaling en grenssnelheid	I.9
	B Haalgolf en taludvolgstroom	I.24
	C Boeggolf	I.26
	D Secundaire sloopgolven	I.27
	E Schroefstraal	I.32
4.I.I.2	Wensen t.a.v. metingen aan de waterbewegingscomponenten	I.35
4.2	<u>Belasting op de oevers door de waterbeweging veroorzaakt door varende schepen</u>	2.I
4.2.I.A _I	Retourstroom	2.2
	A ₂ Spiegeldaling	2.II
	B _I Haalgolf	2.23
	B ₂ Taludvolgstroom	2.28
	D Secundaire sloopgolven	2.30
	E Schroefstraal	2.33
4.2.2	Wensen t.a.v. de metingen aan erosie en stabiliteit	2.35
4.3	<u>Opzet metingen</u>	3.I
4.3.0	Programma van eisen	3.I
4.3.I	Keuze t.a.v. de metingen	3.6

4.4 <u>Predictie waterbeweging tijdens de proeven</u>	4.I
4.4.I Berekeningen betreffende de waterbeweging	4.I
4.4.2 Berekeningen betreffende het transport	4.I2
4.4.2.I Bepaling kritieke waarden waterbewegingscomponenten	4.I2
4.4.2.2 Globale schatting van het te verwachten transport	4.I9

Hoofdstuk II : Beschrijving van de definitieve meetopstelling

Hoofdstuk I4 : Organisatie en uitvoering van de metingen

I4.A Organisatie van het personeel	I4.I
I4.B Voorbeeld vaarprocedure	I4.3
I4.C Vaartprogramma	I4.7
I4.C.I Oefenvaarten	I4.7
I4.C.2 Meetvaarten	I4.8

Literatuurlijst

Bijlagen

A I - A 5	Relaties vaarsnelheid - waterbeweging
A 6	Kritieke waarden van taludvolgstroom, golfhoogten en haalgolf
A 7	Relatie vermogen - taludvolgstroom
A 8	M III5 : Max. waarden waterbewegingscomponenten; versnelling, nauwkeurigheid (gewenst).
B I - B 5	Tabellen : Transport door retourstroom
B 6 - B 8	Tabellen : Transport door haalgolf
B 9 - B 10	Tabellen : Transport door taludvolgstroom
B II	Transport door secundaire scheepsgolven
C	Monster-analyse, zeefkrommen
D I	Begin van beweging volgens WL
D 2	Relatie transportparameter - schuifspanningsparameter
D 3	Relatie $\Delta\psi - Re_x$

HOOFDSTUK 4 : DE WATERBEWEGING IN HET KANAAL

4.0 Waterstanden Hartelkanaal

Omdat de aanleg van de proefvakken van basalt en betonsteen (de vakken 2 t/m 5) en de plaatsing van de meetinstrumenten aldaar (in het bijzonder de verschildrukmeters) zoveel mogelijk in het droge dient te geschieden, is tijdens de uitvoering van deze werkzaamheden een lage waterstand vereist. Gedurende de proeven echter is juist een hoge waterstand gewenst, om het droogvallen van meetinstrumenten tijdens de metingen zoveel mogelijk te beperken, en verschildrukmeters en waterspanningsmeters voldoende ver onder water staan. De keuze van de waterstanden wordt beperkt door de mogelijkheden die het beheer van de waterhuishouding van het Hartelkanaal biedt.

-Mogelijke waterstanden-

De waterstand op het Hartelkanaal wordt bepaald door de volgende factoren:

- buitenwaterstand (rivierafvoer en getijbeweging)
- aantal schuttingen in de Hartelsluis (beheer RWS) en in de Rozenburgsluis (beheer Rotterdam)
- waterhuishouding Brielse Meer
- overige in- of uitlaat van water (spuien) t.b.v. peilbeheersing.

De laagste waterstand die gedurende langere tijd verwezenlijkt kan worden is die rond de buitenwaterstand bij laagwater; N.A.P. -0,40 á N.A.P. -0,50 m.

De hoogste waterstand die mogelijk is wordt begrensd door de eis, dat wanneer de waterstand in het Brielse Meer hoger wordt dan N.A.P. +0,15 m ten alle tijde met vrij verval op het Hartelkanaal gespuid moet kunnen worden.

Ook is men bij het creëren van een hoge waterstand afhankelijk van de buitenwaterstand. Een vast hoog peil is moeilijk te handhaven, maar een waterstand gedurende langere tijd van N.A.P. -0,20 m is haalbaar.

Een zeer constante waterstand in het Hartelkanaal is alleen te verwezenlijken indien niet ten alle tijde in de sluizen gesbut wordt (bij lage buitenwaterstanden). Dit houdt echter een beperking van het scheepvaartverkeer in, hetgeen zoveel mogelijk voorkomen dient te worden.

Een andere beperkende factor vormen de werkzaamheden elders aan het talud van het Hartelkanaal, waarbij een lage waterstand vereist is. Overeenkomsten tussen GWR en de uitvoerenden van die werkzaamheden kunnen mogelijk een beperking van de toegestane duur van hoge waterstand inhouden.

-Gewenste waterstanden voor OEBES-

Gelet op het hiervoor gestelde waterstandsbereik werden de volgende eisen betreffende de waterstanden tijdens het OEBES-project geformuleerd:

- 1)-tijdens aanleg proefvakken: zo laag mogelijk, dus maximaal N.A.P. -0,40 m
- 2)-tijdens de test- en de proefvaarten: zo hoog mogelijk, vrij constant, dus
minimaal N.A.P. -0,20 m

met de aantekeningen dat: tijdens de proefvaarten met de duweenheid een zeer constante waterstand verlangd wordt;
in de periode tussen de aanleg van de proefvakken en het testvaren de waterstand op zijn minst incidenteel hoger dan N.A.P. -0,40 m zal zijn, dit i.v.m. het mogelijke uitdrogen van de keramische filters van drukverschil- en waterspanningsmeters.

-Afspraken met beheerders sluizen-

De beheerders van de Hartelsluizen zegden toe om, in overleg met de beheerder van de Rozenburgsluis, te zullen streven naar realisering van de voor OEBES gewenste waterstanden. Tijdens de aanleg van de proefvakken zou er gestreefd worden naar een waterstand van N.A.P. -0,50 m en uiteindelijk de laatste week van augustus zou het peil tot ^{min} N.A.P. -0,20 m verhoogd worden.

4.I.I.

4.I Waterbevesing veroorzaakt door voortbewegend schip

4.I.0 Translatiegolven

Wanneer een schip door een kanaal vaart kunnen op de volgende manieren translatiegolven opgewekt worden:

- a- het schip vertraagt of versnelt.
- b- het schip passeert een discontinuïteit in de vaarweg.
- c- een reeds opgewekte translatiegolf passeert een discontinuïteit in de vaarweg.

Bij de proeven op het Hartelkanaal ter hoogte van de Beerdam zullen translatiegolven zich door bovengenoemde oorzaken kunnen manifesteren.

Ten eerste is het evident dat het schip zal starten en stoppen. Hiervan is slechts de start mogelijk van invloed op de metingen.

Ten tweede bevinden zich de volgende discontinuïteiten in de omgeving van de meetlokatie:

km. 20.200	forse vernauwing (in oost-west richting gezien).
21.000	kleine haven, waarvan de invloed verwaarloosd wordt.
23.000-	onregelmatige verbreding van het dwarsprofiel, waarbij:
23.900	alleen begin en eind van dit kanaalvak markante discontinuïteiten zijn. (t.p.v. eind is een versmalling).
24.000	einde van de Hartelhaven.

Door een juiste keuze van de startpositie is het wellicht mogelijk de hoeveelheid en de grootte van translatiegolven te beperken.

Allereerst zal nu worden ingegaan op de golfhoogten van a, b en c.

a- Bij een versnellend schip loopt vóór het schip uit een translatiegolf als verhoging van de waterspiegel, en achter het schip als een verlaging. De gezamenlijke hoogte van deze beide translatiegolven is **direct** af-

hankelijk van de versnelling van het schip ; hoe groter de versnelling, des te groter de gezamenlijke golfhoogte. Hetzelfde geldt voor de massa van het schip , alhoewel een toename van de massa een verlaging van de haalbare versnelling kan inhouden. Voorts is bij eenzelfde versnellingskracht de gezamenlijke golfhoogte omgekeerd evenredig met de oppervlakte van de kanaal doorsnede.

Op basis van continuïteitsoverwegingen voor en achter het versnellende schip kan gesteld worden dat bij toenemende snelheid de positieve golf in hoogte toeneemt, terwijl de negatieve golf evenzoveel in hoogte afneemt. Deze tendens wordt sterker naarmate de grenssnelheid meer wordt benaderd.

De maximale golfhoogte kan geschat worden op grond van resultaten van modelproeven; hier bleek bij een V_s van $0,9 V_{gr}$ en een A_c/A_M van 4,8 het debiet van de translatiegolf voor het schip uit $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ te bedragen ($Q_{TG} = \eta B_c \sqrt{gh}$). Hierbij trad een maximale versnelling van $0,04 \text{ m/s}^2$ op. Voor een model op dezelfde schaal (I:25) van het Hartelkanaal na km. 20.200 ($B_c = 127/25 = 5,08$, $h = 6,5/25 = 0,26 \text{ m}$) levert dit debiet een golfhoogte van $Q_{TG} / (B_c \sqrt{gh}) = 0,0037 \text{ m}$, vertaald naar prototype is dit $0,09 \text{ m}$.

Gezien het feit dat de te verwachten waarde van de versnelling lager zal zijn dan $0,04 \text{ m/s}^2$ ^{meerder $0,02 \text{ m/s}^2$} is $0,09 \text{ m}$ te beschouwen als een maximum waarde van de golfhoogte. Bij een start vóór km. 20.200 zal de golfhoogte van de voor het schip uitlopende golf lager zijn.

Voorzichtig wordt de hoogte van de positieve translatiegolf geschat op $0,05 \text{ á } 0,09 \text{ m}$.

b- Indien het schip het vernauwde kanaalband zal invaren ontstaat er een positieve translatiegolf welke voor het schip uitloopt. Dit verschijnsel is versterkt waarneembaar wanneer een schip een sluisolk invaart.

De hoogte van de golf is groter naarmate de scheepssnelheid hoger is en naarmate het voorliggende kanaalband nauwer is dan het achterliggende kanaalband.

De golfhoogte wordt geschat op 0,05 á 0,10 m.

c- Indien het schip vóór de vernauwing start zal de gedurende de start opgewekte positieve translatiegolf ter plaatse van de vernauwing deels worden teruggekaatst als (extra) verhoging en deels met eenzelfde verhoging het vernauwde pand inlopen. De verhoging is afhankelijk van de verandering van de breedte op de waterspiegel. Een halvering van de kanaalbreedte levert een verhoging van ongeveer 30 % van de golfhoogte.

De doorgaande positieve golf zal ter hoogte van de verbreding van km. 23.000 met een verlaging doorlopen, terwijl een negatieve golf terug het kanaal in loopt.

Ter plaatse van het einde van het kanaal wordt de golf teruggekaatst.

Gezien de nogal onregelmatige vorm van de Hartelhaven is het niet eenvoudig de mate van terugkaatsing van de translatiegolf in het kanaal te schatten.

4.I.4

De afstand die een duweenheid moet afleggen voordat deze met de gewenste constante snelheid vaart bedraagt 5 á 7 x de scheepslengte L_s . (vuistregel) Uitgaande van een maximale versnelling gedurende de eerste fase van de start met daarna een steeds afnemende versnelling is een aantal berekeningen uitgevoerd waarbij het schip achtereenvolgens ter plaatse van km. 20, 19 en 17 gestart werd. Het volgende startverloop werd aangenomen:

tijd min	a m/s ²	v _{begin} m/s	v _{eind} m/s	afgelegde weg m
0-1	0,020	0	1,20	36,0
1-2	0,016	1,20	2,16	100,8
2-3	0,012	2,16	2,88	151,2
3-4	0,008	2,88	3,36	107,2
4-5	0,006	3,36	3,72	212,4
5-6	0,004	3,72	3,96	230,4
6-7	0,002	3,96	4,08	241,2
7-8	0,001	4,08	4,14	246,6
				<u>246,6</u> +
				$\Sigma 1405,8$
				$\approx 7,5 L_s (2x2)$
				$\approx 5,3 L_s (3x2)$

De voortplantingssnelheid van de translatiegolf wordt gelijk V_{gh} gesteld. Het resultaat van deze berekeningen is weergegeven in de figuren 2, 3 en 4. Hierbij is de plaats van de proefvakken weergegeven ter hoogte van km. 21.500. Het Hartelkanaal werd geschematiseerd tot prismatische kanaalvakken, gescheiden door de reeds genoemde discontinuïteiten.

-Conclusies en aanbevelingen

- De hoogte van de bij de start veroorzaakte translatiegolf kan worden beperkt door te starten op grote afstand van de proefvakken.
- Nadeel hiervan is echter dat een extra golf wordt opgewekt doordat het schip de vernauwing dient te passeren. (Hoogte ongeveer 0,05 á 0,10 m)

4.I.5

- Bij de start ter hoogte van de vernauwing speelt dit laatste geen rol, doch doordat er sneller gestart dient te worden zal de golfhoogte relatief groot zijn, 0,05 à 0,10 m.
- Bovendien zal in beide gevallen ^{een} translatiegolf juist voor, mogelijk deels gelijktijdig met, de duweenheid de proefvakken passeren.
- In alle gevallen zal hinder ondervonden van teruglopende golven.
- Een ideale startpositie kan op grond van het bovenstaande niet bepaald worden. Daarom, alsook vanwege het zeer globale karakter van bovenstaande berekeningen, wordt het wenselijk geacht verschillende startposities in het onderzoek te testen.
- Een voordeel van een startpositie ter hoogte van km. 20.200 is echter wel dat t.o.v. verder afgelegen startposities het samengestelde golfbeeld (translatiegolf + eventuele resonanties) eenvoudiger van aard zal zijn, waardoor de verschillende componenten herkenbaarder zijn.

4.I.I.0 Korte beschrijving waterbewegingscomponentenPrimaire scheepsgolf + aanverwante verschijnselen

Als gevolg van het voortbewegen van een schip in een kanaal wordt er ter plaatse van de boeg van dat schip water verdrongen, terwijl eenzelfde hoeveelheid water achter het moet worden aangevuld. Hierdoor zal er onder en naast het schip een stroming gaan optreden welke tegengesteld is aan de vaarrichting van het schip. Dit is de retourstroom, u.

Hiermee samen hangt een verlaging van de waterspiegel ter weerszijden van het schip, de waterspiegeldaling, z.

De overgang van het gebied met een verlaagde waterspiegel naast het schip naar het gebied daarachter waar de waterspiegel zich praktisch op het oude niveau bevindt noemt men de haalgolf.

Voorts is als gevolg van de opstuwing door de boeg aldaar een verhoogde waterspiegel in de directe omgeving waarneembaar, de boeggolf.

Achter het schip treden snelheden op in de vaarrichting (positieve snelheden), hoewel dit bij duweenheden nauwelijks het geval is doordat de stroom nagenoeg volledig bij het hek loslaat.

Ter plaatse van het talud kunnen positieve snelheden optreden in de orde grootte van de sloopssnelheid. (taludvolgstroom). Dit is het geval wanneer het water dat benodigd is om het waterspiegelniveau boven het talud weer op het oude peil te brengen niet langer uitsluitend geleverd kan worden door het uitbuigen van de stroomlijnen in de retourstroom. Hierdoor zal er van achteren over het talud water aangevoerd moeten worden.

Secundaire scheepsgolven

Indien een schip door het water beweegt zullen ter plaatse van de discontinuïteiten drukpieken optreden, welke golfsystemen doen ontstaan.

Zo'n golfsysteem is opgebouwd uit twee componenten, een divergerende en een transversale.

Als discontinuïteiten kunnen de boeg en het hek van het schip beschouwd worden, alsook de voor- en achterschouder, alhoewel deze vaak minder gepro-
nonceerd zullen zijn.

Schroefstraal

Ten gevolge van de werking van schroeven kunnen achter het hek van een schip negatieve stroomsnelheden (d.i. tegen de vaarrichting in) optreden.

Een en ander is afhankelijk van het vermogen en het type voortstuwing.

4.I.I.I. Nadere beschrijving van de verschijnselen

In het onderstaande zullen de verschijnselen die in de voorgaande paragraaf werden aangestipt nader beschouwd worden (karakterschets).

Waar mogelijk zal worden ingegaan op methoden ter bepaling van de waarde van die verschijnselen (berekeningmethode).

Achtereenvolgens komen zo aan de orde;

A-Retourstroom en spiegeldaling, en in relatie hiermee de grenssnelheid van schip.

B-Haalgolf en taludvolgstream.

C-Boeggolf.

D-Secundaire scheepsgolven.

E-Schroefstraal en scheepsvolgstream.

A Retourstroom(1) en waterspiegeldaling(2)d) Karakterschets van retourstroom en spiegeldaling

Zoals gezegd zullen de retourstroom en de spiegeldaling in werkelijkheid lang niet altijd een I-dimensionaal karakter hebben.

In het onderstaande zal, aan de hand van wat in model en prototype gevallen is, hier nader op worden ingegaan.

Algemeen

De mate waarin de retourstroom evenwijdig aan de kanaalas gericht is neemt toe met de lengte van het schip dat de retourstroom veroorzaakt. Dit is eveneens het geval indien de vorm van het schip over de lengte meer constant is. Bij een scheepstype als de spits zal dus de retourstroom meer variëren en in mindere mate evenwijdig aan de kanaalas gericht zijn dan bij een duweenheid het geval zal zijn. (Bedacht dient hierbij wel te worden dat de mate van vertrimming hierbij ook een rol kan spelen).

Er geldt dat hoe kleiner de verhouding A_M/A_C , hoe kleiner de scheepslengte en hoe groter de afstand tot de oever worden, des te minder uniform zullen de retourstroom en spiegeldaling tussen de oever en het schip zijn.

Voor b.v. onderzoesvaartuigen is de methode Schijf dus lang niet altijd toepasbaar.

Wat betreft de grootte van u en z kan worden opgemerkt dat deze toeneemt indien de vaarsnelheid toeneemt, de waarde van de verhouding A_M/A_C toeneemt en de waarde van h/T afneemt.

Het snelheidsprofiel over de vertikaal is in het algemeen een tussenvorm van een rechthoekige en een logaritmische verdeling. De eerste treedt op aan de bovenstroomse rand van een plaat die evenwijdig aan een eenparige stroming is geplaatst. De tweede treedt op indien de grenslaag zich vanaf de bovenstroomse rand volledig ontwikkeld heeft.

Een grenslaag kan zich ontwikkelen op de scheers huid en op de kanaalbodem. De mogelijkheid bestaat dat beide elkaar beïnvloeden, vooral bij vaarten dicht langs het talud en wanneer de waarde van de h/T verhouding klein is. Bij de behandeling van de erosie wordt nader ingegaan op de grenslaag.

Directe omgeving schip

Nabij de boeg is er sprake van een versnellingsgebied. De overgang van positieve snelheid naar negatieve snelheid (retourstroom) is voor duweenheden zeer abrupt. Vlak achter de boeg kunnen zeer lage drukken op de kanaalbodem gemeten worden. Er manifesteert zich een sterke spiegel-daling. Hetzelfde is het geval voor zelfvaarders bij hogere snelheden, afhankelijk van de vorm van de boeg van het schip.

De richtingsvector van de retourstroom kan nabij de boeg sterk naar de bodem gericht zijn. Achter dit gebied kan, zoals dat vaak bij duweenheden het geval is, de snelheid van de retourstroom en de grootte van de spiegel-daling weer enigszins afnemen.

In de omgeving van het hek van het schip wordt de retourstroom vaak weer sterker. Hier is dan wederom sprake van een gebied met zeer lage druk, waar de waterspiegeldaling opnieuw een maximum bereikt. Bij zelfvaarders is mogelijk de aanwezigheid van de schroef hier in grote mate debet aan. Ter hoogte van het hek wordt het water in de retourstroom weer vertraagd. Door de aanwezigheid van een volstroom, achter en onzij van het hek, treden positieve snelheden op aldaar. Deze volstroom is afhankelijk van de mate waarin het water in de grenslaag van het schip loskomt van de scheers-huid. Bij duwbakken^x zal dit (lit. I) praktisch volledig het geval zijn, zodat daar bijna geen sprake van een volstroom zal zijn.

^x(vooral bij de scherpe kant van de bakken.

Bij duweenheden kan door de aanwezigheid van lage-drukgebieden onder boeg en hek een zekere mate van vertrimming optreden. Daar de bakken scharnierend (in het vertikale vlak evenwijdig aan de scheepsas) verbonden zijn zal het duwconvooi een knikvormige houding aannemen.

Bovendien, afhankelijk van de ligging van het onder-water-zwaartepunt van een schip, kan een weinig achterlastige trim ontstaan.

Bij een duweenheid zal vervolgens de aanwezigheid van de duwboot nog van invloed zijn. De retourstroom zal zich daar in mindere mate manifesteren en door de voortstuwing beïnvloed worden.

Zijn de duwbakken ongeladen, dan zal de duwboot bepalend zijn voor de waarden van u en z .

De retourstroom zal dan een meer drie-dimensionaal karakter vertonen.

Omgeving oever

Naarmate het schip dichters langs de oever zal varen zal de waterbeweging heviger worden. De invloed van de eventueel optredende maxima ter hoogte van hek en boeg zal dan merkbaar zijn. Eveneens kan de richting van de retourstroom dan een afwijking naar het midden van het kanaal toe vertonen, afhankelijk van de scheepsvorm en de vorm van de oever.

Bij vaarten verder van de oever af zal de verandering van de grootte en richting van de retourstroom en het verloop van de waterspiegeldaling nabij de oever een meer regelmatig verloop vertonen.

b) Berekeningsmethoden

Voor beperkte vaarwaters als het Hartelkanaal zijn er tot op heden nog geen bruikbare 3- of 2-dimensionale berekeningsmethoden ontwikkeld.

Wel zijn er enkele 1-dimensionale methoden ontwikkeld die in dit geval te gebruiken zijn. Voor een situatie waarbij het schip zich in het midden van het kanaal beweegt zijn deze methoden onder te verdelen in

a) methoden gebaseerd op het behoud van massa (continuïteitsvergelijking) en het behoud van energie (bewegingsvergelijking);

b) methoden gebaseerd op het behoud van massa en op het behoud van impuls.

Door de sterke schematisatie, welke hieronder uiteengezet zal worden, zijn deze methoden slechts toepasbaar indien:

- de lengte van het schip groter of gelijk is aan de breedte van de vaarweg,
- de verhouding van het oppervlak van het vaarwegdwarsprofiel tot het oppervlak van het deel van het grootspant dat zich onder de waterlijn bevindt klein is, globaal $A_c/A_M < 10$.

Indien buiten de as van de vaarweg wordt gevaren, dan kan een empirische methode gehanteerd worden. Deze zal in sub-paragraaf c) aan de orde komen.

a, b

Bij beide methoden wordt zoals gezegd van sterke schematisatie uitgegaan;

- Het schip vaart in de as van de vaarweg, *met constante snelheid,*
- Retourstroom en spiegeldaling zijn constant over het gehele dwarsprofiel,
- De inzinking van het schip is gelijk aan de spiegeldaling,
- Dwarsprofiel van het kanaal is constant langs het tracé,
- Dwarsprofiel van het schip is constant over de scheepslenkte,
- De scheepslenkte wordt buiten beschouwing gelaten,

a) methoden gebaseerd op behoud van massa en energie

I Schiff/Thiele (Lit. 2)

Hier is behalve van de hiervoor reeds genoemde aannamen tevens uitgegaan van:

- Er treden geen energieverliezen op t.g.v. wrijving en turbulentie,
- De invloed van de voortstuwning wordt buiten beschouwing gelaten,
- De door het varende schip veroorzaakte golven worden geacht niet op te treden,

a-Rechthoekig kanaalprofiel.

De formules voor behoud van massa en energie luiden ;

$$V \cdot A_c = (V + u) \cdot (A_c - A_M - B_c \cdot z) \quad (\text{behoud van massa}) \quad (1)$$

$$2 \cdot g \cdot z = (V + u)^2 - V^2 \quad (\text{behoud van energie, vlg. Bernouilli}) \quad (2)$$

Hierin is

V - sloopssnelheid (m/s)

u - retourstroomsnelheid (m/s)

z - waterspiegeldaling (m)

A_c - oppervlak dwarsdoorsnede kanaal (m^2)

B_c - breedte kanaal (m)

A_M - oppervlakte van ondergedompeld grootspant van schip (m)

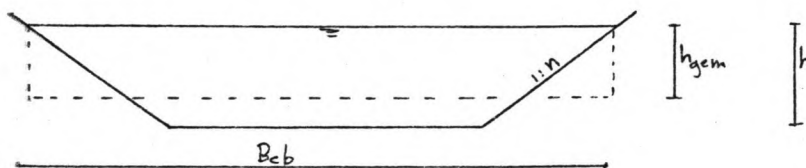
g - versnelling van de zwaartekracht (m/s^2)

Het bleek dat de berekende waarden van u en z lager uitvielen dan de gemiddelde waarde van u en z in de praktijk. Dit vond zijn oorzaak in het feit dat beiden in de berekeningsmethode over het dwarsprofiel constant

werden genomen. In werkelijkheid zal echter een kwadratisch verband bestaan tussen de waarde van u en de afstand tot het schip. Ter korrektie werd daarom voor de term $(V + u)^2$ een factor α geplaatst. Deze korrektiefactor werd op grond van metingen bepaald als $1,4 - 0,4 \frac{V}{gr}$. Voor meer hoge snelheden voldoet deze waarde redelijk.

b-Trapeziumvormig kanaalprofiel

- 1 - Bij een trapeziumvormig kanaalprofiel kan men volgens Schijf de gemiddelde waterdiepte in de berekeningen opnemen: $h_{gem} = A_c / B_{cb}$, waarbij B_{cb} de breedte van de waterspiegel in ongestoorde toestand is. Zie figuur



Deze methode is bruikbaar indien de waarde van $\frac{n \cdot h}{B_{cb}}$ niet te groot wordt, waarbij n de waarde van de cotangens van de talud-hoek is.

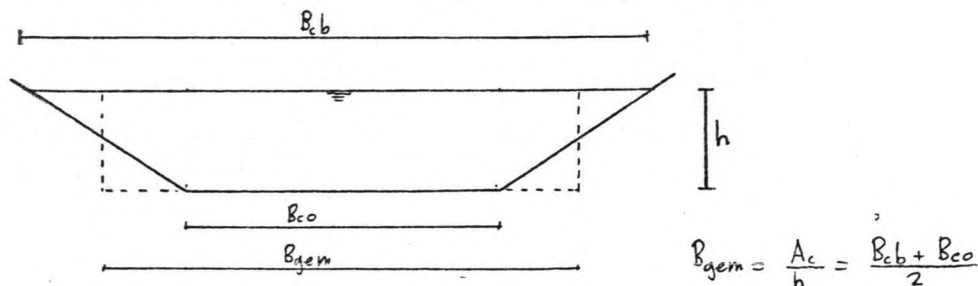
- 2 - Een andere methode is het invoeren van een B_{gem} , $B_{gem} = A_c / h$.

Achteraf dient dan gecorrigeerd te worden op de waterspiegeldaling:

$$z_{\text{berekening}} = \frac{B_{cb} \cdot z}{B_{gem}} - \frac{n \cdot z^2}{B_{gem}}$$

en op de retourstroomsnelheid in de vergelijking van behoud van energie.

Voor lagere snelheden voldoet deze methode redelijk.



II Tothill (Lit.3)

Tothill heeft voor de berekeningen van u en z in trapeziumvormige kanalen een verbetering in de methode Schijf aangebracht.

Voor het doorstroomoppervlak naast het schip (A_w) stelde hij:

$$A_w = B_{co} \cdot (h - z) + (h - z)^2 \cdot n - A_M$$

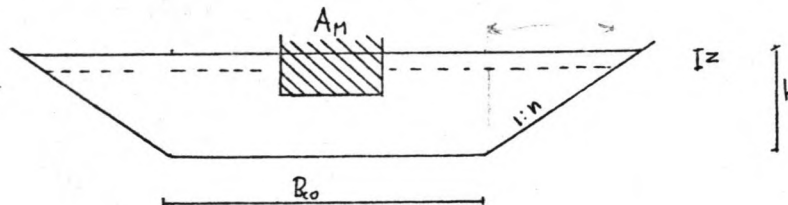
De continuïteitsvergelijking (I) wordt hiermee

$$V \cdot A_c = (V + u) \cdot A_w \quad (Ia)$$

en de vergelijking betrekking hebbende op het behoud van energie (2)

$$z = \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1 - (A_w/A_c)^2}{(A_w/A_c)^2} \quad (2a)$$

In principe is dit een meer korrekte aanpak dan die volgens Schijf- voor- trapeziumvormige kanalen.

III Mc Nown (Lit.4)

Mc Nown onderkende de invloed van de waarde van $\frac{n \cdot h}{B_{co}}$ en introduceerde deze als de (dimensieloze) parameter μ in de berekeningen.

Voor rechthoekige kanaalprofielen is de waarde hiervan dan gelijk 0, en voor kanaalprofielen met een driehoekige vorm ∞ .

Voor trapeziumvormige kanaalprofielen zullen de uitkomsten van de berekeningen gelijk aan die volgens Tothill zijn. De methode van Mc Nown biedt echter de mogelijkheid ook voor andere kanaalprofielen de u en z te berekenen.

Met ξ als $\frac{h-z}{h}$ en s als A_M/A_C is het verband tussen V en z :
voor trapeziumvormige kanalen:

$$I - \xi = \frac{V^2}{2gh} \cdot \left[\frac{I}{\left[\frac{(I + \mu \xi)}{I + \mu} - s \right]^2} - I \right]$$

en voor parabolvormige kanalen:

$$I - \xi = \frac{V^2}{2gh} \cdot \left[\frac{I}{(\xi - s)^2} - I \right]$$

Door de verkregen waarde van z in (2) in te vullen kan u verkregen worden.

b) methoden gebaseerd op het behoud van massa en impuls

I Sharp/Fenton

Voor een rechthoekig kanaalprofiel is een berekeningsmethode door Sharp en Fenton opgesteld uitgaande van:

$$F \cdot dt = m \cdot dv \quad (\text{behoud van impuls}) \quad (3)$$

en

$$V \cdot B_c \cdot h = (V + u) \cdot (B(h - z) - A_M) \quad (\text{behoud van massa}) \quad (4)$$

Vergelijking (3) is opgebouwd uit (zie figuur):

$$F_0 = \frac{1}{2} \rho g B_c h^2$$

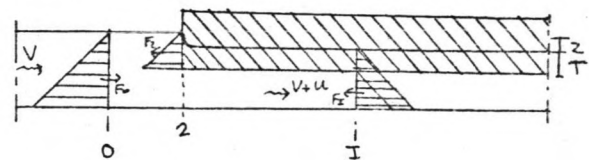
$$F_I = \frac{1}{2} \rho g [B_c (h - z)^2 - A_M T]$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \rho g B K_I (T + z)^2$$

$$M_0 = \rho B_c h V^2$$

$$M_I = \rho A_I (V + u)^2$$

$$M_I - M_0 = \rho \Delta v / \Delta t$$



K_I is een coëfficiënt voor de stuwdruk, er geldt $K_I \leq I$. K_I kan empirisch bepaald worden.

Met $F_0 - F_I - F_2 = M_I - M_0$ en vergelijking (4) kan het volgende verband gevonden worden:

$$\frac{V^2}{gh} = \frac{(I - d - s)}{-(I + s/d)} \cdot \left(I - \frac{d}{2} \left(I + \frac{K_I}{p} s \right) + \frac{sp}{2d} (I - K_I) - sK_I \right)$$

met

$$d = z/h$$

$$s = A_M/A_C$$

$$p = T/h$$

$$T = \text{diepgang schip (m)}$$

Voor het Hartelkanaal is deze formule, gezien het feit dat deze opgesteld is voor een rechthoekig kanaal, minder geschikt.

II Bouwmeester (Lit.6)

Bouwmeester stelde een berekeningsmethode voor trapeziumvormige kanalen op, waarbij de opzet (praktisch hetzelfde) als bij Sharp/Fenton was.

Het zou te ver voeren de gehele opzet van de methode hier te behandelen, volstaan wordt met te vermelden dat het effect van de aanwezigheid van de taluds verdisconteerd is, zoals eveneens bij Tothill het geval was.

Een ander verschil met Sharp/Fenton is dat F_2 anders is samengesteld:

$$F_2 = \frac{1}{2} \rho g B_s \left[C_D \frac{V^2}{2g} + z + T \right]^2$$

met C_D als ^{druk} weerstandscoëfficiënt. Op grond van proeven kan $C_D = (T/h)^2$ gesteld worden. Het invoeren van deze coëfficiënt biedt ^(overigens ook) de mogelijkheid om wrijvingsinvloeden en voortstuwingsinvloeden in de berekening op te nemen, zij het op empirische gronden.

De waarde van C_D zal in dat geval niet meer gelijk aan $(T/h)^2$ zijn.

Met invoering van $h' = h \left(1 - \frac{nh}{B_{cb}} \right)$ komt Bouwmeester tot de volgende formules:

$$\frac{V}{\sqrt{gh'}} = \left[\frac{2 \left(\frac{z}{h'} \right) \cdot \left(1 - \frac{A_m}{A_o} \right) \cdot - \left(\frac{z}{h'} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{B_s}{B_{cb}} \right) + \frac{2}{3} \left(\frac{z}{h'} \right)^3 \cdot \left(\frac{nh'}{B_{cb}} \right)}{\left(\frac{T}{h'} \right)^2 \left(\frac{A_m}{A_o} + \frac{z}{h'} \cdot \frac{B_s}{B_{cb}} \right) + 2 \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{z}{h'} \right) + \left(\frac{nh'}{B_{cb}} \right) \cdot \left(\frac{z}{h'} \right)^2 - \frac{A_m}{A_c}} - 1 \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

en

$$\frac{u}{\sqrt{gh'}} = \left[\frac{\frac{z}{h'} - \left(\frac{nh'}{B_{cb}} \right) \cdot \left(\frac{z}{h'} \right)^2 + \frac{A_m}{A_c}}{1 - \frac{z}{h'} + \left(\frac{nh'}{B_{cb}} \right) \cdot \left(\frac{z}{h'} \right)^2 - \frac{A_m}{A_c}} \right] \times \frac{V}{\sqrt{gh'}}$$

Voor niet te hoge snelheden vormt deze methode een betere benadering van de retourstroomsnelheid en spiegeldaling dan de methode Schijf/Thiele.

Vaart buiten de as van het kanaal

c) empirische methode, op basis van de methode Thiele/Schijf

Vaart een schip buiten de as van het kanaal, dan is er tussen het schip en de dichtsbijzijnde oever een kleiner doorstroomprofiel aanwezig dan aan de andere zijde van het schip. Dienovereenkomstig mag dan verwacht worden dat hierdoor u en z in het eerste gebied relatief groter zijn dan in het tweede.

Op grond van een groot aantal metingen in model (M III5) konden relaties worden opgesteld tussen de ter plaatse van de oevers gemeten maximale re-
tourstroomsnelheid en spiegeldaling en de met Schijf/Thiele berekende
gemiddelde waarden hiervan.

Deze relaties zijn: (Lit. 7)

$$\frac{\hat{z}}{\bar{z}} = 2,0 - 2,0 \frac{A'_c}{A_c} \quad \text{voor } \frac{B_{cb}}{L} < 1,5 \quad (5)$$

$$\frac{\hat{z}}{\bar{z}} = 3,0 - 4,0 \frac{A'_c}{A_c} \quad \text{voor } \frac{B_{cb}}{L} > 1,5 \quad (6)$$

$$\frac{\hat{u}}{\bar{u}} = 1,5 - 1,0 \frac{A'_c}{A_c} \quad \text{voor } \frac{B_{cb}}{L} < 1,5 \quad (7)$$

$$\frac{\hat{u}}{\bar{u}} = 2,5 - 3,0 \frac{A'_c}{A_c} \quad \text{voor } \frac{B_{cb}}{L} > 1,5 \quad (8)$$

waarin:

\hat{z}, \hat{u} - maximum waarden van z en u nabij de oever.

\bar{z}, \bar{u} - gemiddelde waarden van z en u , berekend met Schijf.

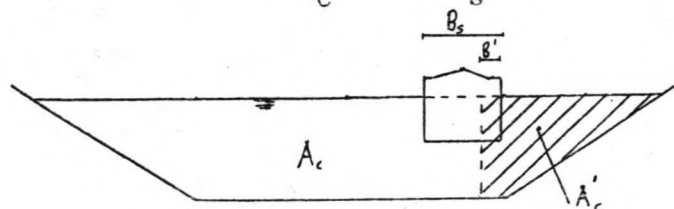
L - lengte schip (m)

B_{cb} - breedte van de vaarweg op de waterspiegel (ongestoord). (m)

A_c - oppervlak vaarwegdwarsprofiel (m^2)

A'_c - kleinste oppervlak van het vaarwegprofiel tussen schip en oever (m^2)

A'_c wordt bepaald zodanig dat $\frac{A'_c}{A_c} = \frac{B'_s}{B_s}$ (zie figuur hieronder).



Gezien het feit dat de berekeningen van \bar{u} en \bar{z} zijn uitgevoerd voor een in het midden van het kanaal varend schip is de invloed van de afname van de scheepssnelheid a.g.v. het buiten de as varen verdisconteerd.

Daar de bovenstaande verbanden zijn afgeleid uit meetgegevens is impliciet rekening gehouden met invloeden van trim, het verschil tussen inzinking van het schip en spiegeldaling alsook met het effect van secundaire scheepsgolven.

Er dient echter wel bedacht te worden dat de relaties 5 en 7 zijn opgesteld op basis van metingen met duweenheden en de relaties 6 en 8 op basis van metingen met RHK schepen.

Vermeld wordt hier verder dat in modelproeven met betrekking tot het NoordOostzeekanaal bleek dat de retourstroomsnelheid in het geval van het buiten de as van het kanaal varen aan de smalle zijde globaal met 50 % kan toenemen en aan de brede zijde met zo'n 20 % kan afnemen t.o.v. de waarden die bereikt zouden worden bij vaart in de as van diezelfde vaarweg. Anderzijds toonden prototype-proeven in het Main-Donau kanaal aan dat niet altijd een grotere retourstroomsnelheid hoeft op te treden wanneer een schip dicht langs de oever vaart.

Het is dus duidelijk dat relaties 5 t/m 8 met de nodige voorzichtigheid gehanteerd dienen te worden.

Grenssnelheid

Daar de maximale waarde van enkele verschijnselen inherent is aan de maximaal bereikbare scheepssnelheid verdient het aanbeveling de grenssnelheid te bepalen, mede met het oog op het gewenste meetbereik van de meetinstrumenten.

De grenssnelheid kan gezien worden als die snelheid waarbij de hoeveelheid water die langs het schip naar achteren moet worden afgevoerd een maximale waarde bereikt.

Voorwaarde voor het bereiken van die grenssnelheid is natuurlijk wel dat het effectief vermogen van het schip toereikend is. Zie hiervoor hfdst. nautische aspecten.

Uitgaande van berekeningsmethodes Ia (Schijf/Thiele) kan een verband tussen h , A_c , A_M en V_{gr} gevonden worden:

$$\frac{v_{gr}^2}{gh} = \left(\frac{2}{3}\right)^3 \cdot \left[1 - \frac{A_M}{A_c} + \frac{v_{gr}^2}{2gh} \right]^3 \quad (9)$$

Om de waarde van u en z hierbij te verkrijgen dient V_{gr} vervolgens ingevuld te worden in (1) en (2).

In geval van toepassing van Ib-1 dient voor h in (9) $h_{gem}^f (= A_c/B_{cb})$ gesubstitueerd te worden.

Berekening volgens Ib-2 levert in eerste instantie een gelijke grenssnelheid als bij Ia.

Voor methodes II en III kan, doordat het talud niet wordt "gladgestreken" in de berekening, geen eenvoudige formule voor de grenssnelheid opgesteld worden. Wel kan door uit te gaan van $dQ/dz = 0$ en verder zelf enkele waarden te proberen een oplossing verkregen worden. Dit vergt echter nogal wat rekenwerk.

Hetzelfde kan gezegd worden voor de methoden b-I en b-II, die in feite nog complexer zijn.

Ter vergelijking is de waarde van de grensnelheid bepaald voor een in de as van het Hartelkanaal varend duwkonvooi. De belangrijkste afmetingen zijn:

Hartelkanaal: Trapeziumvormig profiel.

$$B_{cb} = 127 \text{ m}$$

$$B_{co} = 75 \text{ m}$$

$$n = 4$$

$$h = 6,5 \text{ m} \quad A_c = 656,5 \text{ m}^2$$

Duweenheid: Formatie Ix2, 2x2 of 3x2

$$B_s = 22,8 \text{ m}$$

$$T = 3 \text{ m} \quad A_M = 68,4 \text{ m}^2$$

Eveneens zijn de bijbehorende waarden van u en z bepaald, met $\alpha = 1$

Methode	V_{gr}	z	u	
a-Ib-I	4,40	0,89	1,67	
a-Ib-2	4,92	0,91	1,57	x
a-II/III	4,45	0,96	1,77	
a-III	5,20	0,96	1,57	Hier is uitgegaan van een paraboolvormig profiel. xx
b-II	4,32	1,15	2,05	

opmerkingen:

x- z is bepaald m.b.v. de correctie. u is daarna m.b.v. (2) berekend.

xx- voor het paraboolvormige kanaal zijn de volgende afmetingen aangehouden:

$$B_{cb} = 127 \text{ m}, \quad h_{max} = 7,5 \text{ m}, \quad A_c = 635 \text{ m}^2$$

Het volgende kan verder opgemerkt worden:

- methode a-Ib-I levert een lagere waarde voor V_{gr} , hetgeen te wijten is aan het feit dat de waterdiepte verkleind wordt tot h_{gem} . Voor grotere waarden van $n.h/B_{cb}$ (hier: 0,20) zal de grenssnelheid daardoor te laag uitvallen.
- methode a-Ib-2 levert , zo blijkt na terugkoppeling van u en z, een te hoge waarde van V_{gr} . Door iteratie kan na enig rekenwerk de juiste grenssnelheid verkregen worden. Blijkbaar is deze methode meer geschikt voor lagere snelheden.
- Uitgaande van het trapeziumvormige kanaalprofiel en de vergelijkingen met betrekking tot het behoud van massa en energie levert methode a-II/III de juiste waarde voor V_{gr} .
- Daar het dwarsprofiel van scheepvaartkanalen na verloop van tijd bij benadering een parabolvormig uiterlijk zal aannemen (zgn Muldenprofiel) is ook hiervoor de grenssnelheid berekend. Ondanks een kleinere A_c levert dit een grotere grenssnelheid.
- Methode b-II levert een lage grenssnelheid. Zoals gezegd voldoet deze methode beter bij lagere snelheden.
- Indien de snelheid lager wordt dan de grenssnelheid zal z volgens a-II/III minder snel veranderen dan volgens a-Ib-I.

B Haalgolf (I) en Taludvolgstroom (2)a) Karakterschets haalgolf en taludvolgstroom

Bij lage vaarsnelheden is de helling in de waterspiegel naast het hek van het schip gering. Het water in de retourstroom kan zonder veel moeite vertragen. Bij hogere snelheden wordt de helling steiler, immers ook de spiegel-daling naast het schip neemt dan toe. Het water dat benodigd is om het water-spiegelniveau boven het talud weer op het oude peil te brengen kan niet langer uitsluitend geleverd worden door het uitbuigen van de stroomlijnen in de retourstroom. Hierdoor zal er water van achteren over het talud aangevoerd moeten worden.

Het gebied waarover de taludvolgstroom merkbaar zal zijn neemt toe indien het schip dicht langs de oever vaart, en wanneer de scheepslengte groter wordt. Hoge snelheden kunnen gemeten worden tot 0,5 á 1,5 maal de scheepslengte achter het hek boven het talud. (Lit. g)

Vaart het schip dicht langs de oever, dan treedt een volgstroom op die zich tot ver achter het schip manifesteert. Indien b.v. in de as van het kanaal gevaren wordt, dan blijft het gebied waar hoge snelheden optreden beperkt tot de plaats van de haalgolf en/of tot de pieken van de secundaire scheep-solven.

Hoge snelheden worden slechts bereikt in de zône waar het talud naast het schip was drooggevallen, waarbij de grootste snelheden hoger op het talud waarneembaar zijn.

De richtingsvector is evenwijdig aan de kanaalas.

De turbulentie-intensiteit kan oplopen tot 30 % van de gemiddelde snelheid. Gesteld kan worden dat de taludvolgstroom zich sterker zal manifesteren als;

- het schip dicht langs de oever vaart.
- de vaarsnelheid toeneemt
- het vermogen van het schip toeneemt, ook indien dit geen grotere vaarsnelheid tot gevolg heeft
- het talud flauwer is.

Wat betreft de haalgolf kan het volgende opgemerkt worden;

Bij zeer hoge vaarsnelheden zal het front van de haalgolf het uiterlijk van een brekende golf of een bewegende watersprong aannemen, daar waar de grensdiente bereikt wordt. Bij het varen tegen de grenssnelheid aan gaat de secundaire hekgolf bovendien praktisch loodrecht op de vaarrichting staan, hetgeen de haalgolf versterkt.

In de haalgolf kunnen versnellingen optreden van een orde grootte van de zwaartekrachtversnelling. Het verhang in de haalgolf zal toenemen wanneer de scheepssnelheid groter wordt en wanneer de afstand tot de oever kleiner wordt. Dit verhang kan groter worden dan 1:5. (Lit.10)

b) Berekeningsmethoden

Voor de haalgolf en de taludvolgstroom zijn nog geen berekeningsmethoden ontwikkeld. Wel geven waarnemingen in natuur en model een idee omtrent de afhankelijkheid van deze verschijnselen van een aantal parameters.

Hiervan is de relatie tussen vermogen en relatieve taludvolgstroomsnelheid (t.o.v. vaarsnelheid), zoals gebleken bij vaarten waarbij langs de teen van het talud gevaren werd, weergegeven in een figuur (lit:9). Deze is hier opgenomen als figuur....

De gemiddelde waarde van het verband dat in deze figuur is weergegeven is te bepalen middels;

$$\frac{V_{tv}}{V_s} \approx 0,19 \cdot P_P^{0,62} \quad (\text{in } \%) \quad (\text{voor } 1000 \text{ kW} < P_P < 5000 \text{ kW}) \quad (10)$$

C Boeggolf

De boeggolf is slechts waarneembaar in de omgeving van de boeg. In verhouding tot de verschijnselen die hiervoor behandeld zijn is dit verschijnsel veel minder omvangrijk.

Er bestaan geen berekeningsmethoden voor de boeggolf.

Wel kunnen enkele tendensen waargenomen worden betreffende de hoogte van de golf en de positief gerichte stroming daarin.

Deze nemen toe indien:

- de vorm van de boeg in horizontale en vertikale zin stomper, platter wordt. Immers, dan kan het water moeilijker om de boeg naar opzij en naar achteren stromen.
- het schip meer naar de oever toe vaart. In dit geval kan het water nog moeilijker weggedrukt worden door de voelbare aanwezigheid van de oever.
- de snelheid van het schip toeneemt, doch beneden de grenssnelheid blijft.

a) Karakterschets

Er is reeds beschreven dat bij de boeg en het hek en eventuele schouders van een varend schip golfsystemen ontstaan die bestaan uit een divergerende en een transversale component.

Ter plaatse van boeg en hek beginnen deze systemen met een golfberg, terwijl dit ter plaatse van de schouders een golfdal is.

Interferentie tussen golven ontstaan bij boeg, hek of schouder verhoogt de golfhoogte en daardoor ook de golfmakende weerstand van het schip. Of deze interferentie plaats vindt hangt af van de afstand tussen de discontinuïteiten onderling en de golflengte, die weer afhankelijk is van de vaarsnelheid. Het zgn. Froude-getal betrokken op de scheepslengte ($\frac{V}{\sqrt{L_s}}$) is dan ook een belangrijke parameter bij het ontwerpen van vooral zeeschepen en kleine vaartuigen. Bij de meeste binnenvaartschepen, die doorgaans een klein Froude-getal hebben, speelt de interferentie een minder belangrijke rol.

De interferentie tussen de divergerende en de transversale golven van een golfsysteem zal echter altijd voorkomen bij binnenvaartschepen.

Een denkbeeldige lijn getrokken door de interferentiepunten zal bij scheepssnelheden lager dan $0,6 \sqrt{gh}$ een hoek maken met de scheepsas die iets kleiner is dan 20° , althans op water met onbeperkte breedte.

Deze hoek neemt bij toenemende snelheid sterk toe tot bijna 90° bij snelheden dicht tegen de kritische snelheid aan. De divergerende golven staan dan praktisch loodrecht op de scheepsas.*)

Bij nog hogere snelheden zal de transversale golf verdwijnen, daar deze zich niet sneller kan voortplanten dan met \sqrt{gh} . De openingshoek van de divergerende golven zal om dezelfde reden snel afnemen bij nog hogere snelheden. De trim zal weer normaal worden. Ook neemt de golfhoogte weer af.

*) Er is dan in feite sprake van één grote dwarsgolf, een "stuwgolf", waarbij de achterlastige vertrimming een maximum bereikt. De golflengte wordt dan ongeveer gelijk aan 2x de scheepslengte.

In werkelijkheid zullen binnenvaartschepen niet met een snelheid kunnen varen die de kritische snelheid benadert, daar de weerstand die het schip ondervindt sterk toeneemt bij nadering van die snelheid.

Wel kunnen schepen met relatief zeer grote vermogens, als sommige patrouilleboten en speedboten, de kritische snelheid overschrijden waarna in plané gevaren wordt.

de volgende

Enkele onderzoeken naar secundaire golven gaven de volgende indrukken :

- de golfhoogte neemt toe met de scheepssnelheid
- de maximale golfhoogte neemt toe als h/T afneemt. (Lit. 11)
- op water met kleine h/T zullen de golven sneller sedemt worden. (Lit. 11)
- de maximale golfhoogte is in sterke mate afhankelijk van de scheepsvorm en afmetingen.

Er dient echter hierbij wel bedacht te worden dat het hier onderzoekingen met zeeschepen betrof.

In proeven van het WL (M III5) met onderzoekingsvaartuig, RHK schip en 2x2-duweenheid bleek vervolgens: (Lit 12)

- de amplitude van de interferentiepieken van de boeggolf (sec) was groter dan die van de hekgolf, bij RHK schip en onderzoekingsvaartuig.
- de golfhoogte en golflengte nemen toe met de scheepssnelheid.
- een eind achter de boeg ^(50m) kan versterking optreden van de amplitude doordat de transversale golven daar interfereren met de tegen de kanaalwand teruggekaatste interferentiepieken van het boeggolfsysteem.
- de theoretische golflengte (zie verderop) bleek aan de hoge kant te zijn in vergelijking met de gemeten golflengte van de I^e transversale golf achter het hek. Mogelijk is dit het gevolg van de invloed van de transversale golf van het boeggolfsysteem.

De onderzoekingen van het WL waren echter in de eerste plaats gericht op het drukverloop onder de golven, zodat dit niet de bedoeling had alle vragen over secundaire golven te beantwoorden.

Geconcludeerd kan worden dat inzake secundaire golven veroorzaakt door binnenvaartschepen weinig onderzoeksresultaten voorhanden zijn. Gedegen onderzoeken zijn er wel inzake zeeschepen op onbepakt water, doch het is de vraag in hoeverre deze resultaten maar de binnenvaart met smalle vaarwaters vertaald mogen worden.

Te denken valt hier b.v. aan de invloed van retourstroom en spiegelvaling op de golfsystemen en het samenvallen van secundaire hekgolf met de haalgolf.

b) Berekeningsmethode

Hier kunnen we kort zijn. Uitgaande van de lineaire golftheorie kan de golfsnelheid als volgt in formulevorm beschreven worden: (Lit. II)

$$c^2 = \frac{g}{k} \tanh(kh) \quad (I2)$$

$$\text{waarin } k = \frac{2\pi}{L_w}$$

h = waterdiepte

L_w = golflengte

c = golfsnelheid

Voor c kan de scheepssnelheid worden ingevuld, waarna de golflengte berekend kan worden.

Deze formule houdt het volgende in; als de verhouding h/L_w toeneemt, dan gaat de waarde van $\tanh kh$ naar 1, en krijgt (I2) de gedaante;

$$c^2 = \frac{g}{k} = \frac{gL_w}{2\pi} \quad (I2a)$$

en wanneer de waterdiepte afneemt en h/L_w minder wordt, dan nadert de waarde van $\tanh(kh)$ tot kh, waarmee;

$$c^2 = gh \quad (I2b)$$

Een en ander gaat alleen streng op indien de golfhoogte voldoende klein is t.o.v. de golflengte ($H < 1/40 L_w$) en de golflengte niet te klein is daar dan de oppervlaktespanning een rol gaat spelen. ($L_w > 0,10 \text{ m}$)

Bovenstaande berekeningsmethode kan slechts op de transversale component van de golfsystemen gebruikt worden aangezien de divergerende golven alleen in combinatie met de transversale golf voorkomen.

4.I.3I

De orbitaalsnelheden kunnen worden berekend (lineaire golftheorie) volgens:
(in toppen en dalen) (Lit. n)

$$u_{\text{orb. (hor.)}} = \omega \cdot \eta \cdot \frac{\cosh k(z + h)}{\sinh kh} \quad (13)$$

waarin:

ω = hoeksnelheid ($2\pi/T$) (/s)

η = $H/2$ = halve afstand top-dal van de golven. (m)

z = afstand tot de ongestoorde waterspiegel, naar boven positief. (m)

E Schroefstraal en scheepsvolgstroom

Over de waterbeweging in de schroefstraal is slechts weinig bekend.

Wel zijn er proeven gedaan in de zgn. "bollard-pull condition", waarbij het schip op zijn plaats wordt gehouden (lit. 13). Hierbij bleek dat de schroefstraal sterk wordt beïnvloed door het al dan niet aanwezig zijn van een straalbuis. De diameter D_0 van de schroefstraal op een afstand van ongeveer $0,5 D$ ($D =$ diameter schroef) is voor een stilliggend schip globaal:

$$D_0 \approx 0,7 D, \text{ voor schroeven zonder straalbuis}$$

$$D_0 \approx 1,0 D, \text{ voor schroeven in een straalbuis}$$

$D_0 \approx 0,85 D$, voor schroeven in een straalbuis, waarbij de straalbuis voor een deel in een tunnel is opgenomen, zoals bij de meeste duwbotten het geval is.

De watersnelheid op een punt x hooguit op $0,5 D$ achter de schroef, waar de schroefstraal een diameter gelijk D_0 heeft is te bepalen met;

$$V_0 = 1,15 \left[\frac{P_B}{\rho D_0^2} \right]^{1/3} \quad (I4)$$

waarin;

$V_0 =$ snelheid van het water evenwijdig aan de schroefas (m/s)

$P_B =$ motorvermogen van het schip (per schroef) (W)

Vervolgens kan de snelheid evenwijdig aan de schroefas op een punt dat hooguit op een afstand van $3 D_0$ achter de schroef ligt worden berekend met;

$$\frac{V_{x,r}}{V_0} = \exp \left[- \frac{(r + c \cdot x - D_0/2)^2}{2(cx)^2} \right] \quad (I5)$$

waarin;

$r =$ de afstand van het punt tot de schroefas (m)

$V_{x,r}$ = de snelheid evenwijdig aan de schroefas (m/s)

x = de afstand van het punt tot de schroef, gemeten langs de schroefas (m)

c = constante op empirische wijze bepaald. c is de verhouding tussen de standaardafwijking in verticale richting op afstand x en de waarde van x . Bij benadering kon c gelijk aan 0,18 gesteld worden.

V_0 = snelheid bepaald met (I4) (m/s)

Voor een punt dat op een grotere afstand dan $3 D_0$ achter de schroef ligt kan de snelheid benaderd worden met;

$$V_{x,r} \approx \frac{I}{2c} \frac{V_0 D_0}{x} \cdot \exp \left[- \frac{I}{2 c^2} \cdot \frac{r^2}{x^2} \right] \quad (I6)$$

met $c = 0,18$ wordt dit;

$$V_{x,r} \approx 2,8 \frac{V_0 D_0}{x} \cdot \exp \left[- 15,4 \cdot \frac{r^2}{x^2} \right] \quad (I6a)$$

Het bleek dat indien de straaluitbreiding achter het schip belemmerd wordt door de aanwezigheid van de vrije waterspiegel, de kanaalbodem of een tweede of derde schroefstraal de snelheid in de as van de schroefstraal minder snel afneemt. Dit is van toepassing op duwboten waar vaak drie schroeven op een diepte van $I/3$ van de schroefdiameter geplaatst zijn.

De turbulentie-intensiteit bleek in genoemd model 25 á 30 % op enige afstand achter de schroef in het verlengde van de schroefas en vaak 40 % aan de rand van de straal.

Voor varende schepen zullen de relaties anders zijn. De stroming rond het varende schip zal een geheel ander beeld vertonen als bij het stilliggende schip. De relatieve snelheid van het water t.o.v. de vaarwegbegrenzingen zal veel lager zijn, de schroef beweegt immers zelf voort.

De scheepsvolgstroom is afhankelijk van de vorm van het schip, de aanwezigheid van "luwtes" als bij een duwstel het geval is en het type van de voortstuw-
wing. Een grote volgstroom kan het rendement van de voortstuw-
ing nadelig beïnvloeden. Eveneens kan de weerstand welke het schip ondervindt sterk
toenemen wanneer de volgstroom de bodem gaat "voelen". E.e.a. hangt af
van de kielspeling en de ontwikkeling van de grenslaag op de scheepshuid.

4.I.I.2 Wensen t.a.v. metingen aan de waterbeweringscomponenten

A- retourstroom en spiegeldaling

Om hetzoo in modelproeven (M III5) bleek inzake retourstroom en spiegeldaling aan de werkelijkheid te kunnen toetsen en een kwantitatieve indruk omtrent deze verschijnselen te verfijnen is het wenselijk om metingen te verrichten naar:

- het verloop van de grootte van de retourstroom in dwarsrichting.
- het verloop van de grootte van de retourstroom in verticale richting.
- het verloop van de richting en grootte van de retourstroom op enige dwarsafstand van het schip, vooral bij passage boeg en hek.
- het verloop van de waterspiegeldaling in dwarsrichting, gedurende de passage van het schip.
- het verloop van de druk op de bodem onder het schip.
- het verloop van de inzinking en de vertrimming van het schip.

B- haalgolf en taludvolgstroom

Ter verkrijging van een beter inzicht omtrent de hier behandelde verschijnselen lijkt het wenselijk om op de volgende plaatsen metingen te verrichten:

- in de zône waar de grotere volgstroomsnelheden optreden, dit is dus het gebied waar het talud door de spiegeldaling is drooggevalen.

In combinatie hiermee kan de verandering van de waterspiegel door de haalgolf gemeten worden, en de optredende turbulentie-intensiteiten.

- op plaatsen die wat verder van de oever af liggen. Hier dienen waterspiegelveranderingen en, zo mogelijk, positieve stroomsnelheden gemeten te worden, ten einde een beeld te krijgen omtrent de overgangsgebieden boeggolf-spiegeldaling/retourstroom en spiegeldaling/retourstroom-haalgolf.

C- boeggolf

Gezien het feit dat dit verschijnsel zich het sterkst manifesteerd in de directe omgeving van de boeg is het wenselijk om metingen naar stroomsnelheden en waterspiegelveranderingen in de vaarlijn te meten. Metingen voor de boeg tussen schip en oever, wanneer dicht langs de oever gevaren wordt, kunnen mogelijk verricht worden door de instrumenten die voor metingen aan de haalgolf en taludvolgstroom zijn ingezet. Door meetplaatsen eveneens te koppelen aan die van de metingen aan de retourstroom kan inzicht verkregen worden in het verloop van stroomsnelheden en waterspiegelveranderingen in het oversangsgebied boeggolf-retourstroom/waageldaling.

D- secundaire scheepsgolven

Om een inzicht te verkrijgen in het verloop van de voortplantingsrichting van deze golven dient op enkele plaatsen, verspreid in dwarsrichting tussen vaarlijn en oever, gemeten te worden met waterspiegelveranderingsmeters, met hieraan toegevoegd meters die daar op enige afstand vanaf staan (in de vaarrichting). Speciale aandacht verdient hierbij de omgeving van het talud. De stroomsnelheden in de golven, zowel de transversale als de samengestelde systemen, dienen gekoppeld aan de metingen aan de waterspiegelveranderingen uitgevoerd te worden.

In het gebied achter het schip zijn metingen naar fluctuatie in waterhoogte en stroomsnelheid gewenst (in de vaarlijn). De voortplantingsrichting is hier evenwijdig aan de vaarlijn.

E- schroefstraal en scheepsvolgstroom

Metingen in de schroefstraal van varende schepen zijn zeer moeilijk uitvoerbaar, daar tenslotte in de vaarlijn gemeten dient te worden. Wel kan in de vaarlijn op de bodem gemeten worden.

Andere mogelijkheid is om de instrumenten scheepsgebonden op te stellen, wat echter in het verleden nogal onwerkzaam is gebleken.

Hetzelfde geldt t.a.v. de scheepsvolgstroom.

Om de empirische relaties zoals die uit resultaten in model bepaald zijn voor "bollard-pull condition" ^{te toetsen} kan wel een meetopstelling ongezet worden, zij het dat deze moeilijk gecombineerd kan worden met metingen aan de andere waterbewegingscomponenten. Een aparte opstelling is dus hiervoor benodigd.

4.2.I Belasting van de oevers van scheenvaartkanalen o.i.v. waterbeweging
veroorzaakt door varende schepen

De belasting op de oevers kan worden onderverdeeld in:

-Interne krachten

Dit zijn krachten op de elementen van de oeverbekleding, veroorzaakt door optredende verhangen in de waterspiegel in de ondergrond.

-Externe krachten

Dit zijn krachten op de elementen van de oeverbekleding, veroorzaakt door schuifspanningen, snelheidsdrukken en/of dynamische drukverschillen.

Interne krachten kunnen worden veroorzaakt door de verhoging van de waterspiegel voor de boeg van het schip, de waterspiegelverlaging naast het schip en door de waterspiegelvariaties van de secundaire golven.

Externe krachten kunnen worden veroorzaakt door de retourstroom, de haalgolf met daarachter de taludvolgstream en de orbitaalsnelheden, fluctuaties in hoogte en de golfoploop van de secundaire golven, alsook door de positieve stroming voor de boeg.

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de schade mechanismen van bovengenoemde verschijnselen, m.u.v. de boeggolf, daar de eroderende werking van deze component van de waterbeweging relatief gezien nihil is.

Voor een beschrijving van de waterbewegingscomponenten wordt verwezen naar het voorgaande hoofdstuk.

Vervolgens komen de ontwerpregels en transportformules aan de orde, voor zover deze ontwikkeld zijn en van toepassing kunnen zijn.

Voorts zullen enige lacunes inzake de waterbeweging t.p.v. de oever en de daardoor veroorzaakte erosie aangegeven worden,

A_I RETOURSTROOMSchademechanisme

Ten gevolge van de schuifspanningen die door het stromende water op de bekledingselementen worden uitgeoefend kan instabiliteit in de toplaag ontreden.

De grootte van deze schuifspanningen wordt in belangrijke mate bepaald door de ontwikkelingsgraad van de grenslaag. De zwaarste aanval vindt plaats tijdens de eerste fase van de grenslaagontwikkeling.

Voorts is de turbulentie-intensiteit van invloed op de stabiliteit van de toplaag.

In het onderstaande zal worden ingegaan op bestaande ontwerpformules en transportformules die betrekking hebben op de erosie door retourstroom. Deze formules zijn doorgaans opgesteld voor eenparig stromend water, zodat enige voorzichtigheid betracht dient te worden bij toepassing in dit geval. Aan het slot van deze paragraaf zal hier verder op worden ingegaan.

Ontwerpformules

De optredende schuifspanning kan worden berekend met:

$$\tau = c_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{u}^2 \quad (1)$$

waarin:

τ = schuifspanning (N/m²)

c_f = schuifspanningscoëfficiënt, afhankelijk van de aard en turbulentie van de stroming. (-)

\bar{u} = gemiddelde stroomsnelheid over de vertikaal. (m/s)

c_f kan worden berekend volgens White-Colebrook:

$$c_f = 0,06 \cdot \left(\log \frac{12h}{k} \right)^{-2} \quad (2)$$

met; h = waterdiepte (m), toe te passen indien $(R/h)^{1/3}$ ong. I bedraagt, anders

k = ruwheidsmaat (m), ong. D₉₀.

R, d.i. de hydr. straal.

Deze geldt voor eenparig stromend water, waarbij de grenslaag zich volledig ontwikkeld heeft (log. snelheidsprofiel).

Het is echter de vraag of een dergelijk snelheidsprofiel bereikt wordt in de stromingen veroorzaakt door de passage van een schip, gezien het niet-stationaire karakter daarvan.

In proeven bleek dat het snelheidsprofiel in de retourstroom eerder een rechthoekig karakter vertoont.

Voor de retourstroom is het daarom ^{vaak} reëler om de empirische formule van Schlichting te hanteren. (Lit. 5)

Deze stelde een uitdrukking voor de schuifspanning langs een wand met ruwheid k als functie van de loopweg L van het water langs die wand.

Hiertoe plaatste hij een horizontale plaat in een uniforme stroming, waarbij de plaat met zand hydraulisch ruw gemaakt was. De waarde van c_f bleek als volgt te bepalen:

$$c_f = \left[2,87 + 1,58 \log\left(\frac{L}{k}\right) \right]^{-2,5} \quad (3)$$

Voor berekeningen aan de retourstroom kan de loopweg L geschreven worden als:

$\frac{u \cdot x}{u + V_s}$, waarin x (m) de afstand achter de boeg van het schip is, en u de gemiddelde snelheid van de retourstroomsnelheid over de scheeps-lengte.

Er dient echter wel bedacht te worden dat:

- de stroming in de retourstroom niet altijd uniform zal zijn, niet in de richting // aan de scheepsas, noch in verticale richting.
- de stroomrichting nogal aan verandering onderhevig kan zijn.
- er versnellingen optreden direct achter de boeg van het schip. Hier is niet voldaan aan de voorwaarde dat de bodem hydraulisch ruw dient te zijn.

Waar de toepassing van vgl.(3) lagere waarden voor c_f levert dan die volgend uit vgl.(2) dient deze laatste gehanteerd te worden.

De benodigde diameter van het bekledingsmateriaal kan vervolgens worden bepaald met een formule die de grens van instabiliteit weergeeft:

$$\Psi = \frac{\tau}{\rho g \Delta D} < \Psi_{cr} \quad (4)$$

waarin:

Ψ_{cr} = kritische waarde van de schuifspanningsparameter, afhankelijk van de stromingstoestand in de grenslaag en de vorm, stapeling e.d. van de korrels. (-)

Δ = relatieve dichtheid van het materiaal van de korrels, $\frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ (-)

D = diameter van de korrel (m).

Zoals gezegd is Ψ_{cr} afhankelijk van de stromingstoestand in de grenslaag, welke wordt gekarakteriseerd door het Reynoldsgetal Re_x . Zie figuur D.4. [bijl.]

$$Re_x = \frac{u_x \cdot D}{\nu} = \frac{\tau \cdot D^2}{\rho \cdot v^2} \quad (5)$$

waarin:

u_x = schuifspanningssnelheid (m/s)

ν = kinematische viscositeit (m²/s)

In de figuur is op te merken dat voor waarden van Re_x groter dan 600 á 1000 Ψ_{cr} constant is. De viskeuze krachten spelen dan geen rol meer.

De stroming in de grenslaag is volledig turbulent, de korrels steken ruimschoots door de laminaire sublaag heen : de bodem is op te vatten als zijnde hydraulisch ruw.

Voor lagere waarden van Re_x ($10 < Re_x < 600$), het overgangsbied van hydraulisch glad naar hydraulisch ruw, kan de waarde van Ψ_{cr} beduidend lager zijn, en is Ψ_{cr} wel afhankelijk van Re_x .

In principe kan nu met het bovenstaande de gewenste korreldiameter bepaald worden. * Voor de diameter neemt men dan D_{50} , dat is de diameter van het materiaal die door 50% van het materiaal wordt overschreden.

Een probleem is echter wat er precies verstaan moet worden onder het begrip "begin van beweging". Hier is namelijk geen sprake van een duidelijke grens stilliggen-bewegen. Als maar lang genoeg over een voldoende groot oppervlak gestroomd wordt zal er altijd wel een (kleine) mate van transport optreden; het stochastische karakter overheerst. Bij deze zeer kleine transporten zijn secundaire omstandigheden, als gradering, korrelvorm, watertemperatuur, lokale positie van de korrels, aanwezigheid van ingesloten luchtbellen en optredende turbulentie, van grote invloed.

In scheepvaartkanalen kan zo na een groot aantal scheepspassages een merkbare erosie optreden. De mate van beweging welke daar gedooft kan worden is een economisch optimalisatieprobleem; hogere aanlegkosten of hogere onderhoudskosten.

Zoals reeds gezegd, is er sprake van een overgangszône tussen volledig stilliggen en begin van overwegend transport. Door het W.L. werd deze zône eens onderverdeeld in 7 stadia: [zie ook bijl. D.]

- 1-verplaatsen van de korrels, af en toe
- 2-korrels aan de wandel, hier en daar
- 3-korrels aan de wandel, op vrij veel plaatsen
- 4-korrels aan de wandel, bijna overal
- 5-korrels aan de wandel, overal doch niet permanent
- 6-korrels aan de wandel, overal en permanent
- 7-begin opmars van de korrels

In onderzoek is ψ_{cr} bij uniforme stroming voor criterium I-2 bepaald op 0,03 á 0,035 en voor criterium 6-7 op ons. 0,055. Re_x was hierbij groter dan 600 á 1000.

Er zijn echter zelfs bij $\psi_{cr} = 0,01$ á 0,02 wel eens (zeer) kleine sediments-transporten waargenomen.

* na bepaling van \bar{u} , c_f en ψ_{cr} .

Een eenvoudige manier om de benodigde diameter van het materiaal te bepalen is:

$$D_{50} \geq \frac{\beta}{\Delta} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2g} \quad (6)$$

Deze formule is afgeleid van formules (I) en (4) met $\beta = \frac{2g}{\psi_{cr} C^2}$ (7)

(C = Chézy-coëfficiënt ($m^{\frac{1}{2}}/s$))

en is in principe geldig voor stroming evenwijdig aan het talud bij waterdienten waarvoor geldt $h/D > 5$, met een volledig ontwikkelde grenslaag.

De factor β is empirisch bepaald en hangt af van :

- mate van turbulentie
- vorm van de stenen
- toegestane verlies bestorting
- waterdiepte

Uit verschillende onderzoeken bleek β te varieëren tussen 0,6 en 1,5, voor hydraulisch ruwe omstandigheden.

Indien β wordt berekend met (7) duikt het probleem van de te hanteren waarden van C en ψ_{cr} weer op. Al gauw kunnen verschillen optreden in de waarde van β van een factor 2,5.

Indien de korrels zich op een talud bevinden dient rekening gehouden te worden met de invloed van de zwaartekracht op de stabiliteit van die korrels. Daartoe moet de waarde van β worden vermenigvuldigd met een reductiefactor K_D . Deze is voor stroming evenwijdig aan het talud:

$$K_D = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}} \quad \text{of} \quad K_D = \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varphi}} \quad ()$$

Waarin:

α = taludhelling ($^{\circ}$)

φ = hoek van inwendige wrijving tussen de korrels ($^{\circ}$)

Vergl. (4) en (6) worden hiermee resp.:

$$\psi_{cr} \leq \frac{\tau}{\rho g \Delta D_{50}} \cdot \frac{I}{K_D} \quad (4a)$$

en

$$D_{50} \geq \frac{\beta}{\Delta} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2g} \cdot \frac{I}{K_D} \quad (6a)$$

Transportrelaties

Het aantal korrels dat in beweging komt kan worden uitgedrukt in de parameter:

$$\Phi = \frac{q_s}{\sqrt{\epsilon \Delta^3}} \quad (8)$$

waarin:

q_s = het korreltransport als volume (zonder poriën) per eenheid van breedte
en tijd $(m^3/(m \cdot s))$

Transportformules geven de relatie weer tussen de schuifspanningsparameter ψ en de transportparameter Φ .

Voor doorgaand bodemtransport van niet-cohesief materiaal wordt dikwijls de formule van Meyer-Peter en Müller toegenast:

$$\Phi = 13,3 [\mu\psi - 0,047]^{1,5} \quad (9)$$

waarin μ afhankelijk is van de macroscopische vorm van de bodem, zoals ribbels of duinen. Voor de bestortingen geldt $\mu = 1$.

Het bleek echter dat de drempelwaarde van ψ , 0,047, aan de (te) hoge kant is; voor lagere waarden van de schuifspanningsparameter traden namelijk eveneens transporten op. Daarom is de drempelwaarde verlaagd tot 0,03 en wordt (9):

$$\Phi = 13,3 [\mu\psi - 0,03]^{1,5} \quad (10)$$

Deze formule is geldig voor $\Phi > 10^{-2}$, en is opgesteld voor eenparig stromend water.

Voor lagere waarden van de transportparameter, te weten $10^{-9} < \Phi < 10^{-2}$, heeft Paintal een empirische transportformule opgesteld, voor eenparige stroming;

$$\Phi = 6,56 \cdot 10^{18} \cdot \psi^{16} \quad (11)$$

Deze formule is niet afhankelijk van de waarde van het Reynoldsgetal Re_x .

Het bleek dat de $Re_x - \psi$ relaties voor de 7 verschillende stadia gelijkvormig van aard zijn; een bepaalde transportintensiteit treedt in het overgangsbied van hydr. ruw naar glad op bij een lagere waarde van ψ dan wanneer er sprake is van een volledig turbulente stroming in de grenslaag.

Bij controle van de proeven van Paintal bleek dat de stroming zich in het overgangsgebied van hydr. ruw naar glad bevond. Door gebruik te maken van de relatie tussen Re_x en Ψ zoals die bleek bij Shields en het WL kunnen de resultaten van Paintal zodanig worden gecorrigeerd als zouden deze proeven met een hydraulisch ruwe bodem uitgevoerd zijn. Daartoe wordt de in de proef waargenomen waarde van de schuifspanningsparameter verhoogd met een $\Delta\Psi$ die kan worden afgelezen uit fig. D₁. nadat de waarde van Re_x en van Φ , die in die proef optraden, zijn berekend. Daar in de proeven van Paintal en in het onderzoek "erosie door retourstroom" (M III5) transportintensiteiten optraden die aanzienlijk lager waren dan volgens het eerste stadium (af en toe verplaatsen van de korrels) en waarnemingen aan zulke lage transportintensiteiten verder ontbreken, is aangenomen dat het verband tussen Re_x en Ψ voor $\Phi < 10^{-4}$ gelijkvormig is aan dat verband voor grotere transportintensiteiten.

Na een dergelijke correctie kan de transportformule als volgt bepaald worden:

(Lit. 8)

$$\Phi = 1,64 \cdot 10^{10} \cdot \Psi^{10,86} \quad (12)$$

met $\Psi_{\text{transportformule}} = \Psi_{\text{gemeten}} + \Delta\Psi$

Bedacht moet worden dat dus voor $\Phi < 10^{-4}$ de correctie op een (nog) wankelende basis geschiedt.

In bijlage D 2 is het verband tussen Ψ en Φ weergegeven.

Lacunes

Zoals gezegd gelden de formules 2,6 en 9 t/m I2 voor eenparige stroming, waarbij de grenslaag volledig ontwikkeld is. Bij de retourstroom is dit echter geenszins altijd het geval. Het is dan in feite ook niet juist de gemiddelde snelheid over de vertikaal te gebruiken.

Ook is de invloed van een onontwikkelde grenslaag op de waarde van ψ_{cr} nog onbekend.

De ontwikkeling van de grenslaag is van velerlei factoren afhankelijk, als van de positie, vorm en snelheid van het schip dat de retourstroom veroorzaakt, ^{en} vorm van het dwarsprofiel van de vaarweg,

Secundaire golven en verticale versnellingen (nabij de boeg van het schip) beïnvloeden eveneens de ontwikkeling van de grenslaag.

Onderzoek is gewenst naar de ontwikkeling van de grenslaag in de retourstroom alsmede naar de veroorzaakte erosie, waarna de ontwerp- en transportformules getoetst kunnen worden, mede aan de hand van resultaten van het onderzoek "erosie door retourstroom".

Daar de waarde van c_f bepaald wordt met behulp van empirische relaties, gebaseerd op modelresultaten, is in feite de invloed van turbulentie op de stabiliteit van het materiaal reeds inbegrepen.

Teneinde toch een inzicht te verkrijgen in de mate van die invloed is het wenselijk aparte metingen te verrichten naar turbulentie-intensiteiten, mogelijk gekoppeld aan de erosiemetingen.

Bovendien kan dan bepaald worden in welke mate de turbulentie-intensiteit zoals die gemeten is in model met de werkelijkheid overeenstemt, waaruit mogelijke schaafeffecten kunnen blijken.

A₂ SPIEGELDALINGSchademechanisme-Open constructies

Door de spiegeldaling worden verhangen veroorzaakt in de ondergrond en in de verdedigingsconstructie. Onder invloed van deze verhangen worden interne krachten op elementen van de filterlaag (-lagen) uitgeoefend. De spiegeldaling is dus voornamelijk van belang voor de gedeelten van de oeververdediging die zich onder de toplaag bevinden.

Mogelijk beïnvloeden de interne krachten eveneens de stabiliteit van de toplaag van deze oeververdediging.

In de waterbeweging in de taluds kunnen de volgende stromingen onderscheiden worden:

- stationaire stroming, evenwijdig aan het grensvlak tussen 2 lagen
- stationaire stroming, loodrecht op het grensvlak
- cyclische stroming, evenwijdig aan het grensvlak
- cyclische stroming, loodrecht op het grensvlak

Bij stroming evenwijdig aan het grensvlak treedt instabiliteit op indien een bepaalde kritieke schuifspanning overschreden wordt.

Bij stroming loodrecht op het grensvlak hangt de stabiliteit af van de mate waarin boogvorming van het basismateriaal tussen het filtermateriaal kan optreden. Bij een cyclische stromingstoestand is de stabiliteit geringer, daar de bogen bij wissellende belastingrichting minder stabiel zijn.

Instabiliteit treedt op indien de door het (kritieke) verhang uitgeoefende kracht de boogsterkte overschrijdt.

-Constructies met slechte waterdoorlatendheid

Wanneer delen van de oeeververdediging onvoldoende waterdoorlatend zijn kan, als gevolg van daardoor ontstane wateroverdrukken, de wrijvingsweerstand tussen constructie of delen daarvan en de ondergrond verminderen. Dit kan afgliden en/of onlichten tot gevolg hebben. Dit verschijnsel is van belang bij verdedigingen met een toplaag van gezette steen, terwijl ook bij open constructies op een ondergrond van klei zich een waterdruk kan onbouwen.

Ontwerpregels
-Open constructies

Filterlagen bestaan uit één of meerdere lagen granulair materiaal, waarbij één of meerdere lagen vervangen kunnen worden door kunststoffilters.

Aan de volgende eisen dient voldaan te worden:

- materiaaldichtheid, ten einde uitspoeling te verhinderen
- doorlatendheid
- de zeefkrommen van de materialen dienen bij voorkeur evenwijdig te lopen
- interne stabiliteit
- de dikte van de filterlagen dient voldoende te zijn om onregelmatigheden als gevolg van de uitvoeringsmethode op te vangen.

Granulaire filters

-Stroming evenwijdig aan grensvlak

Het verlies van basismateriaal is uit te drukken als functie van het verhang, afhankelijk van de stromingscondities, en karakteristieken van de materialen. De stromingstoestand kan worden gekarakteriseerd door het

Reynoldsgetal voor poreuse stroming:

$$Re_f = \frac{u_f \cdot D}{\nu}$$

Het kritieke verhang kan worden uitgedrukt in de kritieke schuifspanning:

$$i_{cr} = c \cdot u_{x cr}^2 \quad (14)$$

waarin:

c = coëfficiënt, bevattende een laminaire en een turbulente term om de stromingscondities te beschrijven. (s^2/m^2)

Deze formule is echter nog niet geoptimaliseerd en derhalve nog niet goed bruikbaar.

Verder zijn er enige empirische relaties inzake stabiliteit :

Bij $i = 0,2$: $D_{50f} / D_{50b} < 10$ voor grind op zand. (Vinié e.a.)

$D_{50f} / D_{50b} < 100$ voor stortsteen op grind. (Vinié e.a.)

Bij $i < 1,3$: $D_{60f} / D_{10b} < 10$ (Istominia) .

-Stroming loodrecht op het grensvlak

Hier is nog geen formule beschikbaar waarin de invloed van het verhang verwerkt is.

Wel is een relatie opgesteld t.a.v. de boogvorming, welke maatgevend is voor de stabiliteit. Boogvorming is mogelijk indien:

$$n_f \cdot \frac{D_{20f}}{D_{50b}} = 1 \text{ á } 6 \quad (15)$$

waarin:

n_f = porositeit van het filtermateriaal (-)

D_{20f} = diameter van het filtermateriaal dat door 80% van het materiaal wordt overschreden (m)

D_{50b} = diameter van het basismateriaal dat door 50% van het materiaal wordt overschreden (m)

De korrelspanning speelt hierbij een grote rol. Onderaan de filterlagen is een betere stabiliteit aanwezig dan nabij het wateroppervlak.

Bij cyclische stromingstoestand zijn de bogen minder stabiel.

Bij waarden van (15) groter dan 6 is geen boogvorming meer mogelijk.

Relatie (15) is echter nog niet overal bekend/aanvaard, waardoor nog moet worden gewerkt met empirische relaties. Deze relaties staan praktisch geen indringing van basismateriaal in filtermateriaal toe.

Hier een opsomming:

-t.a.v. materiaaldichtheid:

$$D_{15f} < 4 \text{ á } 5 D_{85b} \quad (\text{Terzaghi, v. Bendegom})$$

$$D_{20f} < 6 \text{ á } 8 D_{50b} \quad (\text{WT})$$

$$D_{50f} < \alpha D_{50b} \quad (\text{Karnoff, Davidenkoff, v. Bendegom})$$

met $\alpha = 5 \text{ á } 10$ voor homogeen filter met afgerond materiaal

$\alpha = 28 \text{ á } 30$ voor gegradeerd filter met hoekig materiaal

$\alpha = 58 \text{ á } 60$ voor sterk gegradeerd filter met afgerond materiaal

-t.a.v. waterdoorlatendheid:

$$D_{I5f} > \beta D_{I5b} \quad (\text{Div.})$$

met $\beta = 5$, voor homogeen filter met afgerond materiaal

$\beta = 6-20$, voor gegradeerd filter

$\beta = 12-40$, voor vrijwel homogeen filter met hoekig materiaal

-t.a.v. interne stabiliteit:

$$D_{60f} \leq 20 D_{I0f} \quad (\text{Terzaghi})$$

$$D_{60f} \leq 10 D_{I0f} \quad (\text{WL})$$

Nagenoeg alle bovenstaande formules zijn afgeleid voor stationaire stromingscondities. Er bestaan nog vele andere formules, doch in wezen verschillen deze niet erg veel met de reeds genoemde formules.

Naast deze formules zijn er algemene richtlijnen:

- de zeefkrommen van het basismateriaal en het filtermateriaal moeten zoveel mogelijk evenwijdig lopen. (Lubotchkov, Fuller)
- het filtermateriaal en de ondergrond moeten worden verdicht
- het filter moet vochtig worden opgebracht in lagen van max. 0,10 m
- de laagdikte moet minimaal 0,20 m bedragen, voor grind, en voor stortsteen minimaal 1 á 2 maal de steendiameter.

Voor het geval de filterlaag op cohesieve ondergrond is aangebracht geldt voor de materiaaldichtheid van het filtermateriaal:

$$D_{15f} > 100 \mu\text{m} \quad (\text{v. Bendegom})$$

en t.a.v. het verhinderen van verstopping van het filter:

$$D_{5f} > 75 \mu\text{m} \quad (\text{Karpoff, v. Bendegom})$$

Algemeen geldt dat, indien de relaties ontleend aan de vgl. (I4) en (I5) bekend zijn, de empirische eisen, behalve die t.a.v. de interne stabiliteit, buiten beschouwing kunnen worden gelaten.

Kunststofffilters

Kunststofffilters kunnen één of meerdere granulaire filterlagen vervangen.

De eisen die er aan gesteld moeten worden zijn daarom gelijk, met dit verschil dat de eis t.a.v. interne stabiliteit komt te vervallen.

Op grond van onderzoek in het WL is tot de volgende eisen gekomen:

-t.a.v. de materiaaldichtheid:

$O_{90} \leq D_{90b}$ bij statische belasting

$O_{98} \leq D_{85b}$ bij dynamische belasting, waarbij de opbouw van een "natuurlijk filter" mogelijk is

$O_{98} \leq D_{15b}$ bij dynamische belasting, waarbij de opbouw van een "natuurlijk filter" niet mogelijk is

waarbij:

O_{90} = de karakteristieke opening in het weefsel die door 10% van de openingen wordt overschreden.

"natuurlijk filter"- de situatie die optreedt nadat door uitspoeling van de fijnere delen van het basismateriaal het overgebleven materiaal niet meer kan worden getransporteerd door de openingen van het weefsel.

-t.a.v. de waterdoorlatendheid:

$O_{90} \geq D_{90}$ (van een granulair filter indien dit toegepast zou worden)

$O_{90} \geq 4 \text{ á } 5 D_{20b}$

Enkele opmerkingen betreffende de toepassing van kunststoffilters :

- het doek dient gelijkmatig tegen de ondergrond te worden aangedrukt ten-einde materiaalverlies uit de basislaag door klapperen van het doek te voorkomen. De korreldiameter van het materiaal op het doek moet daardoor niet te groot zijn.
- kunststoffilters zijn gevoelig voor "clogging", dit is het dichtslaan als gevolg van afzettingen van kleine deeltjes of chemische bestanddelen, meegevoerd door het stromende water, en voor "blocking", dit is het dicht-slibben vanuit de ondergrond. Voor deze problemen zijn (nog) geen oplossingen gevonden.
- voor toepassing op basismateriaal bestaande uit klei of een klei/zand-mengsel is het doek onvoldoende materiaaldicht. Daarom verdient het aanbeveling om een laag fijn zand tussen ondergrond en filterdoek aan te brengen. Hiervoor gelden in principe dezelfde regels als voor granulaire filters. Uitvoering "in den natte" is evenwel vrijwel uitgesloten.
- Door het dichtslibben van het filterdoek kunnen de criteria t.a.v. schuiven en liften, zoals die zijn opgesteld voor slecht doorlatende constructies, relevant worden. Zie hiervoor de volgende blz.

-Constructies met slechte waterdoorlatendheid

Eisen moeten worden gesteld t.a.v.:

- afglijden van de gehele constructie met een deel van de ondergrond
- afglijden en/of oplichten van de gehele constructie over de ondergrond
- afglijden en/of oplichten van afzonderlijke constructielagen

Voor wat betreft het eerste punt zullen glijdvlakberekeningen moeten worden uitgevoerd. (LGM, Taylor)

Voor de andere twee eisen zijn resp. een schuif- en een liftcriterium opgesteld, voor de stabiliteit van een enkele laag:

Schuifcriterium:

$$\Delta H \leq (I - \varepsilon) \cdot t \cdot \cos \alpha \frac{\tan \varphi - \tan \alpha}{\tan \varphi}$$

Liftcriterium:

$$\Delta H \leq (I - \varepsilon) \cdot t \cdot \cos \alpha$$

Waarin:

ΔH = waterstandsverschil (m)

ε = poriëngehalte (-)

t = laagdikte (m)

Het schuifcriterium is doorgaans maatgevend, zij het dat in geval van samenhangende constructies (zetsteen) en lokale wateroverdrukken (sec. scheepsgolf, haalgolf) plaatselijk oplichten kan voorkomen zonder dat de constructie als geheel afglijdt.

Het lift- en schuifcriterium voor de gehele constructie is als volgt:

Schuifcriterium:

$$\Delta H \leq \cos \alpha \cdot \frac{\tan \varphi - \tan \alpha}{\tan \varphi} \cdot \sum_{x=1}^n [t_x \cdot (1 - \varepsilon_x) \cdot \Delta_x]$$

Liftcriterium:

$$\Delta H \leq \cos \alpha \cdot \sum_{x=1}^n [t_x \cdot (1 - \varepsilon_x) \cdot \Delta_x]$$

Lacunae

Naar de volgende zaken is verder onderzoek benodigd:

- kritieke verhangen in filterlagen voor diverse stromingstoestanden, zowel stationair als cyclisch als een combinatie daarvan. Zie ook sec. golven.
- ontwikkeling van transport en zettingen bij verhangen groter dan het kritieke verhang.
- voortplanting van druk in de ondergrond, uitgeoefend door de spiegeldaling, als functie van de ondergrond.
- invloed van de interne krachten op de stabiliteit van de toplagen van de verdediging, invloed ondergrond hierop (materiaal, aanwezigheid vlijlaag).
- eisen t.a.v. de korreldiameter in filterlagen op kunststoffilters om klapperen van het doek te voorkomen.
- mogelijkheden tot toepassing van kunststoffilters op basismateriaal bestaande uit klei.

B. I HAALGOLF

Schademechanisme

In de haalgolf kunnen grote verhangen en versnellingen optreden. Bovendien vindt er een omkering van de stroomrichting plaats. Hierdoor worden externe krachten op het bovenste deel van een oeververdedigingsconstructie uitgeoefend.

Bij proeven met een loodrechte golfaanval op bekledingen van gezette steen (op een ondoorlatend talud, met vlijlaag) van golfbrekers werden de volgende schademechanismen onderscheiden:

- quasi-statische verschildruk (het in de tijd langzaam toenemende opwaarts gerichte drukverschil dat maximaal is juist voordat de brekende golf op het talud slaat).
- verschildruk door faseverschuiving (de dynamische opwaartst gerichte drukpiek voorafgaande aan het breken van de golf).
- dynamische verschildrukken (dynamische drukfluctuaties die bij het breken van de golf optreden).

Hoe gezette steen zich gedraagt indien deze rechtstreeks op een doorlatende ondergrond wordt geplaatst is niet onderzocht. Wel bleek dat de aanwezigheid van de vlijlaag een negatieve invloed heeft op het gedrag van de zetsteen op een ondoorlatende ondergrond.

De doorlatendheid van de onderlaag en van de voegen van de erop rustende bekleding is van grote invloed.

In hoeverre bovengenoemde mechanismen zich zullen manifesteren bij een constructie met een toplaag van stortsteen is nochtans de vraag.

Immers, bij zetsteen op een vlijlaag is de toplaag relatief gezien minder doorlatend, terwijl bij een toplaag van stortsteen juist het omgekeerde het geval is.

Overigens is het eveneens de vraag in hoeverre de schademechanismen veroorzaakt door de haalgolf met de bovengenoemde overeen komen.

Ontwerpresels

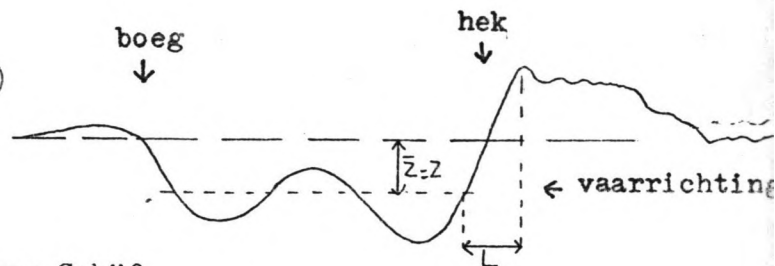
Met behulp van de resultaten van verhang- en waterhoogtemetingen in de haalgolf (M III5) zijn de maximaal optredende schuifspanningen onder het golffront bepaald. Uit deze voorlopige meetresultaten kan worden afgeleid dat bij benadering geldt:

$$\tau_{max} = \rho \cdot g \cdot z \cdot \frac{z}{L} \quad (I6)$$

waarin:

z = spiegeldaling berekend volgens Schijf

L = lengte van het golffront (5 á 10 m)



Met de eis van formule (4) :

$$\psi = \frac{\tau_{max}}{\rho \cdot g \cdot \Delta \cdot D_{50}} \leq \psi_{cr}$$

kan een kritieke waarde voor de optredende spiegeldaling z_{cr} bepaald worden t.a.v. stortsteenbekledingen:

$$z_{cr} \leq \sqrt{\psi_{cr} \cdot \Delta \cdot D_{50} \cdot L} \quad (I7)$$

Voor de problematiek omtrent de bepaling van de kritische waarde van de schuifspanningsparameter ψ_{cr} wordt verwezen naar de par. over retourstroom.

Vaak wordt de stabiliteit van stortsteenbekledingen t.a.v. de haalgolf berekend met formules als die van Hudson of Iribarren. De algemene vorm van deze empirische formules, opgesteld voor golfbrekers onder invloed van oppervlaktegolven, waarvan de golfkam loodrecht op de normaal van de golfbreker staat, en waarbij enige schade aan de golfbreker wordt geaccepteerd, is als volgt:

$$W = \frac{\rho_s}{\Delta^3} \cdot H^3 \cdot N \cdot f(\alpha) \quad (18)$$

waarin:

W = gewicht van het element (kg)

ρ_s = dichtheid van het materiaal (kg/m³)

Δ = relatieve dichtheid van het materiaal (-)

H = maatgevende golfhoogte (m)

α = hellingshoek van het talud (°)

N = empirische coëfficiënt, afhankelijk van de vorm van de elementen en de geaccepteerde schade.

Als met (18) het gewicht van de stortsteen-elementen is bepaald, dan kan de diameter bepaald worden met:

$$D_{50} = \left(\frac{W}{sf \cdot \rho_s} \right)^{1/3} \quad (19)$$

waarin:

sf = vormfactor, variërend van 0,5 (bolvormige steen) tot 0,8 (hoekige steen).

Het gebruik van formules volgens (18) is echter in principe niet juist, daar de golfkam van de haalgolf evenwijdig aan de normaal van de oeververdediging loopt in plaats van dat deze er loodrecht op staat. Voorts is een beperking dat de formules slechts geldig zijn voor steile hellingen: 1:1,5 á 3.

Voor de ontwerpmethoden voor bekledingen met zetsteen wordt verwezen naar de verhandeling hierover in de paragraaf over spiegeldaling, in het bijzonder waar het gaat over slecht doorlatende constructies, het liftcriterium. Verder bestaan er geen criteria die van toepassing kunnen zijn op zetsteenbekledingen.

Lacunes

Omtrent de schademechanismen als gevolg van de haalgolf is nog weinig bekend, vooral voor zetsteenbekledingen.

Een criterium voor het optreden van schade bij zetsteenbekledingen ontbreekt. De relatie $(I_6)/(I_7)$ tussen optredende schade en golfaanval voor stortsteenbekledingen dient aan de werkelijkheid getoetst te worden.

In het algemeen ontbreekt er kennis t.a.v. de relatie tussen optredende verhangen en versnellingen en de scheepspositie/-snelheid, taludhelling, voortplanting van drukklappen in de ondergrond, snelheidsveld, turbulentie, invloed al of niet breken van de haalgolf,

B₂ TALUDVOLGSTROOMSchademechanisme

Door het overschrijden van een kritieke waarde van de schuifspanning, die door het stromende water op de verdedigingsselementen wordt uitgeoefend, kunnen deze elementen instabiel worden en getransporteerd worden.

Evenals bij de retourstroom is er sprake van een versnellingsgebied.

De grenslaag is in de taludvolgstream niet volledig ontwikkeld.

Schade (verplaatsingen) treedt op in een zône nabij de (ongestoorde) waterspiegel op het talud, horizontaal en in de vóórrichting.

Ontwerpregels

De optredende schuifspanning kan worden berekend met:

$$\tau = c_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \bar{u}^2 \quad (I)$$

De waarde van c_f voor de taludvolgstream is in onderzoek vastgesteld op ongeveer 0,15. (M III5) Deze waarde kan toegepast worden in vergelijkbare omstandigheden als in het model. De proeven Oebes voldoen daar grotendeels aan. Wel dient deze waarde van c_f met de nodige bescheidenheid gehanteerd te worden.

Berekening van c_f met formule (2) (White-Colebrook) leverde in bovengenoemd onderzoek een waarde op van ongeveer 0,03. Dit is een dermate groot verschil met de bepaalde waarde van c_f , dat gebruik van formule (2) waarschijnlijk niet toepasbaar is voor de taludvolgstream.

Met behulp van formule (4) :

$$\Psi_{cr} < \frac{\tau_{cr}}{\rho \cdot \Delta D_{50}}$$

kan de benodigde diameter van het materiaal bepaald worden. Probleem is hier

bij echter, evenals dat is bij de erosie door retourstroom, het definiëren van het begrip begin van beweging. Hiervoor wordt verwezen naar de desbetreffende paragraaf.

Zoals bij de retourstroom kan ook hier gebruik worden gemaakt van formule (6):

$$D_{50} \gg \frac{\beta}{\Delta} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

($\beta = 0,6 \text{ à } 1,5$, zie par. retourstroom)

Het bezwaar van het gebruik van bovenstaande formules is dat deze zijn afgeleid voor situaties waarbij van een volledig ontwikkelde grenslaag sprake is, hetgeen in dit geval niet zo is.

Lacunes

De relaties tussen enerzijds scheepsvorm, -snelheid, -vermogen en -positie en anderzijds de zich manifesterende snelheden en turbulenties zijn nog onvoldoende bekend.

Bestaande relaties ter bepaling van de schuifspanning dienen getoetst te worden op bruikbaarheid t.a.v. de taludvolgstream, of nieuwe relaties dienen ontwikkeld te worden voor dit verschijnsel.

D SECUNDAIRE SCHEEPSGOLVEN

Schademechanisme

De belasting op een oever ten gevolge van secundaire scheepsgolven wordt veroorzaakt door:

- Orbitale snelheden. Deze veroorzaken schuifspanningen op de oeverbekledings-elementen, waardoor deze instabiel kunnen worden.
- Fluctuaties in waterhoogte. De verticale waterbeweging introduceert ver-
hagen in de ondergrond en de filterlagen, waardoor interne krachten op
de bekledings-elementen worden uitgeoefend. Bovendien kunnen dynamische
drukverschillen optreden bij het breken van de golven (externe krachten).
- Golfoploop. Bij het breken wordt niet alle energie gedissipeerd, waardoor
het water tegen het talud oploopt. Hierdoor worden schuifkrachten
op de oeverbekledings-elementen uitgeoefend.

Voor verdere beschrijving van de schademechanismen t.g.v. de stroomsnelheden en de waterspiegelfluctuaties wordt verwezen naar resp. par. A₁ en A₂. Specifieke kennis omtrent de schademechanismen veroorzaakt door de secundaire scheepsgolven ontbreekt echter nog. Wel is er onderzoek verricht naar loodrechte golfaanvallen op taluds, doch secundaire scheepsgolven bereiken de oever meestal onder een hoek. Bovendien bestaan de boeg- en hekgolven in feite uit 2 componenten, te weten een divergerende en een transversale.

Ontwerpregels

Om de stabiliteit van toplagen te dimensioneren tegen belastingen veroorzaakt door de orbitale snelheden bestaan nog geen formules.

De snelheden zijn, in verhouding tot de snelheden in de retourstroom, gering. In combinatie met de retourstroom kunnen echter grote versnellingen optreden. Dit is eveneens het geval indien tegen de grenssnelheid aan wordt gevaren, waardoor de halfrif de halfrif versterkt.

Wat betreft ontwerpregels t.a.v. de fluctuaties in waterspiegelhoogte is men aangewezen op hetgeen in par. A₂ reeds vermeld is. Omtrent de golfdoordringing in meerlagenstructuren als oeververdedigingsconstructies is nog weinig bekend. (Zie ook B_I).

Net als dat bij aanvallen door de haalgolf het geval is (par B_I), is het gebruik van empirische formules die zijn opgesteld voor golftrekers (o.a. Hudson en Iribarren) in principe onjuist te noemen.

Wel kan een indicatie omtrent de golfoploop verkregen worden door toepassing van de zgn. Delftse formule (niet voor zetsteenglooiingen):

$$h = 8f \cdot H \cdot \tan\alpha \cdot \cos\beta \cdot (1 - B/L_w) \quad (19)$$

waarin:

h = golfoploop (m)

f = factor samenhangende met de ruwheid van het beloop, variërend van ca. 0,7 bij een ruw, tot ca. 1,20 bij een glad verloop. (-)

H = golfhoogte (m)

α = taluhelling (°)

β = hoek van inval, tussen de loodlijn van de golven en de normaal van de oever, geldig voor $\beta < 30^\circ$. (°)

B = breedte van de berm (m)

L_w = golflengte (m)

of volgens Hunt:

$$h = \sqrt{H \cdot L_0} \cdot \tan\alpha \quad (20)$$

waarin:

L = golflengte op diep water (m)

Lacunes

Omtrent de volgende zaken is nog onvoldoende bekend:

- de opbouw van secundaire scheepsgolven
- het schademechanisme van de componenten waaruit de secundaire scheepsgolven zijn opgebouwd.
- berekeningsmethoden.
- de invloed van de taludhelling en -structuur op het gedrag van de golven en de golfoploop.
- de golfindringing in verdedigingsconstructies.
- lacunes als in par. A₂ vermeld zijn.
- erosie door gecombineerde waterbeweging van primaire en secundaire scheepsgolven.

E SCHROEFSTRAALSchademechanisme

Door de hoge watersnelheden veroorzaakt door de schroefwerking worden schuifspanningen op de oeverbekledingselementen in de toplaar uitgeoefend, dat wil zeggen, indien de oever zich binnen de invloedssfeer van de schroefstraal bevindt. Het schademechanisme is in principe hetzelfde als bij de taludvolgstrom.

Ontwerpregels

De schuifspanning kan worden berekend met (I):

$$\tau = c_f \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{u}^2$$

Uit onderzoeksresultaten bleek bij stilliggende schepen met ingeschakelde voortstuwingsapparaten de waarde van c_f tussen 0,06 en 0,11 te variëren. De bij dit onderzoek betrokken bodemverdediging bestond uit los stortmateriaal. Het bleek voorts dat de hevigste aanval op de bovenlaag van de constructie optreedt in een gebied achter de schroef waarvoor de horizontale afstand tot de as van de straal kleiner was dan 0,2 maal de afstand tot de schroef, gemeten langs de as van de straal, en waarvoor de afstand in verticale richting tot de as van de straal tussen de 0,10 en de 0,25 maal de afstand tot de schroef, gemeten langs de as van de straal bedroeg.

Worden bovenvermelde waarden van c_f gehanteerd, dan kan de vereiste D_{50} worden bepaald met vgl. (4):

$$\psi_r < \frac{\tau}{\rho \cdot \Delta D_{50}^2}$$

Lacunes

De invloed van radiële en tangentiële componenten van de waterbeweging in de schroefstraal zijn nog onbekend. Hetzelfde geldt voor de invloed van vaarwegbegrenzungen, als taluds, op de afbuiging van de straal.

Voorts bestaat nog onvoldoende inzicht omtrent tijdsafhankelijke invloeden van langdurig manoevreren op één plaats.

4.2.2 Wensen t.a.v. metingen t.b.v. erosie en stabiliteit

Uitgaande van de hiervoor vermelde lacunes in kennis betreffende schade-
mechanismen en ontwerpformules kunnen de volgende wensen t.a.v. de metingen
worden geformuleerd;

Er dienen ^{o.m.}metingen te worden verricht naar:

- de ontwikkeling van het verticale snelheidsprofiel en de grenslaag in de
retourstroom (A_1),
- de voortplanting van druk(-klappen) in de ondergrond als functie daarvan
(A_2 , B_1 en D),
- de mate van invloed van de verhouding in mate van doorlatendheid tussen
toplaag en daaronder gelegen lagen op het optreden van dynamische druk-
verschillen (B_1 en D),
- turbulentie-intensiteiten (A_1 , B_2 en E),
- snelheidsveld, versnellingen en verhang in de haalgolf (B_1),
- snelheidsveld in de taludvolgstroom (B_2),
- verloop van snelheden in secundaire scheepsgolven, alsmede het gedrag
van deze golven bij/op het talud (D),
- de invloed van de vaarwegbeperkingen op de afbuiging van de schroefstraal (E)
- het snelheidsveld in de schroefstraal, bij varende en stilliggende schepen,
en de invloed van de vaarwegbeperkingen daarop (E),
- de invloed van de grootte van de taludhelling (alg.),
- de invloed van het samenvallen van de secundaire en primaire scheepsgolf
(A, B en D).

Voorts dienen metingen te worden verricht naar de erosie zoals die veroorzaakt wordt door de verschillende componenten van de waterbeweging, teneinde

- de diverse ontwerpformules en transportrelaties te toetsen of, waar deze nog niet voldoende bekend zijn, af te leiden uit de meetresultaten.
- de invloed te bepalen van een onontwikkelde grenslaag op de kritieke waarde van de schuifspanningsparameter.
- de invloed te bepalen van de interne krachten op de stabiliteit van de tonlagen, alsmede de invloed van de ondergrond hierop.
- inzicht te krijgen omtrent kritieke verhangen in filterlagen voor diverse stromingstoestanden.
- inzicht te verkrijgen in de schademechanismen van haalgolf en secundaire scheepsgolven.
- inzicht te verkrijgen omtrent de invloed van de radiële en tangentiële componenten van de waterbeweging in de schroefstraal op de stabiliteit van de toplaag.
- inzicht te verkrijgen in mogelijk lineair gedrag van de erosie (superpositiebeginsel)

4.3 OPZET METINGEN4.3.0 Programma van eisen

Uit de voorgaande hoofdstukken, waarin de wensen t.a.v. de metingen betreffende de door schepen veroorzaakte waterbeweging en de lacunes in kennis inzake het effect van die waterbeweging op oeververdedigingen geformuleerd werden, kunnen de volgende wensen t.a.v. de metingen samengevoegd worden:

Betreffende de waterbeweging in de vaarweg:

Metingen zijn wenselijk ter plaatse van:

a) de vaarlijn:

- I) stroomsnelheden-I -snelheden voor de boeg (C)^x
 - 2- snelheden onder het schip (A)
 - 3- snelheden vlak achter het schip (E)
 - 4- snelheden verder achter het schip (E)
 - 5- turbulentieintensiteit achter schip (E)
 - 6- verandering van de snelheden in de overgangsgebieden

- 2) waterspiegelveranderingen-I- verhoging/verlaging voor het schip (C)
 - (drukveranderingen) 2- drukverlaging onder schip (A)
 - 3- verhoging/verlaging achter schip (D,E)

- 3) stroomrichtingen-I- verloop van de richting, vooral bij het varen langs de oever (A,C)
 - 2- verloop van de richtingen in de overgangsgebieden.

- 4) verticale positie schip-I- vertrimming (A)

^x(A,B,C,D en E geven het veroorzakende verschijnsel aan.

b) tussen wal en schip:

1) stroomsnelheden-I- snelheden voor het schip (C)

2- snelheden naast het schip (A), hor. en vert. profiel

3- snelheden naast/avhter hek (B)

4- snelheden in sec. golven (D)

5- verandering van de snelheden in overgangsgebieden

2) waterspiegelveranderingen-I- verhoging/verlaging voor het schip (C)

2- verlaging naast het schip (A)

3- verhoging/verlaging naast het schip (D)

4- verhoging t.p.v. hek (B, evt. + D)

5- verhoging/verlaging achter schip (D)

3) stroomrichtingen-I- verloop van de richting voor, naast en achter het schip

2- verloop van de richting in de overgangsgebieden

4) richting waterspiegelveranderingen- verloop van de voortschrijdingsrichting

van de sec. golven (D)

Betreffende de waterbeweging op en in het talud:

c) boven talud:

1) stroomsnelheden-I- snelheden voor de boeg (C)

2- snelheden naast het schip ..., versnellingen, turbulentie en ontwikkeling grenslaag. (A + evt. D)

3- snelheden, versnellingen en turbulentie ter hoogte van hek (B_1) + evt. D)

4- snelheden en turbulentie achter hek (B_2 + D)

5- snelheden en turbulentie achter schip (E)

2) waterspiegelveranderingen-I- verhoging/verlaging voor het schip (C)

2- verlaging naast het schip (A)

3- verhoging/verlaging naast het schip (D)

4- verhoging ter hoogte van hek (B_1 + evt. D)

5- verhoging/verlaging achter schip (D)

6- golfloop (D)

3) stroomrichtingen-I- verloop van de richting voor, naast en achter het schip

2- verloop van de richtingen in de overgangsgebieden

4) richting waterspiegelveranderingen- verloop van de invalshoek van de sec. golven (D)

d) in talud:

I- voortplantingssnelheid van druk(-klappen) in de ondergrond (A_2 , B_I en D)

Bereik der meetinstrumenten , meetfrequentie en nauwkeurigheid

Het benodigde bereik der meetinstrumenten wordt van boven begrensd door de maximale waarden van de waterbewegingscomponenten. De globaal te verwachten waarden van de verschillende componenten van de waterbeweging zijn geschat in par. 4.3.I. Aangezien dit slechts ter indicatie dient, bestaat de mogelijkheid dat hogere waarden zullen optreden.

Om nu een redelijk veilige aanname te doen betreffende de maximale waarden kan worden uitgegaan van de resultaten van de proeven M III5. Deze zijn gegeven in tabel B I2.

Wat betreft de meetfrequentie kan gesteld worden dat het gewenst is om met een voldoende grote frequentie te meten in de overgangsgebieden en in turbulente stromen. Een richtlijn hieromtrent kan wederom gevonden worden in de meetresultaten van M III5, zie tabel B I2.

Opgemerkt dient hier nog te worden dat om een juist beeld te kunnen verkrijgen van de golfvorm van de secundaire scheepsgolven, per golfperiode 3 maal gemeten dient te worden.

De gewenste nauwkeurigheid van de verschillende metingen kan, om een betere vergelijking met de resultaten van M III5 mogelijk te maken, gelijk gesteld worden aan die bij M III5, relatief gezien. Bij M III5 zijn micromolens en golfhoogtemeters gebruikt. De gewenste nauwkeurigheden zijn vermeld in tabel B I2.

Voor wensen t.a.v. metingen naar de erosie en stabiliteit wordt, voor zover deze nog niet aan de orde zijn gekomen in de punten a t/m d, verwezen naar par. 4.2.2.

4.3.I. Keuze t.a.v. de metingenI/ -Waterbeweging-

Uitvoering van de proeven zodanig dat aan alle voornoemde eisen voldaan wordt is een omvangrijke, kostbare en mede daardoor niet altijd een haalbare zaak. Voor de eerste versie van de OEPES-proeven (september 1981) werd daarom afgezien van metingen die speciaal gericht waren op de waterbeweging in de schroefstraal en de secundaire scheepsgolven.

Zodoende werden de eisen a-I.5, b-4, c-I.5 en c-4 hierdoor geschrapt en andere eisen vereenvoudigd.

Het lag in de bedoeling de rest van de gewenste metingen wel uit te voeren.

Verderop zal nader worden ingegaan op de plaats van de meetinstrumenten alsook de keuze van deze instrumenten, althans voor zover het metingen betreft in de vaarweg of in de directe nabijheid van het talud.

Voor behandeling van de instrumenten voor metingen aan de drukvoortplanting wordt verwezen naar het hoofdstuk "Waterbeweging in de ondergrond".

2 -Scheepstype-

Ten aanzien van de mate waarin door enkele scheepstypen de waterbewegings-
 kunnen
componenten worden opgewekt kan de volgende tabel opgesteld worden:

	AI	A2	BI	B2	C	D	E
Duweenheid (geladen)	++ ^I	++ ^I	++ ^I	++	+	+ ²	++
Duweenheid (ongeladen)	+-	+-	++ ³	+	+-	++	++
RHK-schip (geladen)	+-	+-	++ ³	+	+-	+	+-
RHK-schip (ongeladen)	-	-	++ ³	+-	-	++	+-
Klein schip (andere, vaart.)	-	-	++ ³	+-	-	++	-

++ sterk
+ redelijk
+- matig
- zwak

- 1)-doordat er in feite sprake is van 2 gekoppelde schepen (t.w. duwboot en bakkeeneheid) treden de retourstroom/spiegeldaling en de haalsolf in 2 etappes op.
- 2)-de boeg en de voorschouder, alsook de achterschouder en het hek, vallen samen. Een extra discontinuïteit wordt gevormd door de plaatsen waar de bakken zijn gekoppeld. Bovendien wekt ook de duwboot zelfsystemen op.
- 3)-indien snel genoeg dicht langs de oever gevaren wordt.

Besloten werd om de proeven uit te voeren met;

- geladen 4-bakduweeheid , varend in de as van het kanaal (toestand 22)
varend langs de teen v.h. talud (toestand 44)
- geladen 6-bakduweeheid, koppeling 3x2, as kanaal (toestand 32)
" " , teen talud (toestand 64)
koppeling 2x3, as kanaal (toestand 23)
" " , teen talud (toestand 46)
- ongeladen 4-bakduweeheid,(toestand II)

Bovendien zou voorafgaande aan de eigenlijke proeven een aantal testvaarten uitgevoerd worden met de Jan Blanken. Dit schip kan gezien worden als een nogal groot uitgevallen onderzoekingsvaartuig. (toestand IO)

In het hoofdstuk Nautische Aspecten wordt nader ingegaan op de scheepskeuze.

3 -Verdedigingstypen-

Voor een uitgebreide verhandeling omtrent de keuze van de in het onderzoek te betrekken oeververdedigingstypen wordt verwezen naar het hoofdstuk "Proefvakken".

Wel kan hier, ingaande op de wensen zoals die bij de behandeling van de erosie/stabiliteit geformuleerd werden, de globale opzet weergegeven worden.

- Om de invloed van de ondergrond op de stabiliteit van stortsteen te bepalen werd een vak met stortsteen op klei en een vak met stortsteen op zand uitgevoerd.
- Om de invloed van de ondergrond op de stabiliteit van een toplaag van gezette steen te bepalen werd een vak met betonblokken op zand, een vak met betonblokken op een vlijlaag op zand en een vak met betonblokken op klei uitgevoerd. Voorts werd een vak met basalt op zand aangelegd.
- Om de invloed van D_{50} op de relatie transport-schuifspanningsparameter te bepalen werd een vak met fijn grind, een vak met grof grind en een vak met stortsteen, allen op zand, uitgevoerd.

4 -Transportmetingen-

Ter bepaling van het transport van stortsteen werden in de beide proefvakken vakken met gekleurde stenen aangelegd.

Ter bepaling van het transport van grind werd in deze beide proefvakken een tweetal grindvangbakken geplaatst, waarvan een in de invloedssfeer van de haalgolf/taludvolgstroom en een in de invloedssfeer van de retourstroom.

De betonblokken werden van nummers voorzien.

Voor een uitgebreide beschrijving van de methode van transportmeting wordt verwezen naar het hoofdstuk "Proefvakken".

5 Meetinstrumenten; bereik, frequentie en nauwkeurigheid

Een verhandeling over de eigenschappen van de meetinstrumenten waaruit een keuze gemaakt kon worden is niet door de samensteller van dit rapport verzorgd, doch door het WL, afd. VOB. Dientengevolge is dit deel hier niet opgenomen.

6 -Plaats van de meetinstrumenten t.a.v. de waterbeweging in het kanaal-

In het onderstaande zal de plaatskeuze van de meetinstrumenten verklaard worden.

Hierbij wordt uitgegaan van de instrumenten zoals die verkozen zijn, te weten:

stroomsnelheden: ott-molens, savoniusrotor, micromolens.

waterspiegelveranderingen: capacitiële staven, -draad.

richtingindicatoren:

drukopnemers:

(zie ook voorgaande paragraaf en hfdst. "instrumentatie per verschijnsel").

Bij de motivering van de plaatsen van de meetinstrumenten zal het hiervoor opgestelde programma van eisen als leidraad dienen.

De meetopstellingen zijn weergegeven in de figuren. I en 2. (blz. 4.3.I8)

a) metingen in de vaarlijn

I- stroomsnelheden.

De metingen hieraan werden uitgevoerd met een savoniusrotor welke op de bodem van de vaarweg werd geplaatst.

2- waterspiegel/druk-veranderingen.

Een drukopnemer werd ter plaatse van de sav. rotor geplaatst om de verticale druk te meten.

3- stroomrichtingen.

In de savoniusrotor is een vaan aangebracht.

4- verticale positie schip.

Op dezelfde plaats is een echolood geplaatst.

Instr. no.

II (SHM)

(SHM = SnelH.
Meter)

4 (DRO)

(DRO = DRuk-
Opnemer)

4 (RTM)

(RTM = Richting
Meter)

Algemeen: Voor metingen aan de waterbeweging tijdens vaarten langs de teen van het talud bij de 4-baksduweenheid werden bovengenoemde instrumenten meeverplaatst. Hetzelfde gold voor de metingen t.a.v. de 6-baksduweenheid.

b) metingen tussen wal en schip.

-Vaarten met geladen 4-taksduweenheid in de as van de vaarweg.

I- stroomsnelheden.

Voor het meten van de stroomsnelheden werd ter plaatse van het midden van de meetsectie een steiger geplaatst waaraan o.a. de ott-molens bevestigd werden.

Zoals reeds eerder gezegd, kunnen de ott-molens, door hun slechte azimuth/zenit respons, slechts in één richting betrouwbare metingen verrichten. Daarom werden de ott-molens zodanig geplaatst dat ze de stroomsnelheden evenwijdig aan de kanaalas maten, in negatieve richting voor de retourstroom, en anderen in positieve richting voor metingen in de volgstroom en de stroom voor de boeg.

-metingen in negatieve richting

Voor meting van het horizontale snelheidsprofiel van de retourstroom werden meters op onderling regelmatige afstand in de dwarsrichting geplaatst, bij voorkeur op halve waterdiepte i.v.m. correspondentie met het modelonderzoek naar de retourstroom (M III5).

Voor enkele meters kon plaatsing op halve waterdiepte niet gerealiseerd worden wegens de problemen die de bevestiging in dat geval gaf.

Voor globale meting van het verticale snelheidsprofiel van de retourstroom werd onder meter 2Ia op de stortsteen eveneens een meter geplaatst, zodat binnen en buiten de grenslaag gemeten kon worden. Bij de plaatsing van de me-

2I, 23, 24, 3I

32 (SHM)

3I, 32

(SHM)

2Ia, 22

(SHM)

ter op de stortsteen zijnde rekening gehouden te worden met de plaatselijke bodemconfiguratie i.v.m. mogelijke verstoring van de aanstroming op de meter door uitstekende stenen.

Voor gedetailleerdere metingen aan het verticale snelheidsprofiel van de retourstroom werden 5 meters boven elkaar geplaatst ter plaatse van de onderste grindvangbak in het grove grind. Hiermee kon de ontwikkeling van het snelheidsprofiel vastgelegd worden, en bovendien konden de resultaten gebruikt worden in de analyse van de relatie erosie grind-retourstroomsnelheid/grens-laagontwikkeling.

Metingen in positieve richting

Voor metingen van positieve snelheden werd een ott-molen geplaatst bij meter 2Ia, zodat, door combinatie met een richtingindicator, in feite sprake was van één instrument dat in twee richtingen kon meten. Dit werd dan ook als één signaal afgenomen. Hierdoor kon meer inzicht in het verloop van de snelheden en richtingen in de overgangsgebieden verkregen worden.

Voor metingen vooral ten behoeve van de erosie-analyse werd hetzelfde gedaan bij meter 4Ia.

33,34,41,
42,43 (SHM)

2Ib (SHM)

4Ib (SHM)

4.3.13

2-waterspiegelveranderingen.

Ter bepaling van het verloop in dwarsrichting van de waterspiegelveranderingen werden ter plaatse van de ott-molens 2I, 24, 3I en 32 capacatieve staven geplaatst. Aangezien er niet voldoende cap. staven voorradig waren werd besloten geen cap. staaf te plaatsen bij ott-molen 23.

De waarde van de waterspiegelverandering^{alder} kon naar verwachting wel gedestilleerd worden uit de gegevens van meters 4 en 5.

5,4,3,2

(GHM)

(GHM = Golf-
Hoogte Meter)

113-stroomrichtingen.

Stroomrichtingindicatoren werden geplaatst op de reeds genoemde plaatsen, namelijk gekoppeld aan de meters 2I en 4I. Mogelijk kan aan de hand van de gegevens van deze richtingmeters (in hor. vlak) een beeld verkregen worden van het verloop van de stroomsnelheden en richtingen in de retourstroom. Wat betreft de snelheden gaat dit natuurlijk op voor zover de ijking van de ott-molens dit mogelijk maakt.

3, I (RTM)

-Vaarten met geladen 4-bakduweenheid langs teen talud.

I-stroomsnelheden.

Voor de vaarten langs de teen van het talud was het nodig een deel van de steiger te verwijderen.

Hierdoor kwamen de meters 24, 32 en 3I vrij.

Het nuttiest werd geacht om de ontwikkeling van de grens-
laag in de retourstroom op een meer nauwkeurige wijze te
registreren. Om te kunnen vergelijken werden deze meters
op eenzelfde afstand van de snijlijn talud-waterspiegel
geplaatst als de meters boven het vak met het grove grind.
Wanneer de grenslaag voldoende klein zou blijven kon door
vergelijk van de gegevens van de meters 24 en 33 en de
gegevens over de grenslaag op beide plaatsen informatie
verkregen worden omtrent de relatie grenslaagopbouw en
retourstroomsnelheid buiten de grenslaag. De onderlinge
afstand van de meters 24, 31 en 32 is gelijk om de gege-
vens beter te kunnen interpreteren.

24, 32, 31
(SHM)

2-waterspiegelveranderingen

Door het verkorten van de meetsteiger kwamen de
cap.staven 2, 3 en 4 "vrij". Hiervan werd 4 op de kop
van de steiger geplaatst om toch gegevens over de water-
spiegelveranderingen verder van het talud af te verkrijgen.

4 (GHM)

Meter 3 werd geplaatst bij de meters 24, 31 en 32 zodat ook
daar een samengesteld beeld van de waterbeweging te
verkrijgen was.

3 (GHM)

Meter 2 werd in reserve gehouden.

2 (GHM)

3-stroomrichtingen.

Hier geen veranderingen.

-Vaarten met geladen 6-bakduweenheden in de as van de vaarweg.

I-stroomsnelheden

Daar opnieuw uitbouwen van de meetsteiger na de proeven met de geladen 4-bakduweenheid langs de teen van het talud niet direct tot de mogelijkheden behoorde, werd besloten om met een hulpconstructie een extra retourstroommeter op ongeveer 2 meter uit de kop van de steiger te plaatsen.

44 (SHM)

2-waterspiegelveranderingen

Meter 2 werd eveneens op de steigeruitbouw geplaatst.

2 (GHM)

-Vaarten met geladen 6-bakduweenheden langs teen talud.

I-stroomsnelheden

Bovengenoemde extra meter werd een weinig dichterbij de kop van de steiger geplaatst.

44 (SHM)

2-waterspiegelveranderingen

Hetzelfde gold voor meter 2.

2 (GHM)

-Vaarten met ongeladen 4-bakduweenheid.

I-stroomsnelheden

Als bij de 6-baksvaarten in de as van de vaarweg.

44 (SHM)

2-waterspiegelveranderingen.

Idem.

2 (GHM)

c) metingen op het talud.

-Vaarten met geladen 4-bakduweenheid in de as van de vaarweg.

I-stroomsnelheden.

Hier waren vooral metingen aan de haalgolf/talud-
volgstream van belang. Daar de maximale waterbeweging
in de haalgolf slechts over een beperkte zône ontreedt,
daar waar het talud tijdens de waterspiegeldaling was droog-
gevallen, dienden de ott-molens op korte afstand van elkaar
geplaatst te worden.

I2, I3 (SHM)

Ook hier diende rekening gehouden te worden met
uitstekende stortstenen die mogelijkerwijs de aan-
stroming op de meters konden beïnvloeden.

Voorts werd een meter van positieve snelheden weer
gekoppeld aan een meter van de retourstroom, gekom-
bineerd met een richtingsindicator. Deze meters
werden op halve waterdiepte aangebracht.

I4 (SHM)

Om de turbulentie in de haalgolf/taludvolgstream en retourstr.
meten werden middels een kleine meetsteiger op het
vak stortsteen op zand 3 micromolens geplaatst.

I, 2, 3 (SHM)

Van belang was daarbij dat de afstand ²van die meters
tot de waterspiegel en de bodem gelijk was aan die
ter plaatse van de hiervoor genoemde meters I2, I3.

I, 2 (SHM)

De derde micromolen werd wat verder van het talud af
geplaatst.

3 (SHM)

2-waterspiegelveranderingen

Ter plaatse van de snelheidsmeters I2 en I3 werden cap. staven angebracht. Om voldoende informatie te verkrijgen over de waterspiegelbeweging voor en in de haalgolf werd een derde cap.staaf hier-tussen gezet.

8,6 (GHM)

7 (GHM)

Voorts werd de golfloop gemeten met een capacatieve draad.

I (GHM)

Bovendien werd de invloed van de bekleding op de vorm van de haalgolf bepaald middels 3 drukopnemers die geplaatst werden op het talud van de vakken 3, 5 en 6. (resp. betonsteen, basalt en stortsteen.

I,2,3 (DRO)

3-stroomrichting.

Zoals gezegd was een richtingindicator ange-bracht bij de meters I4a/I4b.

2 (RTM)

-Vaarten met geladen 6-bakduweenheden en ongeladen 4-bakduweenheid.

In principe geen veranderingen.

Posities van de hydr-instrumenten : figuren 1 en 2

niet weergegeven zijn de DRO I t/m 3.

Verklaring der tekens:

- I - can. draad/staaf.
- ⊗ - ott-molen voor registratie pos.(t.v.s.) snelheden.
- ⊙ - ott-molen voor registratie neg.(ret.s.) snelheden.
- ↗ ⊗ - combinatie van 2 ott-molens voor registratie pos. en neg. snelheden, met richtingsindicator.
- ↗ ⊙ - savonius-rotor met richtingsindicator.
- ↗ ⊕ - micromolen.

9 10 20 30 40 50

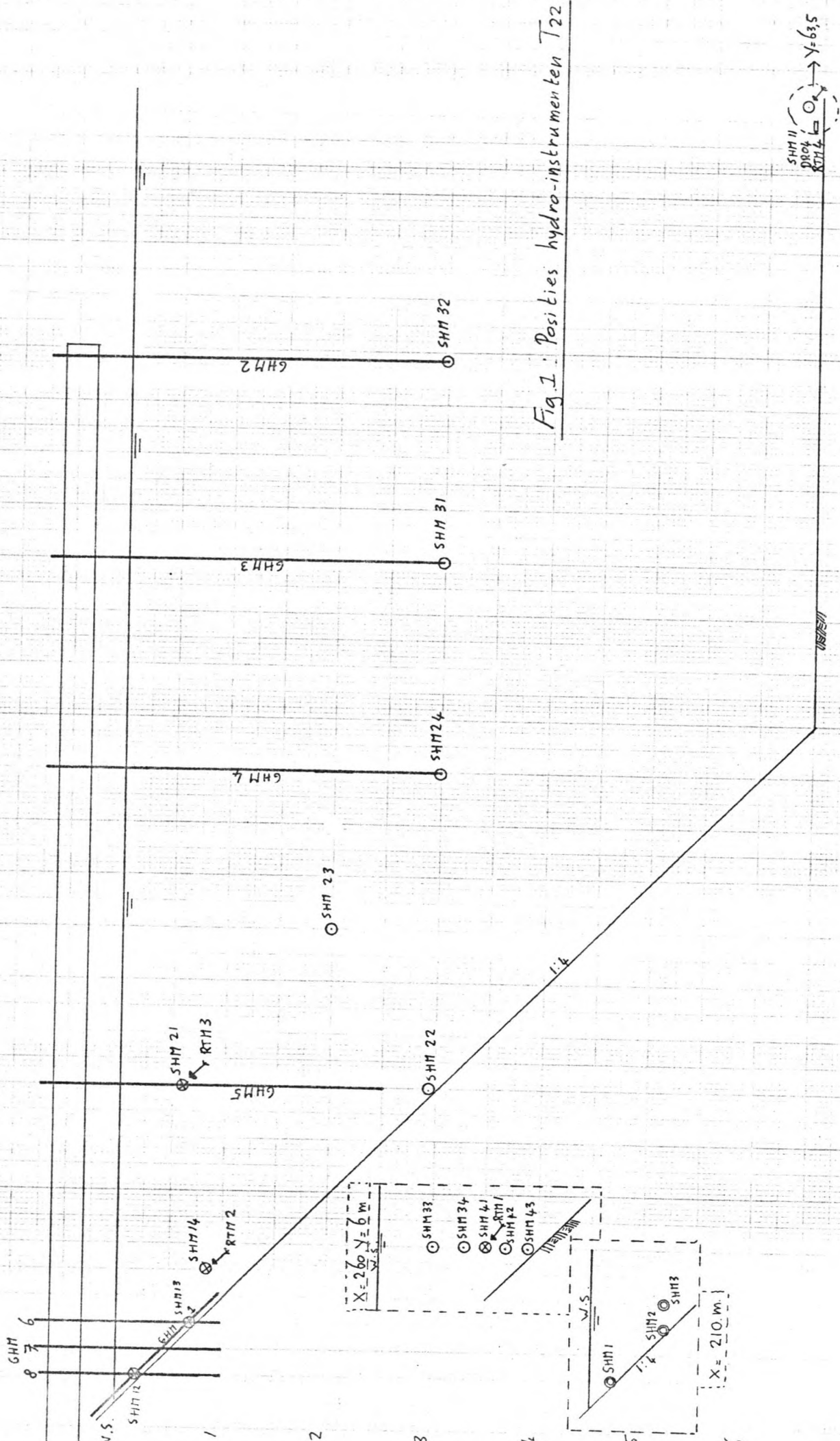


Fig. 1: Posities hydro-instrumenten T22



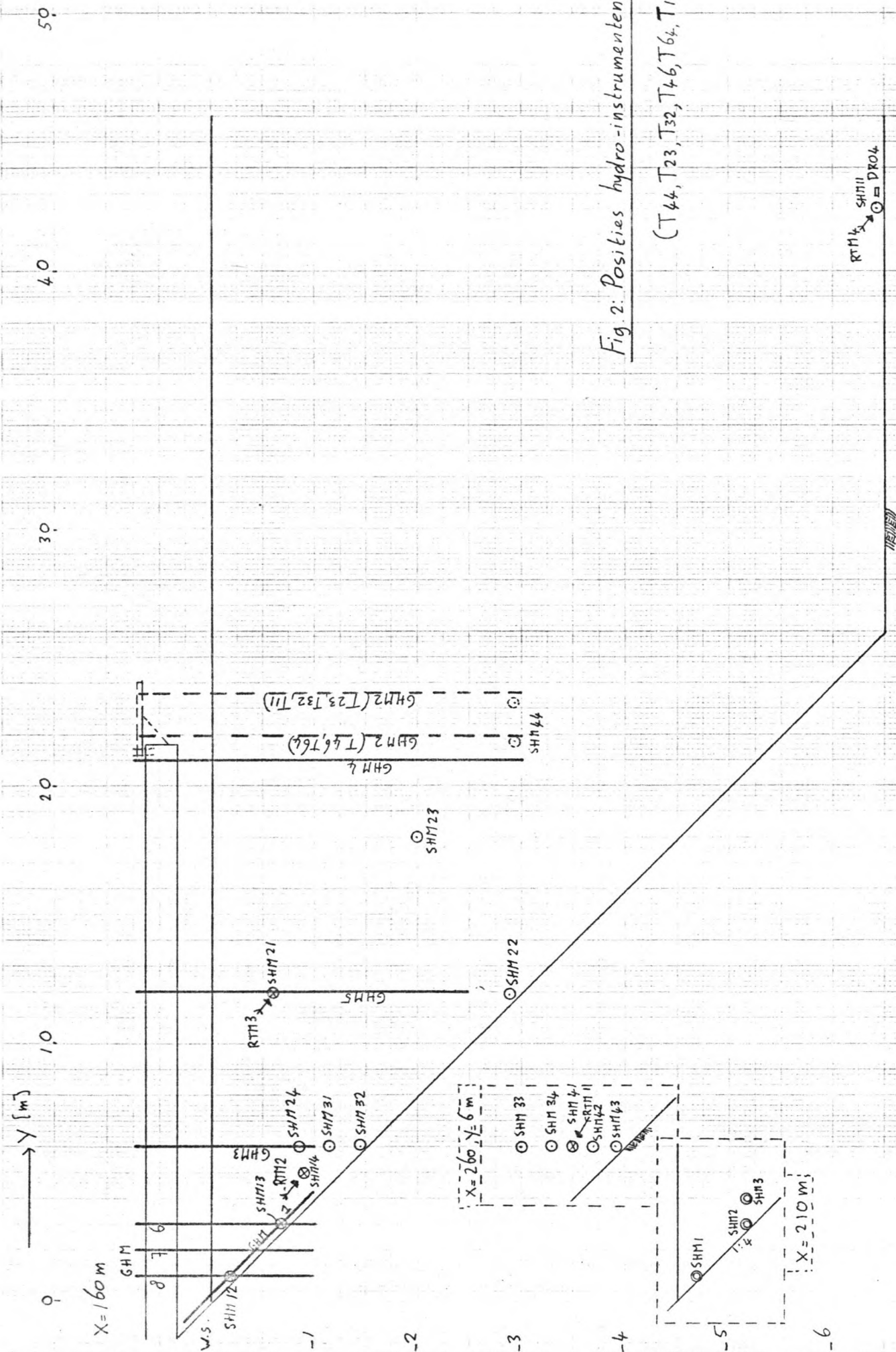
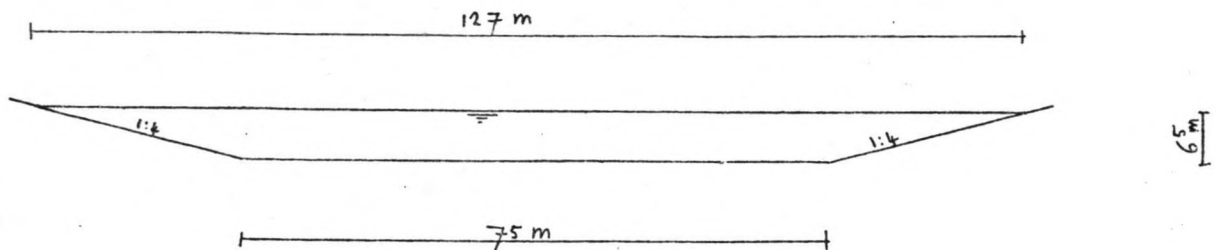


Fig. 2: Posities hydro-instrumenten: Teenblud
(T44, T23, T32, T46, T64, T11)

4.4 PREDICTIE WATERBEWEGING EN TRANSPORT TIJDENS PROEVEN4.4.I Berekeningen betreffende de te verwachten waterbeweging

Voor de berekening/schatting van de tijdens de proeven te verwachten waterbeweging wordt uitgegaan van de volgende afmetingen van kanaal en schip:

-Hartelkanaal ter plaatse van de meetlokatie. (zie opm. op blz. 4.4.6)



$$B_{co} = 75 \text{ m}$$

$$h = 6,5 \text{ m}$$

$$n = 4$$

$$A_c = 656,5 \text{ m}^2$$

-Afmetingen schepen.

$$\text{Duwboot Mannesmann IV : } B = 13 \text{ m} \quad T = 1,70 \text{ á } 1,90 \text{ m}$$

$$L = 35 \text{ m} \quad A_{db} = 22,1 \text{ á } 24,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Duwbakken : } B = 11,4 \text{ m} \quad T_{\text{beladen}} = 3 \text{ m} \quad T_{\text{leeg}} = 0,65 \text{ m}$$

$$L = 76,5 \text{ m} \quad A_{\text{bak}} = 34,2 \text{ m}^2 \text{ (geladen), } 7,4 \text{ m}^2 \text{ (leeg)}$$

Hiermee zijn de maatgevende oppervlakten van het ondergedompelde grootspant:

$$2 \times 2, \text{ geladen } 68,4 \text{ m}^2$$

$$2 \times 2, \text{ leeg } 23,4 \text{ m}^2 \text{ (gemiddeld van duwboot)}$$

$$3 \times 2, \text{ geladen } 68,4 \text{ m}^2$$

$$2 \times 3, \text{ geladen } 102,6 \text{ m}^2$$

Jan Blanken (testvaarten):

$$B = 5,4 \text{ m}$$

$$L = 27 \text{ m (op de waterlijn)}$$

$$T = 1,5 \text{ m}$$

$$A_M = 8,1 \text{ m}^2 \text{ (voor rechthoekig grootspant)}$$

0-Grenssnelheden/maximum snelheden

a) geladen 4-baksduwstel.

De grenssnelheid kan bepaald worden met behulp van vgl. 9^x met $h' = A_c / R_{cb}$.

Aldus:

$$V_{gr\ 22} = 4,40 \text{ m/s}$$

^x(zie voor motivatie ook de par. retourstroom/spiegeldaling hierna.

Het is echter de vraag of de duweenheid met een vermogen van 3 x 1500 pk deze grenssnelheid zal kunnen bereiken, gezien het feit dat de weerstand zoals die door de eenheid wordt ondervonden zeer sterk toeneemt bij het naderen van de grenssnelheid. Een een ander zal tijdens de proeven moeten blijken.

Als uitgangspunt voor verdere berekeningen zal hier worden uitgegaan van een maximaal haalbare snelheid van ongeveer $0,95 V_{gr}$.

$$\text{Aldus: } V_{max\ 22} = 4,18 \text{ m/s}$$

Voor de vaarten waarbij langs de teen van het talud wordt gevaren, op een afstand van 41,4 m uit de oever (snijlijn waterspiegel-talud), wordt op grond van informatie uit M III5 uitgegaan van een maximum snelheid van 50 km van de vaarten in de vaart van het kanaal.

4.4.3

Hiermee wordt de V_{\max} voor 4-baksduwstellen, varend langs de teen van het talud, aan te duiden als toestand 44;

$$V_{\max 44} \approx 3,76 \text{ m/s}$$

b) ongeladen 4-baksduwstel.

Uitgaande van een diepgang van de duwboot van 1,80 m, waarbij de brandstoftanks voor de helft gevuld zijn, is het oppervlak van het grootspant onder water van de duwboot groter dan dat van de bakken. Met vel. 9 wordt, toestand nummer 10;

$$V_{gr} = 5,47 \text{ m/s} \quad (\text{voor lege tanks : } V_{gr} = 5,58 \text{ m/s})$$

Gezien het feit dat geen resultaten beschikbaar zijn van vaarten in prototype of model van ongeladen 4-baksduwstellen kan geen zinnige schatting van de maximaal haalbare snelheid worden gemaakt.

c) geladen 6-baksduwstel, 3x2.

Uitgaande van het oppervlak van het ondergedompelde grootspant zal volgens vel. 9 de grenssnelheid van 3x2 gelijk zijn aan die van 2x2. Daar de weerstand als gevolg van de grotere lengte van de 3x2-formatie bij een lagere snelheid dan bij formatie 2x2 zeer sterk zal gaan toenemen, zal de maximaal haalbare snelheid van formatie 3x2 lager zijn dan $V_{\max 22}$.

Een indicatie hieromtrent kan gevonden worden in de resultaten van M III5;

$$V_{\max 32} \approx 0,90 \times V_{gr} = 3,96 \text{ m/s}$$

4.4.4

Voor een 3x2-formatie varend langs de teen van het talud, toestand 64, kan op grond van M III5 resultaten gesteld worden:

$$V_{\max 64} = 0,90 \times V_{\max 32} = 3,56 \text{ m/s}$$

d) beladen 6-baksduwstel, 2x3.

Toepassing van vgl. 9 levert voor de grenssnelheid:

$$V_{gr 23} = 3,80 \text{ m/s}$$

Op grond van M III5 wordt de maximum snelheid geschat op 90 % van V_{gr} :

$$V_{\max 23} = 0,9 \times 3,80 = 3,42 \text{ m/s}$$

En de maximum haalbare snelheid bij vaarten langs de teen van het talud, toestand 46;

$$V_{\max 46} = 0,9 \times V_{\max 23} = 3,08 \text{ m/s}$$

e) Jan Blanken

Met vgl. 9 kan de grenssnelheid geschat worden:

$$V_{gr JB} = 6,03 \text{ m/s}$$

Er dient hier echter bij bedacht te worden dat de vorm van het grootsprant allesbehalve rechthoekig is, zodat de absolute grenssnelheid waarschijnlijk hoger zal liggen.

4.4.5

In model M III5 bleek dat een schip met eenzelfde verhouding tussen vermogen en waterverplaatsing (ong. 2 pk/m^3) 91 % van de grenssnelheid kon bereiken (vaarten met de "Rixt"). Op grond hiervan kan de maximaal haalbare snelheid zeer globaal gesteld worden op:

$$V_{\text{max JB}} = 0,9 \times 6,03 = 5,43 \text{ m/s}$$

Met de Jan Blanken stonden geen vaarten langs de teen van het talud op het programma.

A- Retourstroom en spiegeldaling

Voor berekening van de retourstroom en de spiegeldaling is uitgegaan van de methode volgens Schijf, met hantering van de gemiddelde waterdiepte (methode I-b-I). Deze methode is verkozen omdat hij tevens uitgangspunt voor enkele andere (empirische) berekeningswijzen en ontwerpregels vormt, en universeel aanvaard is.

a) -Midden varend geladen 4-baksduwstel

De gemiddelde waarden van u en z volgens methode I-b-I.

De maximale waarden van u en z die daarbij kunnen optreden zijn berekend met behulp van relaties die uit de resultaten van M III5 afgeleid zijn:

$$\hat{u} = 1,1 \bar{u}$$

en

$$\hat{z} = 1,2 \bar{z} \quad (\text{zie figuur A I})$$

Hierin zijn \hat{u} en \hat{z} de maximale waarden, globaal bepaald op een punt halverwege de afstand tussen oever en schip, en \bar{u} en \bar{z} de (gemiddelde) waarden volgens Schijf.

Noot: Bij M III5 was er sprake van een model van de Schelde-Rijn verbinding.

De afmetingen hiervan zijn (geschematiseerd):

$$\begin{aligned} B_{cb} &= 168 \text{ m} \\ h &= 6 \text{ m} \\ n &= 4 \\ A_c &= 864 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

De diepgang van de voor de proeven gebruikte duweenheden was 4 m.

Bij de OEBES-proeven zal de diepgang van de duweenheden 3 m bedragen, hetgeen inhoudt dat de A_M/A_c waarde dan praktisch gelijk zal zijn aan die van M III5. Op grond hiervan mag worden verondersteld dat de waarden van de retourstroom en de spiegeldaling volgens model een redelijke indicatie geven van de tijdens OEBES te verwachten waarden.

a.) -Geladen 4-baksduwstel varend langs de teen van het talud

De relatie tussen vaarsnelheid en de gemiddelde waarden van u en z kan niet bepaald worden met een berekeningsmethode, daar deze ontbreekt. Wel kan met behulp van de empirische relaties 5 en 7 indirect het verband bepaald worden tussen de maximale waarden van u en z nabij de oever en de scheepssnelheid.

Hiervoor dient eerst de waarde van A'_C/A_C bepaald te worden.

Bij een scheepsbreedte van 22,8 m en een vaarlijn-positie op 41,4 m uit de oever (snijlijn waterspiegel-talud) is A'_C/A_C ongeveer 0,22, zodat:

$$\frac{\hat{u}}{\bar{u}} = 1,5 - 1,0 \cdot 0,22 = 1,28 \quad \text{en} \quad \bar{u}_{SB} = 1/1,1 \cdot \hat{u}$$

$$\frac{\hat{z}}{\bar{z}} = 2,0 - 2,0 \cdot 0,22 = 1,56 \quad \text{en} \quad \bar{z}_{SB} = 1/1,2 \cdot \hat{z}$$

Het verband tussen u, z en V_S is weergegeven in figuur .A.2.

b) Ongeladen 4-baksduwstel varend in de as van het kanaal

Gezien de kleine A'_M/A_C -verhouding zal berekening van u en z als functie van de vaarsnelheid volgens Schijf resultaten leveren die behoorlijk kunnen afwijken van de realiteit. Om toch een indruk te krijgen van het verloop van u en z is evenwel voor de duwboot (T_{gem}) het verband in figuur A.5 uitgezet.

c₁) Geladen 6-bakduwstel varend in de as van het kanaal (3x2).

De gemiddelde waarden van u en z zijn berekend met methode I-b-I.

De maximale waarden van u en z die daarbij kunnen optreden boven het talud zijn wederom bepaald volgens:

$$\hat{u} = 1,1 \bar{u}$$

$$\hat{z} = 1,2 \bar{z}$$

Met \hat{u} en \hat{z} als maximale waarden. Zie N.B. bij a₁, en figuur...A.1

c₂) Geladen 6-bakduwstel varend langs de teen van het talud (3x2).

De maximale waarden van u en z zijn, als bij a₂, bepaald met behulp van de empirische relaties 5 en 7. A'_c/A_c is hier eveneens gelijk 0,22, zodat;

$$\hat{u} = 1,28 \bar{u} \quad \text{en } \bar{u}_{SB} = 1/1,1 \cdot \hat{u}$$

$$\hat{z} = 1,56 \bar{z} \quad \text{en } \bar{z}_{SB} = 1/1,2 \cdot \hat{z}$$

Het verband tussen u, z en V_s is weergegeven in figuur...A.2

d₁) Geladen 6-bakduwstel varend in de as van het kanaal (2x3).

De gemiddelde waarden van u en z zijn berekend met methode I-b-I.

De maximale waarden van u en z die daarbij kunnen optreden boven het talud zijn eveneens bepaald volgens:

$$\hat{u} = 1,1 \bar{u}$$

$$\hat{z} = 1,2 \bar{z}$$

Met \hat{u} en \hat{z} als maximale waarden. Zie N.B. bij a₁, en figuur...A.3.

d₂) Geladen 6-baksduwstel varend langs de teen van het talud (2x3).

De maximale waarden van u en z zijn, als bij a₂, bepaald met behulp van de empirische relaties 5 en 7. A'_c/A_c is hier gelijk aan 0,17, zodat:

$$\hat{u} = 1,33 \bar{u} \quad \text{en} \quad \bar{u}_{SB} = 1/1,1 \hat{u}$$

$$\hat{z} = 1,66 \bar{z} \quad \text{en} \quad \bar{z}_{SB} = 1/1,2 \hat{z}$$

Met \hat{u} en \hat{z} als maximale waarden boven het talud. Het verband tussen u , z en V_s is weergegeven in figuur..A.4

e) Jan Blanken varend in de as van het kanaal.

Gezien de zeer kleine A_M/A_c -verhouding wordt, als bij b, geen berekening van de relatie tussen u , z en V_s volgens Schijf uitgevoerd. De waarde van de verhouding tussen scheepslengte en afstand tot de oever is demate klein dat de retourstroom een 3-dimensionaal karakter zal vertonen waarbij geen hoge waarden nabij de oever worden bereikt.

E1-Haalgolf

Zoals in par. 4.I.I.I.B gesteld zijn er (nog) geen methodes waarmee het verband in de haalgolf berekend kan worden.

E2-Taludvolgstrom

De te verwachten snelheden in de taludvolgstrom bij vaarten langs de teen van het talud (T 44, T 64, T 46) kunnen berekend worden met behulp van figuur... en de daaruit afgeleide relatie (I0) uit par. 4.I.I.I.B:

$$\frac{\bar{v}_{t.v.s.}}{V_s} = 0,19 \cdot P_B^{0,62} \quad (\%) \quad (I0)$$

De maximale waarden van de taludvolgstrom (de gemiddelde waarde + standaardafwijking) is te bepalen volgens;

$$\frac{\hat{v}_{t.v.s.}}{V_s} = \frac{\bar{v}_{t.v.s.}}{V_s} + 0,38 P_B^{0,39} \quad (\%) \quad (I0a)$$

Bij de berekening zijn voor V_s de maximale waarden, zoals die zijn bepaald in par. 4.3.1., gehanteerd. Vervolgens is bij het bepalen van lagere waarden van V_s bij bepaalde vermogens er van uitgegaan dat de relatie P_B-V_s een verloop heeft dat gelijkvormig is aan de P_B-V_s relatie zoals die bleek in M III5.

Zodoende zijn de vermogens en snelheden waarvoor de t.v.s. is berekend;

P_B (kW)	V_s (m/s, in % van V_{max})
3300	100
3000	98
2500	95
2000	90
1500	84

In bijlage A7 zijn hiermee de gemiddelde waarden en de maximaal mogelijke waarden van de taludvolgstromsnelheid volgens relatie (I0) en (I0a) bepaald. Deze zijn vervolgens uitgezet in de figuren A1 t/m A5.

C-Boeggolf

Zoals in par. 4.I.I.I.C gezegd zijn er (nog) geen methodes beschikbaar om de stroomsnelheden en waterspiegelveranderingen in de boeggolf te bepalen.

D-Secundaire_scheepsgolven

Ook hier is het nog niet mogelijk een redelijke indicatie te verkrijgen middels berekeningen omtrent de orbitaalsnelheden en golfhoogten .

E-Schroefstraal

Gezien het feit dat geen metingen verricht zullen worden aan de schroefstraal wordt hier afgezien van een schatting van de waterbeweging in de schroefstraal.

Algemeen

Om het benodigde bereik van de meetinstrumenten bij benadering te kunnen schatten kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van M III5. De maximale waarden die tijdens die proeven zijn gemeten zijn vermeld in tabel A 8.

4.4.2 Berekeningen betreffende de te verwachten erosie

Uitgaande van de hiervoor behandelde ontwerpregels en aannamen zal in het onderstaande een poging gedaan worden het volgende te bepalen;

- A)- bij welke waarden van de verschillende componenten van de waterbeweging vindt er begin van beweging of doorgaand transport plaats.
- B)- wat is de tijdens de proeven te verwachten erosie. (globaal) .

4.4.2.I.- Bepaling van de kritieke waarden van de waterbewegingscomponentenI- aanval door retourstroom

De zwaarste aanval door de retourstroom vindt plaats tijdens de eerste fase van de ontwikkeling van de grenslaag, aan het begin van de retourstroom. Voor de berekening wordt uitgegaan van de formules I en 3 (par. 4.2.I) :

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot c_f \cdot \rho \cdot \bar{u}_r^2 \quad \text{en } c_f = \left[2,87 + 1,58 \log \left(\frac{u_r}{u_r + V} \cdot \frac{x}{k} \right) \right]^{-2,5}$$

Aannamen:

$\frac{u_r}{u_r + V_s}$; de waarde hiervan is te bepalen m.b.v. de in figuur t/m weergegeven relatie vaarsnelheid-waterbeweging.

Met $u_r = \bar{u}_r$ wordt $u/(u + V)$; (de maximale waarde , dan zijn u en V eveneens maximaal):

T 22 - 0,22

T 44 - 0,20

z.v.b. →

4.4.I3

T 32 - 0,20

T 64 - 0,18

T 23 - 0,25

T 46 - 0,27

T II - 0,18

Bij lagere snelheden wordt de waarde van $u/(u + V)$ kleiner, hetgeen in een grotere c_f -waarde zou resulteren. Bij lagere snelheden zal echter ook de retourstroomsnelheid kleiner zijn, zodat de kritieke schuifspanningswaarde niet bereikt wordt.

X ; de waarde van X is van grote invloed op de waarde van c_f . Aangenomen kan worden dat bij duwconvoeien in het gebied $0 < X < 0,1.L$ de grootste schuifspanningen zullen optreden. Voor de berekeningen zal hier verder $X = 0,05.L$ aangehouden worden, met $L = 153$ m voor alle toestanden. Dus $X \approx 7,65$ m (T 22,44,32,64,23,46)
Voor T II geldt: $X = 0,05.L = 0,05 \cdot 35 = 1,75$ m.

k ; k is gelijk aan de waarde van D_{50} . In bijlage C zijn de gegevens van het grind en de stortsteen opgenomen.

Er blijkt dat voor fijn grind (30-80 mm)- $D_{50} = 0,043$ m

grof grind (80-200mm)- $D_{50} = 0,085$ m

stortsteen (10-40 kg)- $D_{50} = 0,235$ m

Met het bovenstaande kan de waarde van c_f berekend worden;

c_f	(toestandsnummer)						
	22	44	32	64	23	46	II
fijn grind	0,015	0,015	0,015	0,016	0,014	0,014	0,027
grof grind	0,019	0,019	0,019	0,020	0,018	0,017	0,036
stortsteen	0,027	0,028	0,028	0,030	0,026	0,025	0,061

Indien voor de berekening van c_f formule (2) wordt toegepast worden lagere waarden verkregen (0,006 á 0,009), zodat bovenstaande waarden voor c_f gehanteerd dienen te worden.

Vervolgens wordt nu aangenomen dat er een begin van beweging optreedt indien

$$\Psi \approx 0,03$$

en dat doorgaand transport optreedt als $\Psi \approx 0,055$

in geval van een hydraulisch ruwe bodem ($Re_x > 600$)

Deze waarden gelden voor fijnkorrelig materiaal ($D = 0,5 \text{ á } 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) in uniforme stroming. De tendens is dat voor materiaal met grotere diameters (in uniforme stroming) de waarde van Ψ_{cr} tendeert naar 0,06 voor begin beweging. Hoewel verwacht kan worden dat door het kortdurende karakter van de maximale schuifspanning de waarde van Ψ_{cr} bij begin beweging en bij doorgaand transport hogere waarden zal aannemen, wordt bij wijze van ondergrens voor Ψ_{cr} de hiervoor genoemde waarden, voor grind en stortsteen, gehanteerd.

Bovenstaande waarden van Ψ_{cr} dienen gereduceerd te worden door de taludfactor

$$K_D ; \left(1 - (\sin^2 \alpha / \sin^2 \varphi)\right)^{\frac{1}{2}}$$

met $\alpha = \arctan 0,25$

en $\varphi \approx 36 \text{ á } 37 \text{ } (^{\circ})$ -fijn grind

$\varphi \approx 33 \text{ á } 39 \text{ } (^{\circ})$ -grof grind

$\varphi \approx 39 \text{ á } 42 \text{ } (^{\circ})$ -stortsteen

De waarden van K_D worden hiermee;

$K_D \approx 0,91$ -fijn grind (f.g.)

$K_D \approx 0,92$ -grof grind (g.g.)

$K_D \approx 0,93$ -stortsteen (s.s.)

En de waarden van Ψ_{cr} ; ($\Psi_{cr} = K_D$)

Ψ_{cr}	Begin bew.	Doorg. tr.
f.g.	0,027	0,050
g.g.	0,028	0,051
s.s.	0,028	0,051

Met formule (4) - $\Psi_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{\rho \Delta g D^{50}}$ is de waarde van τ_{cr} ;

τ_{cr}	Begin bew.	Doorg. tr.
f.g.	18,80	34,81
g.g.	38,53	70,18
s.s.	106,53	194,03

De kritieke waarden van de retourstroom voor de diverse toestanden zijn;

T 22	beg. bew.	doorg. tr.	T 44	beg. bew.	doorg. tr.
f.g.	1,5	2,2	f.g.	1,6	2,2
g.g.	2,0	2,7	g.g.	2,0	2,7
s.s.	2,8	3,8	s.s.	2,8	3,7

T 32	beg. bew.	doorg. tr.	T 64	beg. bew.	doorg. tr.
f.g.	1,6	2,2	f.g.	1,5	2,1
g.g.	2,0	2,7	g.g.	2,0	2,7
s.s.	2,8	3,7	s.s.	2,7	3,6

T 23	beg. bew.	doorg. tr.	T 46	beg. bew.	doorg. tr.
f.g.	1,6	2,2	f.g.	1,6	2,2
g.g.	2,1	2,8	g.g.	2,1	2,1
s.s.	2,9	3,8	s.s.	2,9	3,9

T II	beg. bew.	doorg. tr.
f.g.	1,2	1,6
g.g.	1,5	2,0
s.s.	1,9	2,5

2- aanval door taludvolgstroom/haalzolf

Hier kunnen twee vormen van berekeningen uitgevoerd worden, namelijk volgens die behandeld voor de haalzolf en volgens behandeld voor de taludvolgstroom. Aangenomen kan worden dat beide relaties in feite het gecombineerde effect van beide verschijnselen weergeven.

a-berekening volgens de empirische relatie voor de taludvolgstroom

De kritieke snelheid van de taludvolgstroom kan berekend worden met behulp van (I en 4)

$$\tau = \frac{1}{8} \cdot c_f \cdot \rho \cdot u_v^2 \quad (I)$$

$$c_f \approx 0,15$$

$$\psi_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{\rho g \Delta_{50}^n} \cdot \frac{1}{K_D} \quad (4)$$

Met de bij de behandeling van de kritieke waarden van de retourstroom vermelde waarden van ψ_{cr} , τ_{cr} , D_{50} en K_D levert dit;

u_{tv}	begin beweging	doorgaand transport
f.s.	0,50	0,68
g.s.	0,72	0,97
s.s.	1,19	1,61

h-berekening volgens de empirische relatie voor de haalsolf

De kritieke spiegeldaling kan worden berekend met (4), (16) en (17):

$$\tau_{\max} = \rho \omega z \frac{z}{L} \quad (16)$$

$$\psi_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{\rho g \Delta D_{50}} \cdot \frac{1}{k_D} \quad (4)$$

$$\text{Dit levert } z_{cr} = \sqrt{\psi_{cr} \Delta D_{50} L} \quad (17)$$

Voor $L = 5$ m en $L = 10$ m worden de waarden van z_{cr} (m.b.v. de gegevens van A.I-aanval door retourstroom):

z_{cr} (m)	begin van beweging		doorpaand transport	
	$L = 5$ m	$L = 10$ m	$L = 5$ m	$L = 10$ m
f.g.	0,10	0,14	0,13	0,19
g.g.	0,14	0,20	0,19	0,27
s.s.	0,23	0,33	0,31	0,44

3- aanval door secundaire scheepsgolven

Bij gebrek aan betere formules kan voor de berekening van de kritieke solf-hoogtes gebruik worden gemaakt van de formule van Hudson (18) :

$$G_{50} = \frac{\rho_s \tan \alpha}{K_D \cdot \Delta^3} \cdot H^3 \quad (18)$$

Hier is $\tan \alpha$ gelijk aan 0,25.

Voor lukraak geplaatste stortsteen en loodrechte aanval van niet brekende golven dienen de volgende waarden voor K_D gehanteerd te worden:

$K_D = 4$, bij een laagdikte van $2 D_{50}$ en hoekige stenen.

$K_D = 3,2$, bij een laagdikte groter dan $3 D_{50}$ en afgeronde stenen.

Aldus worden voor het grind en voor de stortsteen resp. 3,2 en 4 als waarde van K_D genomen. De waarden van G_{50} staan in de onderstaande tabel vermeld. De kritieke golfhoogtes zijn;

	G_{50} (kg)	K_D	H_{kr} (m)
fijn grind	0,152	3,2	0,15
grof grind	1,170	3,2	0,29
stortsteen	18,9	4	0,80

De waarden van G_{50} voor f.g. en g.g. zijn geschat met behulp van D_{50} en de vormfactor c_v . Zie ook bijlage C.

Algemeen

Bovenstaande kritieke waarden van de verschillende waterbewegingscomponenten zijn in diagramvorm weergegeven in de figuren A 6 .

Voorts zijn ze aangegeven in de figuren betreffende de waterbeweging, dit zijn de figuren A I t/m A 5 .

4.4.2.2 Globale schatting van het tijdens de proeven te verwachten transport

In deze paragraaf zal de erosie op zeer globale wijze geschat worden. Dit wordt gedaan met behulp van de in par. 4.2.I vermelde formules en de in A bepaalde waterbewegingsrelaties.

I-Retourstroom

Voor de toestanden T 22 ... T 46 is in de berekening uitgegaan van 3 maximale retourstroomsnelheden \hat{u} , met een onderling verschil van 0,25 á 0,10 m/s, afhankelijk van het verloop van de relatie vaarsnelheid-retourstroomsnelheid. Voor T II zijn 4 waarden van \hat{u} als uitgangspunt gekozen.

Met de in A bepaalde relaties zijn de bijbehorende waarden van V_s en \bar{u} berekend.

De waarde van de bijbehorende c_f is vervolgens berekend met behulp van de formule van Schlichting (3), waarbij voor X 7,65 m (T 22...T 46) of 1,75 m (T II) genomen is, en voor de retourstroomsnelheid de waarde van \bar{u} , behorende bij de aangenomen \hat{u} (volgens figuren A.1 t/m A.2.).

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de bijlagen B.1 t/m B.4

Aansluitend zijn de waarden van τ en ψ bepaald met formules I en 4a.

De waarde van de transportparameter is berekend met;

$$\Phi = 1,64 \cdot 10^{10} \cdot \psi^{10,86} \quad (12)$$

en die van het bodemtransport q_s met;

$$q_s = \sqrt{g \Delta D_{50}^3} \cdot \Phi \quad (20)$$

q_s - bodemtransport in $m^2/m \cdot I_s^{-1}$

-op te vangen erosie in grindvangbak (fin)-

In het deel van het talud dat door de retourstroom wordt aangevallen is een grindvangbak geplaatst met een diameter van 1,5 m.

Om de hoeveelheid grind die als gevolg van de retourstroom in de grindvangbak (hierna te noemen g.v.b.) te kunnen schatten is kennis omtrent \bar{c} , de gemiddelde transportafstand, en de tijdsduur van de werking van de kritische schuifspanning benodigd.

Als verondersteld wordt dat grind dat eenmaal tot boven de g.v.b. getransporteerd is daar altijd in zal vallen, dan kan gesteld worden:

$$V_{\text{opgevangen}} = a_s \cdot b_{\text{g.v.b.}} \cdot T \quad (2I)$$

waarin;

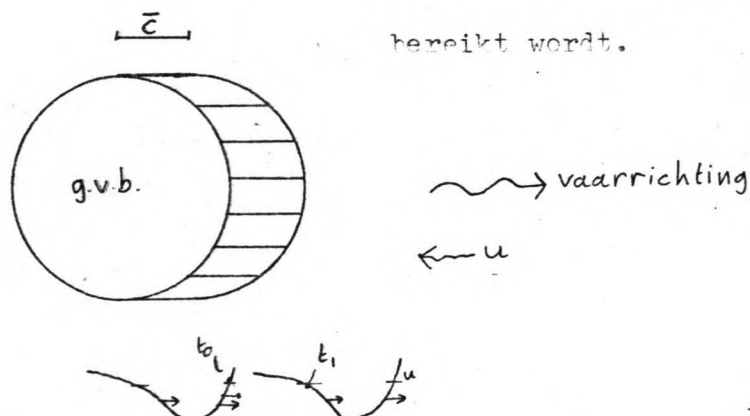
$V_{\text{opgevangen}}$ = volume, zonder poriën, van het opgevangen materiaal (m^3)

$b_{\text{g.v.b.}}$ = breedte van de g.v.b., loodrecht op de aanstroomrichting (m)

T = periode waarbinnen materiaal opgevangen wordt (sec) ($t_I - t_0$)

T bestaat uit een basis-periode - dit is de tijdsduur van de werking van de kritische schuifspanning,

en een extra periode $\frac{\bar{c}}{V_s}$ - de tijdsduur waarin de kritische waarde van de schuifspanning op een plaats die op een afstand van \bar{c} bovenstrooms van de rand van de g.v.b. bereikt wordt.



(2I) wordt nu:

$$V_{\text{opzevangen}} = q_s \cdot b_{\text{g.v.b.}} \cdot \left(T_{\text{basis}} + \frac{\bar{c}}{V_s} \right)$$

De waarde van \bar{c} blijkt toe te nemen bij groter wordende Φ . Deze tendens bleek in modelonderzoek M III5. Mogelijk is de waarde van \bar{c} afhankelijk van de diameter van het materiaal ($\bar{c} \propto I/D$), doch dit is nog niet nader onderzocht.

Voor de lage transporten als bij de retourstroom wordt hier geschat:

$$\bar{c} = 20 D_{50} = 0,86 \text{ m.}$$

T_{basis} wordt hier geschat op 2 á 5 sec.

Nu kan m.b.v. de tabellen B1 t/m B4 een schatting worden gemaakt van de op te vangen hoeveelheid fijn grind. Hierbij wordt dus een schematisatie toegepast door te stellen dat de schuifspanning zich gedurende T_{basis} met de kritieke waarde op een bepaalde plaats manifesteert.

De resultaten zijn opgenomen in tabel B5.

-op te vangen transport in grindvangbak (grof)-

Hier wordt op dezelfde manier te werk gegaan als voor het fijne grind.

De diameter van de bak bedraagt 3 m. Naar de waarde van \bar{c} kan slechts regist worden. In verband met het hiervoor vermelde vermoeden, dat

$$\bar{c} \propto I/D, \text{ wordt } \bar{c} \text{ hier geschat op } D_{50(\text{f.g.})}/D_{50(\text{g.g.})} \cdot \bar{c}_{\text{f.g.}} = 0,44 \text{ m.}$$

-waar te nemen transport bij stortsteen-

In het gedeelte van het talud dat door de retourstroom wordt aangevallen zijn geen voorzieningen aangebracht om de hoeveelheid getransporteerde stortsteen te meten. Wel zijn gekleurde proefvakken in het gebied dat door de haalgolf/taludvolgstroom aangevallen wordt gesitueerd, hetgeen bij de behandeling van de erosie door de haalgolf verder ter sprake komt.

2-Haalgolf en Taludvolgestroom

Hoewel de invloeden van de haalgolf en de taludvolgestroom op de erosie elkaar overlappen, is voor beide een berekening uitgevoerd.

2A-Haalgolf

Voor enkele waarden van de waterspiegeldaling z , zoals die zijn weergegeven voor de verschillende toestanden in de figuren A.1 t/m A.5, is met behulp van vgl. (16) de waarde van de schuifspanning bepaald. De resultaten zijn te zien in tabel B.6. t/m B.8.

De waarde van de lengte van het golffront L , die hierbij gehanteerd is, is geschat, waarbij aangenomen is dat de waarde van L vermeerderd indien de vaarsnelheid lager wordt. (bij eenzelfde afstand tot de oever).

De schuifspanningsparameter is berekend volgens vgl. (4).

De waarde van de transportparameter is vervolgens berekend volgens Meyer-Peter-Muller of, indien van toepassing, volgens Paintal, resp. de vgl. 10 en 12. Aansluitend is met vgl. 20 het netto volume materiaaltransport q_s bepaald.

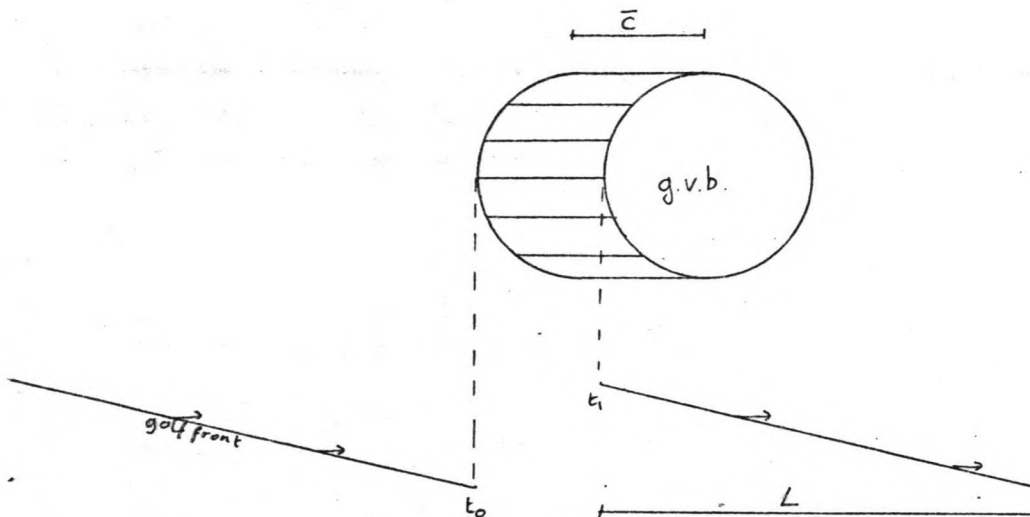
-op te vangen transport in grindvangbak (fijn)-

Ook in het deel van het talud dat door de haalgolf wordt "aangevallen" is een grindvangbak geplaatst, wederom met een diameter van 1,5 m.

Zoals in het voorgaande betreffende de erosie door retourstroom reeds is gesteld kan het netto volume grind dat in de g.v.b. terecht kan komen geschat worden met;

$$V_{\text{opvang}} = q_s \cdot b_{\text{g.v.b.}} \cdot T \quad (21)$$

T is $t_I - t_0$, zie onderstaande figuur, en dit is gelijk aan $\frac{L}{\bar{v}}$.



$t_I - t_0$ is de periode gedurende welke materiaalfzetting in de g.v.b. plaatsvindt

en \bar{v} wordt, als bij de behandeling van de erosie door retourstroom, globaal gesteld op $20 D_{50} = 0,86$ m.

De zodoende bepaalde $V_{\text{opgevangen}}$ zijn weergegeven in tabel B6 t/m B2.

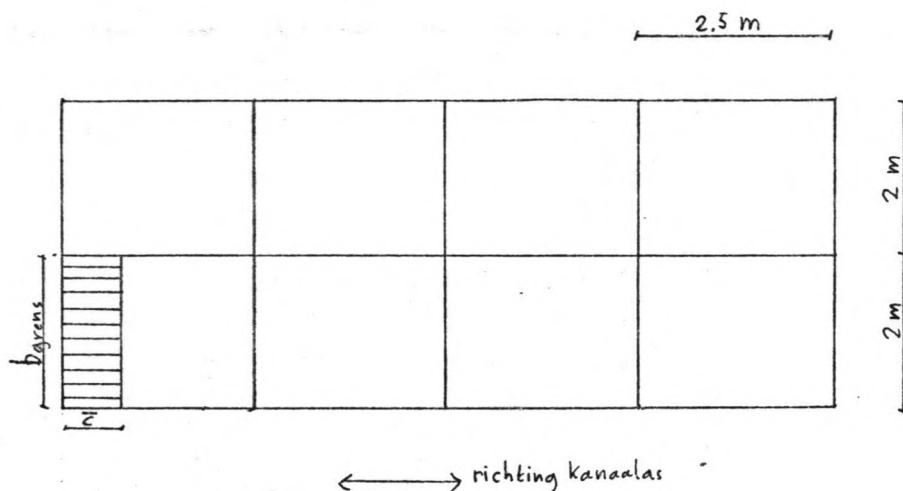
-op te vangen transport in grindvangbak (grof)-

Hier wordt op dezelfde manier te werk gegaan als bij het fijne grind, met dit verschil dat de diameter van de bak hier 3 m bedraagt. De waarde van \bar{v} wordt weer op 0,44 m geschat.

-te verwachten transport van stortsteen-

In het gedeelte van het talud dat door de haalgolf bestreken wordt zijn in de twee proefvakken met stortsteen sub-vakken met gekleurde stenen aangelegd. De afmetingen van deze vakjes zijn 2,5 m (in de vaarrichting) x 2 m (loodrecht op de kanaalas, gemeten langs talud). In elk van de beide stort-

steenvakken zijn 8 van deze vakjes aangebracht, elk met een andere kleur.



Een schatting van het over de verticale vakgrenzen getransporteerde volume (zonder poriën) kan gemaakt worden met:

$$V_{\text{passage}} = q_s \cdot b_{\text{grens}} \cdot T \quad (2Ia)$$

T is hierin weer gesteld op $\frac{L + \bar{c}}{V_s}$.

De waarde van \bar{c} wordt voor deze globale berekeningen geschat op $\frac{0,043}{0,235} \cdot 0,86 = 0,16$ m.

2B-Taludvolgstream

De berekening van de hoeveelheid materiaal dat door de taludvolgstream verplaatst wordt is in het algemeen uitgevoerd voor enkele stroomsnelheden. Zie tabel Bg/10. Met voor c_f 0,15 zijn de waarden van Ψ en van Φ bepaald, waarvan de laatste weer op de 2 manieren, (M.-P.-M. en Paintal). q_s is vervolgens berekend voor de grootste waarde van Φ .

-op te vangen erosie in grindvangbak (fijn)-

Het netto volume aan grind dat in de bak terecht kan komen kan bepaald worden middels;

$$V_{\text{opgevangen}} = q_s \cdot b_{\text{g.v.b.}} \cdot T \quad (21)$$

waarbij voor T 2 en 5 sec. genomen wordt. Berekeningsresultaten in tabel .

-op te vangen erosie in grindvangbak (grof)-

Hier is het netto volume op dezelfde manier bepaald als bij het fijne grind.

-te verwachten erosie bij stortsteen-

Als bij de erosie door de haalgolf wordt hier een schatting gemaakt van het netto volume aan materiaal dat over de verticale vlakjesgrenzen getransporteerd wordt. De grensbreedte is hier wederom 2 m, en de periode wordt geschat op 2 á 5 sec.

3-Secondaire scheepsgolven

Gezien het feit dat een enigszins reële predictie van de erosie door secundaire scheepsgolven nog niet tot de mogelijkheden behoort, wordt daar hier van afgezien. Wel wordt voor de vaarten met de Jan Planken (T 10) aan de hand van waarnemingen in M III5 (vaarten met de Rixt, zie ook par. 4.4.I.e) de erosie a.g.v. de sec. scheepsgolven geschat. Zie bijlage B II.

HOOFDSTUK II : BESCHRIJVING DEFINITIEVE MEETOPSTELLING

II BESCHRIJVING VAN DE DEFINITIEVE MEETOPSTELLINGEN

In dit hoofdstuk zullen de gerealiseerde meetopstellingen in beeld worden gebracht. Afzonderlijke delen van de meetopstelling zijn reeds in de voorgaande hoofdstukken beschreven.

Achtereenvolgens worden hier in beeld gebracht;

Fig. I a-plaats der meetinstrumenten (alle) tijdens T 22, geprojecteerd in XOY-vlak. b transport en verwerking van de meetsignalen.

2 - plattegrond der communicatie-middelen.

3a- plaats der hydro-instrumenten tijdens T 22.01 - 22.08

b- idem tijdens T 22.09 - 22.19

c- idem tijdens T 44.01 - 44.12

d- idem tijdens T 44.13 - 44.21

e- idem tijdens T 23.01 - 23.03

f- idem tijdens T 23.04

g- idem tijdens T 46.01 - 46.04 en T 64.01 - 64.05

h- idem tijdens T 23.03 en T 32.01 - T 32.04

i- idem tijdens T 11.01 - 11.07

4a- plaats van proefvak I, met bepaalde taludhelling

b- plaats van proefvak 2, met bepaalde taludhelling

c- plaats van proefvak 3, met bepaalde taludhelling en positie
geo-hydro-instrumenten

d- als c, voor proefvak 4

e- als c, voor proefvak 5

f- als c, voor proefvak 6

g- plaats van proefvak 7, met bepaalde taludhelling, positie "kerstboom"
en grindvanstakken

h- als c, voor proefvak 8

De volgende opmerkingen t.a.v. de figuren dienen hier gemaakt te worden, in verband met mutaties in de instrumentenposities;

Fig. Ia/Ib -de meetinstrumenten zijn hier weergegeven middels het kanaalnummer waaronder de meetsignalen van het desbetreffende instrument worden opgeborgen in het bestand tijdens toestanden T 22. Zie ook de blz. II.04-II.08.

Gedurende de metingen T 22 waren alleen op de stuurboord- en midden-as een AKM aangebracht. Vanaf meting T 44.01 was ook op de bakboordas een AKM gemonteerd.

- 3 - De gerealiseerde plaats van de meetinstrumenten (hydro) wijkt in enkele gevallen af van de plaats zoals die beoogd is (hfdst. 4);
- a- de plaatsing van de micromolens (X = 210 m) werd bemoeilijkt door de lokale ligging van de stortstenen (problemen met juiste aanstroming). Hierdoor kon de positie van SHM I en 2 niet exact overeen komen met die van SHM I2 en I3 in de centrale meetraai.
- Voorts bleek het niet mogelijk, door de bodemconfiguratie ter plaatse, om de paal met 6 SHM's (de kerstboom) pal voor de grindvangbak grof onder te plaatsen. Zie ook fig. 4.r.
- b- als bij a.
- c- als bij a.
- d- de derde micromolen (SHM 3) werd verplaatst naar de centrale meetraai. De reden hiertoe was dat de drie micromolens een nagenoeg gelijk signaal afgaven, zodat best met een micromolen minder volstaan kon worden bij de hulpsteiger. SHM 3 kon gebruikt worden om turbulentie en snelheden in de haalgolf/taludvolgström ter plaatse van de centrale meetraai te meten. De indruk bestond dat de ott's e.e.a. niet aankonden.
- Verder geen bijzonderheden.

e- Daar SHM 34 tijdens de voorgaande metingen geen signaal afgeef werd deze meter uit de kerstboom verwijderd.

SHM 3 bleek niet in staat om op z'n nieuwe positie voldoende informatie te verschaffen, vooral omdat z'n meetbereik te klein was, en werd daarom lager op het talud geplaatst. Zodoende waren ook metingen aan de turbulentie in de retourstroom mogelijk.

Om een beter beeld van de stroomsnelheden in de overgangsgebieden en in geval van afbuigende stroomlijnen te verkrijgen werd bij SHM 3 een elektro-magnetische snelheidsmeter geplaatst. De e-m shm is beter dan de micromolen in staat om bij schuin invallende stroomlijnen de component in de richting van de kanaalas weer te geven (goede azimuth respons).

f- De e-m SHM werd een weinig hoger (in verticale richting) geplaatst.

g- Voor de vaarten langs de teen van het talud werd de steigeruitbouw enigszins ingekort. (SHM 44 en GHM 2).

h- als bij f.

i- als bij f.

4 - De taludhelling bleek nogal af te wijken van I : 4, zo was de taludhelling ter plaatse van de stortsteenvakken eerder I : 5. Ook vertoonde de snijlijn van het N.A.P.-vlak met het talud variaties.

g,h- De posities van de bovenste grindvangbakken correspondeerden redelijk met elkaar. De onderste grindvangbakken lagen iets verschoven t.o.v. van elkaar.

Noot; de drukdozen DRO I t/m 3 zijn opgenomen in de figuren 4 c,e,f.

INSTRUMENTARIEHydro-instrumenten

type instrument	plaats	aantal signalen	
II Ott-molens	centrale meetsteiger	9	
6 Ott-molens	kerstboom, vak 7	5	
I Savonius rotor	bodem kanaal	I	
3 micromolens	hulpssteiger, vak 6	3	
7 capacitieve staven	centrale meetsteiger	7	
I capacitieve draad	centrale meetsteiger	I	
2 richtingsmeters	centrale meetraai	2	
I richtingmeter	kerstboom, vak 7	I	HP 1000
I richtingmeter	bodem kanaal	I	
I drukdoos	vak 3	I	
I drukdoos	vak 5	I	
I drukdoos	vak 6	I	
I drukdoos	bodem kanaal	I	
I echolood	bodem kanaal	-x	
I afleesbaak	centrale meetsteiger	-xx	

x (aant op schrijver

xx (ter plaatse aflezen

Geo-hydro-instrumenten

type instrument	plaats	aantal signalen	
8 waterspanningsmeters	vak 3	8	
8 waterspanningsmeters	vak 4	8	
6 waterspanningsmeters	vak 5	6	
12 waterspanningsmeters	vak 6	12	HP 1000
3 drukverschilmeters	vak 3	6	
3 drukverschilmeters	vak 4	6	
3 drukverschilmeters	vak 5	6	

Plaatsbepaling-instrumenten

I Minilix/Agg	na meetsectie	3	HP 9905
---------------	---------------	---	---------

Beordinstrumenten

type instrument	plaats	aantal signalen	
2 toerentellers	schroefas	2	analog (3)
2 askoppelmeters	schroefas	2	
2 trimmeters (3)	duwtakken	2	
I roerhoekmeter	roerkoning	I	
I Trident	stuurhuis	2	UP 9825
I Robertson koersgyro	stuurhuis	I	

Diversen

I windsnelheidsmeter	kop centr. steiger	-X
I windrichtingmeter	kop centr. steiger	-X
I luchttemperatuurmeter	kop centr. steiger	-XX
I barometer	kop centr. steiger	-X
3 watertemperatuurmeters	centrale meetsteiger	-XX

X(apart op schrijver (ter plaatse)

XX(ter plaatse aflezen

Totale aantal signalen

Hydro-instr.	34
Geo-hydro-instr.	52
Plaatsbep.	3
Beordinstr.	<u>10 (II)</u>
Totaal	99 (100)

PROEFVAKKEN

(zie ook figuur Ia)

		afmetingen proefvakken	
		in X	in Y
I	- Stortsteen (5 - 40 kg) op klei	40(m)	12(m)
II	- Betonblokken (0,3x0,25x0,15 m) op klei	40	8,8
III	- Betonblokken (idem) op zand met vleilaag	40	8,8
IV	- Betonblokken (idem) op zand	40	8,8
V	- Basalton (hoogte 0,15 m) op zand	40	8,8
VI	- Stortsteen (5 - 40 kg) op zand	40	12
VII	- Grof grind (80 - 200 mm) op zand	40	16
VIII	- Fijn grind (30 - 80 mm) op zand	40	16
IX	- Stortsteen (10 - 60 kg)		

Afmetingen van de voorzieningen t.b.v. bepaling transport

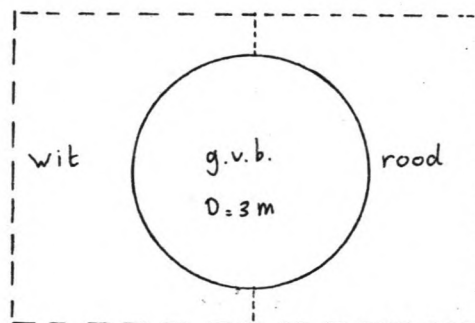
Vak I : 8 vakken met gekleurde stenen. Afmetingen: 2,5 x 2 m (resp. in X en Y richting). + Fotosteiger.

Vak 6 : als vak I. +Fotosteiger.

Vak 7 : 2 grindvangbakken met een diameter van 3 m. Hieromheen is gekleurd grind aangebracht, zie figuur hieronder.

Vak 8 : 2 grindvangbakken met een diameter van 1,5 m. Ook hieromheen is gekleurd grind aangebracht, zie figuur hieronder.

Voor exacte posities van de bovengenoemde voorzieningen wordt verwezen naar de figuren 4 a, f, g en h.

Vak 8Vak 7

Verklaring der nummers van figuur Ia (T 22)

Kanaalno; Instr.

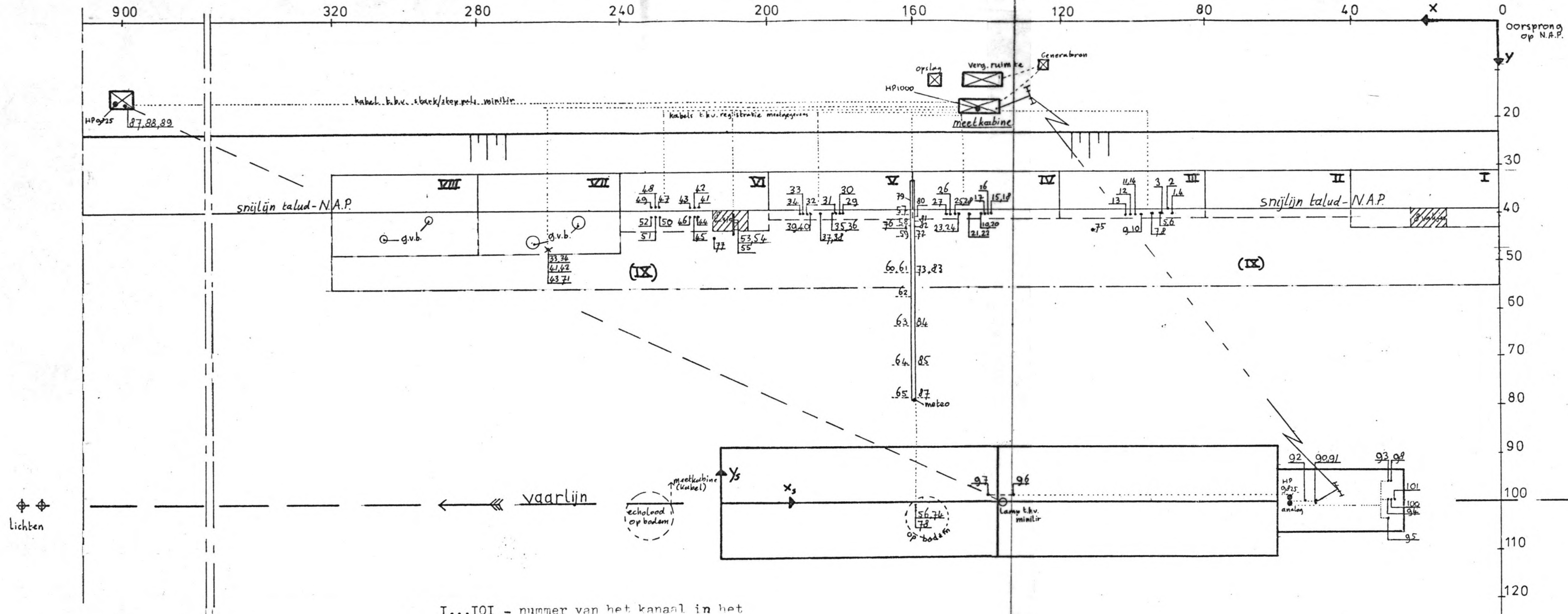
1 - WSM 5	36 - DRO 7I	71 - RTM 1
2 - WSM 7	37 - DRO 80	72 - RTM 2
3 - WSM 6	38 - DRO 8I	73 - RTM 3
4 - WSM 8	39 - DRO 90	74 - RTM 4
5 - DRO 40	40 - DRO 9I	75 - DRO 1
6 - DRO 4I	41 - WSM 23	76 - DRO 2
7 - DRO 50	42 - WSM 25	77 - DRO 3
8 - DRO 5I	43 - WSM 24	78 - DRO 4
9 - DRO 60	44 - WSM 26	79 - GHM 1
10 - DRO 6I	45 - WSM 27	80 - GHM 8
11 - WSM 1	46 - WSM 28	81 - GHM 7
12 - WSM 3	47 - WSM 29	82 - GHM 6
13 - WSM 2	48 - WSM 3I	83 - GHM 5
14 - WSM 4	49 - WSM 30	84 - GHM 4
15 - WSM 9	50 - WSM 32	85 - GHM 3
16 - WSM 11	51 - WSM 15	86 - GHM 2
17 - WSM 10	52 - WSM 33	87 - MLX 1
18 - WSM 12	53 - SHM 1	88 - MLY 1
19 - DRO 10	54 - SHM 2	89 - MLZ 1
20 - DRO 11	55 - SHM 3	90 - TDX 1
21 - DRO 20	56 - SHM 11	91 - TDY 1
22 - DRO 2I	57 - SHM 12	92 - KHM 1
23 - DRO 30	58 - SHM 13	93 - TTL 1
24 - DRO 3I	59 - SHM 14*	94 - TTL 2
25 - WSM 13	60 - SHM 21*	95 - TTL 3
26 - WSM 34	61 - SHM 22	96 - TRM 1
27 - WSM 14	62 - SHM 23	97 - TRM 2
28 - WSM 16	63 - SHM 24	98 - AKM 1
29 - WSM 17	64 - SHM 31	99 -
30 - WSM 19	65 - SHM 32	100 - AKM 3
31 - WSM 18	66 - SHM 33	101 - RHM 1
32 - WSM 20	67 - SHM 34	
33 - WSM 22	68 - SHM 41*	
34 - WSM 2I	69 - SHM 42	
35 - DRO 70	70 - SHM 43	

* (1 signaal van 2 instrumenten.

(Voor verklaring letters zie volgende blz.

Verklaring instrumentcodes

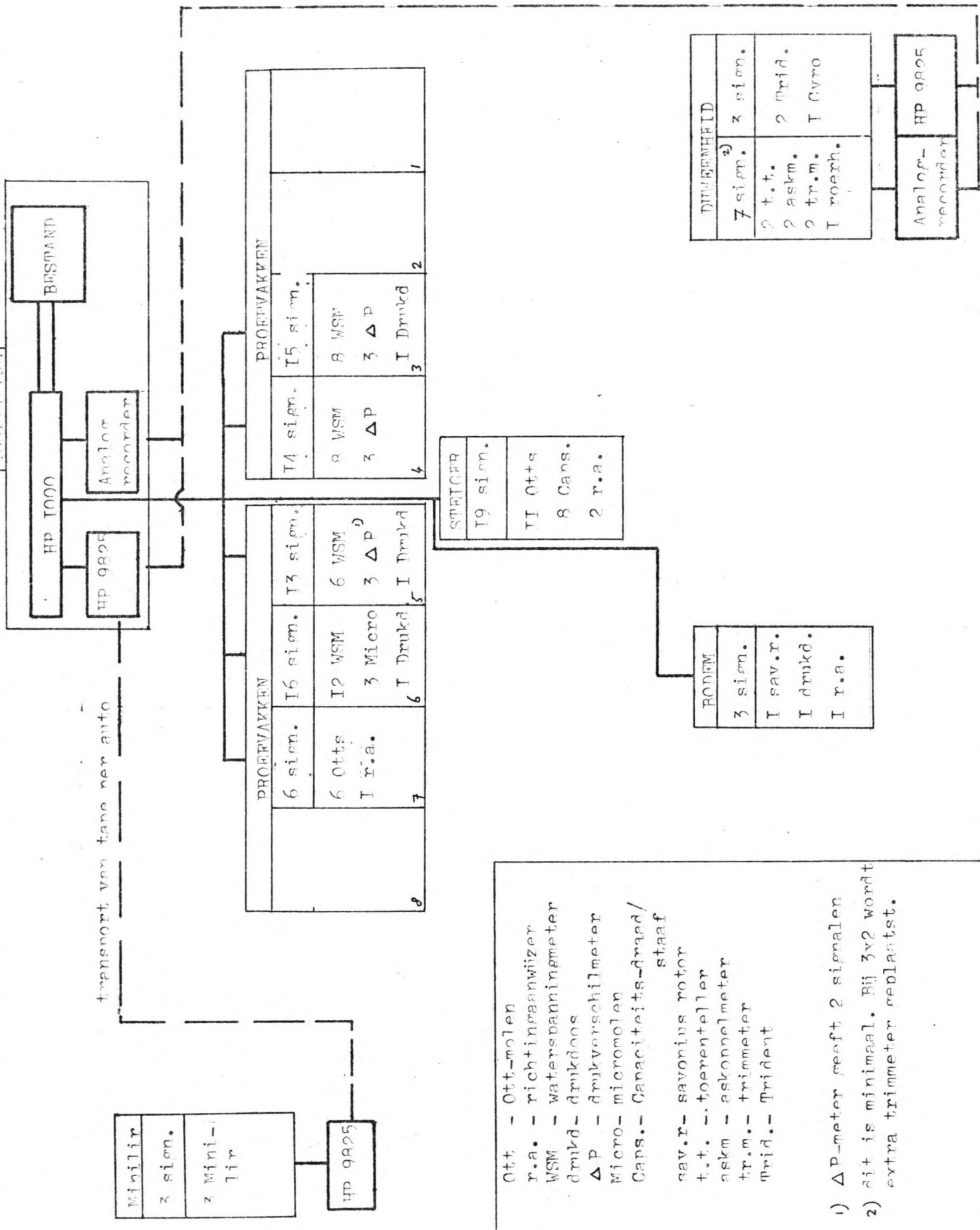
WSM : Waterspanningsmeter
DRO : Drukopnemer
SHM : Snelheidsmeter
GHM : Golfhoogtemeter
RTM : Richtingsmeter
MLX : Minilir, x-ordinaat
MLY : Minilir, y-ordinaat
MLZ : Minilir, z-ordinaat
TDX : Trident, x-ordinaat
TDY : Trident, y-ordinaat
KHM : Koershoekmeter
TTL : Toerenteller
TBM : Trimmeter
AKM : Askoppelmeter
RHM : Roerhoekmeter



I...IOI - nummer van het kanaal in het bestand waar de gegevens en signalen van het betreffende instrument ongeslagen worden. blz. 11.07/8

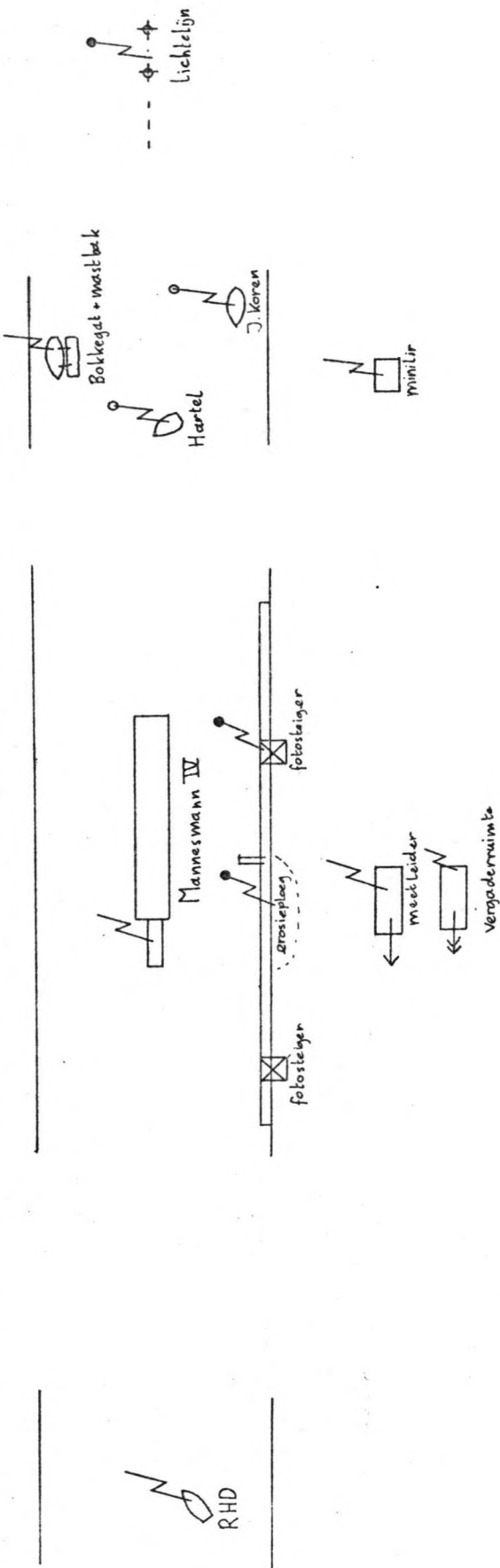
I...IX - nummer van proefvak, zie ook blz. 11.06.

Plattegrond met situatie meetinstrumenten (voorbeeld: T22)	Fig. 1a.
	Schaal x: 1:1000 y: 1:750



Transport en verwerking meetsignalen

Fig. 1.b.









Toestel	plaats	functie
← mobilfoon	vergaderz.	contact buiten
← marifoon	meetlijder	contact RWS, GWR
1 Storno (220 V)	meetlijder	comm. ged. meting
2 Storno (220 V)	boord meet- lijder	"
3 Storno (220 V)	minilir	"
4 Storno (220 V)	Bokkegat	"
5 Storno (220 V)	Verkeersbeg.	"
6 Storno (220 V)	Vergaderz.	vnl. uitluisteren
1 Storno (accu)	Hartel	comm. ged. meting
2 Storno (accu)	sleepboot	"
1 storno (draagb)	erosieploeg	comm. ged. meting
2 Storno (draagb)	fotoploeg	vnl. uitluisteren
3 Storno (draagb)	lichtenlijn	vnl. uitluisteren, tevens reservefunctie

Fig.2: Plattegrond communicatie

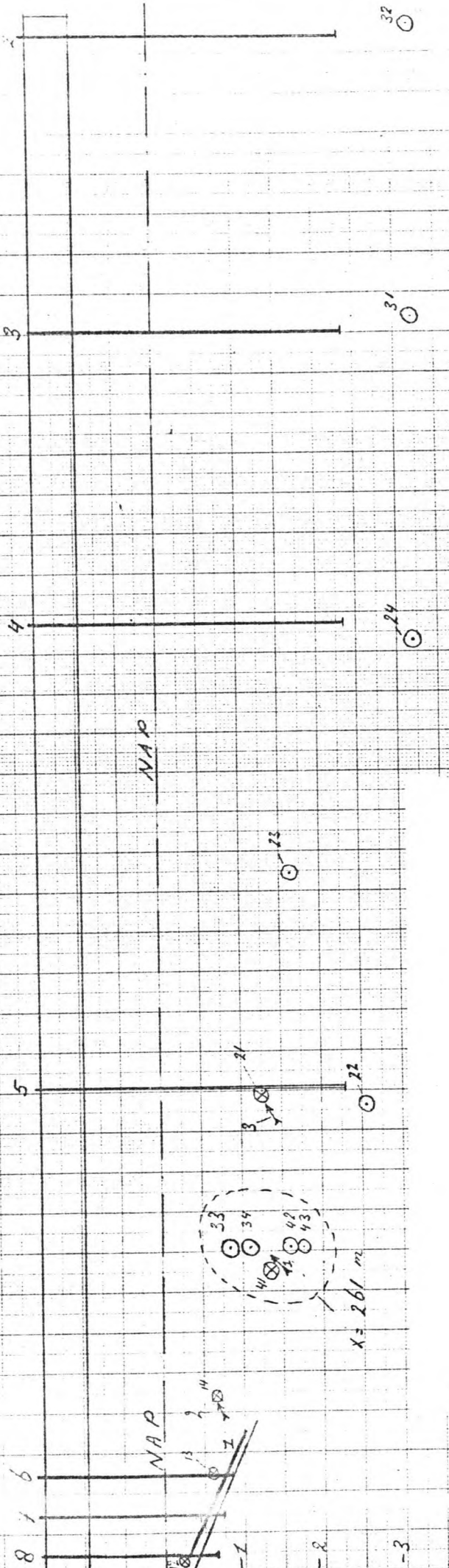
Figuren 3

Verklaring der tekens;

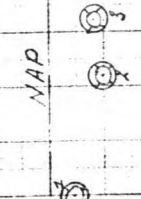
	- cap. draad/staaf
	- ott-molen voor registratie pos.(t.v.s.) snelheden
	- ott-molen voor registratie neg.(ret.s.) snelheden
	- combinatie van 2 ott-molens voor registratie pos. en neg. snelheden met richting-indicator
	- savonius-rotor met richting-indicator
	- micromolens

afstand (m) meters and meetlijn

45 50 55 60 65 70 75



kleine meetlijn op $x = 210.3$ m:

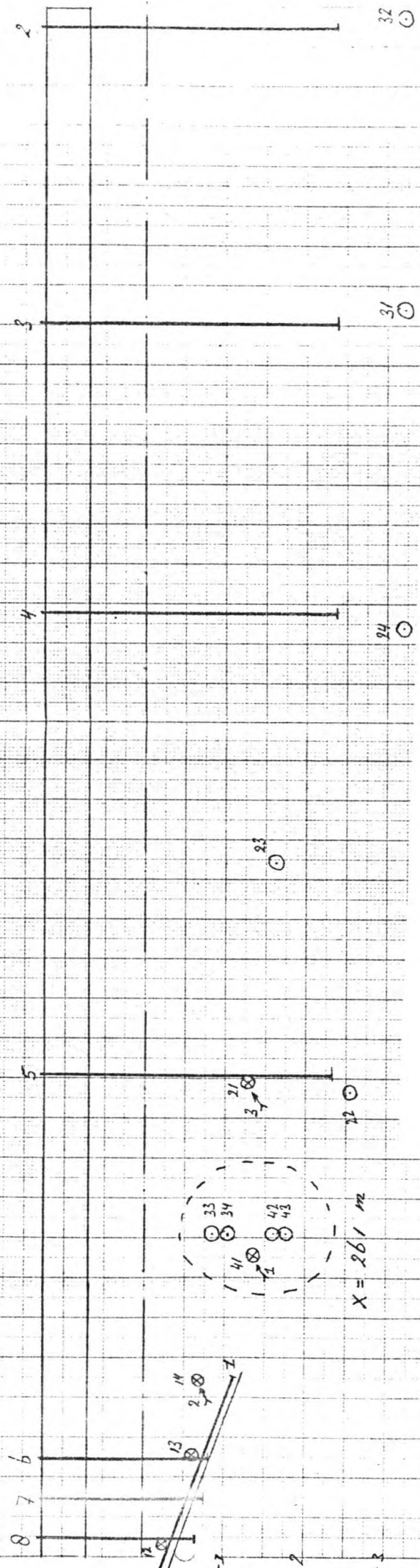


$x = 100.0$
buitinglaag-
op bodem

Fig. 3a: Hydro - instrumenten
v 2201 ... 2208

→ afstand (x) in meters uit meetlijn

40 45 50 55 60 65 70 75



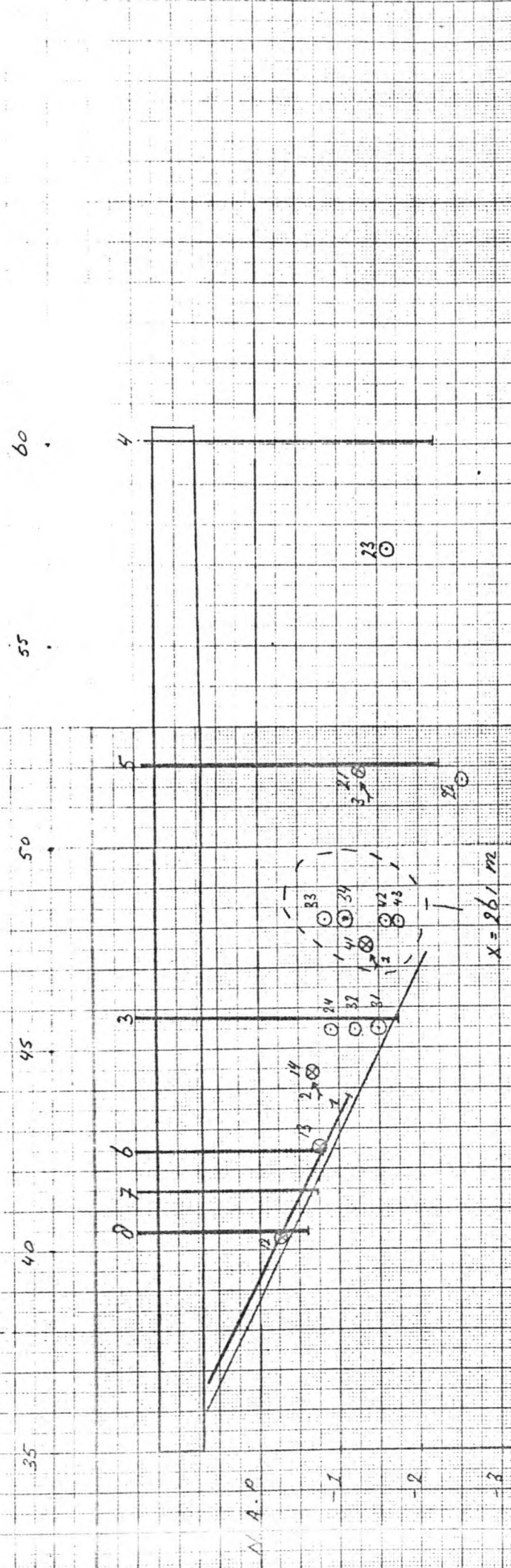
kleine meetsteigen op x = 210.3

N.A.P.
 micromolens

γ = 1000
betonplaat
op bodem
4 p. 5

Fig. 3b. hydro - instrumenten
T 2209 ... 2219

→ afstand (x) in m uit meetlijn



kleine stiepen

NAP

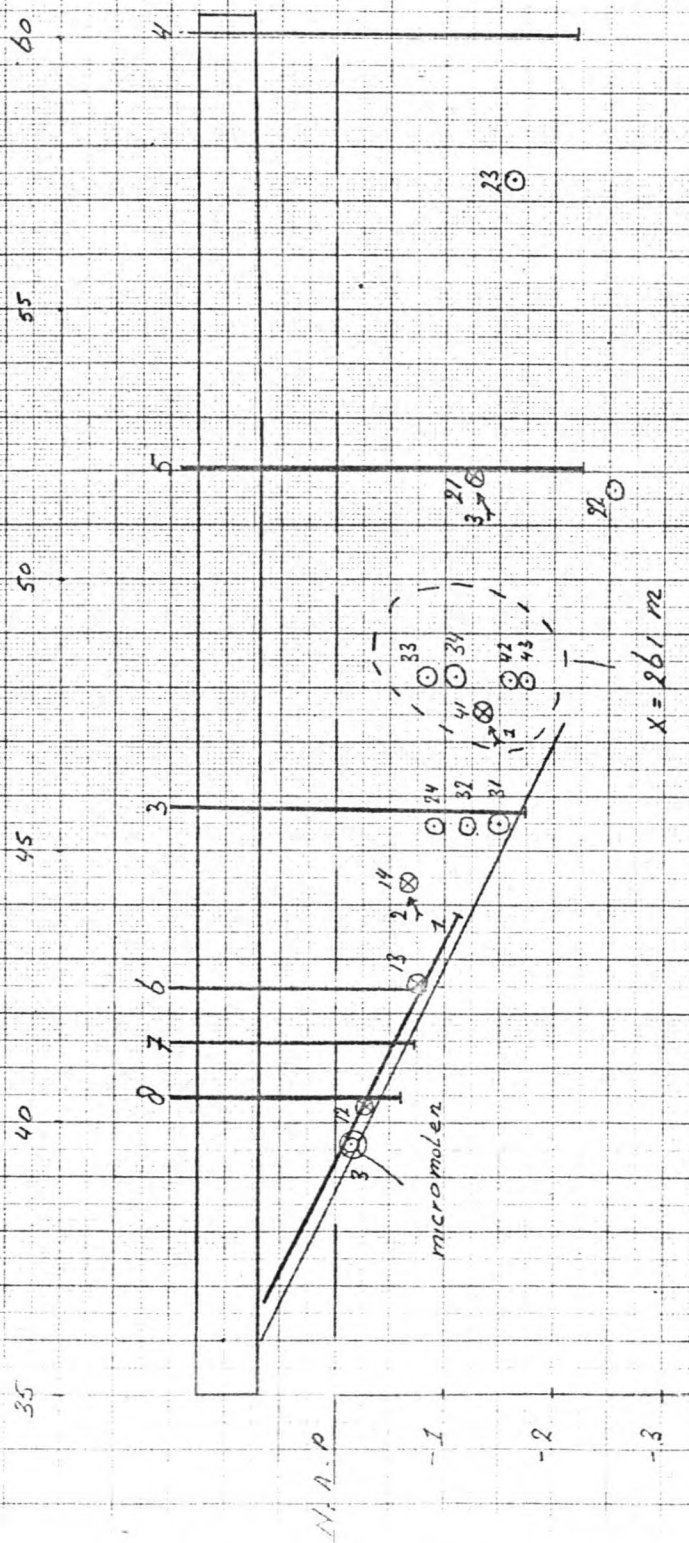
3 micromolens

x = 77.50
 buitenplaat
 op bodem

Fig. 3.c.: Hydro - instrumenten

T 4401 ... T 4412

→ a. stand (x) → m mit metrum



Y = 77.50
 bevolplan f
 opp basism

kleine sdeiger.

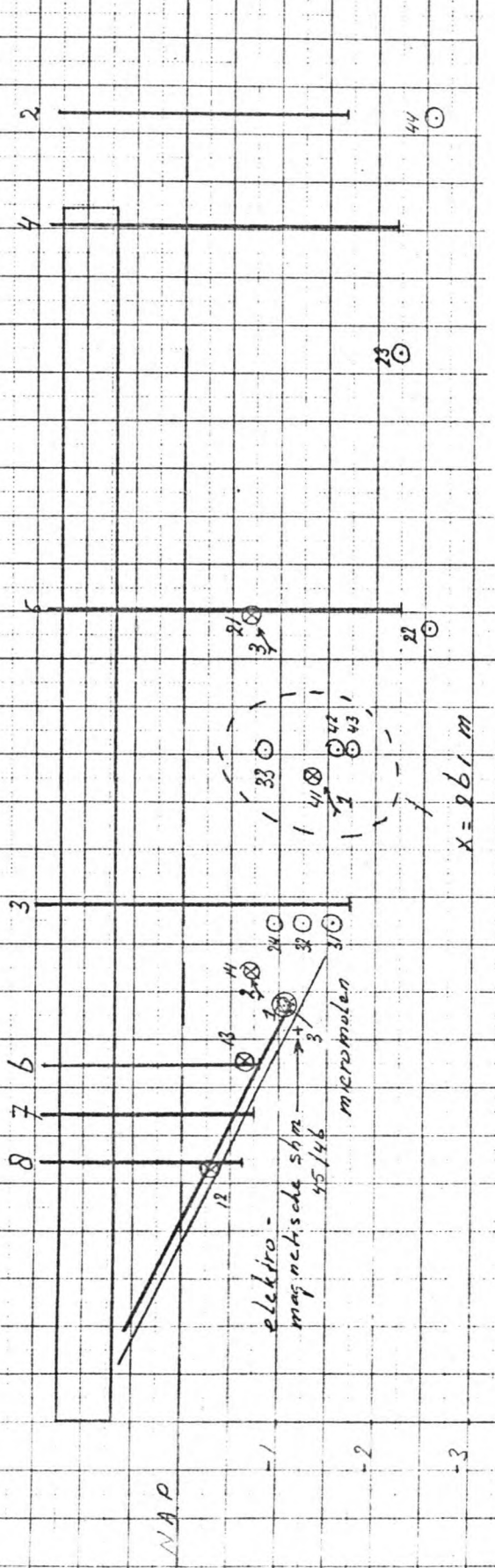
NAP

2 micromolens

Fig. 3.d: Hyaro - instrumenten

Y 4413 ... T 4421

35 40 45 50 55 60



NAP

elektro-magnetische shim
45/46

mikroproben

X = 261 m

kleine steigen

NAP

2 mikroproben

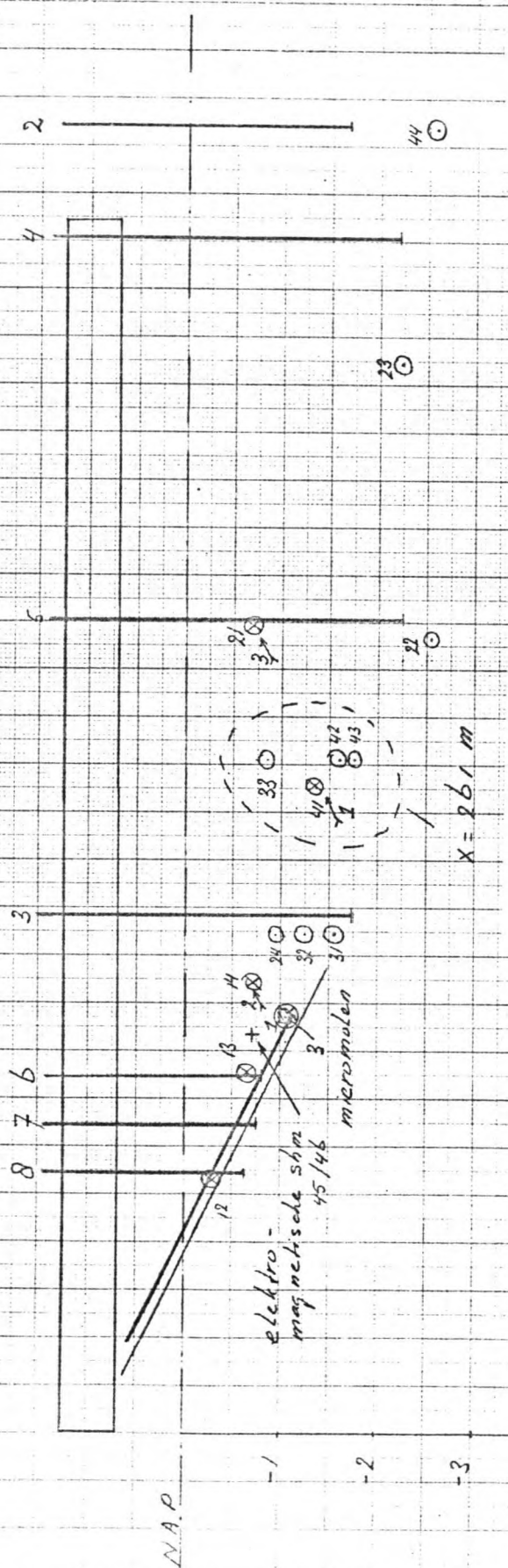
Y = 100
betonplaat
op bodem

Fig. 3.e: Hydro-instrumenten

T 2301 ... 2303

→ a stand (y) en metes uit meetlijn

35 40 45 50 55 60



kleine sterven

N.A.P.

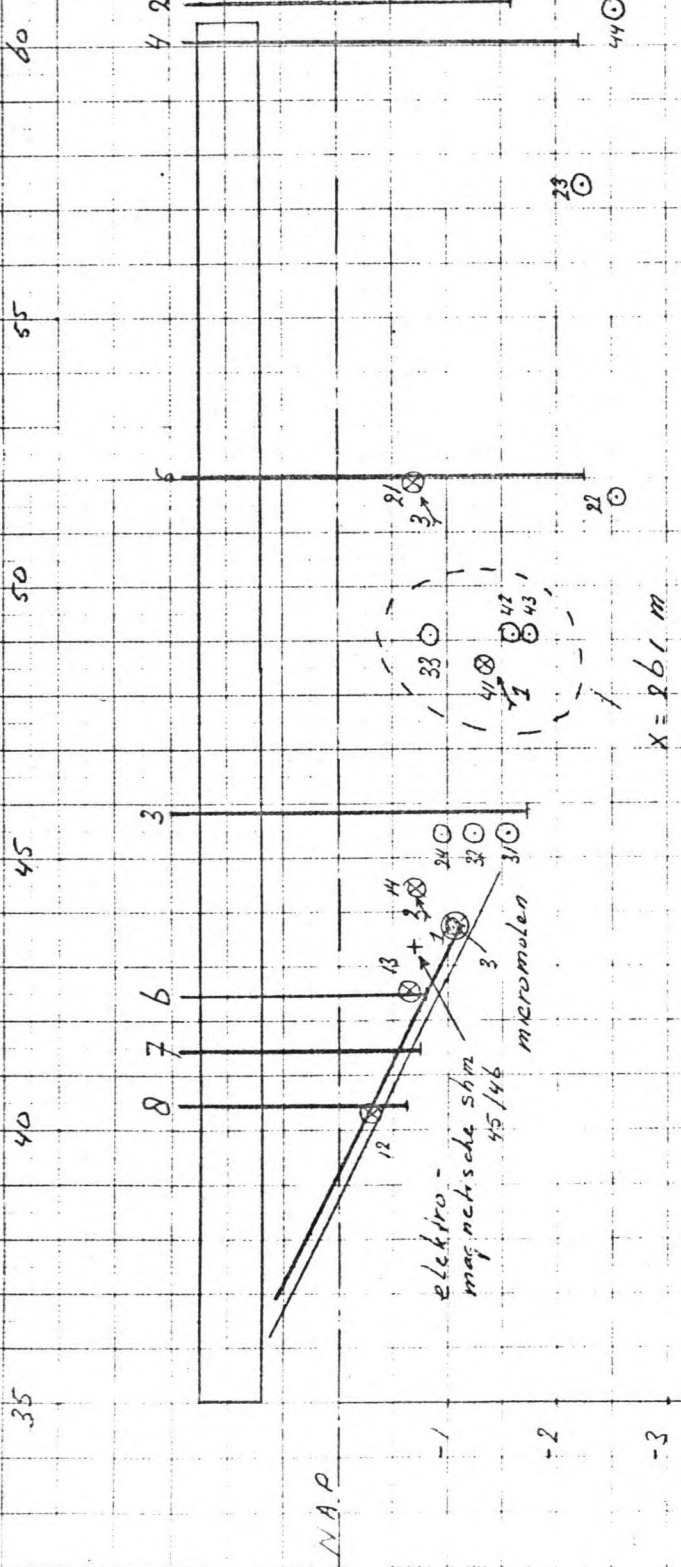
-1

2 micro molens

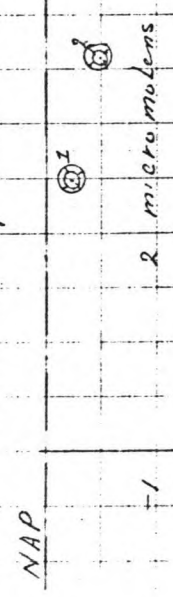
γ = 100
betonplaat
op bodem

Fig. 3 f: Hydro-instrumenten
1 2504

-4
-5
-2
-7



kleine steigen



Y = 7790
 bevestiging
 op buis

Fig. 39: Hydro-instrumenten

T 4601 ... 4604
 en T 6401 ... 6405

Stand (x) in meters auf meterlyg

35

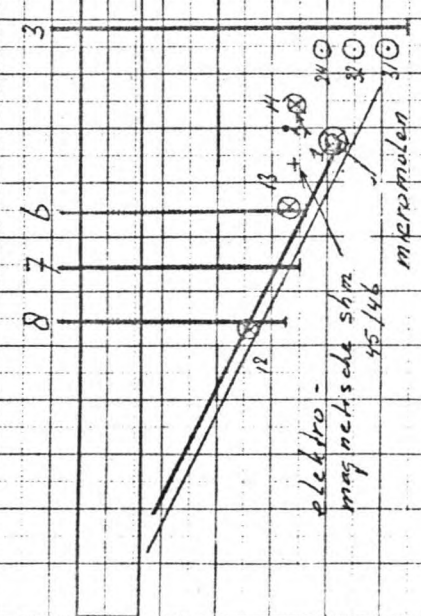
40

45

50

55

60



NAP

-1

-2

-3

44

23

22

x = 261 m

kleine steigen

NAP

-1

2 mikromolek

1

2

y = 100
betonplaa
up bodem

Fig. 3h: hydro-instrumenten

afstand (x) in m wul meeklyn

35

40

45

50

55

60

8

7

6

3

5

4

2

N.A.P.

elektro-
magnetische
Schm 45/46

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

kleine steigen

N.A.P.

2 micromolens

$\gamma = 7790$
Schwingszahl
op bodem 4g

"-6

Fig. 31: Hydro - instrumenten

Y 1101 ... 1107

40

30

20

10

0

X

Y

Stortsteen
op
klei

vak 1

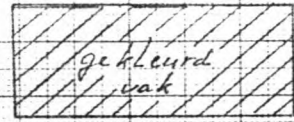
30

35

40

65

snylijn
staand / NAR-vlak



doorsn. 5

4

3

2

1

Bovenanzicht 1:200

$x = 38.74$

NAR

Dwarsdoorsneden 1:100

Proef vak 1

Fig. 4a.

80

70

60

50

40

X

Y

Betonsblokken
op
klee

vak 2

30

35

40

45

snylijn
snyged / dwars-
snee

doorsn. 5

4

3

2

1

Bovenaanzicht 1:100

x = 38.74

N.N.P.

+1, 2, 3, 4

Quersdoorsneden 1:100

120

110

100

90

80

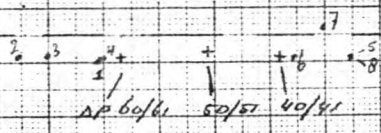
X

Y

Betonblokken
op
vlei laag
op
zand

vak 3

30



snijlijn
40 veld/NAP vlak

DRO 1

doorsn.

Y = 30

40

30

50 m

① x = 80

NAP

NAP

①
x = 94.33

② x = 89.10

NAP

AP 50

②
x = 97.41

-0.2

NAP

AP 50

③
x = 99.01

③ x = 90.04

NAP

WSM 5

WSM 4

④
x = 98.10

-0.5

NAP

WSM 1

⑤
x = 100.06

-1.0

NAP

⑥ x = 91.14

WSM 7

NAP

-0.5

-0.5

-1.0

WSM 3

⑥
x = 101.06

⑤ x = 91.65

WSM 6

NAP

-0.5

-1

AP 41

40

-1.0

WSM 2

Fig. 4.C.

160

150

140

130

120

X

Y

Betonblokken
OF
Zand

vak 4

30

$x_{11} = 3y_{14}$ + $x_{10} = 11 \cdot 5g$
 $x_{13} \Delta P$ $30/21$ $DP 20/11$ $DP 10/11$

snijlijn
langs NAP-vlak

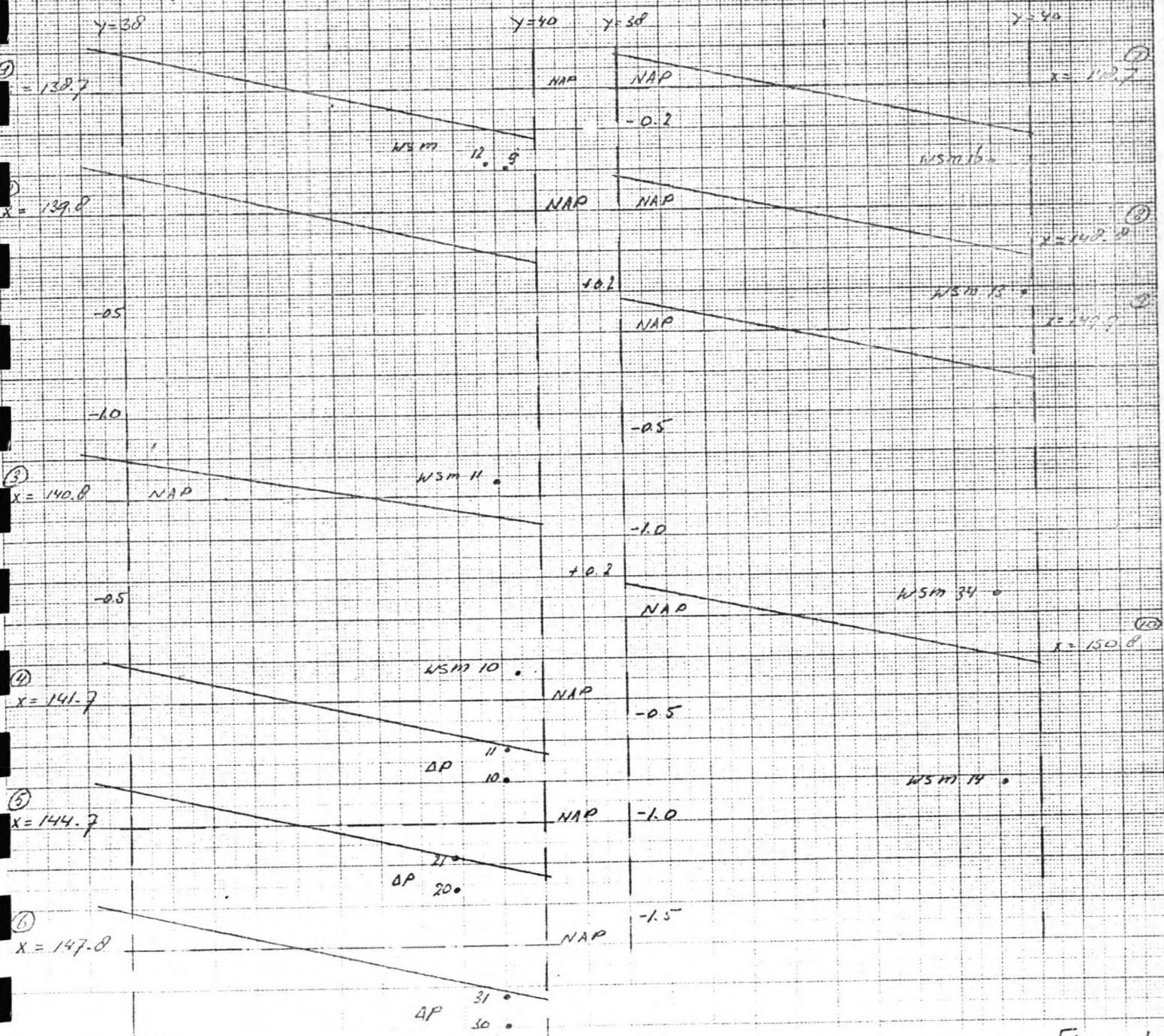


Fig. 4.d.

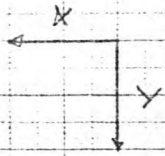
200

190

180

170

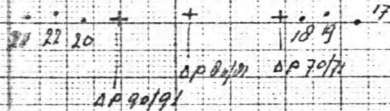
160



Basalton
op
zand

vak 5

30



snijlijn
40 talud/NAP vlak

BR01

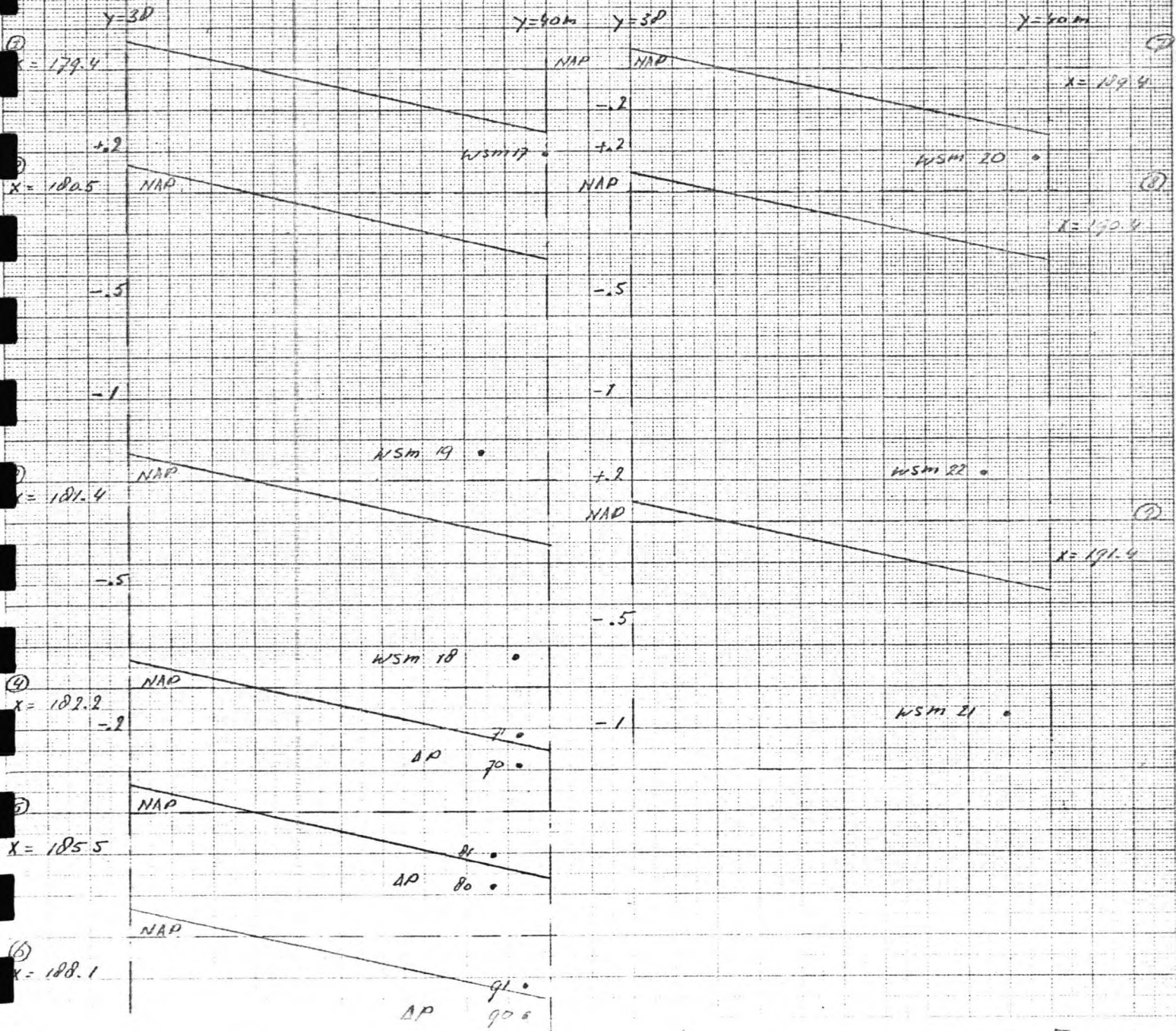


Fig. 4 e.

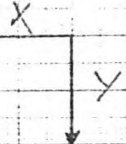
240

230

220

210

200



Startsteen
op
zand

vak 6

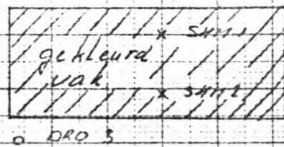
30

30 31 29

24 25 22

33 35 32

30 37 26



snijlijn
40 talud/NAP-vlak

y=30

y=40

x=40!

y=42!

②
x=218.8

③
x=219.9

④
x=220.9

⑤
x=229.7

⑥
x=230.7

⑦
x=231.6

WSM 30

WSM 31

NAP

NAP

NAP

NAP

NAP

NAP

NAP

⑧
x=219.2

⑨
x=220.1

⑩
x=221.0

⑪
x=229.8

⑫
x=230.9

⑬
x=231.8

-0.5

-1.0

-0.5

4.2

-0.5

-0.5

-1.0

-1.5

-2.0

-0.5

-1.0

-1.5

-2.0

WSM 23

WSM 25

WSM 24

WSM 29

WSM 30

WSM 26

WSM 20

WSM 27

WSM 32

WSM 33

WSM 15

Fig. 4.f.

280 270 260 250 240 ← X

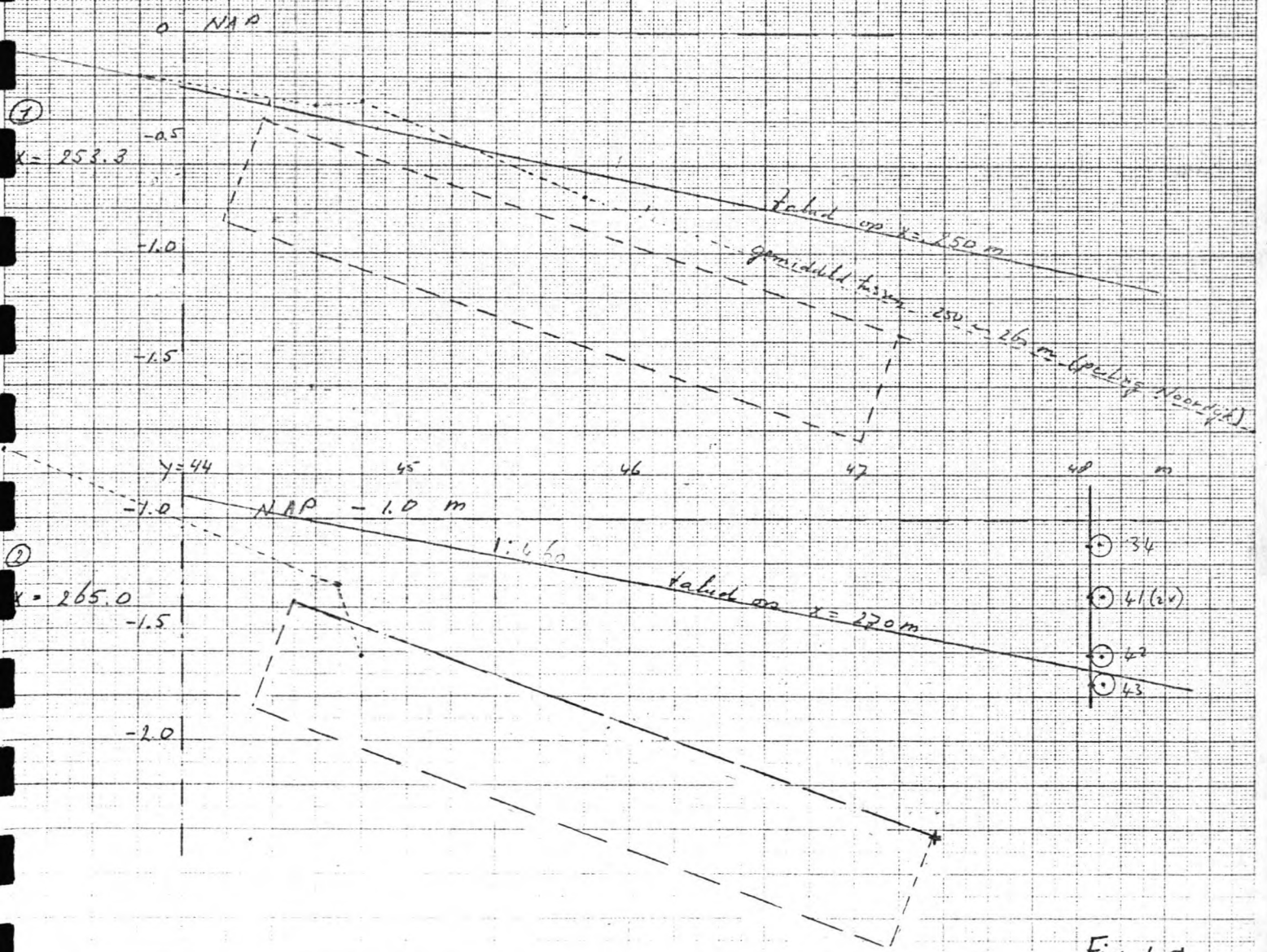
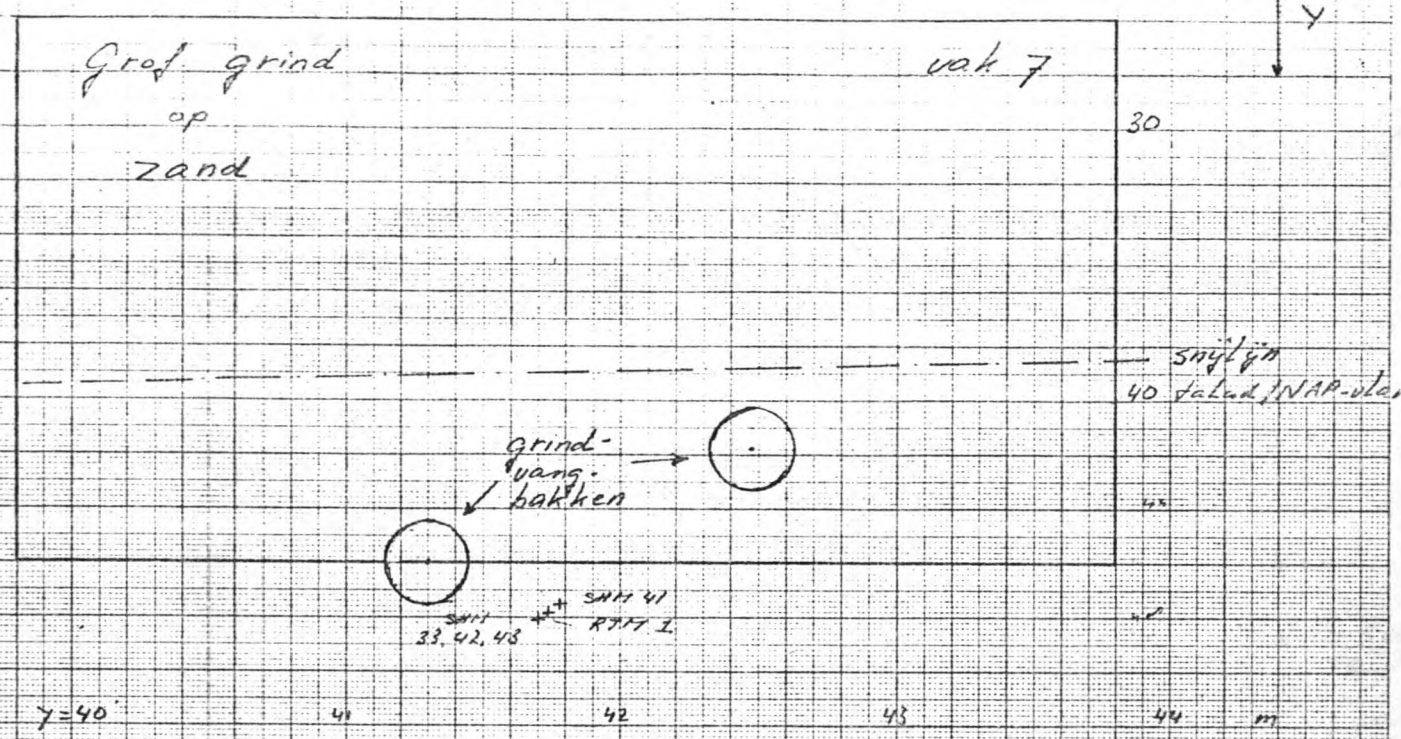


Fig. 4 g.

320.

310

300

290

280

x

y

Een grind
op
zand

vak 8

30

40 snijlijn
vlak / NAP-vlak

grindvong
bakken

y = 40

41

42

43

44 m

NAP

$\lambda = 253.3$

-0.5

-1.0

x = 300 m

x = 290

y = 43

44

45

46

47 m

NAP - 1.0 m

-1.5

x = 300

x = 310

$\lambda = 306.2$

-2.0

peilingen Noordijk

Fig. 4h.

HOOFDSTUK I4 : ORGANISATIE EN UITVOERING VAN DE METINGEN

A-Organisatie van het personeel

Gedurende de proeven was continue aanwezigheid vereist van :

I-Meetruimte

I meetleider/projectleider (WL)	
I verzorger hydro-instrumentatie (VOB)	
I verzorger geo-hydro-instrumentatie (LGM)	Meetploeg
I assistent (VOB)	
I analist hydro-signalen (WL)	
I analist geo-hydro-signalen (+I) (LGM/RWS)	Analysploeg
I systeemanalist (WL)	
I programmeur (WL)	Computerploeg
I operateur (WL)	

2-Proefvakken

2 transportanalisten (WL/GWR)	
I assistent	Erosieploeg
2 duikers (RWS)	
2 fotografen (+I) (RWS)	

3-Meetschepen

I coördinator (DVK)	
I verzorger instr. askoppel, toeren (VOB)	
I verzorger instr. trident, gyro (MD)	Boordploeg
I rederijfunctionaris (Mannesmann)	
5 bemanningsleden (Mannesmann)	

4-Minilir

I verzorger instr. Minilir (+I) (MD)	Minilir
--------------------------------------	---------

5-Lichtenlijn

I verzorger lichtenlijn (RWS)	Lichtenlijn
-------------------------------	-------------

6-Hulpschepen

- 2 bemanningsleden Bokkegat (RWS)
- 2 bemanningsleden Hartel (RWS)
- 3 bemanningsleden RHD IO (Havendienst R.)
- 2 bemanningsleden sloopboot (Koren)

7-Kantine/versaderruimte

- I verzorgster eten en drinken

Discontinue aanwezigheid is vereist van :

0-Algemeen

- Vertegenwoordiger opdrachtgever(s) (RWS/GWR)

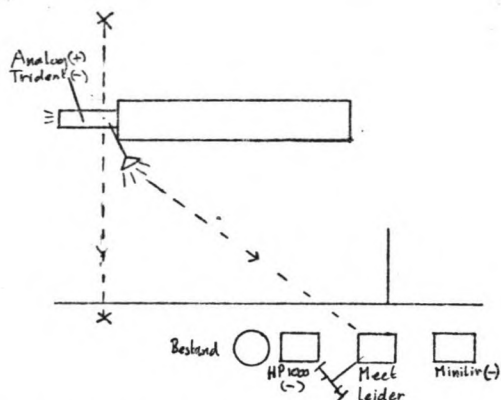
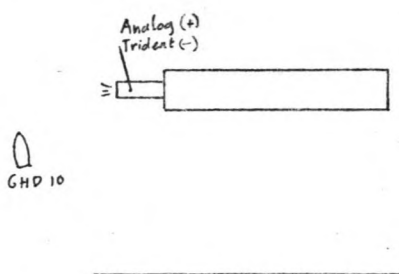
I-Meetruimte

- I instrumenten-installateur (VOR)

2-Proefvakken

- 2 taludverzorgers (aannemer)
- 2 landmeters (MD)

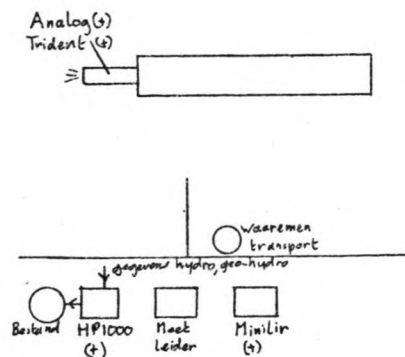
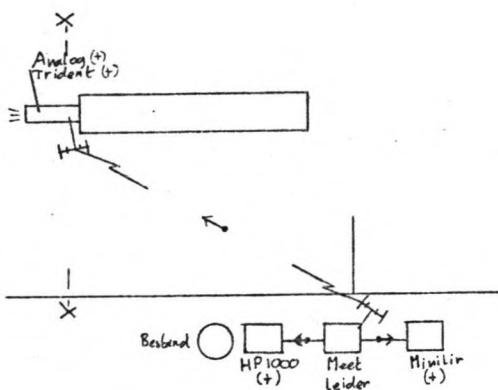
E. Voorspelde vaargeedure



I) Nadat meetleider gecontrolleerd heeft of alles gereed is voor de proefvaart, en aan de Havendienst opdracht heeft gegeven het verkeer te stremmen:

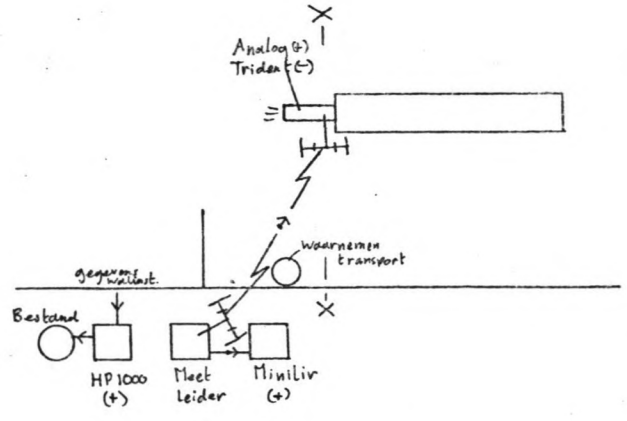
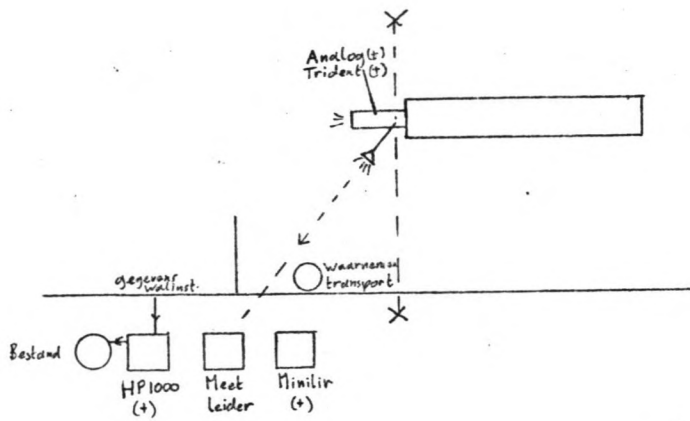
START DUWENHEID (opdracht van meetleider via storno.)
Analog recorder loopt.

II) Duweenheid passeert de startraai, die begin meettraject aanduidt, en geeft hoornsignaal t.b.v. waarnemers op talud. Via storno wordt meetleider op de hoogte gebracht.



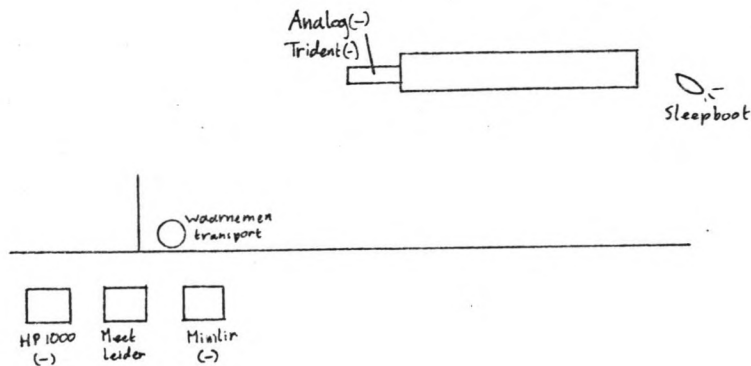
III) Meetleider geeft nadat hij vernomen heeft dat duweenheid startraai passeert een startnuls. Hierdoor wordt de bemonstering van Trident/Gyro, Minilir en de hydro- /geo-hydro-instrumenten gestart. Bij de analog-recorder wordt de startnuls op een apart kanaal vastgelegd.

IV) Metingen. Van enkele hydro- en geo-hydro-instrumenten wordt in de meetcabine het signaal op schrijvers gevolgd. Ook aan boord worden enkele instrumenten op een schrijver gevolgd. Op het talud wordt getracht een indruk van momentaan transport te verkrijgen.

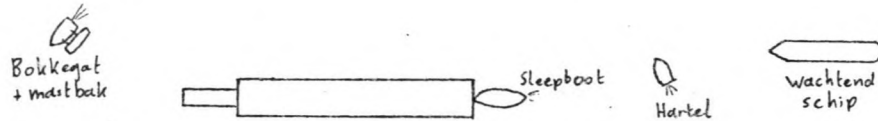


V) Duweenheid passeert stopraai, die het einde van het meettraject aanduidt. Procedure als bij II.

VI) Meetleider geeft nadat hij vernomen heeft dat duweenheid de stopraai passeert een stoppuls. Hierdoor wordt de bemonstering van de Trident/Gyro gestopt. Bij de Analog-recorder wordt de nul weer op een apart spoor vastgelegd. Overige instrumenten worden nog 3 minuten doorbemonsterd. Ook transportwaarnemingen worden voortgezet.

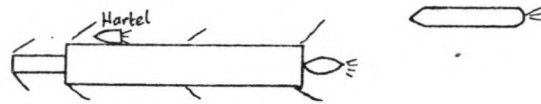


VII) Geleidelijk stoppen van duweenheid. Analog-recorder stopt bij het terugslaan van de schroeven. Na de reeds genoemde 3 minuten wordt de bemonstering van de wal-instrumenten gestopt. Begin analyse schrijveruitvoer. Duikers te water voor leeghalen grindvanshakken. Sleepboot vaart naar boeg duweenheid.

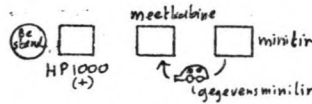


meten transport

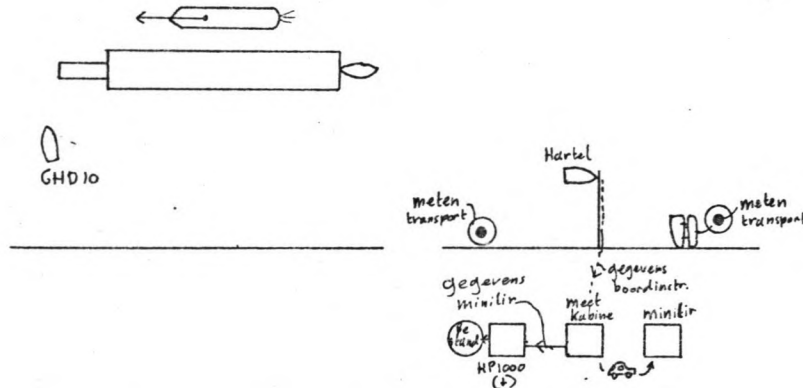
VIII) Duweenheid gestopt. Vastmaken sleeptboot "Res Nova". Hartel vaart naar duwboot. Bokkegat/mastbak vaart naar grindvangbakken. Continuering van leeghalen grindvangbakken en analyse schrijveruitvoer.



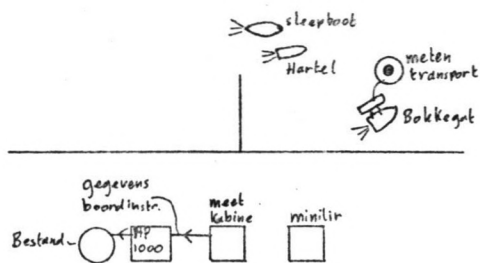
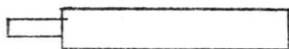
meten transport
Bokkegat



IX) Terugvaren duweenheid waarbij sleeptboot de boeg recht houdt. Hartel gaat langs zij de duwboot liggen en neemt tapes van analog en HP 9825 met boordgegevens in ontvangst. Bokkegat/mastbak ontvangt ongevangen transport. Tape met minilir gegevens (HP 9825) wordt per auto naar meetkubine gebracht. Eventueel wachtend schip vaart achter duweenheid op. Zonodig continuering leeghalen grindvangbakken en analyse schrijveruitvoer.



X) Duweenheid weer op startpositie. Sleeptboot maakt los. Wachtende schepen kunnen passeren. Hartel levert tapes af aan meetsteiger. Op bokkegat wordt ongevangen transport geanalyseerd. Controle gekleurde startsteenvakker. Gegevens minilir worden doorgegeven aan bestand. Zonodig continuering schrijveruitvoer.



- XI) Bokkegat/mastbak, Hartel en sloopboot nemen posities weer in voor de volgende meetvaart. Gegevens boordinstrumenten worden doorgegeven aan bestand. Beëindiging analyse schrijveruitvoer. Overleg over zwenste toerental volgende meetvaart.

C VAARPROEFBAARTEI Oefenvaarten

-Maandag 14 september 1981-

Enkele vaarten met de "Jan Blanken", waarvan de meetresultaten niet zijn bewaard.

-Dinsdag 15 september 1981-

Geen vaarten.

-Woensdag 16 september 1981-

Enkele vaarten met de "Jan Blanken", waarvan de meetresultaten niet zijn bewaard.
 Vaarten met de sleepboot "Havendienst 17", met aan boord enkel een Minilir-lamp opgesteld;

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
30.01	10.00	200	2,9
30.02	10.35	300	4,3
30.03	11.15	300	4,3
30.04	11.40	350	4,7
30.05	12.00	400 (max)	5,2

Noot; gezien het feit dat geen askoppelmeters waren geïnstalleerd is geen exact vermogen bekend.

-Donderdag 17 september 1981-

Vaarten met de "Jan Blanken", volledig beïnstumenteed.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	vermogen (kW)	snelheid (m/s)
10.08	10.15	270	80	4,2
10.09	11.40	325	135	4,9
10.10	15.50	360	185	5,3
10.11	17.45	360	185	5,3

-Vrijdag 18 september 1981-

Vaarten met de "Jan Blanken", volledig beïnstrumenteerd.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	vermogen (kW)	snelheid (m/s)
10.12	9.20	405	280	6,7
10.13	10.30	405	280	6,7
10.14	11.35	405	280	6,7
10.15	12.35	geen meetresultaten		
10.16	14.10	385	235	5,5
10.17	16.00	385	235	5,5
10.18	17.00	400	270	6,6

-Maandag 21 september 1981-

Een oefenvaart met de Mannesmann IV, zonder metingen boordinstrumenten.

Toerental : 140 /min

Snelheid : 2,67 m/s

II Meetvaarten

-Dinsdag 22 september 1981-

Vaarten met de Mannesmann IV, toestand 22.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
22.02	12.00	160	3,08
22.03	14.00	170	3,31
22.04	15.35	190	3,33
22.05	17.00	205	3,63
22.06	18.20	225	4,01
22.07	19.40	230	4,08
22.08	20.35	165	2,96

-Woensdag 23 september 1981-

Vervolg vaarten van toestand 22.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
22.09	9.00	190	3,39
22.10	9.30	240	4,08
22.11	10.45	250	4,14
22.12	12.00	250	4,17
22.13	13.00	250	4,16
22.14	14.45	250	4,20
22.15	15.45	250	4,17
22.16	17.00	250	4,15
22.17	18.00	220	3,80
22.18	19.40	205	3,54
22.19	20.40	150	2,56

-Zaterdag 26 september 1981-

Vaarten met de Mannesmann IV, toestand 44. Op grond van veiligheidsoverwegingen werd besloten de vaarten langs de teen van het talud op een grotere afstand van de kop van de steiger uit te voeren. De lichtenlijn werd daarom op een afstand van 18,7 m uit de as van het kanaal geplaatst.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
44.01	9.20	140	2,63
44.02	10.40	155	2,75
44.03	12.00	170	2,97
44.04	13.50	180	3,14
44.05	14.30	190	3,32
44.06	15.40	205	3,50
44.07	16.50	215	3,64
44.08	18.00	225	3,82
44.09	19.10	235	3,80

-Zondag 27 september 1981-

Vervolg vaarten van toestand 44. (zie opmerking bij 26 september).

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
44.I0	8.05	220	3,76
44.II	9.00	230	3,83
44.I2	10.10	240	3,99
44.I3	11.25	250	4,05
44.I4	12.25	250	4,15
44.I5	13.30	250	3,82
44.I6	14.25	250	4,00
44.I7	15.35	250	4,07
44.I8	16.35	250	4,07
44.I9	17.40	250	4,00
44.20	18.35	220	3,79
44.2I	19.25	120	2,14

-Woensdag 30 september 1981-

Vaarten met de Mannesmann IV, toestand 23.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
23.0I	9.20	160	2,35
23.02	10.45	210	3,07
23.03	12.15	230	3,21
23.04	13.25	250	3,29

Vervolgens vaarten volgens toestand 46. (zie opmerking bij 26 september).

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
46.0I	15.30	210	2,93
46.02	16.35	230	3,22
46.03	17.35	240	3,27
46.04	18.40	250	3,45

-Donderdag 1 oktober 1981-

Vaarten met de Mannesmann IV, toestand 32.

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
32.01	9.30	160	2,69
32.02	10.40	200	3,23
32.03	11.50	230	3,62
32.04	12.45	250	3,73

Vervolgens vaarten volgens toestand 64. (zie opmerking bij 26 september).

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
64.01	14.00	200	3,24
64.02	15.20	230	3,70
64.03	16.45	250	3,88
64.04	17.55	250	3,79
64.05	18.50	250	3,83

-Vrijdag 2 oktober 1981-

Vaarten met de Mannesmann IV, toestand II (lege bakken).

vaart nr.	tijd	toerental (/min)	snelheid (m/s)
II.01	7.30	220	4,97
II.02	8.30	230	5,06
II.03	9.05	250	5,17
II.04	9.40	250	5,26
II.05	10.25	220	4,73
II.06	11.10	230	5,08
II.07	12.20	250	5,24

Vervolgens nog vaarten met de sleepboot "Res Nova" (2 vaarten) en met de "G.H.D. 10" (2 vaarten). Hier ging het voornamelijk om de waterbeweging, i.e. secundaire scheepscolver.

LITERATUURLIJST

LITERATUUR

- I Power and speed of push-tows in canals, Prosc. symposium "Aspects of Navigability" 1978 Vol.3, v.d. Kaa
- 2 Rapport S.I.-C.2, XVIIe Internationale Scheepsvaartcongres, Lissabon 1949, Schijf
- 3 Ships in restricted channels, a correlation of model tests, field measurements and theory, Marine Technology, April 1967 pag. III-I28, Tothill
- 4 Sinkage and resistance for ships in channels, Procs. ASCE, 102 (1976) WW3 August pag. 287-300, Mc Nown
- 5 **Grenzschicht-Theorie, Verlag G.E. Braun, 1951, H. Schlichting**
- 6 Calculating return flow and water-level depressions; New method, XXIVe Internationale scheepsvaartcongres, Leningrad 1977, rapport S.I.-3, Bouwmeester
- 7 Watermotion in push-tow canals, XXIVe Internationale scheepsvaartcongres, Leningrad 1977, rapport S.I.-3, v.d. Kaa
- 8 **Transport door retourstroom, literatuurstudie, M III5 Dl. X, WL, 1982, v.d. Wal**
- 9 Oriënterend onderzoek van de taludvolgstrom en andere hydrodynamische verschijnselen in de oeverzone van een vaarweg, informatie 23, M III5 WL 1978, v.d. Kaa
- 10 Waterloopkundige aantasting van oeververdedigingen, Symposium Ned. Ver. van Kust- en Oeverwerken, 25 jaar K & O, v.d. Kaa
- 11 Water waves produced by ships, Procs. ASCE, 99 (1973), WW2, Sorensen
- 12 Drukverloop onder golven veroorzaakt door varende schepen, informatie 25 M III5 WL 1980, H.J. Verhey
- 13 Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw-race of manoeuvring ships, 7e International Harbour Congress, Antwerpen 1978, H.G. Pleauw en v.d. Kaa

BIJLAGEN

BYLAGE A

A I t/m A 5 : Relaties vaarsnelheid - waterbeweging.

In de figuren is bij vaarten in de as van het kanaal de relatie tussen enerzijds \hat{u}_r , \bar{u}_r en \hat{z} , \bar{z} , en anderzijds V_s weergegeven.

Bij de vaarten langs de teen van het talud zijn bovendien de waarden van u en z ter plaatse van de dichtsbijzinde oever (SB) weergegeven.

In alle figuren is aangegeven waar, volgens par. 4.4.2.I begin van beweging en doorgaand transport kan optreden, resp. aangeduid als b.v.

I en I'. Hier staat voor I -fijn grind

II -grof grind

III-stortsteen

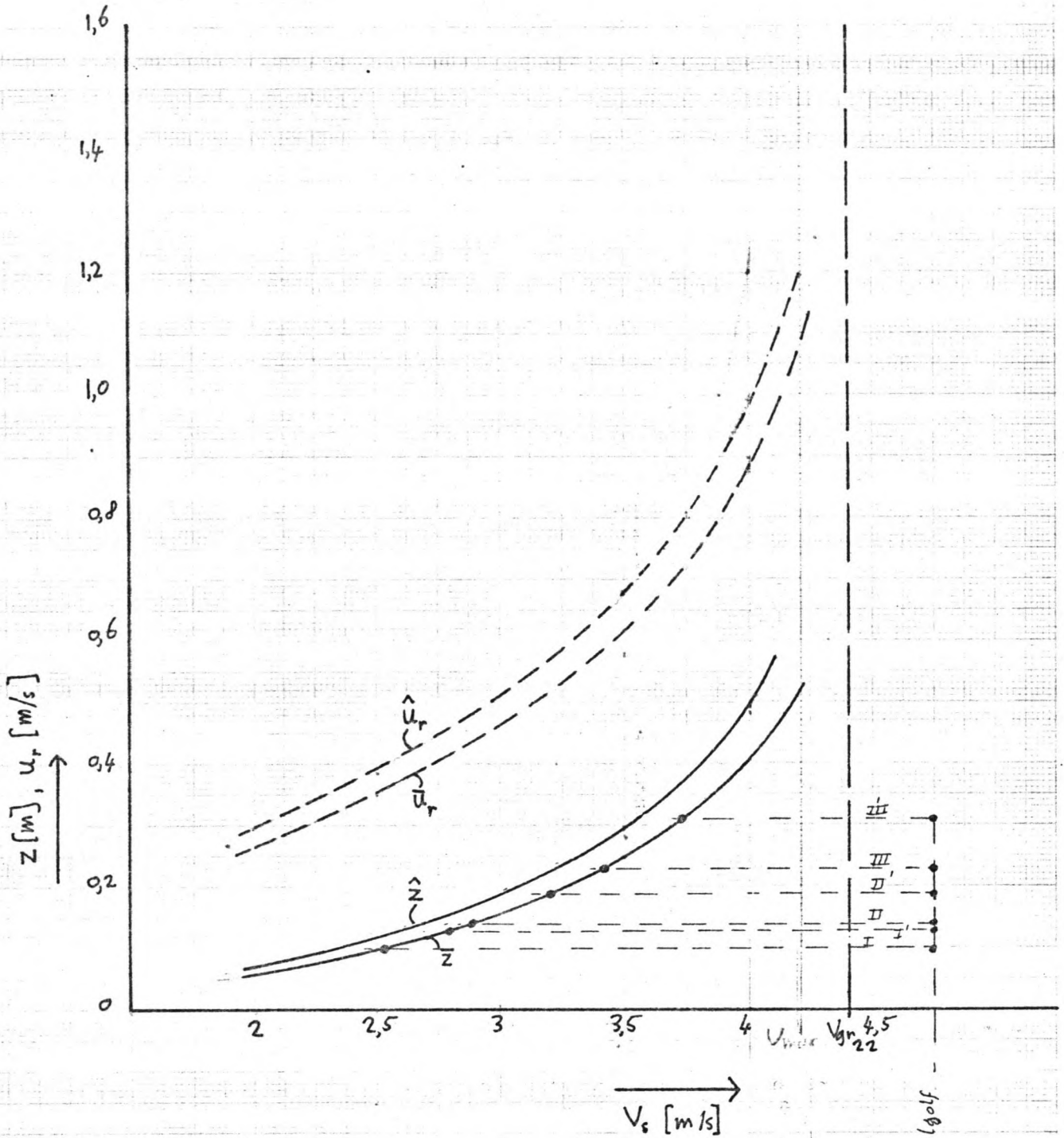
A 6 : Kritieke waarden van de - taludvolgstrom

- golfhoogten

- spiegeldaling (i.v.m. haalsolf)

A 7 : Bepaling waarden van taludvolgstrom in relatie tot vermogen.

A 8 : Uit M III5 ; max. waarden, frequenties en nauwkeurigheden.



$$\hat{u} = 1,1 \bar{u}$$

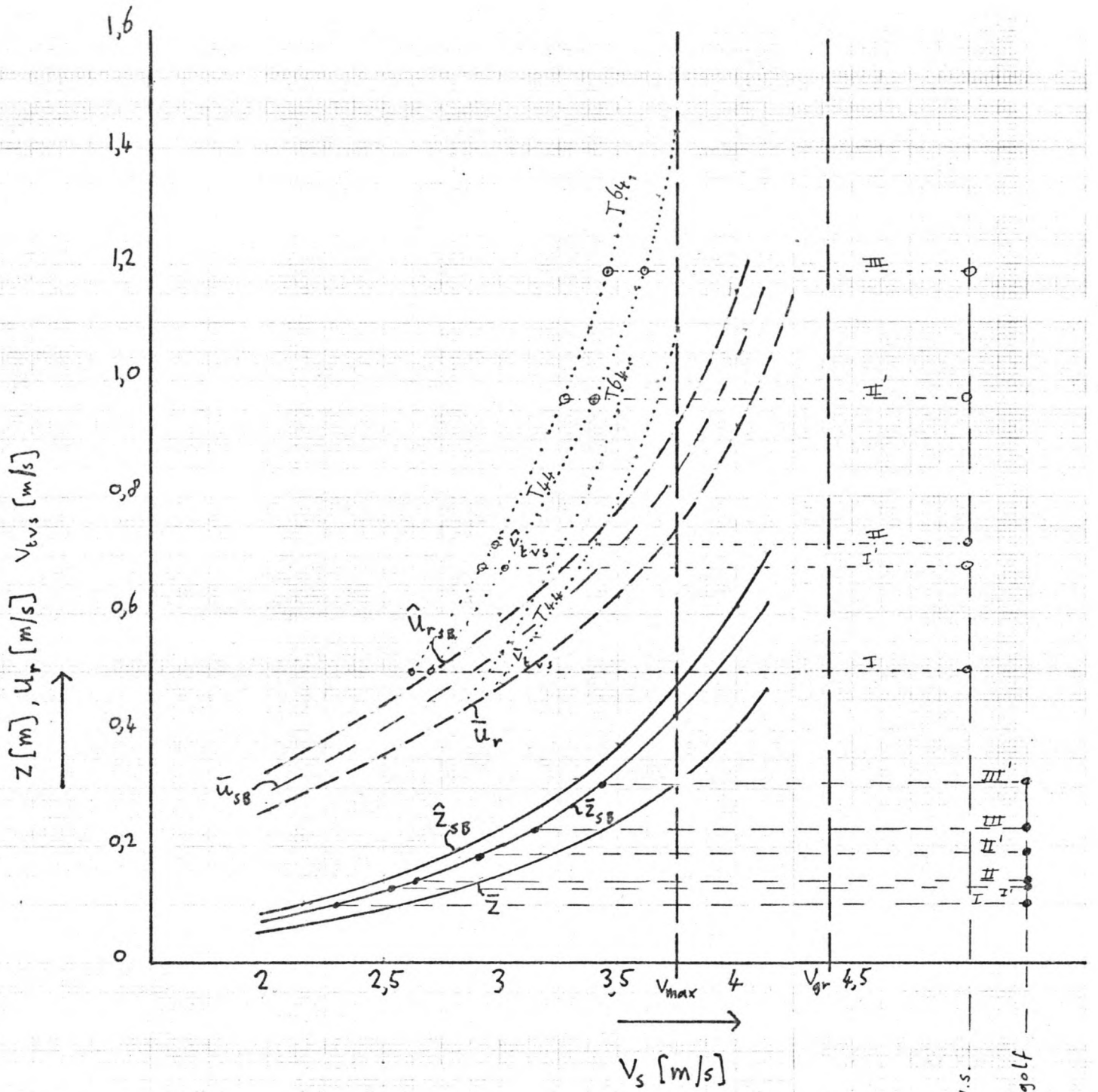
$$\hat{z} = 1,2 \bar{z}$$

Relatie vaarsnelheid - waterbeweging

As

22/32

A 1



$$\hat{u}_{SB} = 1,28 \bar{u}$$

$$\hat{z}_{SB} = 1,56 \bar{z}$$

$$\bar{z}_{SB} = 1/12 \cdot \hat{z}_{SB}$$

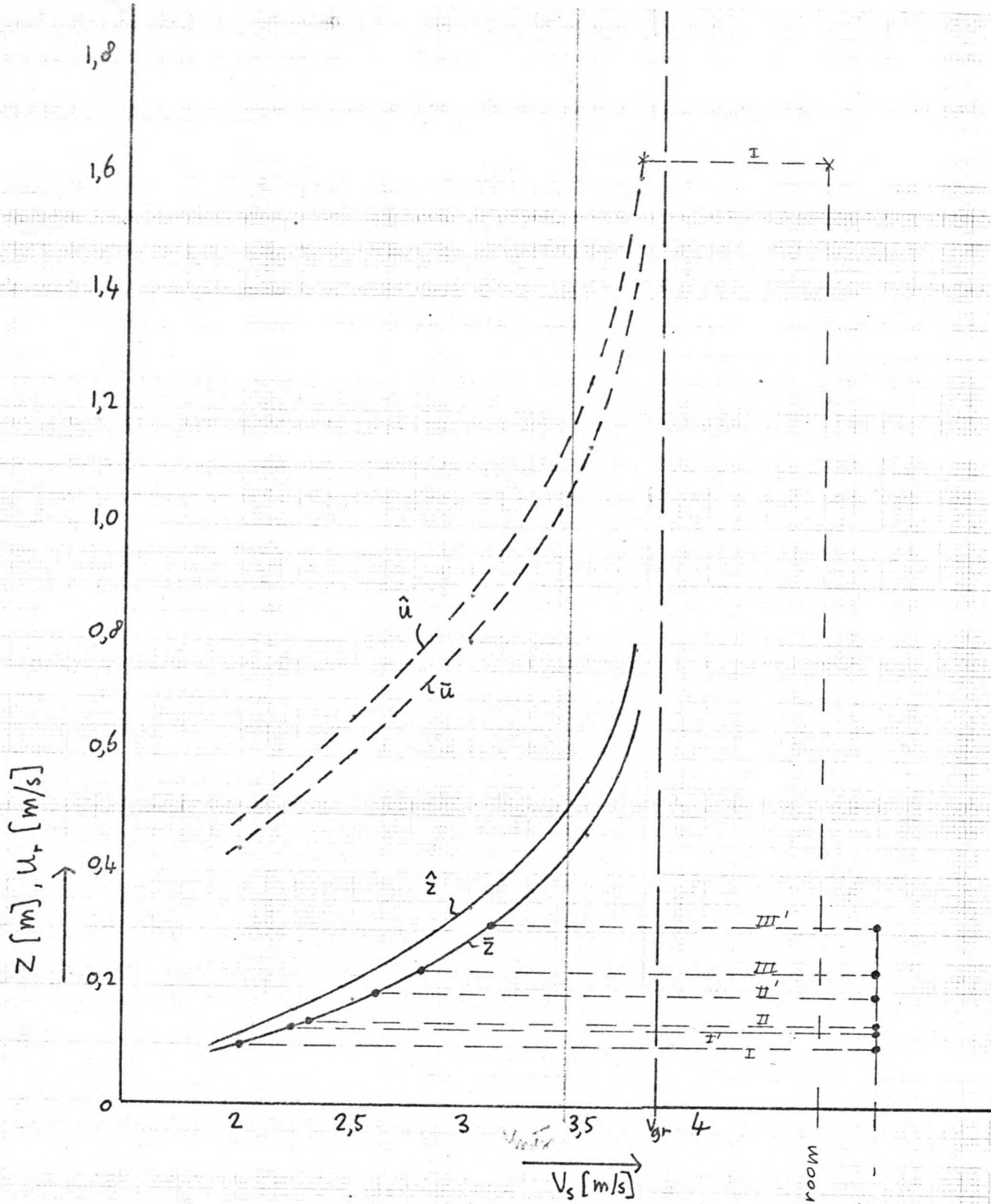
$$\bar{u}_{SB} = 1/1,1 \hat{u}_{SB}$$

I - fijn grind (beg. bew.)
 II - grof grind (")
 III - stortsteen (")
 Met ' geldt voor doorg. transp.

Relatie vaarsnelheid - waterbeweging

Teen-Talud

44/64



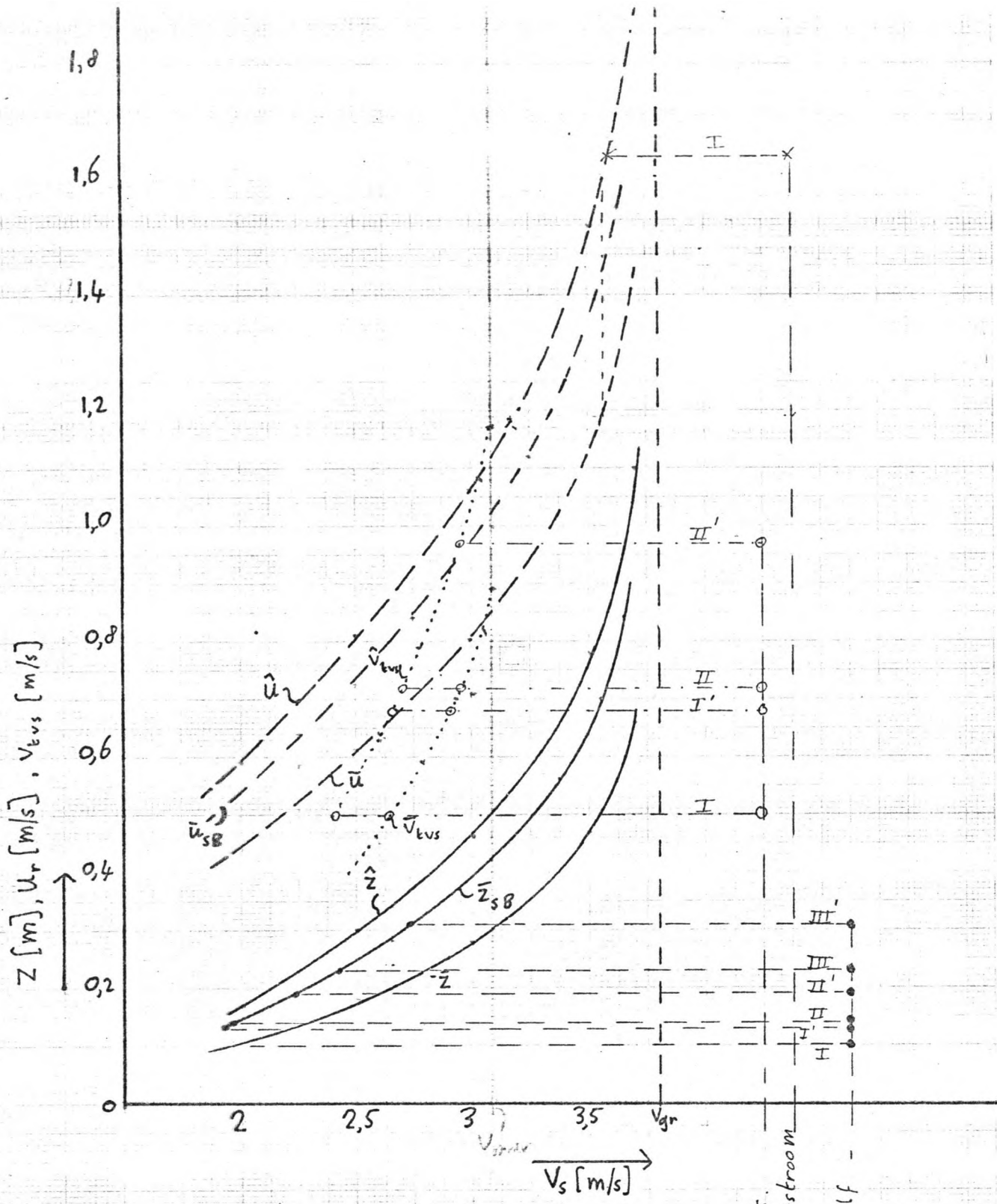
$$\hat{u} = 1,1 \bar{u}$$

$$\hat{Z} = 1,2 \bar{Z}$$

Relatie vaarsnelheid - waterbeweging

23

A 3



$$\hat{u}_{SB} = 1,33 \bar{u}$$

$$\hat{z}_{SB} = 1,66 \bar{z}$$

$$\bar{z}_{SB} = 1/12 \cdot \hat{z}_{SB}$$

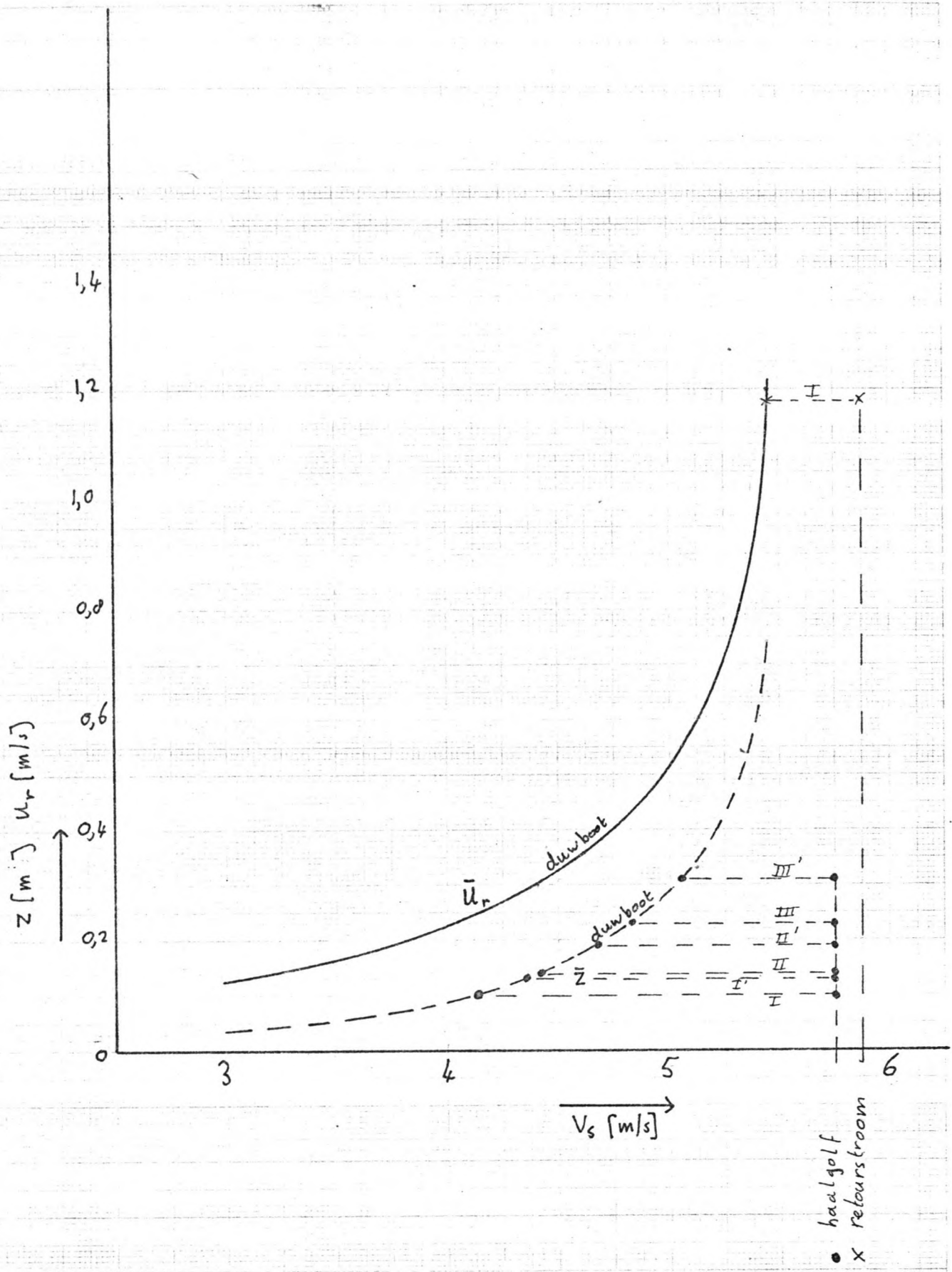
$$\bar{u}_{SB} = 1/11 \hat{u}_{SB}$$

o l.v.s.
 x relourstroom
 • haalgolf

Relatie vaarsnelheid - waterbeweging

46

A 4

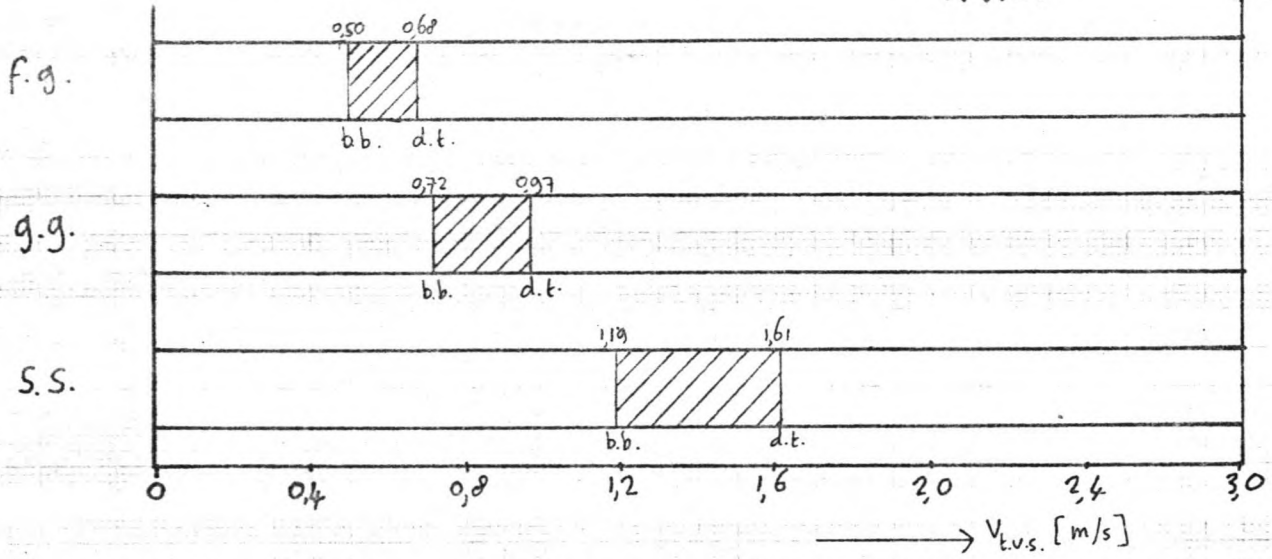


Relatie vaarsnelheid - waterbeweging.

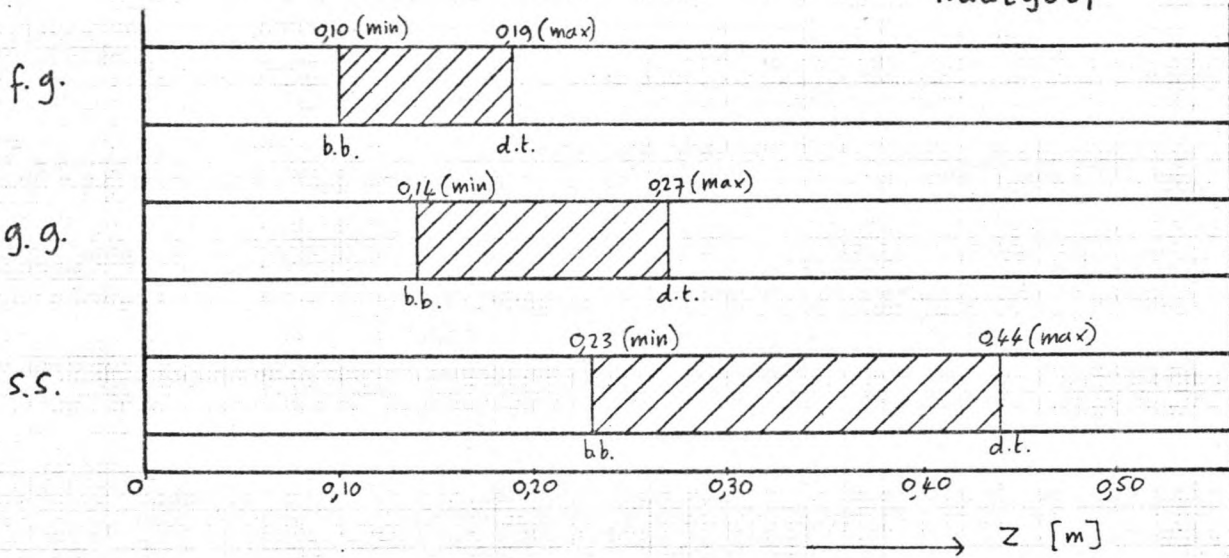
11

A5

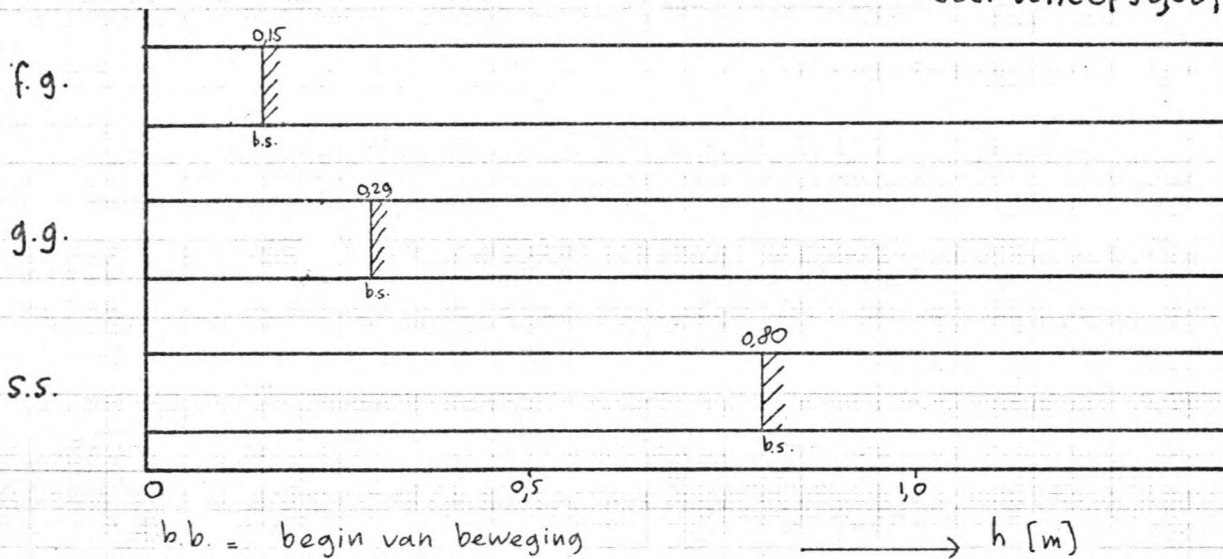
T.V.S.



Haalgolf



Sec. scheepsgolf



b.b. = begin van beweging
b.s. = begin schade
d.t. = doorgaand transport

Kritieke waarden van snelheden, spiegeldalingen en golfhoogten

--Berekening van de snelheid van de taludvolgestroom volgens vel. IO en IOa

T 44

P_B	V_s	$\bar{v}_{t.v.s.}$	$\hat{v}_{t.v.s.}$
3300	3,76	1,09	1,43
3000	3,68	1,00	1,32
2500	3,57	0,87	1,16
2000	3,38	0,72	0,97
1500	3,16	0,56	0,77

T 64

P_B	V_s	$\bar{v}_{t.v.s.}$	$\hat{v}_{t.v.s.}$
3300	3,56	1,03	1,35
3000	3,49	0,95	1,25
2500	3,38	0,82	1,09
2000	3,20	0,68	0,91
1500	2,99	0,53	0,73

T 46

P_B	V_s	$\bar{v}_{t.v.s.}$	$\hat{v}_{t.v.s.}$
3300	3,08	0,89	1,17
3000	3,02	0,82	1,08
2500	2,93	0,71	0,94
2000	2,77	0,59	0,79
1500	2,59	0,46	0,63

Bovenstaande waarden zijn uitgezet in de figuren A, t/m A7

Relatie $P_B - v_{t.v.s.}$

A7

A 8	Duweenheid			Klein vaartuijg			RHK schip		
	max. grootte/ hoogte	max. versnelling/ $\Delta h/\text{sec}$ frequentie	gewenste nauwkeurigheid	max. grootte/ hoogte	max. versnelling/ $\Delta h/\text{sec}$ frequentie	gewenste nauwkeurigheid	max. grootte/ hoogte	max. versnelling/ $\Delta h/\text{sec}$ frequentie	gewenste nauwkeurigheid
<u>Snelheden</u>									
vòòr het schip	+ 1 m/sec	0.2 m/sec ²	± 3 cm/sec	+ 0.25 m/sec	0.3 m/sec ²	± 3 cm/sec	+ 0.5 m/sec	0.3 m/sec ²	± 3 cm/sec
retourstroom	- 2.5 "		"	- 1.25 "	"	"	- 1.3 "	"	"
grenslaag retourstroom	0 → - 2.5 "	0.2 "	"	0 → - 1.25 "	0.3 "	"	0 → 1.3 "	0.8 "	"
volgstroom	+ 2.0 "		"	+ 0.25 "	"	"	+ 0.5 "	"	"
volgstroom boven talud	+ 4.5 "	0.2 "	"	+ 5 "	0.3 "	"	+ 5 "	0.8 "	"
grenslaag schip	+ 4.5 "	0.2 "	"	+ 5 "	0.3 "	"	+ 5 "	0.8 "	"
in secundaire golven	± 0.4 "	0.4 "	"	± 0.5 "	0.8 "	"	± 0.7 "	"	"
<u>Waterspiegelveranderingen</u>									
golf vòòr het schip	+ 0.5 m	0.1 ($\frac{\Delta h(m)}{\text{sec}}$)	± 2.5 cm	+ 0.25 m	0.3 ($\Delta h/\text{sec}$)	± 2.5 cm	+ 0.25 m	0.4 ($\Delta h/\text{sec}$)	± 2.5 cm
spiegeltdalingsgebied	- 1.5 "		"	- 1.0 "	"	"	- 0.8 "	"	"
spiegeld. incl. sec. golven	—	—	"	—	—	"	- 1.2 "	—	"
haalgolf	+ 0.5 "	4 m/sec ²	"	+ 0.25 "	5 m/sec ²	"	+ 0.2 "	5 m/sec ²	"
haalgolf boven talud	+ 0.5 "	0.2 m ($\Delta h/\text{sec}$)	"	+ 0.25 "	0.3 m ($\Delta h/\text{sec}$)	"	+ 0.7 "	0.3 m ($\Delta h/\text{sec}$)	"
sec. golven achter schip	± 0.5 "	0.6 "	"	± 0.7 "	0.6 "	"	± 0.8 "	0.5 "	"
golfoploop	+ 0.5 "	2 "	"	± 1 "	2 "	"	± 1 "	2 "	"
drukdoosmeting onder schip	- 2.0 "	0.2 "	± 5 kN/m ²	- 1.2 "	0.4 "	± 5 kN/m ²	- 1.0 "	0.5 "	± 5 kN/m ²
<u>Turbulentie</u>									
retourstroom	10 %	0.4 - 2 hz		10 %			10 %		
volgstroom boven talud	30 %								
<u>Waterspanningen</u>	+ 5 m - 2 m	4 m/sec ²	± 2.5 kN/m ²	+ 7 m - 1.2 m	5 m/sec ²	± 2.5 kN/m ²	+ 1 m - 1.2 m	5 m/sec ²	± 2.5 kN/m ²

BYLAGE B

B I t/m B 5 : transport door retourstroom

B 6 t/m B 8 : transport door haalgolf

B 9 t/m B 10: transport door taludvoelstroom

B II : transport door secundaire scheepsgolven.

De eenheden van de gebruikte grootheden zijn;

$u \dots, v \dots$	(m/s)
V_s	(m/s)
$V_{ong/pass}$	(m ³)
z	(m)
L	(m)
c_f	(-)
τ	(N/m ²)
q_s	(m ³ /ms ⁻¹)
ψ	(-)
Φ	(-)

Gebuurkte indices bij Φ staan voor;

I - berekening volgens Meyer-Peter-Muller (vgl IO, par. 4.2.I.A_I)

2 - berekening volgens gecorr. relatie Paintal (vgl. I2, par. 4.2.I.A_I)

Opmerkingen t.a.v. de berekeningen

Gezien het grote aantal aannames, zoals de grootte van \bar{c} , de plaats waar de maximale waarde van de schuifspanning optreedt (x) bij de retourstroom, de tijd T gedurende welke transport optreedt, etc. kunnen geen harde conclusies uit de berekeningsresultaten getrokken worden. Wel kan gesteld worden dat het transport door de retourstroom in vergelijking met het transport door haalsolf/taludvolgestroom zeer gering zal zijn.

Ter vergelijking; het volume van een steen met een diameter van D_{50} is:

Fijn grind - $4,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ $\left(\frac{\pi}{6} \cdot D_{50}^3\right)$

Grof grind - $3,2 \cdot 10^{-4}$ "

Stortsteen - $6,8 \cdot 10^{-3}$ "

T 22	V_s	\bar{u}_r	\hat{u}_r	c_f	τ	ψ	Φ_2	q_s
f.g.	4,40	1,36	1,50	0,014	15,75	0,023	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$9,3 \cdot 10^{-10}$
	4,20	1,14	1,25	0,015	11,72	0,017	$9,9 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-11}$
	4,00	0,91	1,00	0,016	8,00	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$
g.g.	4,40	1,36	1,50	0,018	20,25	0,015	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$2,6 \cdot 10^{-11}$
	4,20	1,14	1,25	0,019	14,84	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$8,8 \cdot 10^{-13}$
	4,00	0,91	1,00	0,020	10,00	0,007	$6,5 \cdot 10^{-14}$	$6,5 \cdot 10^{-15}$
s.s.	4,40	1,36	1,50	0,026	29,25	0,008	$2,8 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$
	4,20	1,14	1,25	0,027	21,09	0,006	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$5,5 \cdot 10^{-15}$
	4,00	0,91	1,00	0,029	14,50	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$6,9 \cdot 10^{-17}$

T 44	V_s	\bar{u}_{rsB}	\hat{u}_{rsB}	c_f	τ	ψ	Φ_2	q_s
f.g.	3,96	1,00	1,10	0,016	9,68	0,014	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-12}$
	3,85	0,91	1,00	0,016	8,00	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$
	3,55	0,82	0,90	0,017	6,48	0,009	$1,4 \cdot 10^{-12}$	$5,1 \cdot 10^{-14}$
g.g.	3,96	1,00	1,10	0,020	12,10	0,009	$7,7 \cdot 10^{-13}$	$7,7 \cdot 10^{-14}$
	3,85	0,91	1,00	0,020	10,00	0,007	$6,5 \cdot 10^{-14}$	$6,5 \cdot 10^{-15}$
	3,55	0,82	0,90	0,022	8,91	0,006	$2,8 \cdot 10^{-14}$	$2,8 \cdot 10^{-15}$
s.s.	3,96	1,00	1,10	0,029	17,54	0,005	$7,0 \cdot 10^{-16}$	$3,2 \cdot 10^{-16}$
	3,85	0,91	1,00	0,030	15,00	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$6,9 \cdot 10^{-17}$
	3,55	0,82	0,90	0,032	12,96	0,003	$2,6 \cdot 10^{-17}$	$1,2 \cdot 10^{-17}$

Transport door Retourstroom

T 32	V_s	\bar{u}_r	\hat{u}_r [m/s]	c_f [-]	τ [N/m ²]	ψ [-]	Φ_2 [-]	q_s [m ³ /m ² s ⁻¹]
	4,18	1,09	1,20	0,015	10,80	0,016	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-11}$
f.g.	4,00	0,91	1,00	0,016	8,00	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-13}$
	3,75	0,73	0,80	0,016	5,12	0,007	$6,5 \cdot 10^{-14}$	$2,3 \cdot 10^{-15}$
	4,18	1,09	1,20	0,019	13,68	0,010	$3,1 \cdot 10^{-12}$	$3,1 \cdot 10^{-13}$
g.g.	4,00	0,91	1,00	0,020	10,00	0,007	$6,5 \cdot 10^{-14}$	$6,5 \cdot 10^{-15}$
	3,75	0,73	0,80	0,020	6,40	0,005	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$1,7 \cdot 10^{-16}$
	4,18	1,09	1,20	0,028	20,16	0,005	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$7,8 \cdot 10^{-16}$
s.s.	4,00	0,91	1,00	0,029	14,50	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$6,9 \cdot 10^{-17}$
	3,75	0,73	0,80	0,031	9,92	0,003	$6,6 \cdot 10^{-18}$	$3,0 \cdot 10^{-19}$

T 64	V_s	\bar{u}_{rsB}	\hat{u}_{rsB}	c_f	τ	ψ	Φ_2	q_s
	3,75	0,82	0,90	0,016	6,48	0,009	$1,0 \cdot 10^{-12}$	$3,6 \cdot 10^{-14}$
f.g.	3,55	0,73	0,80	0,017	5,44	0,008	$2,8 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-14}$
	3,30	0,64	0,70	0,017	4,17	0,006	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$4,3 \cdot 10^{-16}$
	3,75	0,82	0,90	0,021	8,51	0,006	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$1,2 \cdot 10^{-15}$
g.g.	3,55	0,73	0,80	0,022	7,04	0,005	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$1,7 \cdot 10^{-16}$
	3,30	0,64	0,70	0,022	5,39	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$1,5 \cdot 10^{-17}$
	3,75	0,82	0,90	0,031	12,56	0,003	$6,6 \cdot 10^{-18}$	$3,0 \cdot 10^{-18}$
s.s.	3,55	0,73	0,80	0,032	10,24	0,003	$6,6 \cdot 10^{-18}$	$3,0 \cdot 10^{-18}$
	3,30	0,64	0,70	0,033	8,09	0,002	$8,0 \cdot 10^{-20}$	$3,7 \cdot 10^{-20}$

Transport door Retourstroom

T 23	V_s	\bar{u}_r	\hat{u}_r	c_f	τ	ψ	Φ_2	q_s
f.g.	3,65	1,36	1,50	0,014	15,75	0,023	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$9,3 \cdot 10^{-10}$
	3,50	1,14	1,25	0,014	10,94	0,016	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-11}$
	3,20	0,91	1,00	0,015	7,5	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$
g.g.	3,65	1,36	1,50	0,018	20,25	0,015	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$2,6 \cdot 10^{-11}$
	3,50	1,14	1,25	0,018	14,06	0,010	$3,1 \cdot 10^{-12}$	$3,1 \cdot 10^{-13}$
	3,20	0,91	1,00	0,019	9,50	0,007	$6,5 \cdot 10^{-14}$	$6,5 \cdot 10^{-15}$
s.s.	3,65	1,36	1,50	0,026	29,25	0,008	$2,8 \cdot 10^{-13}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$
	3,50	1,14	1,25	0,026	20,31	0,005	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$7,8 \cdot 10^{-16}$
	3,20	0,91	1,00	0,027	13,50	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$6,9 \cdot 10^{-17}$

T 46	V_s	\bar{u}_{rs}	\hat{u}_{rs}	c_f	τ	ψ	Φ_2	q_s
f.g.	3,25	1,14	1,25	0,015	11,72	0,017	$9,9 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-11}$
	2,90	0,91	1,00	0,015	7,50	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$3,2 \cdot 10^{-13}$
	2,40	0,68	0,75	0,016	4,50	0,006	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$4,3 \cdot 10^{-16}$
g.g.	3,25	1,14	1,25	0,019	14,84	0,011	$8,8 \cdot 10^{-12}$	$8,8 \cdot 10^{-13}$
	2,90	0,91	1,00	0,019	9,50	0,007	$6,5 \cdot 10^{-14}$	$6,5 \cdot 10^{-15}$
	2,40	0,68	0,75	0,020	5,63	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$1,5 \cdot 10^{-17}$
s.s.	3,25	1,14	1,25	0,027	21,09	0,006	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$5,5 \cdot 10^{-15}$
	2,90	0,91	1,00	0,027	13,50	0,004	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$6,9 \cdot 10^{-17}$
	2,40	0,68	0,75	0,029	8,16	0,002	$8,0 \cdot 10^{-20}$	$3,7 \cdot 10^{-20}$

Transport door Retourstroom

T II	V_s	\bar{u}_r	u_r	c_f	τ	ψ	$\bar{\Phi}_2$	q_s
f.f.	5,46	1,25	1,25	0,026	20,31	0,029	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
	5,40	1,00	1,00	0,028	14,00	0,020	$6,2 \cdot 10^{-9}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$
	5,30	0,75	0,75	0,031	8,72	0,013	$3,6 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$
	5,00	0,50	0,50	0,036	4,50	0,006	$1,2 \cdot 10^{-14}$	$4,3 \cdot 10^{-16}$
g.f.	5,46	1,25	1,25	0,035	27,34	0,020	$6,2 \cdot 10^{-9}$	$6,2 \cdot 10^{-10}$
	5,40	1,00	1,00	0,038	19,00	0,014	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$
	5,30	0,75	0,75	0,042	11,81	0,009	$1,0 \cdot 10^{-12}$	$1,0 \cdot 10^{-13}$
	5,00	0,50	0,50	0,051	6,38	0,005	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$1,7 \cdot 10^{-16}$
s.s.	5,46	1,25	1,25	0,059	46,09	0,012	$2,5 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$
	5,40	1,00	1,00	0,065	32,50	0,009	$1,0 \cdot 10^{-12}$	$4,6 \cdot 10^{-13}$
	5,30	0,75	0,75	0,073	20,53	0,005	$1,7 \cdot 10^{-15}$	$7,8 \cdot 10^{-16}$
	5,00	0,50	0,50	0,092	11,50	0,003	$6,6 \cdot 10^{-18}$	$3,0 \cdot 10^{-18}$

Transport door Retourstroom

-Globale bepaling van het in de grindvansbakken op te vangen netto volume materiaal als gevolg van erosie door de retourstroom tijdens de maximale vaarten. Berekend met vel. (2I).

Fijn grind

Toestand no.	$V_{\text{opgev.}} (T_{\text{basis}} = 2 \text{ sec.})$ (m ³)	$V_{\text{opgev.}} (T_{\text{basis}} = 5 \text{ sec.})$ (m ³)
22	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$7,3 \cdot 10^{-9}$
44	$1,3 \cdot 10^{-11}$	$3,1 \cdot 10^{-11}$
32	$6,0 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$
64	$1,2 \cdot 10^{-13}$	$2,8 \cdot 10^{-13}$
23	$3,1 \cdot 10^{-9}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$
46	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^{-10}$
II	$4,2 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$

Grof grind

Toestand no.	$V_{\text{opgev.}} (T_{\text{basis}} = 2 \text{ sec.})$ (m ³)	$V_{\text{opgev.}} (T_{\text{basis}} = 5 \text{ sec.})$ (m ³)
22	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
44	$3,2 \cdot 10^{-13}$	$1,2 \cdot 10^{-12}$
32	$2,0 \cdot 10^{-12}$	$4,8 \cdot 10^{-12}$
64	$7,6 \cdot 10^{-15}$	$1,8 \cdot 10^{-14}$
23	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$4,0 \cdot 10^{-10}$
46	$5,6 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$
II	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$9,5 \cdot 10^{-9}$

Transport door Retourstroom

palings erosie door haalgolf

	z	L	τ	ψ	Φ_1	Φ_2	q_s	Vorg./pass.	
								23	22
23	0,60	6	588,7	0,846	9,80		0,35	0,97	0,24
g.	0,40	8	196,2	0,282	1,68		0,060	0,24	0,20
	0,20	10	39,2	0,056	0,056		$2,0 \cdot 10^{-2}$	0,012	0,010

	0,60	6	588,7	0,428	3,34		0,33	1,75	1,48
g.	0,40	8	196,2	0,143	0,51		0,051	0,39	0,32
	0,20	10	39,2	0,028		$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$

	0,60	6	588,7	0,155	0,59		0,27	0,91	0,77
s.	0,40	8	196,2	0,052	0,043		0,020	0,097	0,082
	0,20	10	39,2	0,010		$3,1 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{-12}$	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$8,9 \cdot 10^{-11}$

44	z	L	τ	ψ	Φ_1	Φ_2	q_s	Vorg./pass.	
								44	
	0,55	5	593,6	0,853	9,93		0,36	0,79	
g.	0,40	7	224,3	0,322	2,10		0,075	0,24	
	0,25	9	68,1	0,098	0,24		$8,6 \cdot 10^{-2}$	0,040	

	0,55	5	593,6	0,431	3,38		0,34	1,39	
g.	0,40	7	224,3	0,163	0,65		0,065	0,39	
	0,25	9	68,1	0,049	0,035		$3,5 \cdot 10^{-3}$	0,031	

	0,55	5	593,6	0,156	0,59		0,27	0,70	
s.	0,40	7	224,3	0,059	0,066		0,030	0,12	
	0,25	9	68,1	0,018		$1,85 \cdot 10^{-9}$	$8,5 \cdot 10^{-10}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$	

Transport door haalgolf

Bepaling erosie door haalgolf (vervolg)

T 32	z	L	τ	ψ	ϕ_1	ϕ_2	a_c	$V_{\text{obg./pass.}}$	
								32	32
g.	0,50	6	408,8	0,587	5,5		0,20	0,49	
	0,35	8	150,2	0,216	1,1		0,039	0,13	
	0,20	10	39,2	0,056	0,056		$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,010	
g.	0,50	6	408,8	0,297	1,8		0,18	0,83	
	0,35	8	150,2	0,109	0,30		0,030	0,20	
	0,20	10	39,2	0,028		$2,2 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	
s.	0,50	6	408,8	0,107	0,28		0,13	0,38	
	0,35	8	150,2	0,039	0,011		$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,021	
	0,20	10	39,2	0,010		$3,1 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{-12}$	$8,7 \cdot 10^{-12}$	
T 46 64	z	L	τ	ψ	ϕ_1	ϕ_2	a_c	$V_{\text{obg./pass.}}$	
f.g.	0,50	5	490,6	0,705	7,4		0,27	0,73	0,61
	0,35	7	171,1	0,247	1,3		0,047	0,19	0,16
	0,20	9	43,6	0,103	0,26		$9,3 \cdot 10^{-3}$	0,061	0,046
s.s.	0,50	5	490,6	0,357	2,5		0,25	1,26	1,05
	0,35	7	171,1	0,125	0,39		0,039	0,29	0,25
	0,20	9	43,6	0,052	0,043		$4,3 \cdot 10^{-3}$	0,054	0,041
s.s.	0,50	5	490,6	0,129	0,41		0,19	0,60	0,50
	0,35	7	171,1	0,045	0,024		0,011	0,053	0,044
	0,20	9	43,6	0,019		$3,3 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$9,2 \cdot 10^{-9}$

Transport door haalgolf

Penalings erosie door haalgolf (vervolg)

T II	z	L	τ	ψ	Φ_1	Φ_2	q_c	$V_{\text{eros.}} / \text{m}^2 \cdot \text{sec.}$
								II
f.g.	0,60	5	706,5	1,015	13,0		0,47	0,78
	0,40	7	224,3	0,322	2,1		0,075	0,17
	0,20	9	43,6	0,063	0,080		$2,9 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$
g.g.	0,60	5	706,5	0,513	4,5		0,45	1,39
	0,40	7	224,3	0,163	0,65		0,065	0,28
	0,20	9	43,6	0,032		$9,6 \cdot 10^{-7}$	$9,6 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
s.s.	0,60	5	706,5	0,186	0,82		0,38	0,72
	0,40	7	224,3	0,059	0,066		0,030	0,083
	0,20	9	43,6	0,011		$8,8 \cdot 10^{-12}$	$4,0 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-11}$

Transport door haalgolf

Benaling erosie door taludvolgstrom

Voor enige snelheden van de t.v.s. in het algemeen is in onderstaande tabel de globaal te verwachten erosie bepaald.

fin grind

$v_{t.v.s.}$ m/s	τ N/m ²	ψ	ϕ_1	ϕ_2	q_s
1,50	168,8	0,242	1,3		0,047
1,45	157,7	0,227	1,2		0,043
1,40	147,0	0,211	1,0		0,036
1,30	126,8	0,132	0,79		0,028
1,10	90,8	0,130	0,42		0,015
0,90	60,8	0,087	0,18		$6,5 \cdot 10^{-2}$
0,70	36,8	0,053	0,046		$1,6 \cdot 10^{-3}$
0,50	18,8	0,027		$1,5 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$

grof grind

$v_{t.v.s.}$	τ	ψ	ϕ_1	ϕ_2	q_s
1,50	168,8	0,123	0,38		0,038
1,45	157,7	0,115	0,33		0,033
1,40	147,0	0,107	0,28		0,028
1,30	126,8	0,092	0,21		0,021
1,10	90,8	0,066	0,091		$9,1 \cdot 10^{-3}$
0,90	60,8	0,044	0,022		$2,2 \cdot 10^{-3}$
0,70	36,8	0,027		$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
0,50	18,8	0,014		$1,2 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$

Transport door taludvolgstrom

Bepaling erosie door taludvolgstroom (vervolg)

stortsteen

$v_{t.v.s.}$ m/s	τ N/m ²	ψ	ϕ_1	ϕ_2	a_s (m ³ /ms ⁻¹)
1,50	162,8	0,044	0,022		0,010
1,45	157,7	0,041	0,015		6,9.10 ⁻³
1,40	147,0	0,039	0,011		5,0.10 ⁻³
1,30	126,8	0,033		1,3.10 ⁻⁶	6,0.10 ⁻⁷
1,10	90,8	0,024		4,2.10 ⁻⁸	1,9.10 ⁻⁸
0,90	60,8	0,016		5,1.10 ⁻¹⁰	2,3.10 ⁻¹⁰
0,70	36,8	0,010		3,1.10 ⁻¹²	1,4.10 ⁻¹²
0,50	18,8	0,005		1,7.10 ⁻¹⁵	7,8.10 ⁻¹⁶

Netto volume opgevangen/gepasseerde hoeveelheid materiaal;

$v_{t.v.s.}$	$V_{\text{fijn grind}} \text{ (m}^3\text{)}$		$V_{\text{grof grind}} \text{ (m}^3\text{)}$		$V_{\text{stortsteen}} \text{ (m}^3\text{)}$	
	T = 2 s	T = 5 s	T = 2 s	T = 5 s	T = 2 s	T = 5 s
1,50	0,14	0,35	0,23	0,57	0,04	0,10
1,45	0,13	0,32	0,20	0,50	2,8.10 ⁻²	6,9.10 ⁻²
1,40	0,11	0,27	0,17	0,42	2,0.10 ⁻²	5,0.10 ⁻²
1,30	0,084	0,21	0,13	0,31	2,4.10 ⁻⁶	6,0.10 ⁻⁶
1,10	0,045	0,11	0,055	0,14	7,6.10 ⁻⁸	1,9.10 ⁻⁷
0,90	0,019	0,049	0,013	0,033	9,2.10 ⁻¹⁰	2,3.10 ⁻⁹
0,70	4,8.10 ⁻³	0,012	9,0.10 ⁻⁸	0,023	5,6.10 ⁻¹²	1,4.10 ⁻¹¹
0,50	1,6.10 ⁻⁸	4,1.10 ⁻⁸	7,2.10 ⁻¹¹	1,8.10 ⁻¹⁰	3,1.10 ⁻¹⁵	7,8.10 ⁻¹⁵

Transport door taludvolgstroom

Transport door secundaire scheepsgolven

Het netto volume materiaal dat getransporteerd wordt (q_s) a.g.v. de sec. golven van de Jan Blanken T 10 (vaart in de as van het kanaal) is berekend uit modelresultaten van de vaarten lance de teen van het talud met de "Rixt". Deze berekeningen zijn opgenomen in OB 26.

De daaruitvolgende te verwachten transporten in relatie tot het vermogen zijn:

Fijn grind

P_B (kW)	h_{max} (m)	q_s ($m^3 m^{-1} s^{-1}$)
145	0,2	$1 \cdot 10^{-6}$
180	0,35	$5 \cdot 10^{-3}$
210	0,4	$1 \cdot 10^{-2}$

Grof grind, stortsteen

Hier wordt geen erosie verwacht, op grond van M III5.

Transport door secundaire scheepsgolven

BYLAGE C ; Monster-analyse

I. Inleiding

De kernverdeling en de vormfactor zijn bepaald voor monsters van fijn grind, grof grind en stortsteen. De omvang van de monsters bedroeg:

fijn grind	-	54,7 kg	omvang: 30-80 mm
grof grind	-	57,6 kg	80-200 mm
stortsteen	-	3780 kg	5-40 kg, 150-290 mm

2. Verdeling diameters

a fijn en grof grind

Met standaard zeven, serie V2; I9 I07, zijn de diameterverdelingen bepaald.

De resultaten zijn weergegeven in tabel C I en de figuren C I en C 2.

De fracties 54-78 en hoger zijn met de hand gemeten.

b stortsteen

Elke steen uit het monster is apart gewogen. De hieruit volgende verdeling is weergegeven in tabel C 2. Uit het gewicht van de stenen is met gebruikmaking van een vormfactor de D_{10} , D_{50} en D_{90} bepaald. (zie par. 3 en tabel C I).

3. Vormfactor

De vorm van de stenen wijkt af van een zuivere bolvorm. Een maat voor de grootte van deze afwijking is de vormfactor c_v ;

$$c_v = \frac{c}{\sqrt{a \cdot b}}$$

waarin;

a, b, en c = grootte van de diameter, resp. gemeten langs onderling loodrechte assen, waarbij a de grootste lengte en c de kleinste lengte is.

voor een zilveren balvorm geldt: $c_v = 1$

voor natuurlijk zand en grind ; $c_v = 0,7$

Van het monster met fijn grind is de gemiddelde waarde van c_v bepaald op 0,53 en voor het grove grind bleek deze eveneens 0,53 te bedragen. Zie tabel C 3,4. Het bleek dat de vormfactor voor verschillende fracties van het fijne grind meer spreiding vertoont dan bij het grove grind, hoewel zeer gering.

Van de stortsteen is de vormfactor niet bepaald, doch voor de bepaling van de diameterverdeling geschat op 0,5.

4. Opmerkingen

Uit een vergelijking van de opgegeven waarden en de uit de monsters bepaalde waarden volgt dat;

- het monster van het fijne grind aan de opgegeven waarden van de max. en min. diameter voldoet,
- het monster van het grove grind een enigszins kleinere diameter heeft dan die volgens opgave,
- het monster van stortsteen gemiddeld voldoet aan de opgegeven waarden van min. en max. gewicht, maar dat er enkele stenen voorkomen waarvan het gewicht het opgegeven max. overschrijdt. Opmerkt dient hier wel te worden dat de indruk bestaat dat de weegschaal, waarmee het gewicht van de stortstenen is bepaald, een ruime (tenminste 1 kg) onnauwkeurigheidsmarge had.

Tot slot wordt opgemerkt dat enige afwijking kan ontstaan tussen de monsterwaarden en de eigenlijke waarden, van diameterverdeling en vormfactor.

De grootte van die afwijking is onder meer afhankelijk van de wijze waarop het monster is getrokken.

steensoort	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
-	mm	mm	mm.
fijn grind	31	43	63
grof grind	57	85	123
stortsteen.	195	235	320

Tabel C I : bepaalde diameters van de materiaalmonsters.

gewichts fractie	aantal stenen	percentage	cumulatief percentage
kg	-	%	%
4 - 10	18	11,2	100,1
10 - 20	70	43,8	80,9
20 - 30	37	23,1	45,1
30 - 40	14	8,8	22,0
40 - 50	12	7,5	13,2
50 - 60	3	1,9	5,7
60 - 70	2	1,3	3,8
70 - 80	4	2,5	2,5

Σ 160

Tabel C 2 : bepaalde gewichtsverdeling van stortsteenmonster.

fractie mm	vormfactor c_v -
19 - 27	0,552
27 - 30	0,497
30 - 54	0,516
54 - 70	0,577
70 -	0,53
gemiddeld	0,53

Tabel C 3 : bepaalde vormfactoren van monster fijn grind.

fractie mm	vormfactor c_v -
30 - 54	0,521
54 - 76	0,517
76 - 107	0,549
107 - 151	0,529
>151	0,535
gemiddeld	0,53.

Tabel C 4 : bepaalde vormfactoren van monster grof grind.

PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLUFT LIGGEN

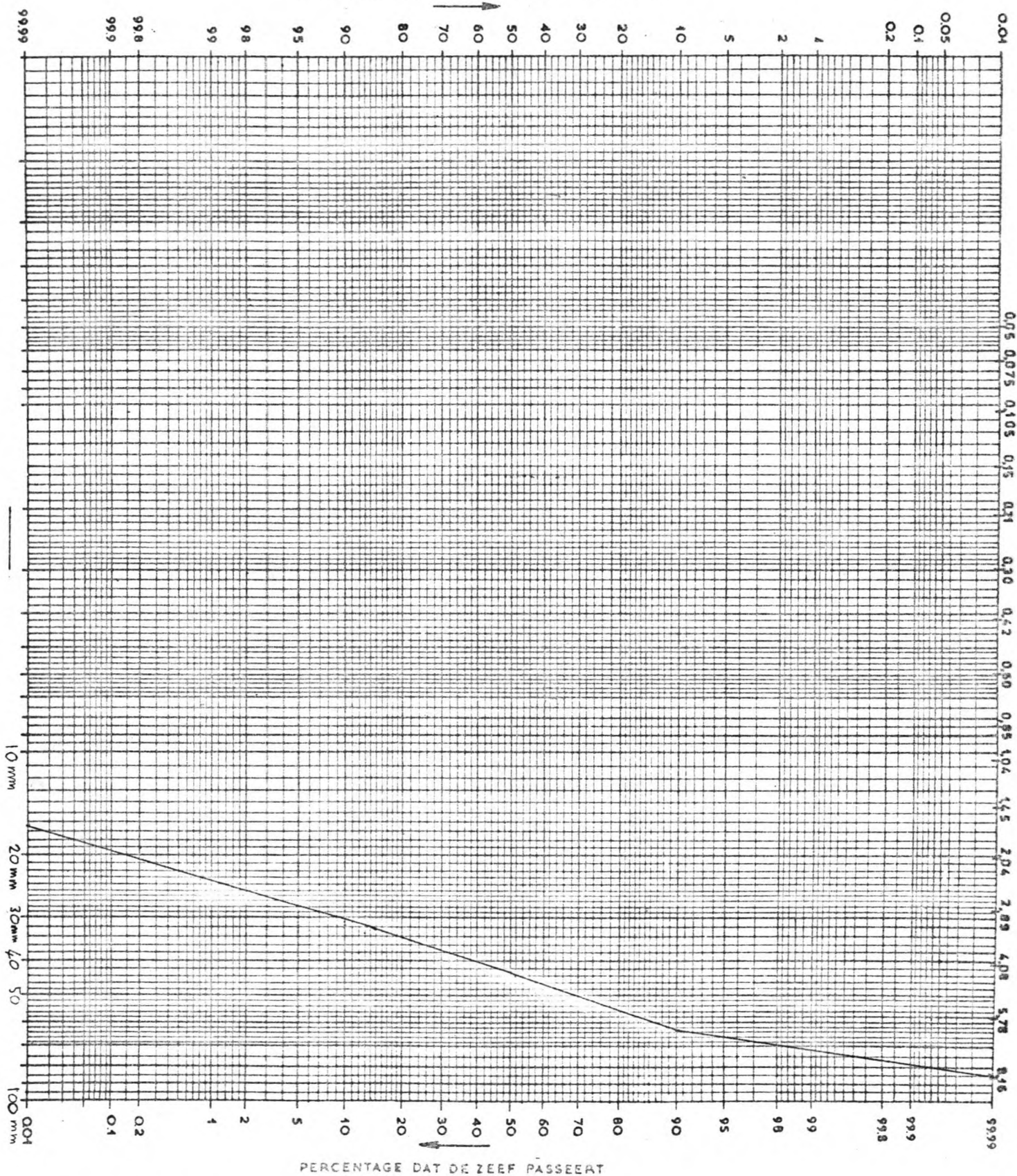


Fig. C.1.: Zeefkromme fijn grind

PERCENTAGE DAT OP DE ZEEF BLUFT LIGGEN

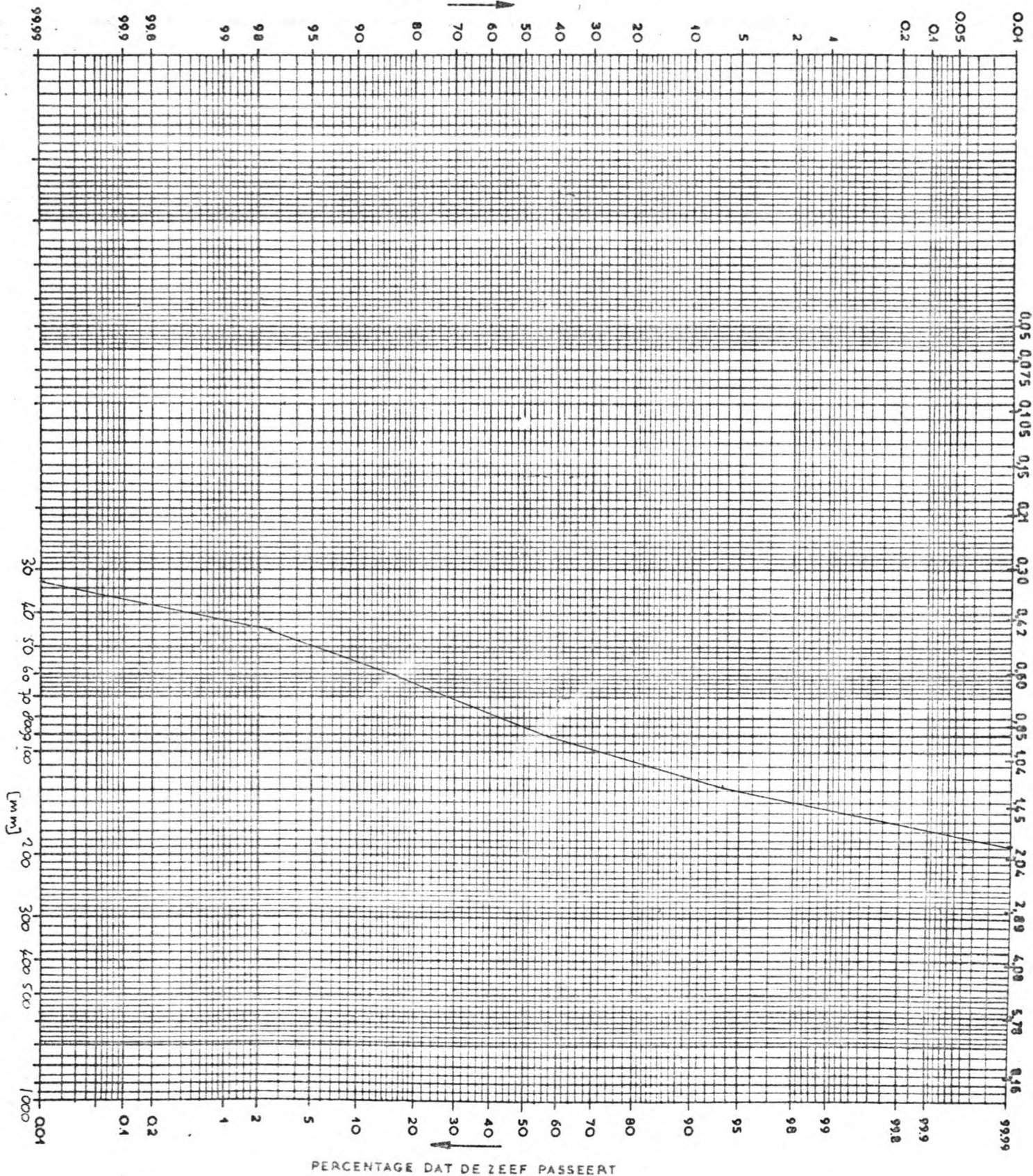


Fig. C.2.: Zeefkromme grof grind

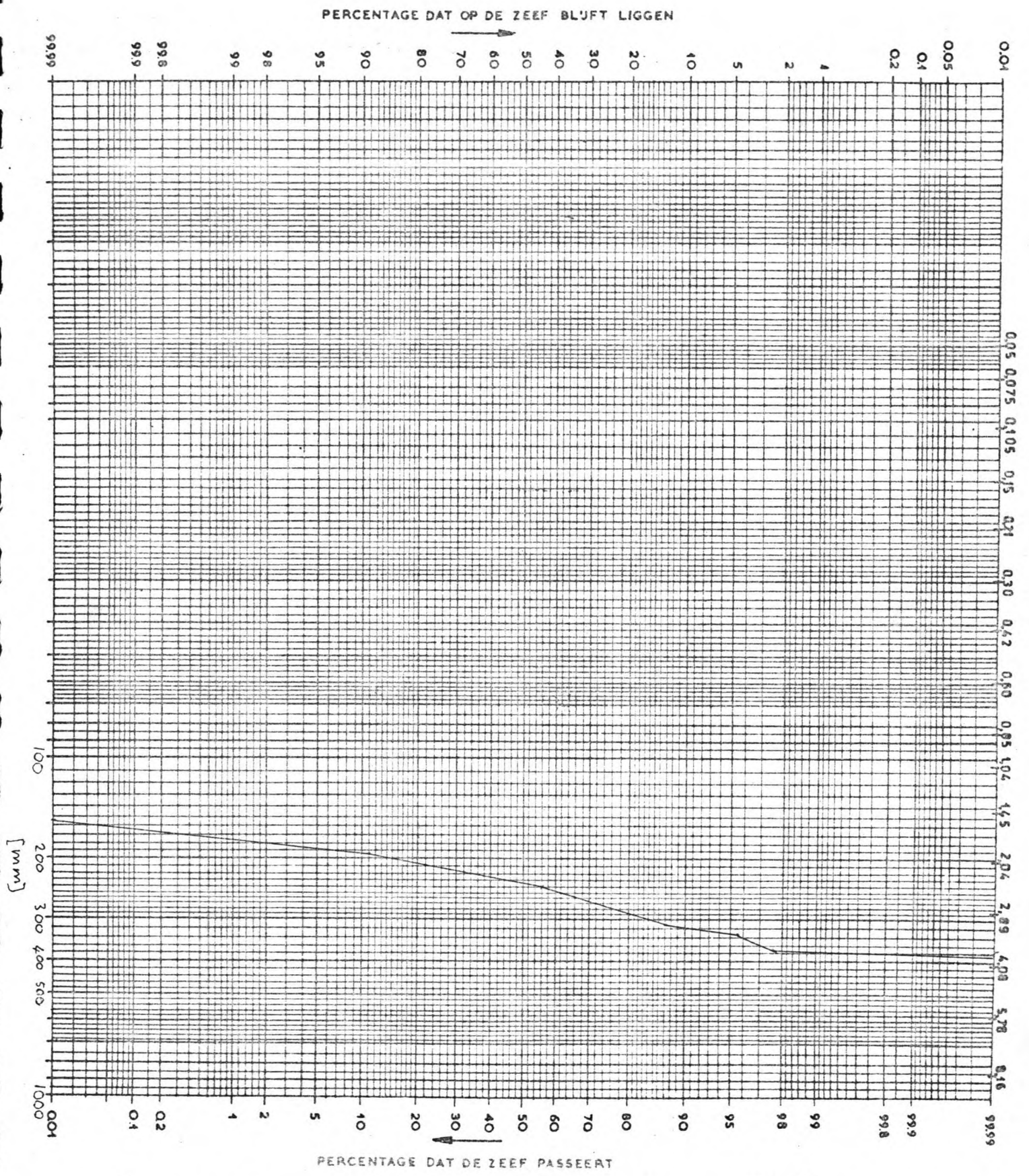
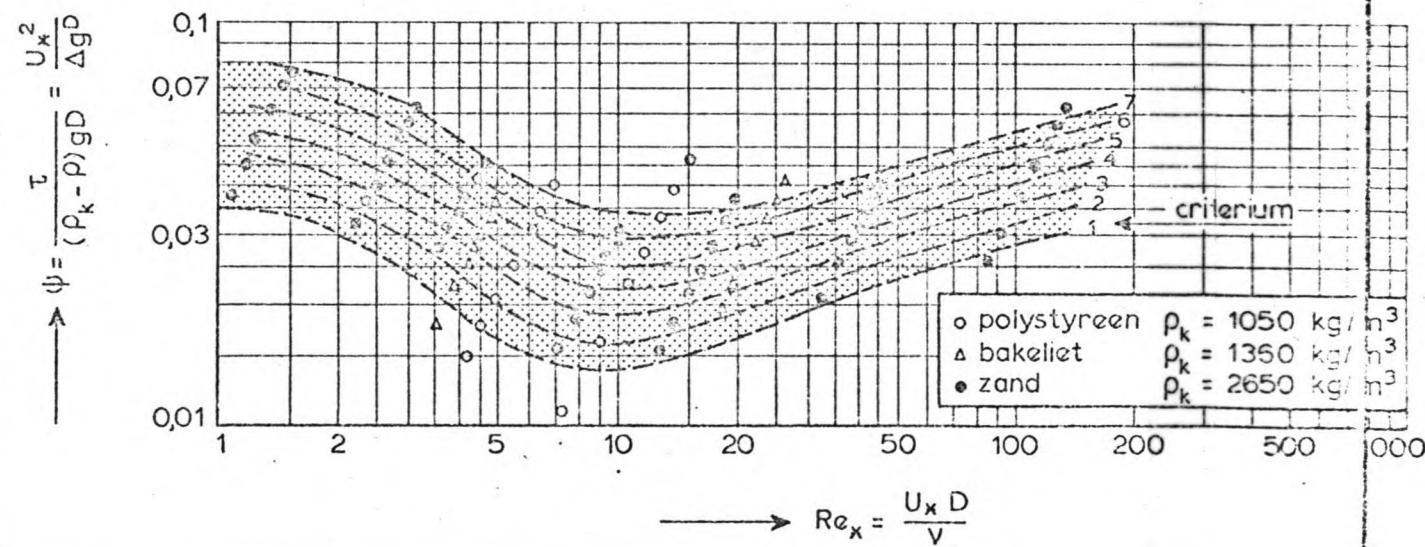
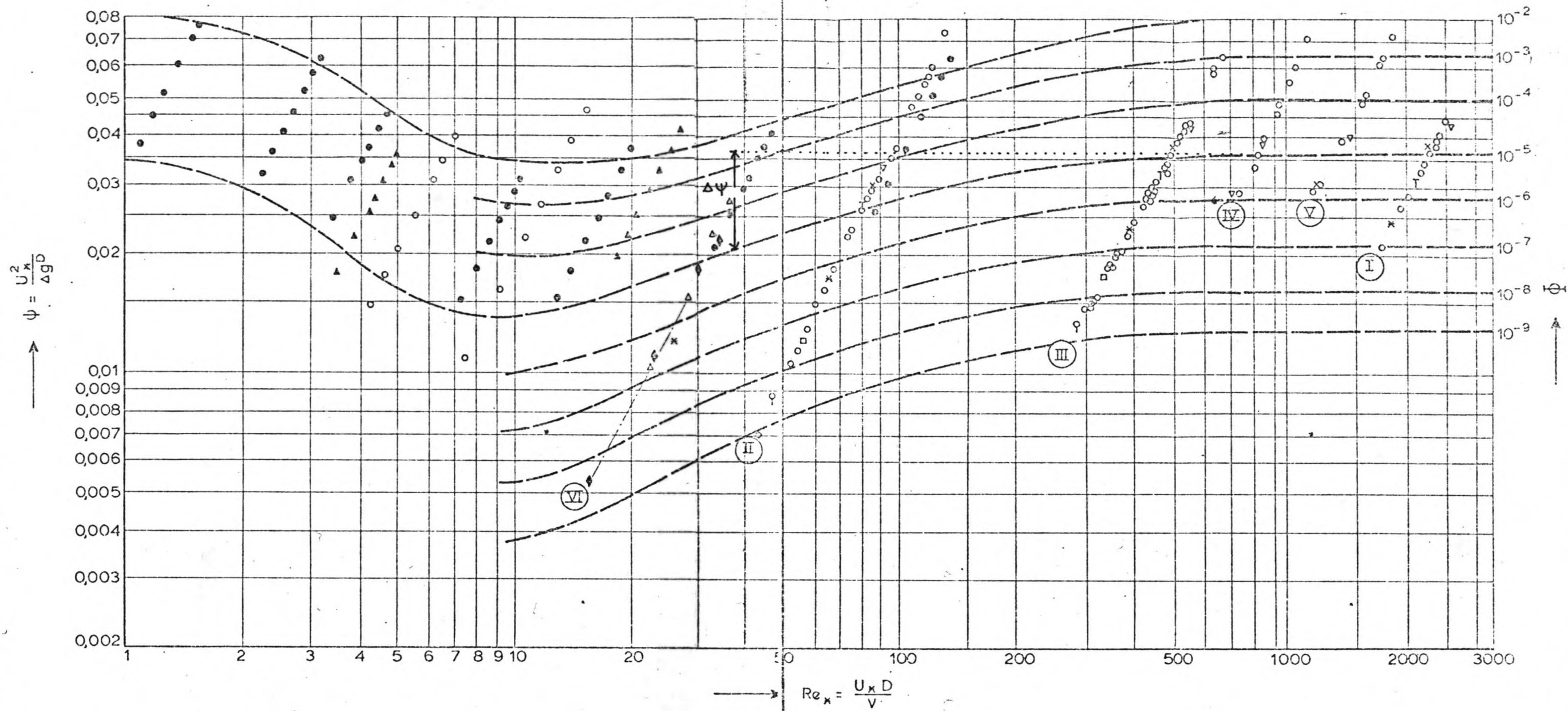


Fig. C.3. : „Zeefkromme” stortsteen (bepaald uit gew. verdeling):



NO.	ONDERZOEK	MATERIAAL	DIAMETER (m)
I	Paintal Run A	zand	$2,22 \cdot 10^{-2}$
II	Run E	zand	$2,50 \cdot 10^{-3}$
III	Run D	zand	$7,95 \cdot 10^{-3}$
IV	M 905	zeegrind	$1,20 \cdot 10^{-2}$
V	M 905	zeegrind	$1,65 \cdot 10^{-2}$
VI	M 1115	bakeliet	$2,10 \cdot 10^{-3}$
●	M 648/M 963	zand	variabel
○		polystyreen	variabel
Δ		bakeliet	$1,90 \cdot 10^{-3}$ en $6,30 \cdot 10^{-4}$

	Φ
v	10^{-4}
x	10^{-5}
T	10^{-6}
κ	10^{-7}
□	10^{-8}
φ	10^{-9}

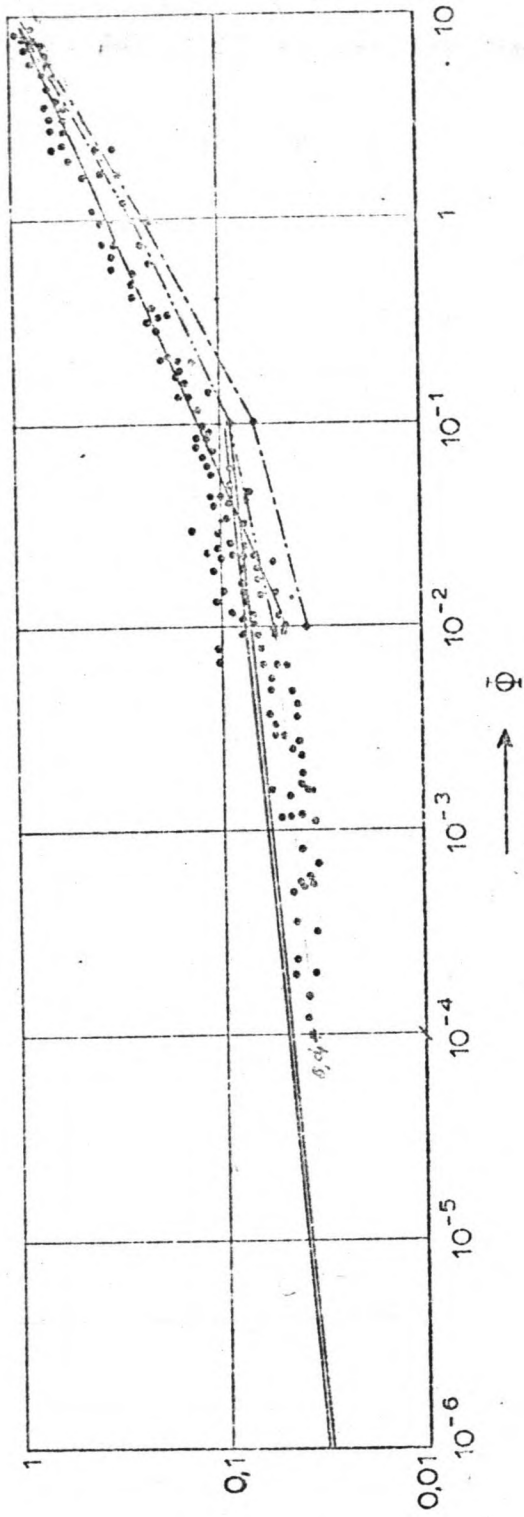
— — — $\Phi = \text{konstant}$
 het verband tussen de linker en rechter
 vertikale as : $\Phi = 1,64 \cdot 10^{10} \psi^{10,86}$

BEGIN VAN BEWEGING VOLGENS HET
 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Lit. 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

D 1.



$$\Phi = \frac{q_s}{\sqrt{\Delta \rho g D^3}}$$

$$\psi = \frac{\tau}{(\rho_k - \rho_w) g D}$$

==== gekorrigeerde relatie

----- Meijer-Peter en Müller

----- Meijer-Peter en Müller

• ongekorrigeerde meetpunten uit verschillende onderzoeken

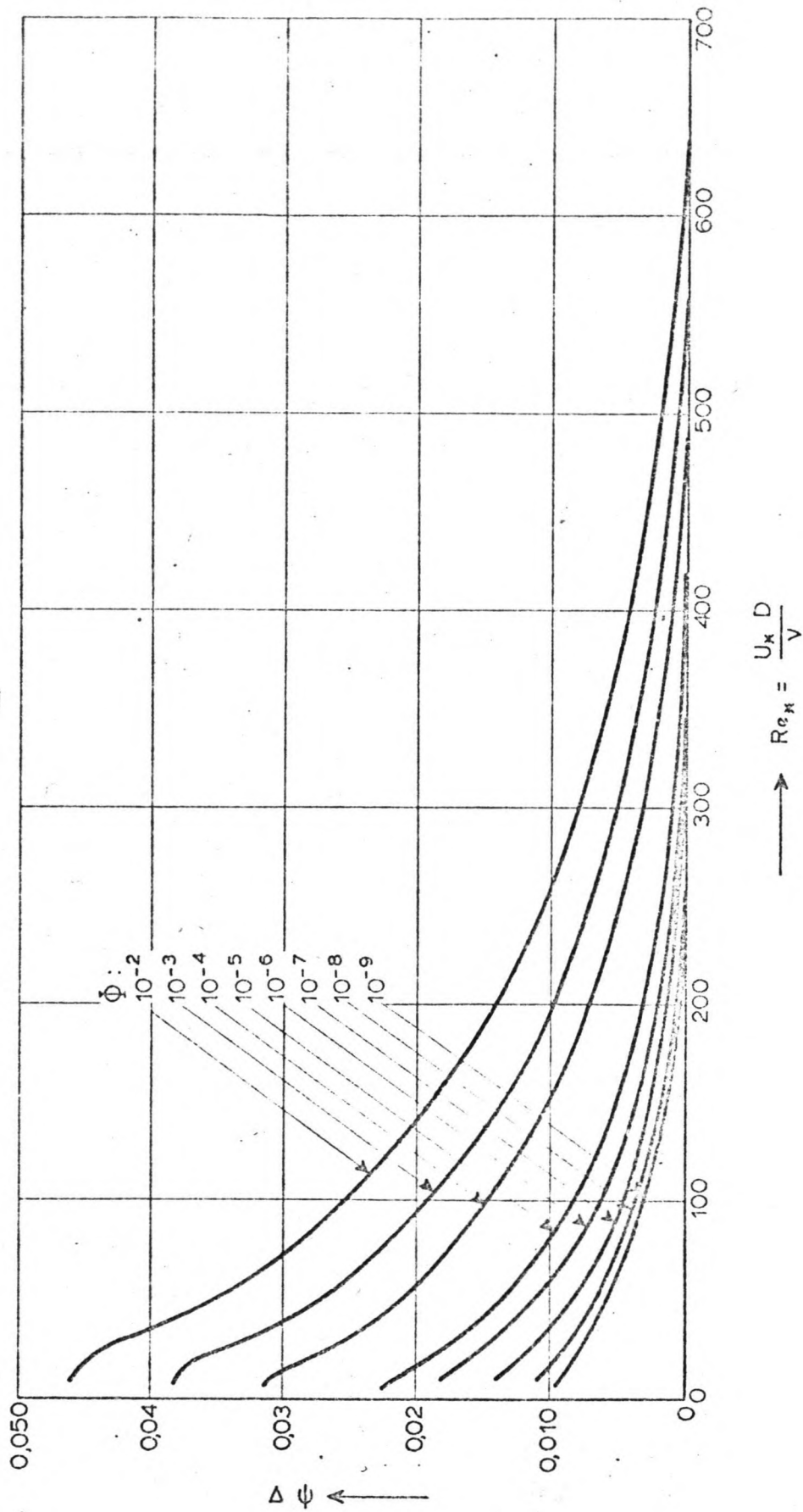
$$\Phi = 1,64 \cdot 10^{10} \psi^{10,86}$$

$$\Phi = \alpha \psi^{1,5}$$

$$\frac{\Phi}{13,3} = \left\{ \mu \psi - 0,03 \right\}^{1,5}$$

$$\frac{\Phi}{13,3} = \left\{ \mu \psi - 0,047 \right\}^{1,5}$$

Lit. 8



RELATIE $\Delta \psi - Re_x$

Lit. 2.

