

7/3/87

Onderzoek naar een

## **bodemtransportmeter**

voor gebruik in het veld onder sheet flow conditie



Z. H. YU

augustus-1987

**TH**Delft

Technische Hogeschool Delft

**Afdeling der Civiele Techniek**  
Vakgroep Waterbouwkunde  
Sectie Kustwaterbouw

Onderzoek naar een

**bodemtransportmeter**

voor gebruik in het veld onder sheet flow conditie

Z. H. YU

augustus-1987

## Inhoud

1. Inleiding .....	5
2. Het belang van zandtransportmetingen in het veld .....	6
2.1 Inleiding .....	6
2.2 Behandeling van kustproblemen en de rol van veldmeting .....	6
daarbij	
2.3 Meting in het veld onder sheet flow conditie .....	7
3. Meetmethoden en meetinstrumenten .....	9
3.1 Inleiding .....	9
3.2 Het meten .....	9
3.3 Het meten in het veld .....	14
3.4 Sheet flow en ribbels .....	16
3.5 Een aantal bestaande meetinstrumenten .....	18
4. Het programma van eisen voor de nieuwe te ontwikkelen sampler .....	23
5. Beschrijving van de te ontwikkelen sampler .....	24
5.1 Voor-historie .....	24
5.2 Het bestaande exemplaar .....	25
5.2.1 Maten en vorm .....	25
5.2.2 Werking van de sampler .....	26
5.2.3 Te meten grootheden .....	27
6. Theoretische beschouwing .....	28
6.1 Inleiding .....	28
6.2 Bewegingsvergelijkingen .....	29
6.2.1 Bewegingsvergelijking voor niet-stationaire stroming .....	29
in een uniforme buis	
6.2.2 Bewegingsvergelijking voor de sampler .....	29
6.3 Het oplossen van de vergelijking .....	35
6.3.1 De belastingen (de randvoorwaarden voor het oplossen) .....	34
6.3.2 De parameters .....	36
6.3.3 Oplossingen en toelichtingen voor een aantal belasting ....	37
gevellen met verschillende sampler-parameters	

6.3.3.1 Sampler onder lopende golven .....	38
6.3.3.1a Sinusvormige belastingen .....	38
6.3.3.1b Belastingen van andere vormen .....	55
6.3.3.2 Sampler in golftunnel .....	79
6.4 Bezinking van zandkorrels in de sampler .....	85
6.5 Maten voor de sampler uit theoretische beschouwing .....	88
7. Het experimentele onderzoek .....	90
7.1 Inleiding .....	90
7.2 Proeven in laboratorium .....	91
7.2.1 Proef 1 : sampler in een stroomgoot .....	91
7.2.2 De debietmeter .....	92
7.2.3 Proef 2 : ijking debietmeter bij stationaire stroming .....	93
7.2.4 Proef 3 : ijking debietmeter bij orbitaalstroming .....	95
7.2.5 Proef 4 : opstelling met stationaire instroming van de .... sampler	98
7.2.5a Proef 4a : zonder hulpconstructie in de bak .....	99
7.2.5b Proef 4b : met geleide plaat en schotten in de bak .....	101
7.2.5c Proef 4c : met verdelingsschotten in de bak .....	103
7.2.6 Proef 5 : opstelling met orbitale instroming van de .....	104
sampler	
7.2.6a Proef 5a : zonder verstijvingsstaven in de bak .....	104
7.2.6b Proef 5b : met verstijving voor de bak .....	106
7.2.7 Proef 6 : opnieuw in stroomgoot .....	109
7.2.8 Proef 7 : onder slurry stroom .....	110
7.3 Proeven in veld .....	118
7.3.1 Locatie proeven .....	119
7.3.2 Tijd proeven .....	119
7.3.3 Handeling proef .....	120
7.3.4 Golfcondities en daarbij behorende bodemvormen .....	122
7.3.5 Resultaat, analyse en beschrijving van de gedane .....	124
veldmeting	

8. Nieuw ontwerp sampler .....	133
8.1 Inleiding .....	133
8.2 Instroom- en uitstroomconstructie .....	133
8.2.1 De instroomklep .....	133
8.2.2 Ligging onderkant van de instromingsopening .....	138
8.2.3 Uitstroomconstructie .....	140
8.3 Constructies voor het verkrijgen van meervoudige meetresultaten bij een meetuitvoering .....	141
8.4 Vorm en maten nieuwe sampler .....	144
8.5 Ijking voor de nieuwe sampler .....	146
8.5.1 Bepalen coëfficiënten .....	146
8.5.2 Proeven in golftunnel .....	147
9. Conclusies .....	151
Appendix .....	153
A.1 Inleiding .....	153
A.2 Afleiding bewegingsvergelijking voor niet-stationaire stroming in de buis .....	153
A.3 Afleiding bewegingsvergelijking voor de sampler .....	155
A.3.1 Term (a) instroomdruk .....	161
A.3.1a De afleiding .....	161
A.3.1b Waarden van de parameters .....	162
A.3.2 Term (b) uitstroomdruk .....	170
A.3.2a De afleiding .....	170
A.3.2b Waarden van de parameters .....	171
A.3.3 Term (c) drukverval .....	172
A.3.3a De afleiding .....	172
A.3.3b Waarden van de parameters .....	173
A.3.4 Term (d) wrijving .....	173
A.3.4a De afleiding .....	173
A.3.4b Waarden van de parameters .....	173
A.3.5 Term (e) locale verliezen .....	176
A.3.5a De afleiding .....	176

A.3.5b Waarden van de parameters .....	177
A.3.6 Term (f) traagheid .....	182
A.3.6a De afleiding .....	182
A.3.6b Waarden van de parameters .....	182
A.4 Het rekenprogramma .....	184
Lijst van symbolen .....	188
Literatuur .....	195
<b>Bijlagen</b>	
<b>B.1 Parameters en oplossingen</b>	
B.1a Tijdens het oplossen van {6.2} gebruikte parameterswaarden	
B.1b Grafisch weergegeven oplossingen vergelijking {6.2} voor de variante uitvoeringen sampler	
B.2 Impressie van proeven in het veld	

## Hoofdstuk 1

### Inleiding

In het kader van de afstudeerstudie aan de vakgroep Waterbouwkunde (studierichting Kustwaterbouwkunde) wordt er onderzoek gedaan naar een bodemtransportmeter onder sheet flow conditie voor gebruik in het veld.

In Hoofdstuk 2 zal de rol van veldmetingen van zandtransport bij de behandeling van kustproblematiek aangestipt worden.

Een kort overzicht van het literatuuronderzoek voor operationele meetmethoden en instrumenten is in Hoofdstuk 3 weergegeven.

Een voor de hand liggend meetinstrument voor het meten van sheet flow in het veld is tot nu toe uit de literatuur nog niet te vinden. De eisen van het nieuwe te ontwikkelen meetinstrument, verder in dit rapport als sampler aangeduid, worden in Hoofdstuk 4 opgesteld.

De beschrijving, aan de hand van een bestaand prototype van een dergelijke sampler is in Hoofdstuk 5 te vinden.

Via twee wegen, theoretisch resp. experimenteel, is het geprobeerd om een dimensionering voor de sampler vast te leggen. Deze worden in Hoofdstuk 6 resp. Hoofdstuk 7 behandeld.

In Hoofdstuk 8 komt een nieuw ontwerp voor de sampler aan de orde en het ijkingsproces voor deze nieuwe uitvoering wordt daarin aangegeven.

De conclusies van het onderzoek worden in Hoofdstuk 9 samengevat.

## Hoofdstuk 2

### Het belang van zandtransportmetingen in het veld

#### 2.1 Inleiding

Bij kusten vinden tegenwoordig allerlei menselijke activiteiten plaats. Dit geldt in het bijzonder voor een zandige kust, waar een groot deel van de Nederlandse kust uit bestaat. Deze activiteiten kunnen van uiteenlopende aard zijn:

- de strandrecreatie.
- het baggeren van diepere geulen om grotere schepen ongehinderd naar havens te laten varen.
- het aanleggen van pijpleidingen, die de op zee gewonnen olie en het aardgas naar het vasteland transporteren.
- het winnen van nieuw land.
- het waarborgen van de veiligheid volgens bepaalde normen voor de zeekering tegen het gevaar van het indringen van de zee.
- etc.

Het is belangrijk om het gedrag van zo'n kust onder verschillende omstandigheden te goed kennen:

- a) de natuurlijke veranderingen: ook zonder directe menselijke interventies kan een zandige kust al zich sterk in beweging zijn.
- b) consequenties van menselijke ingrepen op een kust.

Om deze activiteiten meer technische en economische verantwoord uit te voeren, wordt er steeds geprobeerd nieuwe kennis over de hydraulische en morphologische processen van de kusten te verwerven. Helaas, met de huidige theorieën staat de nauwkeurigheid voor de voorspellingen over een veranderende zandige kust nog erg in het geding.

#### 2.2 Behandeling van kustproblemen en de rol van veldmeting daarbij

De methoden waarmee kustproblemen behandeld kunnen worden zijn in



principe in twee soorten te verdelen:

- 1) operationele fysische en wiskundige modellen

Het gedrag van een beschouwd kustgebied kan direct afgeleid worden uit de modeluitkomsten.

- 2) langere termijn onderzoek

Voor velen problemen, bv. het voorspellen van verandering in de Nederlandse kust, bestaan er nog geen betrouwbare modellen. Sommige verschijnselen, die zich bij een zandige kust voordoen, zijn tot nu toe nog niet goed bekend. Dit vereist meer basis-onderzoek.

In beide gevallen moeten er metingen in het veld gedaan worden:

- a. het model moet in de natuur geijkt worden.
- b. de juistheid van de schematisering van het model moet verifieerd worden.

In het eerste geval moeten tevens metingen worden verricht om de randvoorwaarden van het te beproeven model te weten te komen.

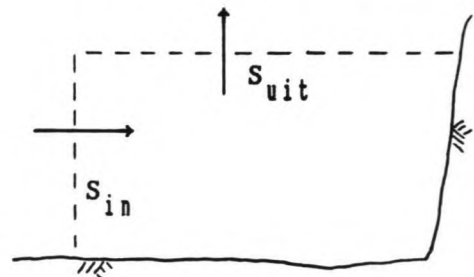
### 2.3 Meting in het veld onder sheet flow conditie

De vraag is echter: hoe goed kunnen de veldmetingen tot nu toe uitgevoerd worden?

Het bestuderen van de veranderingen van een zandige kust houdt voornamelijk de studie van twee bewegingen in:

- 1) de beweging van het water
- 2) de beweging van het zand

De veranderingen in de kust topografie worden bepaald door de zandtransport gradient. Om de reeds gemaakte kust modellen in het veld te ijken moet er een zandbalans over het beschouwde gebied (fig.2.1) gemaakt worden. Gekoppeld met de gemeten hydraulische condities kan de relatie tussen hiervoor genoemde bewegingen vastgesteld worden en kunnen eventuele verbeteringen in de modellen aangebracht worden.



figuur-2.1

Omtrent de beweging van het water kunnen er (behalve zeer dicht bij de bodem) bevredigende veld meetresultaten geleverd worden.

Aangaande het zandtransport kunnen er globaal drie vormen genoemd worden:

1. het rollende transport

Een 'laagje' zandkorrels op het bodemvlak worden door het stroomde water (met een relatief kleine stroomsnelheid) in beweging gebracht.

2. het transport bij een bodem met ribbels

Wanneer de stroomsnelheid wat groter wordt, ontstaan er ribbels op de bodem. Zowel suspensie- als bodemtransport kunnen in dit geval plaats vinden. De richting van het netto transport onder een orbitaalbeweging zal nu afhankelijk zijn van de aanwezige condities.

3. het verschijnsel sheet flow

Bij een sterke orbitaalbeweging wordt er aan de bodem een laag, met een zekere dikte, zand meegesleept. De ribbels verdwijnen zich en de bodem is 'glad'. Een scheiding van bodem of suspensie transport is bij sheet flow is niet duidelijk. Het verticale concentratie- en snelheidsverdeling heeft hier een tamelijk continu verloop.

Uit de gedane laboratorium- [7] en veldmetingen [14] wordt geconstateerd dat de concentratie van het zand in suspensie een soort exponentieel verloop heeft naarmate de afstand tot de bodem afneemt.

Recente onderzoek naar zandtransport onder sheet flow conditie [7] geeft aan dat dit verloop zeer dicht bij de bodem niet meer geldt (zie Par. A.3). En in dat gebied, waar exponentieel verloop niet geldig is, treedt er wel het maximale transport op.

Een transportmeter voor het gebruik in het veld onder sheet flow condities is uit publicaties nog niet te vinden. Het verkrijgen van zo'n meetinstrument zeker bij het bestuderen van het totale transport van een kust, is echter zeer aanbevelings waardig.

## Hoofdstuk 3

### Meetmethoden en meetinstrumenten

#### 3.1 Inleiding

Een nieuwe bodemzandconcentratie- en transportmeter zal tijdens dit afstudeerwerk ontwikkeld worden. Het lijkt nuttig, dat er de volgende punten tevoren in het kort beschouwd worden:

1. facetten m.b.t. meting onder sheet flow conditie
2. facetten m.b.t. meting in het veld
3. een globaal overzicht van de bestaande meetinstrumenten

In het voorgaande hoofdstuk is het belang van veldmetingen kort behandeld. Dit hoofdstuk zal eerst wat meer op het meten zelf (3.2) ingaan. Verder zijn er een aantal facetten m.b.t. metingen in het veld (3.3) opgesomd. In 3.4 zal het meten van sheet flow globaal worden vergeleken met het meten van transport bij bodem met ribbels. Veel meetinstrumenten kunnen opgespoord worden zowel uit de literatuur als bij bepaalde instanties, die de desbetreffende instrumenten ontwikkelen. Paragraaf 3.5 geeft een korte beschrijving met commentaar voor een aantal meetinstrumenten weer.

#### 3.2 Het meten

Een algemene uitdrukking voor het zandtransport  $S$  door een gegeven oppervlakte is

$$S = c V \quad \{3.1\}$$

$c$  : de concentratie [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ], [ $\text{g}/\text{l}$ ]

$V$  : de snelheid [ $\text{m}/\text{s}$ ]

Behalve door direct meten kan het optredende transport  $S$  ook via meetresultaten van  $V$  en  $c$  bepaald worden.

Elke meetinstrument bevat in feite twee gedeelten, namelijk: het tastende en het registrerende gedeelte.

##### 1. het tasten

Om een natuurkundig fenomeen te meten moet het meetinstrument een bepaald signaal uit het te meten volume vangen. Dat betekent dat het meetvolume

op een of andere manier afgetast zal moeten worden. Het zandtransport is in eerste instantie een mechanisch verschijnsel. Het ligt voor de hand dat er meetinstrumenten gemaakt kunnen worden die op mechanische wijze de beweging van het water en/of zand aftasten, bv. verschillende molens voor snelheidsmeting, zandvangere voor het transportmeting.

Het water en zand zijn materie, dus zij bezitten ook andere fysische eigenschappen, bv. akoestische, optische, etc.. Door het kennen van een of meer van die eigenschappen kan men soms de snelheid  $V$ , concentratie  $c$  of het transport  $S$  daaruit afleiden. Tabel-3.1 (overgenomen uit [9]) geeft een overzicht van meetmethoden (tot ca. 1976) weer. De in de tabel voorkomende beoordelingen hebben een sterk algemeen karakter en zij zijn meer gericht op het meten van suspensie transport.

## 2. het registreren

De bij het tastproces gevangen signalen van het gemeten volume worden (al of niet) vertaald in grootheden van  $S$ ,  $V$ , of  $c$  en getransporteerd naar bepaalde eenheden, bv. magnetische band of schijf, printer, plotter, voor verder verwerking. In hoofdlijnen kan het registreren met twee soorten getypeerd worden:

### a. zonder electriciteit

- een aan de molen verbonden mechanische teller
- het gevangen zand wordt in het laboratorium gewogen
- opschrijven van de stijghoogte van het water bij een pitotbuis

### b. met electriciteit

Deze groep wordt door een groot aantal meetinstrumenten vertegenwoordigd.

## De nauwkeurigheid

Behalve kolommen 1, 2, 6, 7, 10 en 18 hebben de andere kolommen uit tabel-3.1 eigenlijk allemaal betrekking op de meetnauwkeurigheid en de meeste daarvan behoren tot het registrerende gedeelte. De invloed op de meetnauwkeurigheid van dit gedeelte is meer een kwestie van de toegepaste electronica. In het volgende zal er echter ingegaan worden op de invloed van het tastelement van een meetinstrument op de meetnauwkeurigheid bij meting van zandtransport, wel i.h.b. onder sheet flow conditie: hoe kan een meetin-

tabel-3.1

Eis Methode	1 grootheid	2 bruikbaar in situ	3 dynamiek	4 verstoring stromings- patroon	5 meetnauwkeurigheid	6 arbeidsintensiteit	7 ijking	8 meetfrequentie	9 afhankelijk van d	10 bepaling meetvolume	11 richtingsgevoeligheid	12 snelle fluktuaties meetbaar	gevoelig voor:					18 konstruktie
													13 luchtbellen	14 strooilicht	15 zoutgehalte	16 temperatuur	17 vervuiling	
<u>Mechanisch</u> gehaltebepaling vangprincipe	c s	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
<u>Elektr./Magn.</u> korrelteller induktie	S(c, v <sub>s</sub> ) v <sub>w</sub>	+	-	+	+	+	-	-	-	+	?	-	-	+	?	?	-	+
<u>Thermisch</u> hete draad,-film	v <sub>w</sub>	-	+	+	+	+	+	+	..	+	-	+	-	+	-	-	-	-
<u>Nukleair</u> γ-en X-stralen	c	+	-	+	+	+	+	+	+	+	..	-	?	+	?	+	?	+
<u>Optisch</u> transm./verstr. holografie foto,film,T.V. vezeloptiek laser-Doppler	c c(v <sub>s</sub> )d c(v <sub>s</sub> )d c,v <sub>s</sub> d v <sub>w</sub> , v <sub>s</sub> (d)	+	+	+	+	+	-	+	-	+	..	+	-	+	+	+	-	+
<u>Akustisch</u> transm./verstr. echopulshoogte <sup>κ</sup> looptijd Doppler <sup>κκ</sup> sonische zanddet.	c(d) c,d v <sub>w</sub> v <sub>w</sub> , v <sub>s</sub> (d) c	+	+	+	+	+	-	+	-	+	..	?	-	+	+	+	+	+
Kombinatie van κ en κκ	c,v <sub>s</sub> , d	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+(?)	-	+	+	+	+	+

TABEL: Vergelijking van de meetmethoden

Toelichting bij de tabel

Vertikaal staan de verschillende fysische methoden, in dezelfde volgorde als in de tekst. De methode der merkstoffen is weggelaten omdat deze minder goed past in het schema van deze tabel.

Horizontaal staat een aantal eisen, die aan de apparatuur gesteld worden.

In kolom 1 worden de met de apparatuur meetbare grootheden symbolisch weergegeven (een mogelijke uitbreiding staat tussen haakjes):

- S sedimenttransport
- c sedimentconcentratie
- $v_s$  sedimentsnelheid
- $v_w$  watersnelheid
- d korreldiameter

In de kolommen 2 tot en met 18 hebben de evaluatiesymbolen de volgende betekenis:

- + positieve waardering
- negatieve waardering
- $\pm$  twijfelachtig
- ? onbekend
- .. niet van toepassing

Een nadere aanduiding van de symbolen +,  $\pm$  en - wordt hieronder gegeven als functie van het kolomnummer:

Kolomnr.	+	$\pm$	-
2	ja	misschien	neen
3	groot	matig	klein
4,5	klein	matig	groot
6	neen	tamelijk	ja
7	eenvoudig	niet eenvoudig	moeilijk
8	hoog (of: kontinu)	laag	zeer laag
9	neen; of: ja, maar verband bekend	ongevoelig voor bepaalde frakties	ja, en verband onbekend
10	nauwkeurig	onzeker	onnauwkeurig
11	goed	matig	slecht
12	ja	-	neen
13 t/m 17	neen	in geringe mate	ja
18	robuust	tamelijk stevig	kwetsbaar

strument het juiste, ongestoorde signaal van het te meten volume ontvangen?

Het (signaal)opneemelement zal uit een element met vaste vorm en plaats moeten bestaan, ook als dit bv. volgens optisch of akoestisch principe werkt. Dat zorgt voor enige verstoring in het stromingspatroon. De afstand tussen het opneemelement en het te meten volume zal de meeste bepalende factor zijn voor de storing, welke zich in het meetresultaat zal manifesteren. Aangaande die afstand zijn er drie situaties te onderscheiden:

- a. de grootte van het meetvolume is constant en is begrensd door het tastelement

Onder deze categorie zijn bv. de volgende meetinstrumenten te noemen: snelheidsmolen, zandvanger.

- b. grootte van het meetvolume kan (binnen een bepaalde mate) variëren en is ook begrensd door het tastelement

Bij dit type meetinstrumenten heeft het tastelement meestal meervoudige onderdelen: de (signaal)zendende delen en de vangende delen. Een grotere afstand tussen die verschillende delen betekent een groter meetvolume. De verstoring in het stromingspatroon kan dan als het ware eniger mate afgevlakt worden. Maar daartegen zullen de signalen verzwakt worden en het is mogelijk dat er door die verzwakking extra onnauwkeurigheid in de verwerking van de gevangen signalen kan ontstaan. Dit soort meetinstrumenten zijn onder ander: optische concentratie probe, geleidendheidsprobe.

- c. het meetvolume en het meetelement grenzen niet aan elkaar en het meetelement beïnvloedt het meetvolume niet

De afstand tussen de meetelementen en het te meten volume kan nu zo groot gemaakt zijn dat de verstoring in het stromingspatroon door de aanwezige meetelementen het te meten volume niet meer bereikt. Voorbeeld van zo'n meter is de Doppler-laser snelheidsmeter.

Naast de directe invloed van meetelementen op het stromingspatroon is er mogelijk nog een indirecte invloed. Deze kan voornamelijk ontstaan in geval wanneer de meetelementen en het meetvolume zich dichtbij de bodem zullen bevinden. De bodem configuratie ter plaatse verandert, door de versturende conditie, in een nieuwe evenwichtstoestand en deze zal waarschijnlijke niet

dezelfde zijn als de oorspronkelijke, waarmee de meting begint en welke bedoeld was te meten.

### 3.3 Het meten in het veld

Bij veldmetingen zullen er meer factoren een rol spelen dan bij metingen in het laboratorium. Deze factoren zijn:

#### 1. electriciteit

##### 1a netaansluiting

De meetopstelling heeft bij haar functioneren dikwijls grote hoeveelheid electriciteit nodig. Soms kunnen gegevens van een kustgebied, dat ver weg van de bewoonde zones ligt, belangrijk zijn voor de beschouwing van de totale kust. In een land, zoals Nederland, zal nog met enige moeite deze voorziening geregeld kunnen worden, zodat metingen in dat gebied uitgevoerd kunnen worden.

##### 1b electriciteit generator

Voor een beperkte behoefte aan electriciteit van een meetopstelling kan een vervoerbare generator lange electriciteitskabels doen sparen.

##### 1c met accu of batterij

In de benodigde energie kan te voorzien zijn door een accu of batterij. Deze zijn in het algemeen gemakkelijk mee te nemen.

##### 1d geen electriciteit nodig

Dit is het gemakkelijkste geval.

#### 2. (hulp)constructie voor de meetopstelling

##### 2a permanente constructie

Veel apparaturen moeten tegen het open klimaat beschermd worden. De constructie kan een bestaande (bv. een pier) of een speciaal voor de meetuitvoering gebouwde zijn. Het bezwaar is dat men zo'n constructie niet vaak in de strandzone tegenkomt en het kost meestal nog wat kapitaal om ergens een te creëren.

##### 2b vervoerbare constructie

Dit type constructie is minder van omvang en kan bv. met een vrachtwagen vervoerd worden. Het gebied, waar de meting plaats zal vinden, moet wel begaanbaar zijn voor zwaar vervoer.



## 2c draagbare constructie

Het verplaatsen van de meetopstelling vormt nu geen probleem meer.

## 2d constructie voor het waterdicht houden van bepaalde onderdelen

Sommige onderdelen van het meetinstrument moeten waterdicht zijn. Er is een bron toegevoegd van mogelijke storingsen in het meetapparaat.

## 3. de (verticale en horizontale) waterbeweging

### 3a tijverschil

Voor het ene meetinstrument is een tijverschil gewenst, het andere zal bij een 'constant' waterniveau gemakkelijker functioneren.

### 3b golfconditie voor de installatie van meetinstrument

Een vereiste golfconditie, bv. de maximale golfhoogte, waarbinnen een meetapparaat in de meetlocatie opgesteld kan worden, vraagt een zekere flexibiliteit in de meetuitvoering. Men moet dan voor een 'storm' de meetopstelling klaar hebben.

### 3c de maximale door het meetinstrument weerstaanbare (golf) belasting

Vooraf de golfklappen en de orbitaalbeweging spelen hier de belangrijke rol. Een stabielere constructie (zwaarder of meer verankering) zal i.h.a. de hanteerbaarheid, m.b.t. het plaatsen en vervoeren, van het instrument verminderen.

### 3d de maximale en/of de minimale waterstand

Dit criterium kan nog sterk afhangen van andere gegeven omstandigheden: de golfconditie, de in punt 2 genoemd type constructie, etc.. De essentie hiervan is, in welke kustzone(n) metingen met het instrument plaats kunnen vinden.

## 4. andere factoren

### 4a temperatuur

Temperatuur zal meestal niet de nauwkeurigheid van meetresultaat kunnen beïnvloeden (zie kolom 16 van tabel-3.1). Echter de temperatuur kan de veldmeting niet uitvoerbaar maken. Bij de Nederlandse kust zal het bevroeren door lage temperatuur meestal de boosdoener zijn.

### 4b mankracht

Technisch gezien komen de weersomstandigheden, die de moeite waarde zijn

voor uitvoering van veldmetingen, niet geregeld voor. Het is moeilijk te voorspellen wanneer de condities bij de kust geschikt voor metingen zullen zijn en hoe lang deze kunnen duren. Het realiseren van metingen met zware materialen en veel mankracht vergt grote inspanning.

### 3.4 Sheet flow en ribbels

Er is nog geen uitgevoerde specifieke veldmeting voor sheet flow te signaleren in de literatuur. De meeste metingen in het laboratorium of in het veld waren bedoeld voor het suspensietransport en vaak bij een bodem met ribbels.

In het volgende zal een kort overzicht van het zandtransport met ribbels en sheet flow gegeven worden. Aansluitend zijn er een aantal punten over metingen onder die twee condities samengevat.

grootheid	sheet flow	met ribbels
1. concentratie $c$ (gemiddeld over de getranspor- teerde laag)	hoog	laag
1a waarde van $c$ waar het max. trans- port optreedt	zeer hoog	relatief laag
1b verloop $c$		
horizontaal	kleine variatie	in <u>langsrichting</u> moge- lijke <u>discontinuïteit</u> vanwege de aanwezige zandwolken in <u>dwarsrichting</u> is het verloop afhankelijk van de verhouding tussen de amplitude van de orbi- taalbeweging en de rib- bellengte
verticaal	zeer grote gradient	relatief geleidelijker
2. aanwezige orbi- taalsnelheid $V$	groot	klein tot matig
2a grootte $V$ in de transporterende laag	ca. de helft van de waarde buiten grens- laag	ca. gelijk aan de waar- de buiten de grenslaag

2b verloop V		
horizontaal	weinige veranderlijk	bij de ribbeltoppen verschijnen er neren
verticaal	in de transporterende laag is het verloop sterk veranderend	het verloop krijgt hier ook de invloed van de neren, maar daarbuiten is de gradient van het snelheidsverloop klein
3. transport S		
3a plaats		
horizontaal	1) voor en in de brandingzone 2) in de swashzone	waar de bodem niet vlak is
3b afleiden uit c en V	in verticale zin moeten c en V goed overeenstemmen	de meetvolumen van c en V hoeven niet dezelfde te zijn
4. meten van c, V, S		
4a concentratie c	1) om een gedetailleerd verloop te meten: a. het meetvolume moet klein zijn b. er is een groot aantal meetpunten nodig c. de eis voor de meetbereik van die verschillende meetpunten zal sterk uiteenlopend zijn 2) de vert. gem. c is nog veel groter dan bij normaal suspensie-transport	1) de vert. afstanden tussen de meetpunten kunnen relatief groot zijn 2) de max. te meten c is hier veel lager 3) het gemeten waarde moet representatief zijn voor het gemeten gebied
4b snelheid V	1) het is noodzakelijk om de snelheid van hetzelfde meetvolume te meten waar de concentratie ook gemeten wordt 2) ook hier is er een groot aantal meetpunten nodig voor het verkrijgen van een gedetailleerd verloop van V	1) er hoeft niet meer om bij ieder concentratiemeetpunt een snelheidsmeetpunt geplaatst te worden 2) het snelheidsverloop in een neer heeft een sterk drie dimensionaal karakter
4c transport S	1) een meetinstrument dat het totale transport meet kan veel precies (misschien ook tot nu toe nog niet goed uitvoerbaar) meetwerk doen sparen	1) hier is het beter als het bodem- en suspensietransport apart gemeten wordt
4d representativiteit van een meetresultaat	het zal goed representatief zijn voor het gemeten gebied	er bestaat het gevaar: meetvolume in een zandwolk of juist daarbuiten

### 3.5 Een aantal bestaande meetinstrumenten

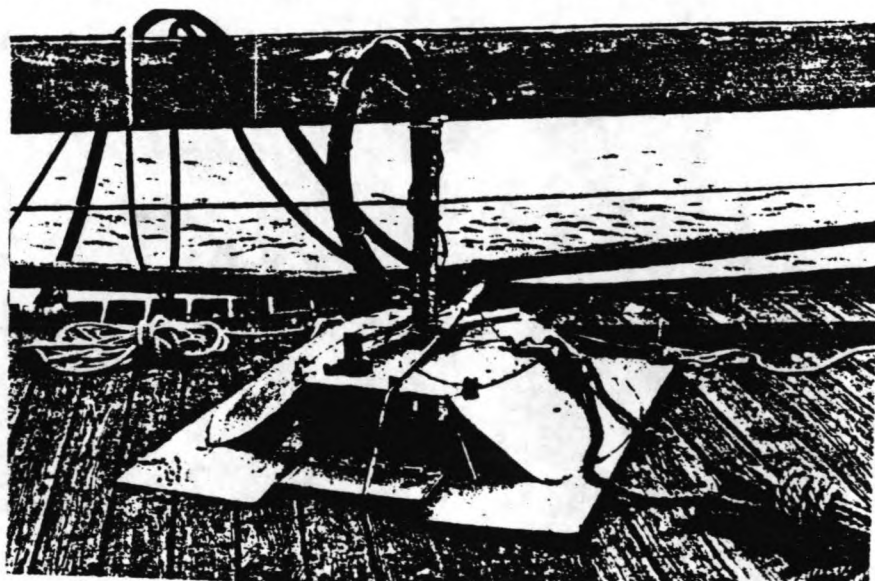
Het feit dat er geen publikaties over meting van sheet flow in het veld te vinden zijn wijst op de nut van ontwikkeling voor zo'n meetinstrument. Men kan via verschillende wegen dit doel proberen te bereiken. Verbeteren van oude meetinstrumenten, nieuwe meetprincipes bedenken of combinaties daarvan zijn de mogelijkheden. Het is ook niet uit te sluiten dat men tijdens veldmetingen voor de zekerheid meerdere meetinstrumenten gebruikt voor een bepaalde te meten grootheid. Soms kunnen de condities ter meetlocatie bepalend zijn voor de toegepaste meetinstrumenten. Het bezitten van op verschillende principes werkende meters manifesteert zich dan als voordeel.

Een aantal gebruikte sedimentmeters, welke in het veld zijn gebruikt of de sheet flow meten, komen nu aan de orde.

#### 1) Bed-load trap (Thornton [20])

Deze trap is een van staal gemaakte constructie, die tijdens de metingen op de bodem rust. Deze heeft een voor- en een achteropening, hoogte 20 cm (de definitie bed-load zou niet met het bodemtransport in dit rapport in overeenstemming zijn) en breedte 30 cm; daartussen is een ellipsvormige tussenruimte. Als er longshoretransport optreedt, bezinken de binnengestroomde zandkorrels in de trap.

Er is een pompsysteem op deze trap aangesloten. De openingen zijn pneumatisch bestuurbaar. Na enige tijd bemons-  
teren, worden de openingen dicht gedaan en het gevangen zand wordt weg gepompt.



figuur-3.1

Te meten grootheid:

Het gemiddelde langstransport.

Voordelen:

- a) Relatief makkelijk aan te leggen van het meetinstrument.
- b) Bij een meetuitvoering kan er meermalen bemonsterd worden.

Nadelen:

- a) Bloot gesteld aan de golfaanval, zal de morfologische conditie rond om de trap erg verstoord worden, zeker als de zeegang niet rustig is.
- b) Het is zeer twijfelachtig hoeveel procent van de zandkorrels, die in de trap terecht gekomen zijn, bij een sterke langsstroming in de trap blijven.

Opmerking:

Voor het meten van sheet flow (dikte van ca. 1 cm) is zo'n constructie niet geschikt. Het pompsysteem zal veel problemen doen verhelpen voor een op het vangprincipe werkend instrument.

## 2) Vul flessen (Nielsen [14])

Zeven lege flessen worden in een stalen mand op de bodem gelegd. Iedere fles verbindt met een afzuigbuis en de afzuigbuizen zijn op verschillende niveaus geplaatst. De kortste afstand van een afzuigbuis tot de bodem is ca. 1 cm.

Door de ontluchting van de flessen ontstaat er een druk verschil tussen de lege ruimte in de flessen en het water bij de openingen van de afzuigbuisjes. Na de vulling van de flessen wordt de mand uit het water opgehaald en daaruit kan de gemiddelde concentratie verdeling over het verticaal bepaald worden.

Te meten grootheid:

De gemiddelde verticale suspensie concentratie verdeling.

Voordelen:

- a) Eenvoudige constructie.
- b) Geen extra hulpmiddelen nodig.

Nadelen:

- a) Eenmaal bemonsteren bij een uitvoering.
- b) Nauwkeurigheid te betwijfelen als er grote veranderingen van richting en grootte in de aanwezige waterbeweging optreden.

Opmerkingd:

Methode is niet toepasbaar voor het meten in de sheet flow laag.

### 3) Meetinstallaties van afzuigstelsel bij Groote Keeten (WL)

Vanaf de duinvoet wordt een pier-achtige constructie zeewaarts gebouwd. Daarop bevinden er zich een aantal afzuig-apparaten, die verbonden worden met de op verschillende niveaus geplaatste afzuigbuisjes (diameter 3 mm). Hiermee kan tot ca. 2 cm boven de bodem afgezogen worden. Een aantal aanzuigopeningen op redelijke afstanden van elkaar wordt gebruikt om concentratie uit te middelen.

Te meten grootte:

De gemiddelde verticale suspensie concentratieverdeling.

Voordelen:

- a. Het lukt bijna met alle weersomstandigheden, behalve bij bevriezen van het water in de buisjes, continu te meten.
- b. Controleer- en bijstelbare ligging van de onderdelen die tijdens de meting onder water gesitueerd zijn.

Nadelen:

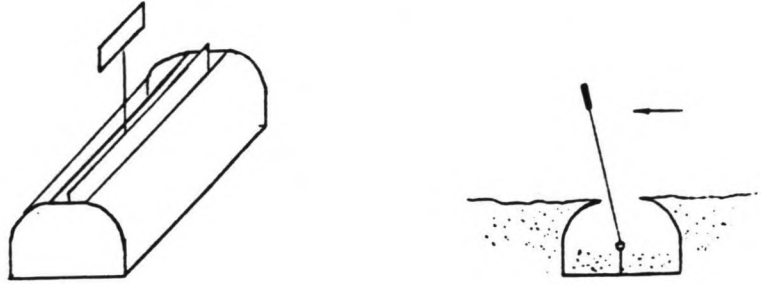
- a. Grote constructie moet gebouwd worden om de meetopstelling gereed te maken

Opmerking:

Niet geschikt voor sheet flow meting.

### 4) Sediment-trap (Cook en Gorsline [4])

Deze trap is een in de bodem ingegraven kist. De bovenkant van de kist ligt op hetzelfde niveau als de bodem en bij de bovenkant bevindt een open sleuf, die voor het begin van het meten dicht geplakt blijft. Tijdens het meten zullen de door de sleuf in de kist gezakte zandkorrels gevangen worden. Door een schakel mechanisme kunnen in de twee richtingen optredende transporten in twee aparte ruimten opgeborgen worden.



figuur-3.2

Te meten grootheid:

Het bodemtransport.

Voordeel:

- a) Eenvoudige constructie.
- b) Weinige verstoring in morfologische conditie.

Nadeel:

- a) Als het ingraven onder water plaats moet vinden, zal het moeilijk zijn.
- b) De hoeveelheid in de kist neergevallen zand zal niet het werkelijke transport, zeker niet in het geval van sheet flow, zijn.

Opmerking:

Het principe van het ingraven van de meter in de bodem om zodoende de mogelijke morfologische verstoring te beperken en het onderscheiden van transport in twee richtingen zijn interessant.

#### 5) Optische probe voor zandconcentratiemeting (Schaafsma [17])

Met de bestaande OPCON probe zal het stromingspatroon sterk verstoord worden door een te grote afmeting van de taselementen. Voldoende kleine afmeting is technisch niet te realiseren.

Nieuwe optische probes moeten eerst nog ontwikkeld worden om de werking daarvan te beoordelen. Het meetbereik van de optische probes voor zandconcentratie is ca. tussen 1-10% volumepercentage.

#### 6) Geleidingsprobe (Horikawa en WL, [7] en [17])

Een aantal verschillende variante uitvoeringen van dit soort probe zijn al gemaakt. Om de vragen te beantwoorden van welke factoren, behalve de zandconcentratie, de geleidingsprobe nog zal afhangen en wat de consequenties voor de

meetresultaten van veldmetingen kunnen zijn van de verschillende fysische eigenschappen van het meetvolume, wordt er verder onderzoek vereist.

Het meetbereik van zo'n probe ligt tussen 5-60% volumepercentage.

7) Nukleaire concentratiemeter (Basinski [2])

Het meetinstrument, zoals in 1980 uitgevoerd, heeft een grote afmeting. Er is nog niet veel bekend over de invloed van allerlei fysische eigenschappen van de gemeten materie op het verkregen meetsignaal.



## Hoofdstuk 4

### Het programma van eisen voor de nieuwe te ontwikkelen sampler

Eisen voor het te ontwikkelen instrument kunnen als volgt geformuleerd worden:

- a) Het instrument dient de meetresultaten te leveren waaruit de orde van grootte van het bodemdwarstransport en de gemiddelde concentratie daarvan onder sheet flow conditie bepaald kunnen worden.
- b) De meting met het instrument moet praktisch overal plaats kunnen vinden, zonder hulpconstructies en netaansluiting voor de electriciteit<sup>1)</sup>.
- c) De kosten van zo'n instrument moeten laag zijn.

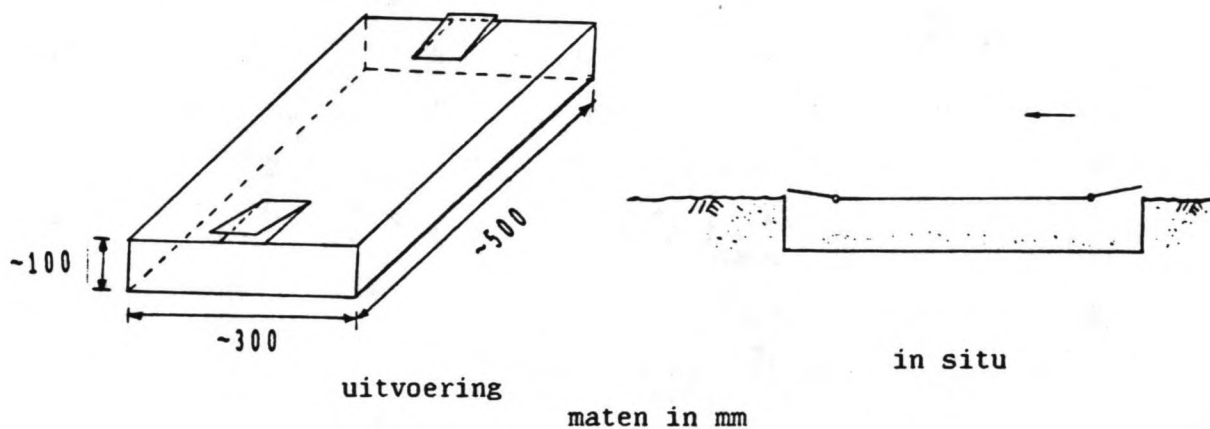
\* 1) Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn. Bij een meetproject waar allerlei voorzieningen toch op de plaats aanwezig zijn, kan met de sampler zeker ook m.b.v. netaansluiting gewerkt worden, als deze daardoor in bepaalde opzichten beter zal functioneren.

## Hoofdstuk 5

### Beschrijving van de te ontwikkelen sampler

#### 5.1 Voor-historie

In 1983 zijn op de strand van Hawaii proeven met een bodemzandtransportmeter door studenten van The University of Hawaii verricht. Het instrument is in figuur-5.1 weergegeven.



figuur-5.1 sampler in Hawaii

In Hawaii werd het na een aantal proeven geconstateerd dat:

1) Er een grote hoeveelheid zand in de swashzone gevangen werd bij lange (golfperiode  $T = 12$  s) zelfs lage (golfhoogte  $H = 0.5$  m, waterdiepte  $h = 0.3$  m) golven en dat deze gevangen hoeveelheid grotendeels bestond uit bodemtransport.

1a) Het vangproces duurde kort tot de bak met zand gevuld werd. Er was sprake van een orde van enige tientallen golven, waarbij de meeste weinig transport gaven en enkele zeer veel.

1b) Het suspensie transport was met een gering percentage in deze hoeveelheid vertegenwoordigd. Dit was tijdens de proeven, met zeer helder water duidelijk waar te nemen.

2) Het ingraven van de sampler kostte veel inspanning.

In Hawaii was er bijna geen getij. Het ingraven moest onder water plaats vinden. De kuil stroomde vol, terwijl hij werd gegraven en het was moeilijk onder de bak te komen, om hem te ondergraven.

Anderzijds: om een behoorlijk bodemtransport te meten zal het zinvoller zijn als de uitvoering bij een niet te rustige zeegang plaats vindt.

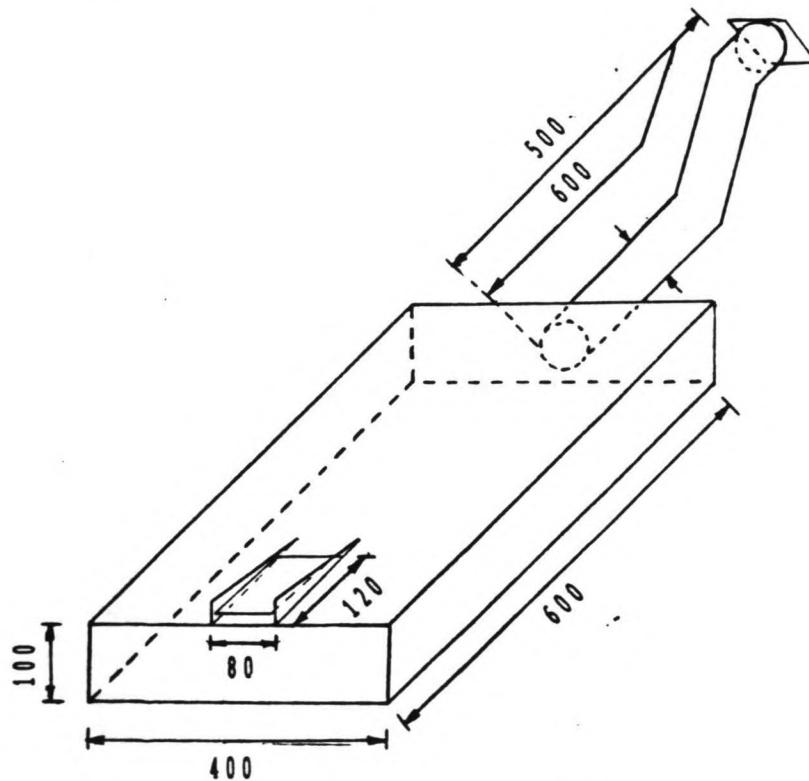
Een beginsel ontwerp voor een variatie op deze sampler is door Ir. W.T.Bakker -- die destijds werkzaam was als visiting associate professor aan The University Hawaii en ook die proeven had begeleid -- na zijn terugkeer in Nederland tot stand gebracht om deze proef in Nederland te laten voortzetten. Het doel van deze voortzetting is om een veldmeetinstrument voor het dwarsbodemtransport onder sheet flow conditie te kunnen verschaffen.

Van dit ontwerp werd in de werkplaats Schiedam van Rijkswaterstaat een prototype bodemtransport sampler vervaardigd (fig.-5.2).

## 5.2 Het bestaande exemplaar

### 5.2.1 Maten en vorm

De principe uitvoering van de sampler, waarmee het onderzoek in deze afstudeerstudie wordt gedaan, is in figuur-5.2 getekend.



maten in mm

figuur-5.2 uitvoering van het bestaande sampler

De sampler (fig.-5.2) bestaat uit de volgende onderdelen:

1) Een vierkante bak van roestvrije staal.

Afmeting(intern):  $L_b \times b_b \times h_b$  is  $0.6 \times 0.4 \times 0.1 \text{ m}^3$ .

2) Een perspex deksel, dit wordt op de stalen bak vastgeschroefd.

3) Een scharnierende (instromingsopening)klep in het deksel.

Afmeting:  $L_{op} \times b_{op}$  is  $0.12 \times 0.08 \text{ m}^2$ . De hoogte van de instroming  $h_{op}$  (tussen  $0.01 - 0.015 \text{ m}$ ) kan bijgesteld worden.

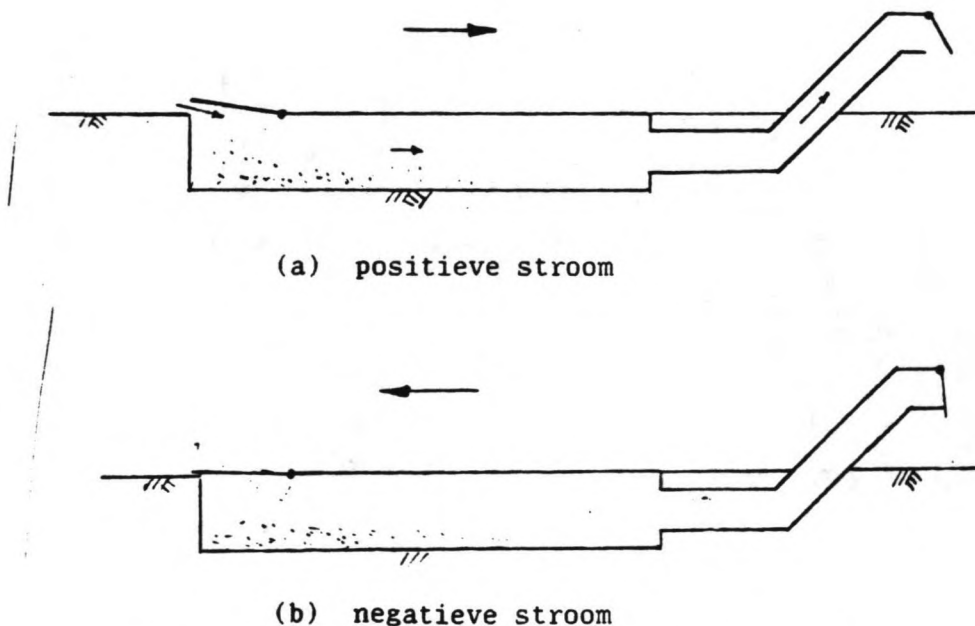
4) Een aan de bak bevestigde (uitstromings)pijp, waarin een debietmeter is geplaatst. De afmeting van de uitstromingspijp is afhankelijk van de toegepast debietmeter.

5) Een scharnierende (terugslag)klep aan de eind van de uitstromingspijp.

6) Twee geleideschotten bij de instromingsopening.

### 5.2.2 Werking van de sampler

De sampler wordt ter meetlokatie in de bodem ingegraven. De onderkant van de opening bevindt zich op hetzelfde niveau als de bodem ligging (fig.-5.3).



figuur-5.3 werking van de sampler in het veld

Als de openingsklep aangestroomd wordt, komt deze in een open stand (tot een zekere vergrendelingshoogte) te staan (fig.-5.3a). De stroomsnelheid van de massa, die inmiddels binnen de bak terecht gekomen is, zal door het vergroten van de stroomoppervlakte sterk reduceren. De zandkorrels bezinken in de bak en zij zullen daarin blijven. Het 'schone' water stroomt via de uitstroompijp uit. De debietmeter registreert de hoeveelheid water dat door de sampler is gestroomd.

Als de stroming van richting omkeert (fig.-5.3b), sluiten zich zowel de openingsklep als de terugslagklep. Binnen de bak zal het water onder negatieve stroming in rust moeten blijven. Wanneer de stroming opnieuw in richting gaat veranderen herhaalt dit proces zich weer.

Het instrument meet dus enkel de 'swash' of, zo men wil, de 'backwash'.

### 5.2.3 Te meten grootheden

Twee grootheden kunnen met deze sampler direct gemeten worden:

1. gewicht van het in meetrichting gedurende een meting (of een tijdsinterval daarvan) getransporteerde zand,  $G_z$  [N].
2. de hoeveelheid door de sampler gestroomd water  $V$  [l].

Uit bovengenoemde gemeten grootheden kunnen de volgende twee gemiddelde waarden afgeleid worden:

- a. de gemiddelde concentratie  $c$  van de gemeten laag [g/l]

$$c = (G_z / g) \div V \quad \{5.1\}$$

waarin  $g$  = de versnelling van de zwaartekracht [ $m/s^2$ ]

- b. het over een halve golfperiode gemiddelde bodemzandtransport  $S$  [ $kg/m^2s$ ]

$$S = (G_z / g) \div (A_{op} t) \quad \{5.2\}$$

$A_{op}$  : grootte van de instroomopening [ $m^2$ ] en

$$A_{op} = h_{op} \times b_{op} \quad \{5.3\}$$

$t$  : duur van de meting [s]

## Hoofdstuk 6

### Theoretische beschouwing

#### 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de theoretische beschouwingen tot het hydraulische aspect beperkt te blijven.

De benodigde gegevens over sheet flow worden zoveel mogelijk uit de literatuur verworven en in de rekenprocessen toegepast. Verondersteld is dat na de plaatsing van de sampler (fig.-6.1) deze geen belangrijke verstoring in de morfologische condities zal doen ontstaan, welke hinderlijk is voor het bemonsteren. Daarom wordt in Hoofdstuk 7 en 8 teruggekomen.

Er is getracht om theoretisch de maten en de vorm aan te geven van een sampler, wel met nauwe oplettendheid voor de resultaten uit het experimentele onderzoek, zodat de uitvoering van de desbetreffende sampler realiseerbaar is en meting met zo'n sampler in het veld ook praktisch zullen zijn.

Daar zoals in 5.1 is vermeld, er al een prototype sampler bestond, is het gedeelte 'experimenteel onderzoek' (zie verder Hoofdstuk 7) voornamelijk met dit bestaande exemplaar uitgevoerd. Ervaringen van dat experimentele gedeelte krijgen echter wel weerspiegelingen in dit hoofdstuk. De behandeling in dit hoofdstuk heeft dus, naast het evalueren van het bestaande exemplaar, vooral een meer algemeen en op de toekomst gericht karakter. De vormgeving en de maten van de behandelde sampler(s) kunnen daarom van verschillende typen en waarden zijn.

In feite komt het op het volgende neer:

- a) Hoe reageert de sampler (desnoods met alternatieve uitvoeringen) op verschillende 'belastingen' (zie 6.3.1).

Gewenst is dat de sampler in hydraulische zin ook geen afwijking van het stromingsbeeld aan de bodem bij de instromingsopening zal geven.

- b) Als de sheet flow laag in de sampler wordt gevangen, in welke mate moet de stroomsnelheid in de bak dan gereduceerd worden (dus hoe groot is de dwarsdoorsnede ?) om de zandkorrels daarin te laten bezinken en

deze bezonken te houden.

In de lengterichting betekent dit, dat de bak een minimum lengte moet hebben om genoeg doorstroom- (dus ook bezink) tijd in de bak te laten ontstaan.

Voor de antwoord op bovengenoemde punt a) wordt er een bewegingsvergelijking voor de sampler opgesteld. In 6.2 wordt deze vergelijking, met een korte beschrijving, gegeven (de afleiding daarvan kan men in het Appendix terugvinden). Het oplossen van de vergelijking komt in 6.3 aan de orde. Het bovengenoemde punt b) zal in 6.4 behandeld worden. Uit de resultaten van 6.3 en 6.4 kunnen theoretisch de vormgeving(en) en maten van de sampler(s) globaal aangegeven worden.

## 6.2 Bewegingsvergelijkingen

### 6.2.1 Bewegingsvergelijking voor niet-stationaire stroming in een uniforme buis

Ter inleiding wordt er de bewegingsvergelijking (de afleiding van deze vergelijking staat in Appendix paragraaf A.3) voor water in een uniforme buis, met verwaarlozingen van vervormingen van het water en de buiswand gegeven:

$$\Delta H - f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} - C_1 \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{6.1\}$$

waarin:

$\Delta H$  : het drukverval [m]

$f$  : coefficient voor het wrijvingsverlies [-]

$C_1$  : coefficient voor het lokaalverlies t.g.v. bocht, obstakel, ect. [-]

$L$  : lengte van de buis [m]

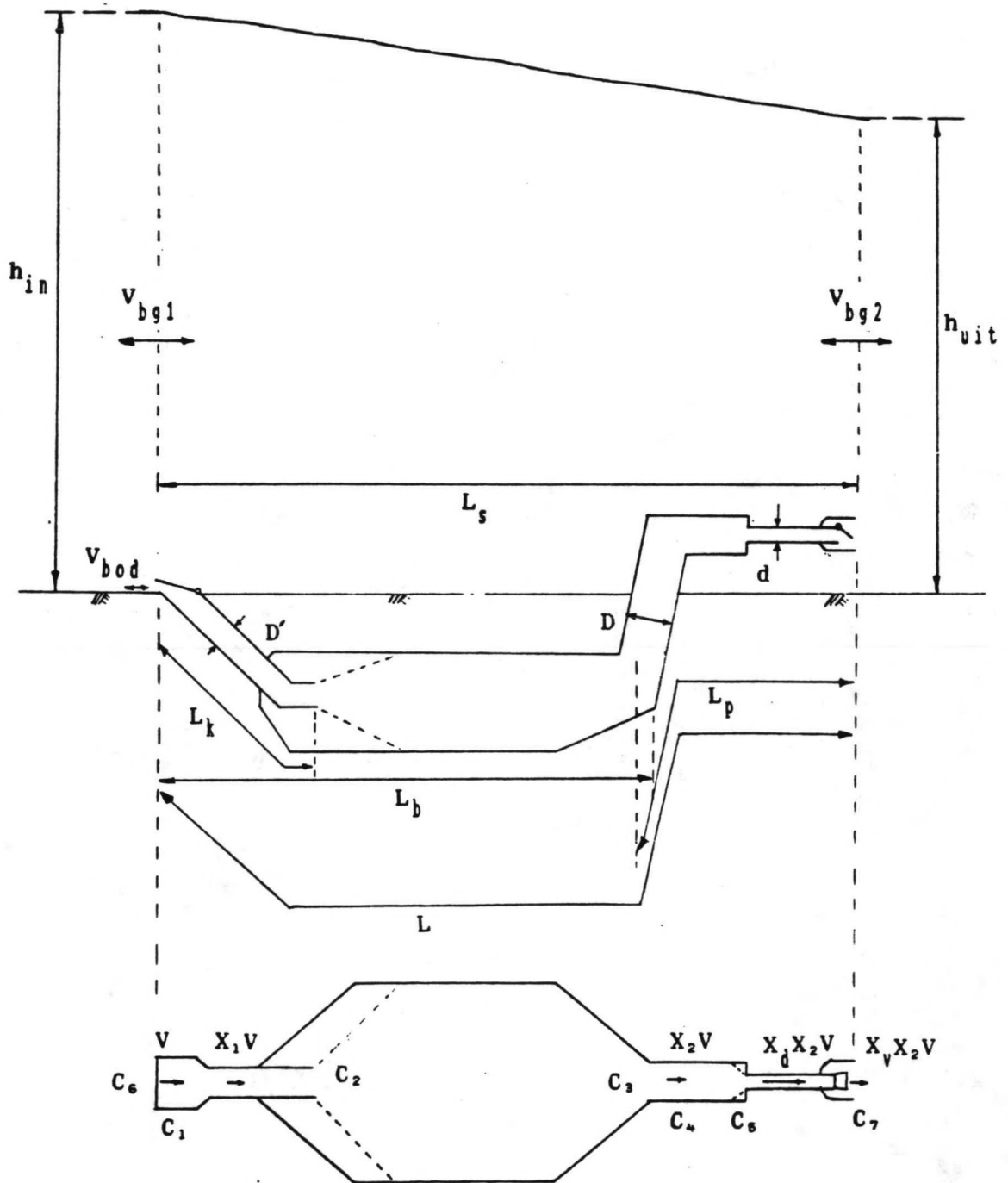
$V$  : de gemiddelde momentane stroomsnelheid in de buis [m/s]

$D$  : diameter van de buis [m]

$g$  : de versnelling t.g.v. de zwaartekracht [m/s<sup>2</sup>]

### 6.2.2 Bewegingsvergelijking voor de sampler

In figuur-6.1 worden de situatie in het veld en de basis-vormgeving van de sampler, waarvan wordt uitgegaan, geschetst. T.o.v. het bestaande exem-



figuur-6.1



plaar zijn er een aantal onderdelen aan deze vormgeving toegevoegd:

- a) een instromingskoker aan de voorkant van de bak
- b) een scherm-huls aan de uitstroming
- c) een eventueel veranderd gedeelte in de uitstromingspijp

Op de redenen van de bovengenoemde wijzigingen zal in de loop van dit hoofdstuk en de volgende twee hoofdstukken (7, 8) teruggekomen worden. De basis-vormgeving (fig.-6.1) kan wel met gemak tot het huidig exemplaar 'gereduceerd' worden, zodat voor het evalueren van dit exemplaar ook vergelijking {6.2} gebruikt zal worden.

De sampler kan beschouwd worden als een buis met variërende grootte van doorsnede. De vergelijking {6.1} zal hier toegepast kunnen worden met in achtneming van het volgende:

- 1). De openings- en terugslagklep moeten zich sluiten bij het omkeren van de orbitaalbeweging in de sampler. Dat betekent dat de sluitingen onder een geringe stroomsnelheid plaats vinden.
- 2). Als er een drukgolf in de sampler ontstaat, kan deze zich gedeeltelijk door de kleppen naar buiten voortplanten. In de sampler ontstaan dus geen noemenswaardige staande drukgolven.
- 3) T.g.v. kleine drukfluctuatie is de vervorming van water door compressie zeker verwaarloosbaar. In de samplerwanden (de bak) zal een eventuele optredende vervorming door doorbuiging ontstaan. Deze kan, als het nodig is, met verstijving van de desbetreffende delen onderdrukt worden.

De bewegingsvergelijking voor de stroming in de sampler wordt dan:

$$\frac{C_6 X_7}{2g} (|V_{bod}| V_{bod} - |V| V) + \frac{C_7}{2g} (|V_{bg2}| V_{bg2} - |X_v X_2 V| X_v X_2 V) + X_5 (h_{in} - h_{uit}) -$$

(a) instroomdruk                      (b) uitstroomdruk                      (c) drukverval

$$\frac{X_2^2 X_3 fL}{2gD} |V| V - \frac{(C_1 X_7 + C_2 X_7 X_1^2 + C_3 X_2^2 + C_4 X_2^2 + C_5 X_d^2 X_2^2)}{2g} |V| V = \frac{X_4 L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{6.2\}$$

(d) wrijving                      (e) locale verliezen                      (f) traagheid

De afleiding van deze vergelijking en toelichting over de, grootten van de parameters kunnen in het Appendix (A.3) teruggevonden worden. Hier volgt een beschrijving van de betekenis van de termen (a) t/m (f) uit {6.2} en daarin voorkomde parameters.

Term (a)  $\frac{C_6 X_7}{2g} (|V_{bod}| V_{bod} - |V|V)$  instroomdruk

Deze term stelt voor: het overdragen van impulsie tussen het aanwezige bewegende zand-watermengsel laag aan de bodem en de vloeistof in de sampler ter plaatse van de instromingsopening van de sampler.

$C_6$  : de coefficient van het overdrachtsproces [-].

$g$  : de versnelling t.g.v. de zwaartekracht [ $m/s^2$ ].

$V$  : de instroomsnelheid [ $m/s$ ].

$V_{bod}$  : de gemiddelde orbitaalbeweging van de gemeten zand-watermengsel laag bij de bodem [ $m/s$ ].

$X_7$  : de coefficient voor het uitdrukken van het dichtheidsverschil tussen het instromende zand-watermengsel en het water [-].

Term (b)  $\frac{C_7}{2g} (|V_{bg2}| V_{bg2} - |X_v X_2 V| X_v X_2 V)$  uitstroomdruk

Deze term geeft de impulsie overdracht ter plaatse van de (uitstroom) terugslagklep aan.

$C_7$  : de coefficient voor de impulsie uitwisseling t.p.v. de terugslagklep [-].

$V_{bg2}$  : de orbitaalbeweging ver buiten de grenslaag bij de terugslagklep [ $m/s$ ].

$X_v$  : de verhouding tussen de doorsneden van de uitstromingspijp en bij de uitstroming [-].

$X_2$  : de verhouding tussen de doorsneden van de instromingsopening en de uitstromingspijp [-].

Term (c)  $X_5 (h_{in} - h_{uit})$  drukverval

Dit is het drukverval tussen de instroming en de uitstroming door het hoogte verschil in de waterspiegel.

$h_{in}$  : de waterdiepte bij de instroming (zie figuur-6.1) [ $m$ ].

$h_{uit}$  : de waterdiepte bij de uitstroming [ $m$ ].

$X_5$  : de coefficient van de afwijking voor het drukverschil van dit verval t.o.v. de situatie onder een hydrostatische drukverdeling [-].

Term (d)  $\frac{X_2^2 X_3 f L}{2gD} |V|V$  wrijving

Deze uitdrukking is de bijdrage van het wrijvingsverlies.

D : de diameter van de uitstromingspijp [m].

f : de coefficient van het wrijvingsverlies voor de uitstromingspijp [-].

L : de lengte van de sampler [m].

$X_3$  : de correctie voor het wrijvingsverlies i.v.m. de afwijking van de sampler t.o.v. een uniforme buis [-].

Term (e)  $\frac{(C_1 X_7 + C_2 X_7 X_1^2 + C_3 X_2^2 + C_4 X_2^2 + C_5 X_d^2 X_2^2)}{2g} |V|V$  lokale verliezen

Deze zijn de lokale energieverliezen, t.g.v. vertraging, versnelling en bochten, in de sampler.

$C_1$  : de verliescoefficient bij de instroming [-].

$C_2$  : de verliescoefficient bij de overgang instromingskoker-bak [-].

$C_3$  : de verliescoefficient bij de overgang bak-uitstromingspijp [-].

$C_4$  : de verliescoefficient t.g.v. de bochten in de uitstromingspijp [-].

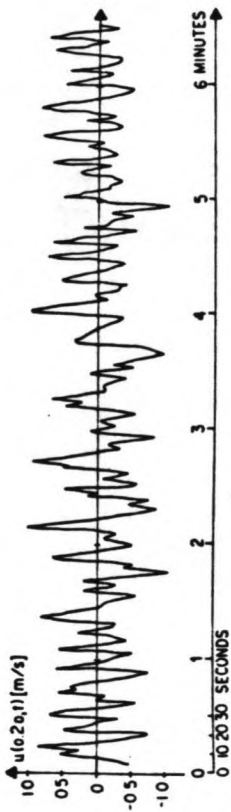
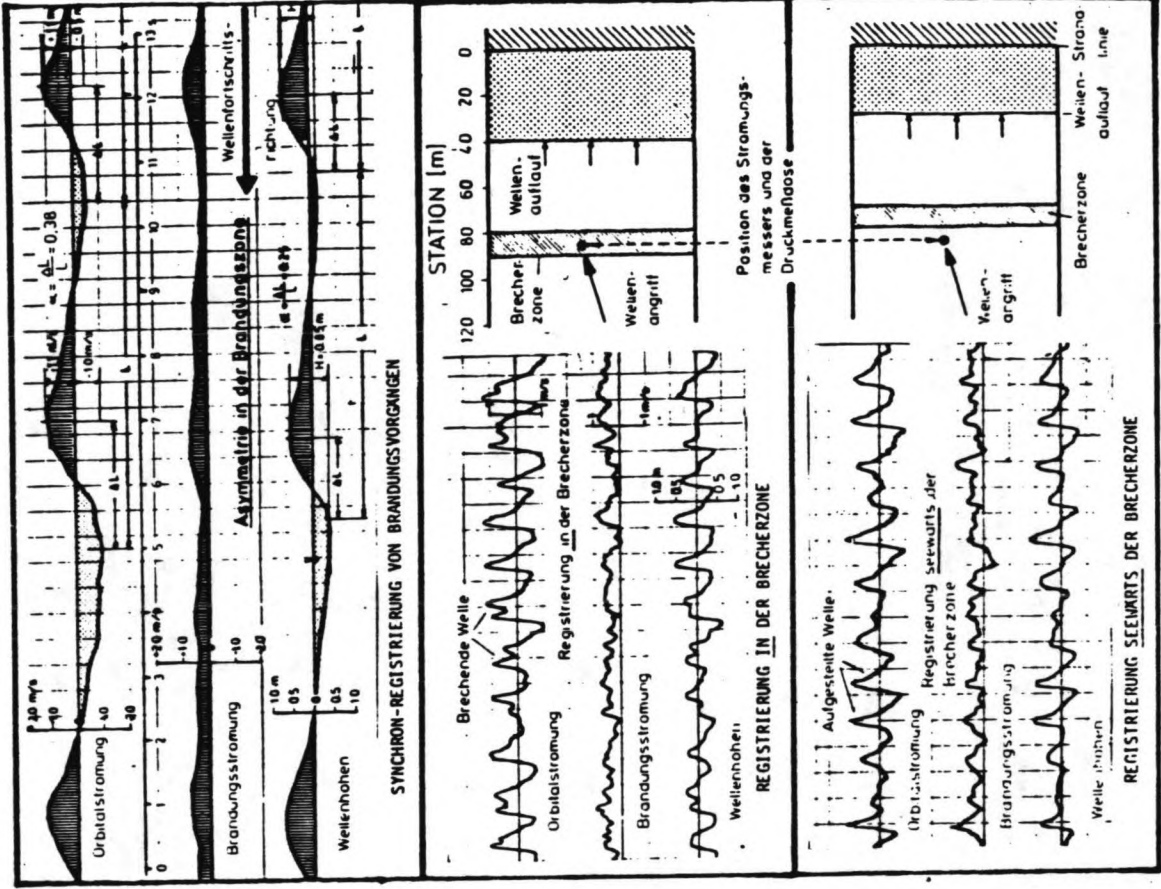
$C_5$  : de verliescoefficient in de uitstromingspijp t.g.v. een eventuele vernauwing [-].

$X_d$  : de verhouding tussen de twee van elkaar afwijkende doorsneden in de uitstromingspijp [-]

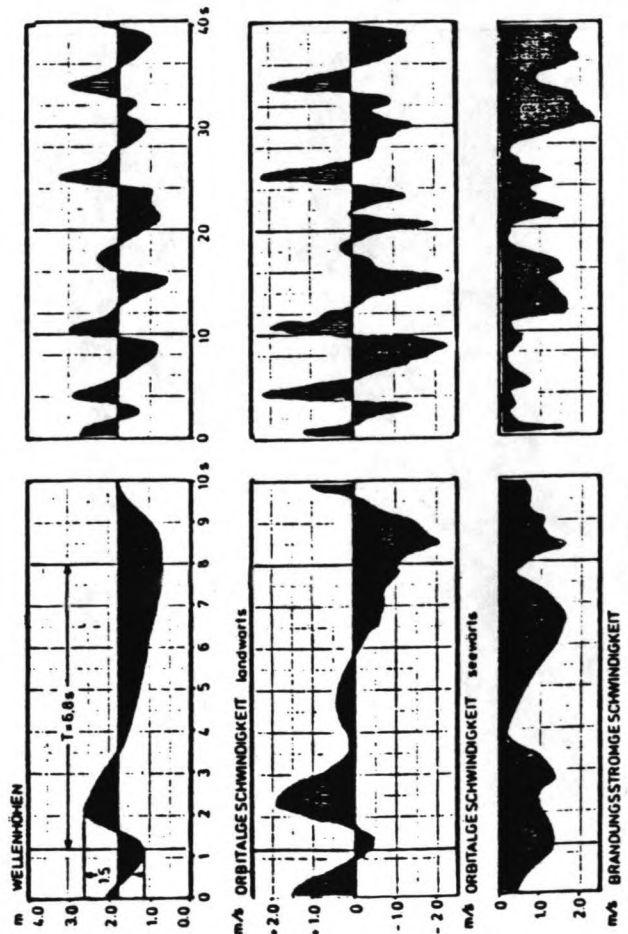
Term (f)  $\frac{X_4 L}{g} \frac{dV}{dt}$  traagheid

Deze is de versnelling van de massa in de sampler (traagheidsterm).

$X_4$  : de correctie voor de traagheid i.v.m. de afwijking van sampler t.o.v. een uniforme buis [-].



(a) Simultaneous time series of shore-normal velocities



(b) Beispiel einer Synchron-Registrierung von Wellenhöhen, Orbitalgeschwindigkeiten und Brandungsströmungen in der Brecherzone

Figur-6.2

(c) Registrierung von Wellenhöhen, Orbitalströmungen und Brandungsströmungen

### 6.3 Het oplossen van de vergelijking

Een kort computerprogramma is voor het oplossen van {6.2} geschreven. Dit wordt in Par. A.4 behandeld. In het volgende zullen de belastingen (6.3.1) en de parameters (6.3.2) toegelicht worden. Daarna worden de oplossingen van {6.2} onder verschillende belastingsgevallen met variërende uitvoeringen van de sampler in 6.3.3 globaal geanalyseerd.

#### 6.3.1 De belastingen (de randvoorwaarden voor het oplossen)

De massa in de sampler zal steeds in beweging en weer in rust (zie 5.2.2) gebracht moeten worden. Daar zijn uitwendige krachten voor nodig. De krachten kunnen alleen door de hydraulische belastingen ter plaatse van de sampler geleverd worden. Deze zijn een viertal (fig.-6.1):

- 1) de statische waterdruk bij de instroming.

Deze wordt veroorzaakt door de aanwezige waterdiepte.

- 2) de orbitaalbeweging voor de instromingsopening aan de bodem.

Deze kan ontstaan door het verschil tussen de instroomsnelheid en de aanwezige orbitaalbeweging voor de instroming (zie verder Par. A.3.1).

- 3) de waterdruk bij de uitstroming.

Zie onder 1).

- 4) de orbitaalbeweging, t.p.v. de uitstromingsklep, buiten de grenslaag.

Hier is de uitstroomsnelheid meestal niet gelijk aan de aanwezige orbitaalbeweging.

Van de vier belastingen in situ zijn er niet veel bekend. Er zijn wel dicht bij de kust en in de strandzone metingen van de snelheid op ca. 0.3-0.5 m boven de zeebodem en de daarbij behorende druk uitgevoerd (bv. door bv. WL bij Groote Keeten, Nielsen ([14], fig.-6.2a) en Dette ([5] fig.-6.2b en c). Natuurmetingen betreffende snelheid zeer dicht bij de bodem (zie verder Par. A.3.1) ontbreken in de literatuur nog. De term  $h_{in} - h_{uit}$  (het verloop van de hydraulische drukgradient over een afstand van ca. 0.5 m in on-offshorerichting  $L_s$  (afstand tussen in- en uitstroming van de sampler) is ook niet te vinden. Dus meetgegevens van een combinatie van alle vier be-

lastingen zijn er niet.

Met ongebroken golven kan een belastingscombinatie nog m.b.v. theorie omtrent de voortplantingssnelheid en de fasen verschillen tussen de belastingen berekend worden.

In het geval van brekende of gebroken golf is het echter nauwelijks nog mogelijk om relaties tussen de grootheden 1 t/m 4 te berekenen.

Ook als er wel meetresultaten van zo'n combinatie beschikbaar zouden zijn, zal de situatie later bij de meting met de sampler in het veld anders kunnen zijn. In het oplossingsproces worden daarom verschillende combinaties van die belastingen gebruikt.

De geschematiseerde belastingscombinaties, waarmee berekeningen aangaande de responsies zullen worden uitgevoerd, kunnen op twee wijzen worden getypeerd.

1) Het eerste type heeft redelijke verhoudingen tussen de belastingen. De redeneringen aangaande deze verhoudingen zullen in het Appendix bij het toekennen van de waarden voor de parameters behandeld worden.

2) Daarnaast zijn nog enige waarschijnlijk minder realistische belastingsgevallen beproefd, ten einde de gevoeligheid van het instrument te onderzoeken. Tevens wordt hierbij geanticipeerd op verrassingen bij toekomstige metingen.

### 6.3.2 De parameters

Voor het oplossen van de bewegingsvergelijking moet aan iedere parameter een numerieke waarde toegekend worden. De grootten van de waarden zullen in het Appendix uitvoerig behandeld worden. In deze paragraaf worden de aard van de parameters en de achtergrond bij de keuzen van de waarden voor de parameters toegelicht.

Twee soorten parameters in de bewegingsvergelijking kunnen onderscheiden worden:

a) De eerste soort parameters hangen nauw samen met de randvoorwaarden, waaraan het instrument is blootgesteld. Sommige ervan kunnen onderling op een of andere manier afhankelijk zijn. Aan deze parameters zouden eigenlijk tijdens het oplossen van de

vergelijking reële waarden uit de natuurlijke processen aangegeven moeten worden. Deze zullen 'belasting-parameters' worden genoemd.

b) De tweede soort parameters hangen voornamelijk af van de dimensionering van het instrument. Dit zijn de 'sampler-parameters'.

ad a) De belasting-parameters zijn:  $V_{bg2}$ ;  $V_{bod}$ ;  $h_{in}$ ;  $h_{uit}$ ;  $X_5$ ;  $X_7$ .

Toelichtingen daarover wordt gegeven in 6.3.1 en A.3.

ad b) De resterende parameters kunnen onder de tweede groep worden genoemd.

Hoewel de waarden van deze parameters voor een bepaalde uitvoering theoretisch benaderd kunnen worden, bezitten zij echter in grote mate een experimenteel karakter. In het Appendix worden de grenzen van de grootten voor de parameters en daarbij behorende uitvoeringen gegeven. De kwalitatieve bepaling van een paar van deze soort parameters is uit de proeven van Hoofdstuk 7 te vinden. Bij Hoofdstuk 8 worden de proef opstellingen voor het verdere bepalen van de parameters met de nieuwe uitvoering van de sampler toegelicht. De in de rekenprocessen toegepaste waarden kunnen, tenzij anders vermeld, met 'normaal' materialen en fabricageprocessen gerealiseerd worden.

### 6.3.3 Oplossingen en toelichtingen voor een aantal belastingsgevallen met verschillende sampler-parameters

Oplossingen zullen in deze paragraaf of in Bijlage I (de variante uitvoeringen) grafisch weergegeven worden. Figuren met index 'a' geven de geschematiseerde orbitaalbeweging aan de bodem  $V_{bod}$ , de instroomsnelheid  $V$ , de orbitaalbeweging buiten de grenslaag bij de instroming  $V_{bg1}$  en de afwijking tussen  $V$  en  $V_{bod}$  aan. In de figuren met index 'b' is het verloop van Term (a) t/m (f) van {6.2} getekend. De snelheden ( $V_{bg1}$ ,  $V_{bg2}$ ) en waterstanden ( $h_{in}$ ,  $h_{uit}$ ) bij in- en uitstroming kan men in die figuren met index 'c' terugvinden. In een figuur zijn steeds de resultaten voor 3 verschillende perioden ( $T = 5, 7$  en  $9$  s) gepresenteerd. Daar de figuren op een mechanische wijze zijn getekend, m.b.v. een bestaande computerprogramma, betekende dit, dat enige concessies aan de duidelijkheid van de presentatie moesten worden gedaan.

Dit geldt met name voor de weergeven van de fase op de horizontale as. Achtereenvolgens zijn in dezelfde figuur berekeningen uitgevoerd voor 3 verschillende golfperioden. Deze zijn aansluitend uitgezet (steeds een golfperiode registratie), waarbij aan deze berekeningen de fasen "-90° tot 270°, 270° tot 630° en 630° tot 990°" zijn toegekend.

Belangrijke parameterswaarden zijn in tabel-B.1 van Bijlage I uiteengezet en de beschrijving voor deze parameters (met dezelfde volgorde als die in tabel-B.1) is daar ook gegeven. Meer toelichting daarover vindt men in het Appendix terug. Veranderde parameterswaarden bij variante uitvoeringen zullen bij toelichting van de rekenresultaten aangestipt worden.

Eerst wordt bekeken, hoe de sampler onder lopende golven reageert (6.3.3.1) en daarna in de golftunnel (6.3.3.2). De lopende golven worden eerst door een sinusvorm benaderd (6.3.3.1a) en daarna wordt de invloed van de afwijking van de sinusvorm beschouwd.

#### 6.3.3.1 Sampler onder lopende golven

##### 6.3.3.1a Sinusvormige belastingen

Onder de sinusvormige belastingen worden verstaan dat zowel de afwijking van de waterspiegel, (door de voortplanting van de korte oppervlakte golven), t.o.v. vlak wateroppervlak als de daardoor ontstaande orbitaalbeweging in een bepaalde plaats sinusfuncties van de tijd zijn.

De belastingen worden dan:

- 1) de waterdiepte bij de instromingsopening:

$$h_{in} = h + (H/2) \sin(2\pi t/T) \quad \{6.3\}$$

waarin:

h : de periode-gemiddelde waterdiepte [m],

H : de golfhoogte [m],

t : tijd [s],

T : de golfperiode [s].

- 2) de orbitaalbeweging bij de instromingsopening aan de bodem:

$$V_{bod} = \hat{V}_{bod} \sin(2\pi t/T + \alpha_2) \quad \{6.4\}$$



waarin:

$\hat{V}_{bod}$  : de amplitude van de gemeten orbitaalbeweging [m/s],

$\alpha_2$  : het faseverschil tussen de orbitaalbewegingen aan de bodem en buiten de grenslaag bij de instroming (zie A.3.1b) [rad].

3) de waterdiepte bij de uitstroming:

$$h_{uit} = h + (H/2) \sin(2\pi t/T + \alpha_1) \quad \{6.5\}$$

waarin:

$\alpha_1$  : het faseverschil tussen de instroming en de uitstroming [rad].

4) de orbitaalbeweging langs de uitstromingsklep buiten de grenslaag:

$$V_{bg2} = \hat{V}_{bg2} \sin(2\pi t/T + \alpha_1) \quad \{6.6\}$$

waarin:

$\hat{V}_{bg2}$  : de amplitude van de orbitaalbeweging bij de uitstromingsklep [m/s].

De relaties tussen de belastingen en de golfconditie in dit geval wordt verder als volgt uit gewerkt:

de voortplantingssnelheid  $c$  van korte golven in ondiepwater is:

$$c = \sqrt{g h} \quad \{6.7\}$$

de golflengte:

$$\lambda = c T = \sqrt{gh} T \quad \{6.8\}$$

de amplitude van de orbitaalbeweging buiten de grenslaag is:

$$\hat{V}_{bg} = \pi H / (khT) \quad \{6.9\}$$

waarin:  $k$  is het golfgetal [ $m^{-1}$ ] en

$$k = 2 \pi / \lambda \quad \{6.10\}$$

met {6.8} en {6.10} kan {6.9} herschreven worden:

$$\hat{V}_{bg} = (H/2) \sqrt{g / h} \quad \{6.11\}$$

In de berekening is echter een coefficient  $X_e$  toegevoegd om de gevoeligheid van het rekenresultaat door eventuele afwijking in de lineariteit van vgl {6.11} uit te drukken. Vergelijking {6.11} wordt:

$$\hat{V}_{bg} = (X_e H/2) \sqrt{g / h} \quad \{6.12\}$$

— de bestaande sampler

Het open- en sluitmechanisme van de instroom- en terugslagklep van het huidige exemplaar werkt nog niet optimaal, daar wordt in Par. 8.2 uitvoerig op terug gekomen. Het oplosproces is geschied m.b.v. het in figuur-A.22 gegeven stroomdiagram. Om redenen, die in Par. 8.2.1 zullen worden uitgelegd, zullen de met de sampler in het veld gemeten instroomsnelheden (tabel-7.3 en tabel-7.4) waarschijnlijk niet in verhouding zijn met het berekende resultaat.

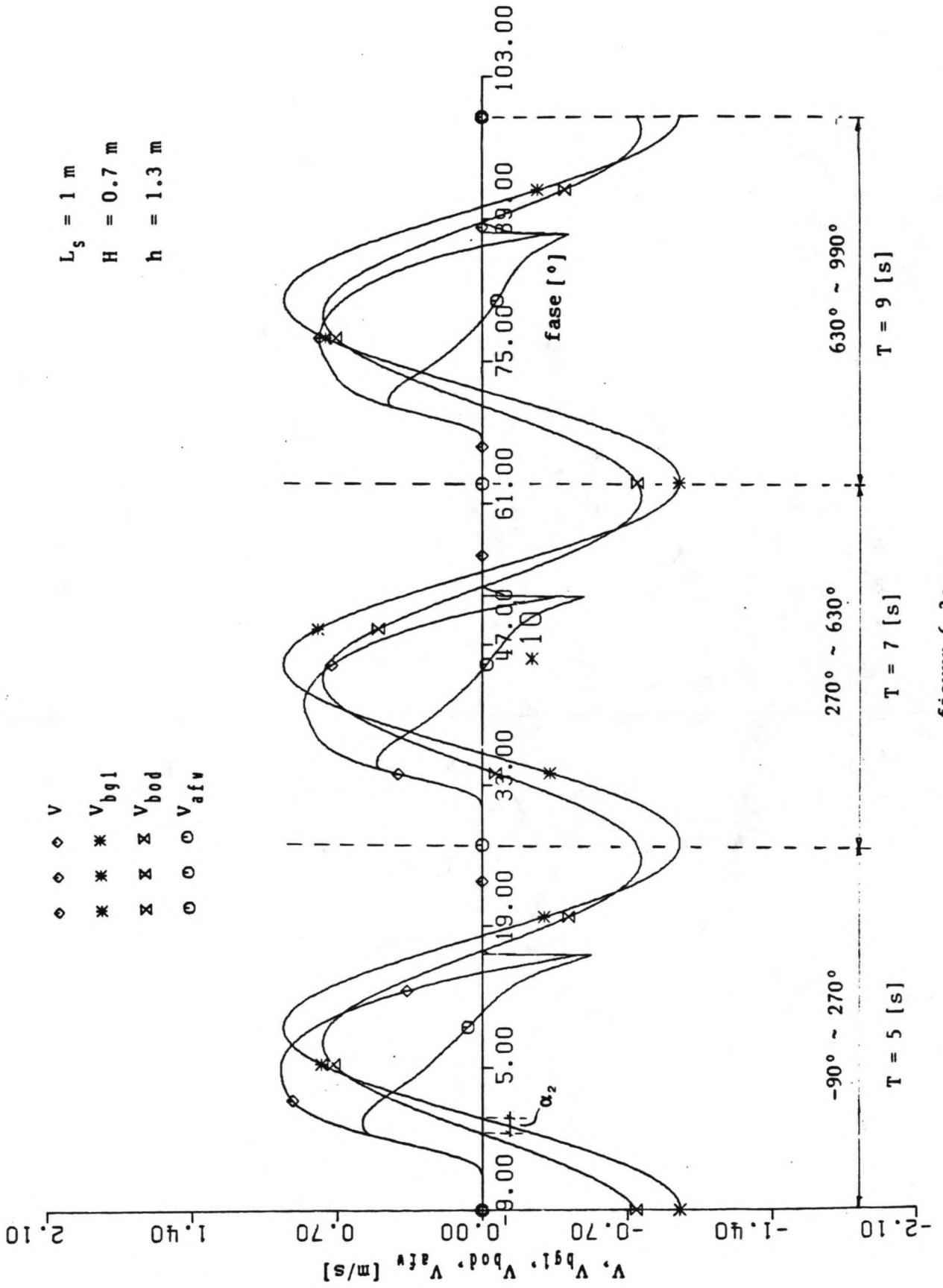
In figuur-6.3 is de oplossing voor de bestaande sampler onder een sinusvormige belasting weergegeven. Golfhoogte  $H$  resp. waterdiepte  $h$  hebben hier de waarde van 0.7 m resp. 1.3 m. De verhouding tussen de orbitaalbewegingen aan de bodem en die buiten de grenslaag  $X_0$  krijgt de waarde 0.8, want de onderkant van de instroming ligt bij deze (sampler) uitvoering meestal wat boven het niveau van de oorspronkelijke bodem (zie 8.2.2 en tabel-A.2). Het faseverschil tussen boven genoemde twee bewegingen  $\alpha_2$  is hier  $15^\circ$ . Bij de instroming wordt voor de verliescoëfficiënt  $f_1$  (zie toelichting van tabel-B.1) onder positieve instroming de waarde 0.8 aangehouden en aan de afstand tussen in- en uitstroming  $L_s$  wordt de waarde van 1 m gegeven.

Uit figuur-6.3a blijkt dat de instroom  $V$  een te grote waarde en een te vroege fase t.o.v. de aanwezige orbitaalbeweging  $V_{bod}$  heeft. Deze afwijkingen zijn hoofdzakelijk veroorzaakt door een grote  $L_s$ . De statische druk (Term (c), fig.-6.3b) wint met ruime mate van de negatieve aanstroomdruk (Term (b)). Met toenemende golflengte wordt dit verschijnsel minder en dit is duidelijk waar te nemen in figuur-6.3c: het faseverschil tussen de in- en uitstroming  $\alpha_1$  wordt kleiner, de invloed van Term (b) (uistroomdruk) blijft nagenoeg hetzelfde (zie vgl {6.12}) maar  $h_{in}$  ({6.3}) en  $h_{uit}$  ({6.5}) worden meer gelijk en het drukverschil  $h_{in} - h_{uit}$  loopt terug. Dit is weerspiegeld in het verloop  $V$ : de amplitude daarvan wordt steeds lager naar mate de golf langer wordt.

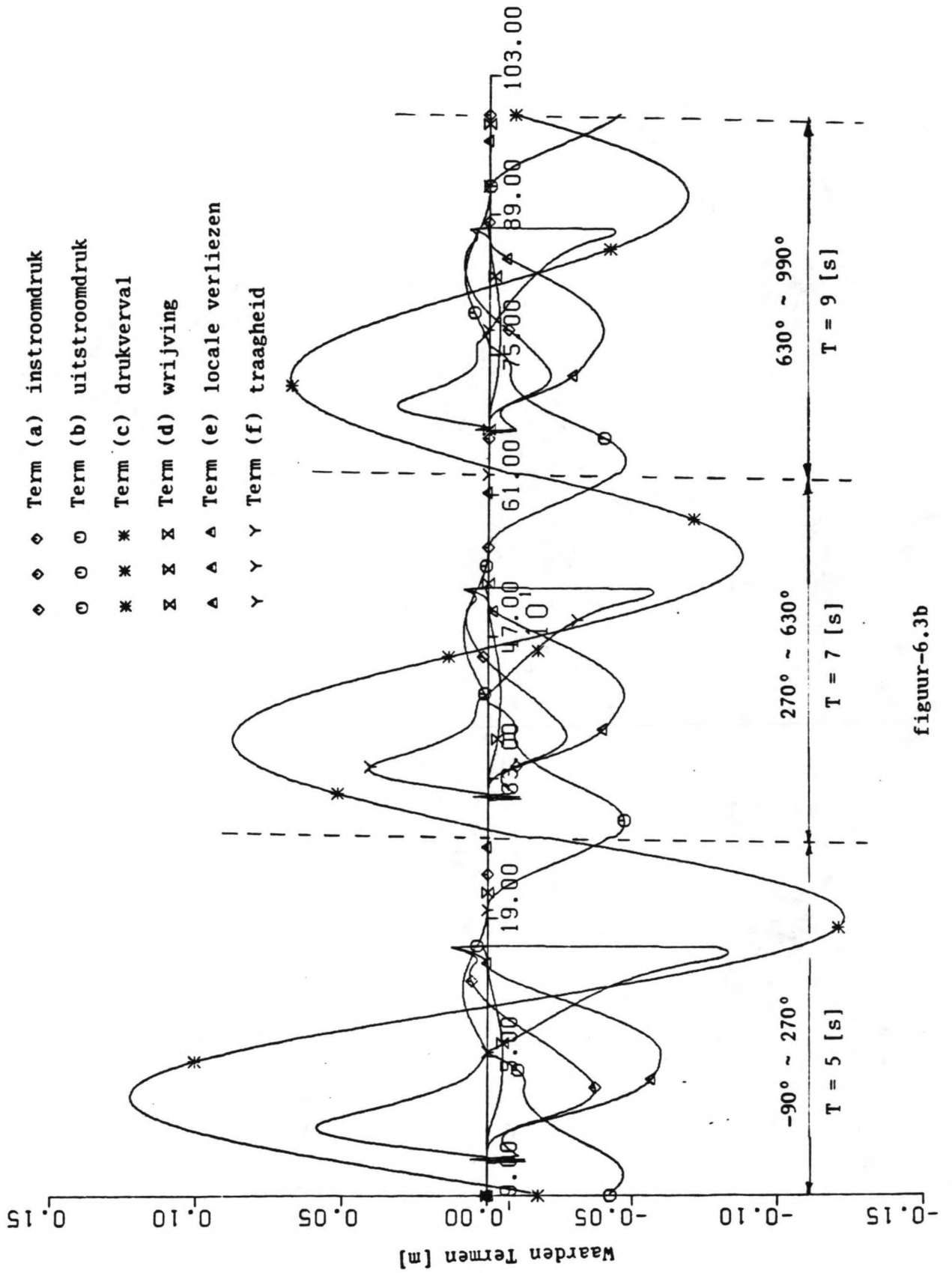
De oplossing met verliescoëfficiënt  $f_1 = 1$  (andere parameters blijven ongewijzigd) wordt in figuur-B.1 (zie achteraan, blz B-6) weergegeven. De verandering in  $f_1$  (van 0.8 tot 1) is 25% en de amplitude van de instroming verandert

$L_s = 1 \text{ m}$   
 $H = 0.7 \text{ m}$   
 $h = 1.3 \text{ m}$

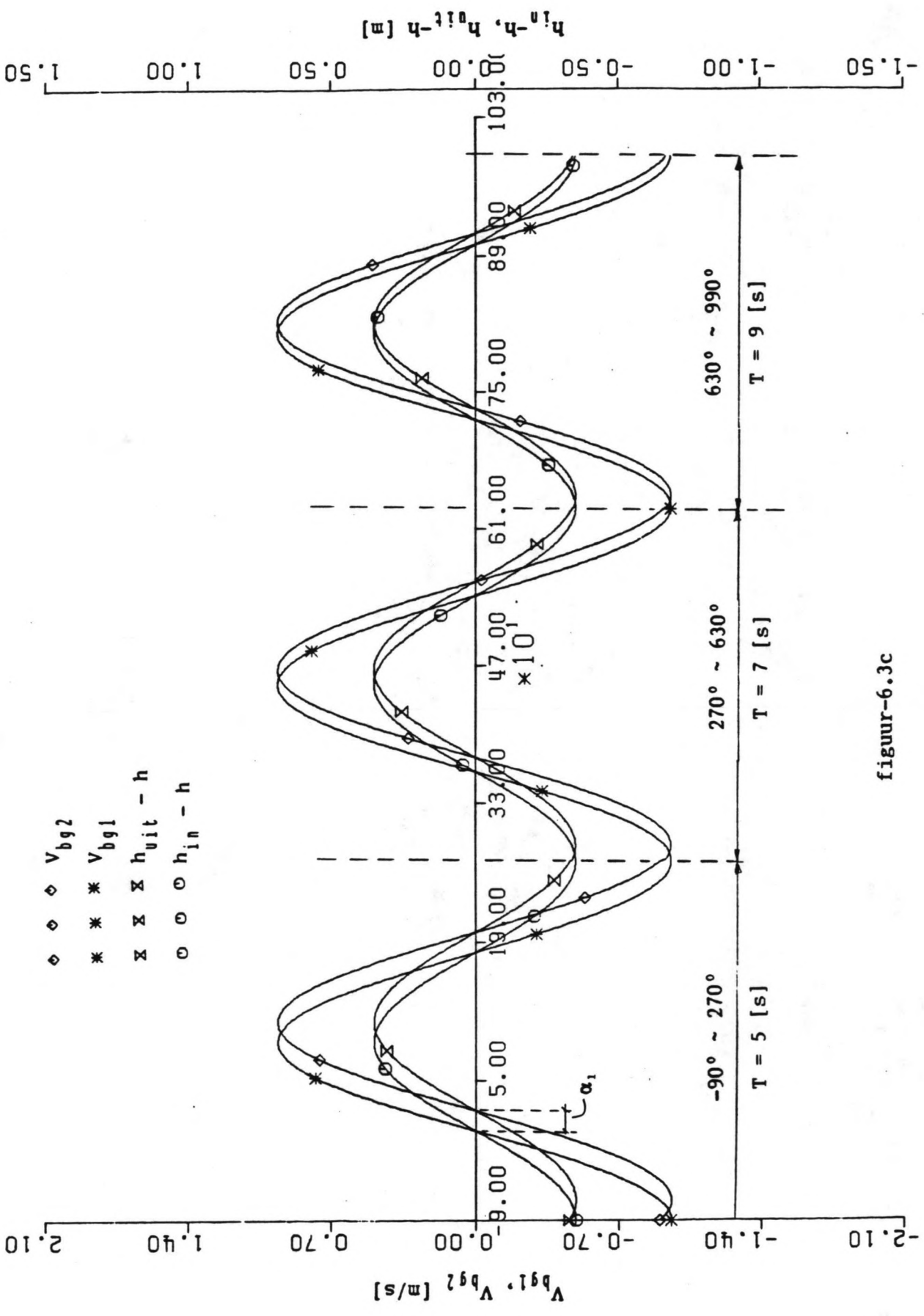
◇ ◇ V  
 \* \*  $V_{bg1}$   
 x x  $V_{bod}$   
 ○ ○  $V_{afv}$



figuur-6.3a



figuur-6.3b



figuur-6.3c

daardoor met ca. 4%. Hieruit blijkt, dat de grote afwijking tussen  $V$  en  $V_{bod}$  echter niet door een foutief geschatte waarde van verliescoëfficiënt zal ontstaan kunnen zijn.

Figuur-B.2 geeft een oplossing onder andere conditie weer. Nu zijn volgende parameters gewijzigd t.o.v. die van de oplossing uit figuur-6.3:

$\alpha_2 = 20^\circ$ ,  $H = 1$  m,  $h = 2$  m en  $X_e = 0.6$ .

De fout van de instroming heeft dezelfde orde van grootte.

De maten van een eventueel nieuw ontwerp voor de sampler moeten dus anders zijn dan die van het huidige exemplaar.

#### — nieuwe uitvoering sampler

In figuur-6.4a is de afwijking tussen  $V$  en  $V_{bod}$  klein. Dit wordt voornamelijk bereikt door het veranderen van de afstand tussen in- en uitstroming,  $L_s$  is nu 0.35 m. Verder heeft de sampler bij deze uitvoering grote traagheid. Vormgeving van de uitvoering komt overeen met die in figuur-6.1 gegeven is. Van de gebruikte waarden voor sampler-parameters (o.a. verliescoëfficiënten) wordt gedacht dat deze ook realiseerbaar zijn en dat de maten praktisch zijn voor het gebruik in het veld. Meer daarover zal in Hfd 7, 8 en het Appendix behandeld worden.

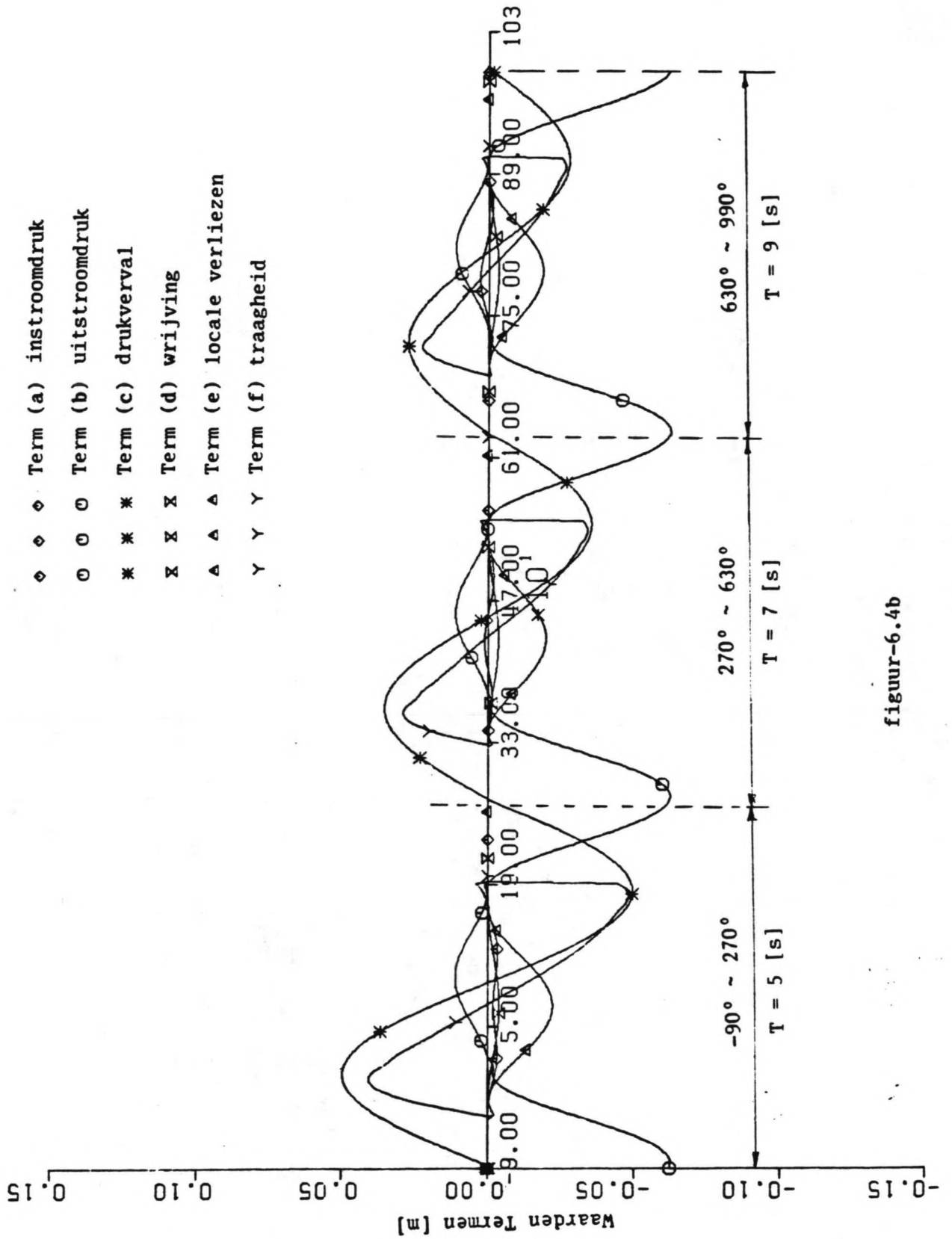
De hydraulische conditie is hier:  $H = 1$  m,  $h = 2$  m.

De tendens: "hoe langer de golf hoe (relatief) minder de instroming  $V$ " is nu ook duidelijk aanwezig. De amplitude van de instroom met golfperiode van 9 seconden is ca. 3% resp. 10% kleiner dan die onder golfperiode van 7 resp. 5 seconden. De positieve  $V_{afw}$  bij begin van positieve  $V_{bod}$  wijst op een wat (te) grote  $L_s$  en die bij het einde van positieve  $V_{bod}$  wijst op wat (te) grote traagheid of een grote afzuigingscoëfficiënt  $f_{13}$ . Relatief lagere of negatieve  $V_{afw}$  in het midden komt door een (te) groot weerstandverlies.

Door (alleen) een grotere  $L_s$ , dat wordt nu 0.4 m, wordt de instroming  $V$  in zijn totaliteit groter en de fase daarvan is enigermate naarvoren geschoven (hogere  $V_{afw}$  bij het begin en lagere  $V_{afw}$  aan de einde, fig.-B.3). Het tegengestelde effect (fig.-B.4) kan verkregen worden door toepassing van een kleinere  $L_s$ , deze is hier 0.3 m.

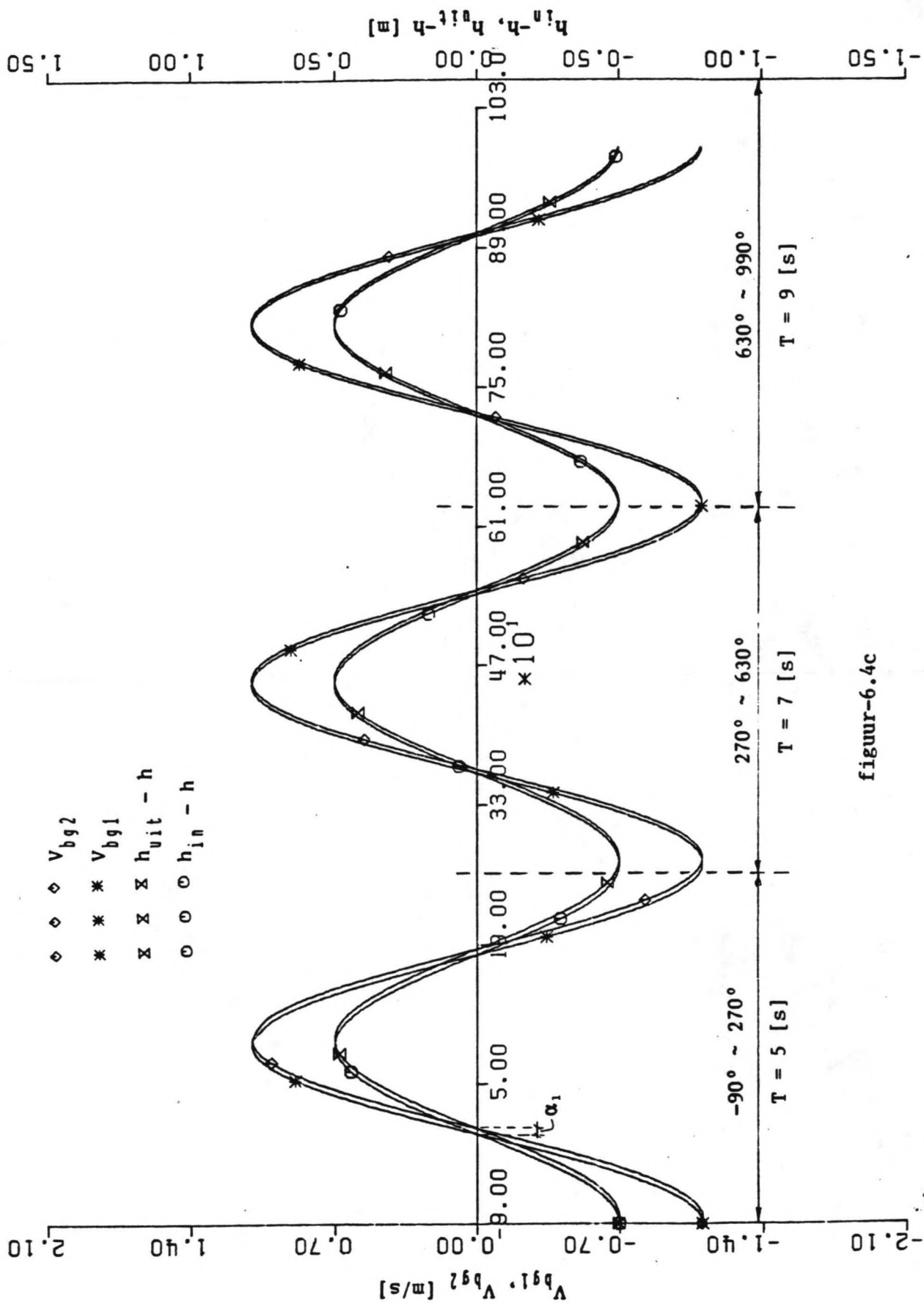
Figuur-6.5 geeft de oplossing voor dezelfde uitvoering als die van fi-





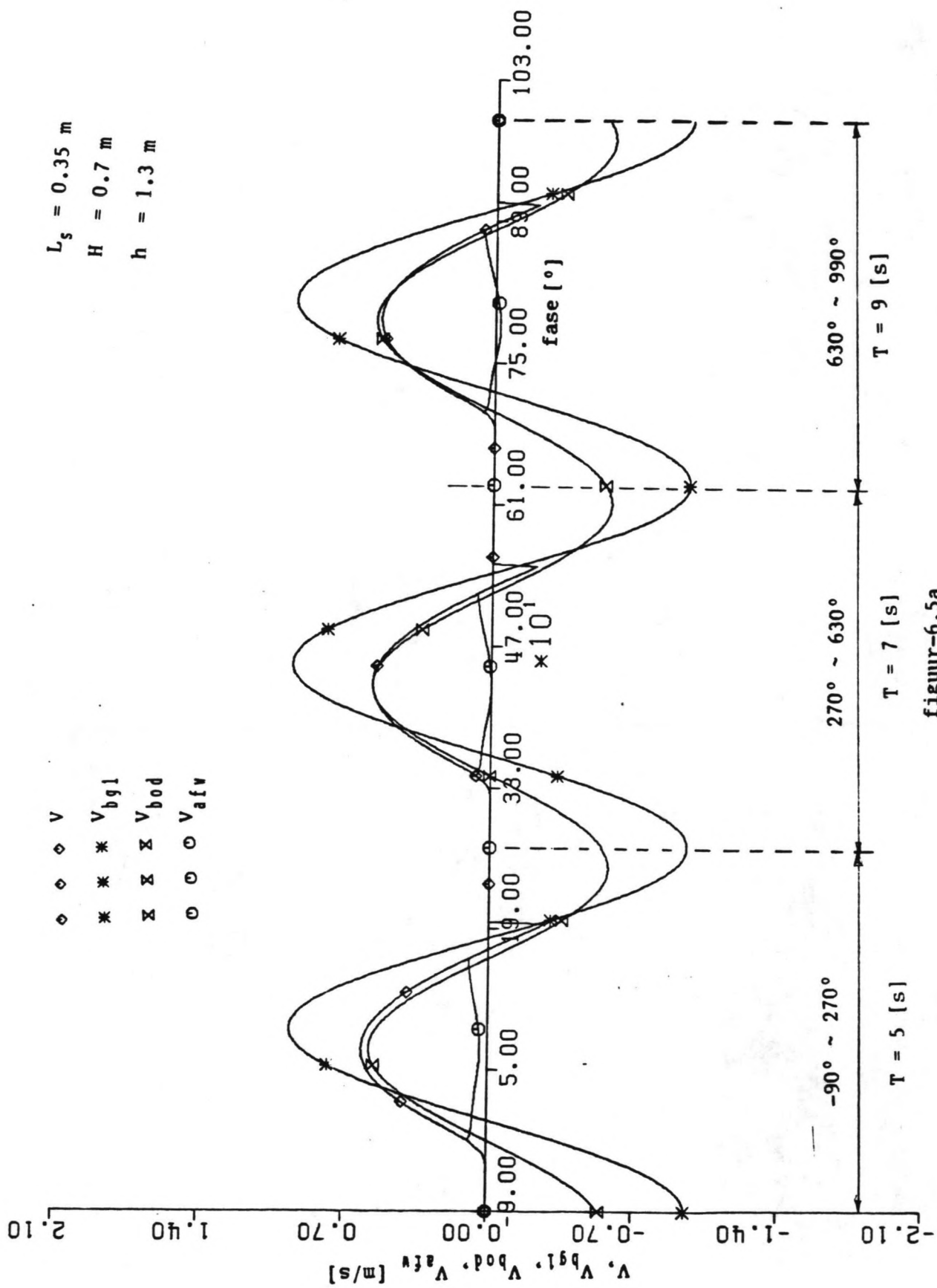
figuur-6.4b



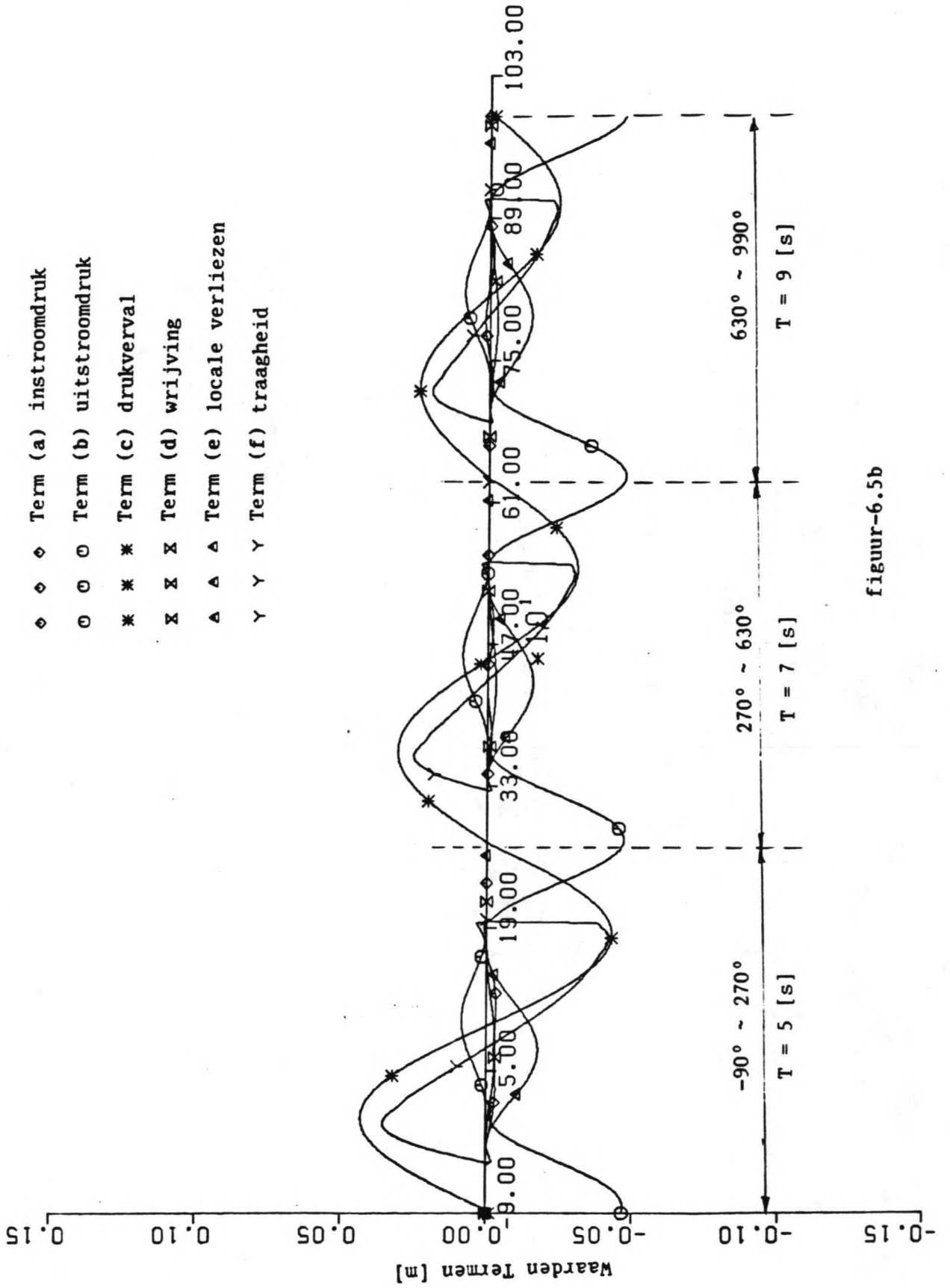


figuur-6.4c

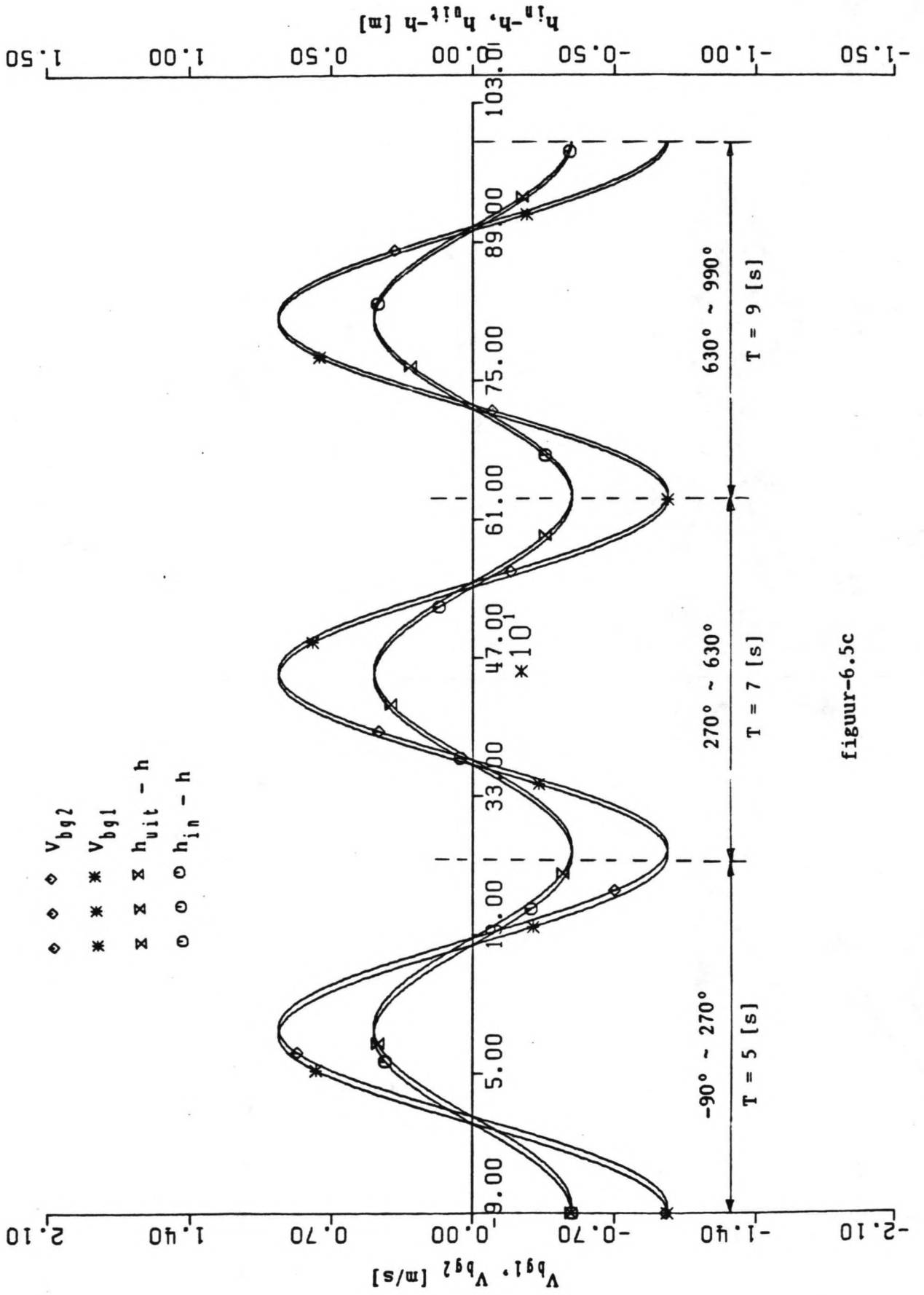
$L_s = 0.35 \text{ m}$   
 $H = 0.7 \text{ m}$   
 $h = 1.3 \text{ m}$



figuur-6.5a



figuur-6.5b



figuur-6.5c

guur-6.4 weer. Nu is alleen waterdiepte resp. golfhoogte 1.3 m resp. 0.7 m geworden. Het verloop van  $V_{afw}$  ligt onder deze conditie wat hoger dan in figuur-6.4, maar een noemenswaardig verschil is er niet aanwezig. Ook de veranderingen van  $V_{afw}$  t.g.v. een grotere  $L_s$  (0.4 m, fig.-B.5) resp. kleinere  $L_s$  (0.3 m, fig.-B.6) gedragen zich hetzelfde als die onder vorige hydraulische conditie, zie figuur-B.3 resp. figuur-B.4.

In figuur-B.7 is de uitstroompijp verlengd, vergeleken bij de vorige gevallen ( $L_p = 0.7$  m in fig.-B.7 en 0.6 m in de vorige beproefde gevallen). Daardoor wordt de instroming  $V$  wat onderdrukt (fig.-B.7) en naar achteren geschoven. In figuur-B.8,  $L_p = 0.8$  m, is dit verschijnsel nog duidelijker.

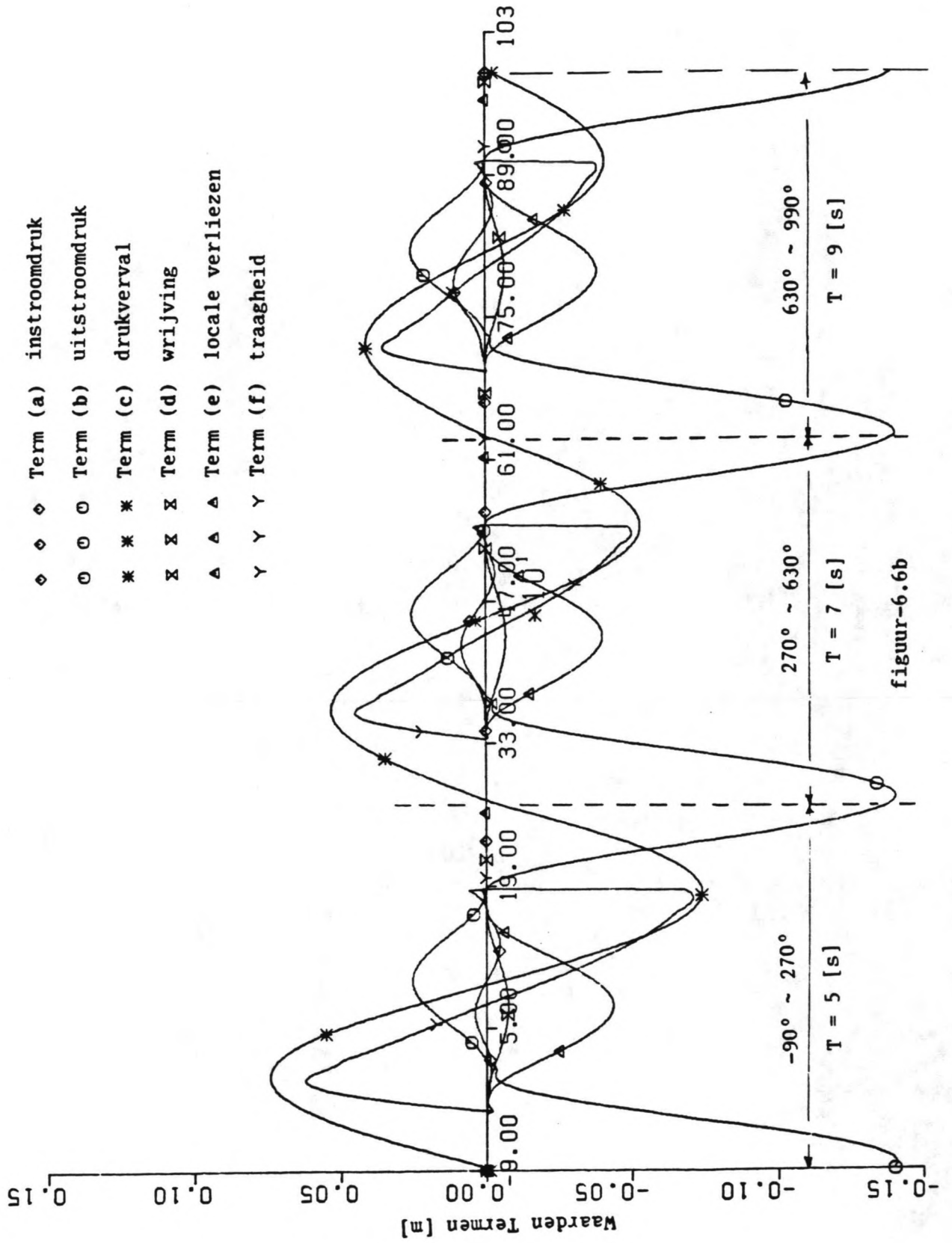
Als gevolg van een smalle instromingskoker verandert de instroomsnelheid  $V$  aanzienlijk. Dit blijkt uit vergelijken van figuur-B.9 ( $D'$  in fig.-B.9 is 0.04 m) met figuur-6.5 ( $D' = 0.053$  m). Daardoor krijgt  $X_1$  (zie fig.-6.1) de waarde 0.9549 (berekening fig.-B.9) i.p.v. 0.5439 (berekening fig.-6.5). T.g.v. een groter lokaal verlies bij de overgang instromingskoker-bak daalt de amplitude van  $V$  met ca. 13% t.o.v. die uit figuur-6.5. Hoe het transport zal gaan veranderen, t.g.v. de snelheidsverandering, komt het in 8.5.2 aan de orde. Deze verlaging van  $V$  kan niet goed gemaakt worden door een grotere  $L_s$ , (fig.-B.10,  $L_s = 0.45$ ) en een kleinere  $L_s$  (0.3 m, fig.-B.11) zorgt voor een nog grotere afwijking.

Weer een andere hydraulische conditie:  $h = 2$  m,  $H = 1.5$  m.

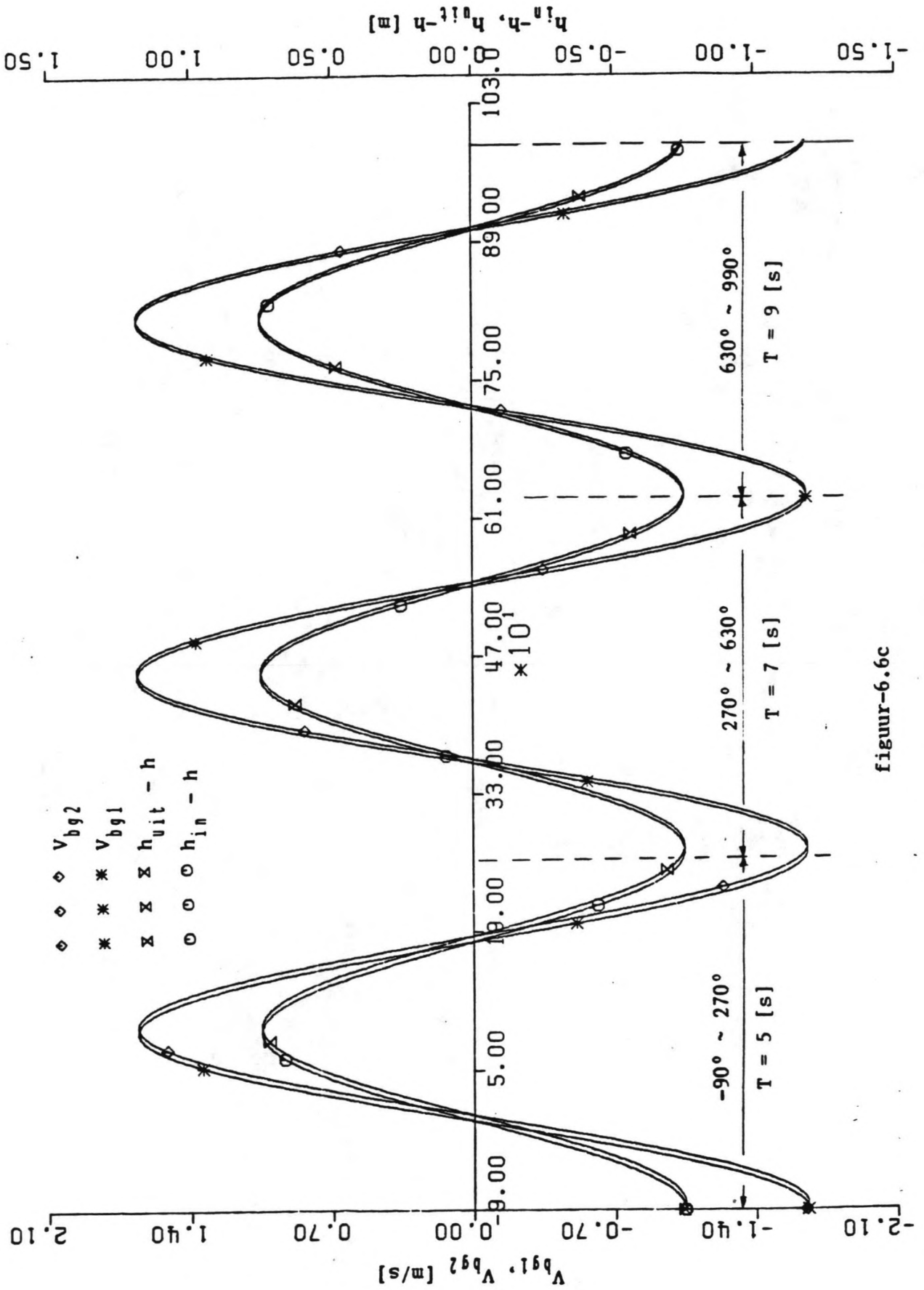
In figuur-6.6 resp. figuur-B.12 is de oplossing van {6.2} voor sampler met  $L_s = 0.35$  m resp. 0.4 m weergegeven. In dit geval blijkt, dat de uitvoering met  $L_s = 0.4$  m beter resultaat geeft dan die met  $L_s = 0.35$  m. Nog mooier verloop van  $V$  kan bv. verkregen worden door uitvoering ( $L_s = 0.35$  m) met kleinere weerstandverliezen en traagheid. Echter een aantal tegengestelde voorbeelden daarvan worden in het volgende gegeven. Figuur-B.13 resp. B.14 is de oplossing van sampler met  $L_s = 0.4$  m resp 0.3 m en niet afgeronde bochten in de uitstroomspijp. In figuur-B.15 is  $L_s = 0.35$  m en de lengte van de uitstroomspijp  $L_p$  is 0.7 m. En een instromingskoker met  $D'$  van 0.04 m (fig.-B.16) is ook ongunstiger voor  $V$ .

Wat gebeurt als uitvoering van de sampler en de hydraulische conditie het-





figuur-6.6b



figuur-6.6c



zelfde blijven maar de verhouding tussen orbitaalbewegingen aan de bodem en buiten de grenslaag  $X_0$  veranderd? Dit is aangegeven in figuur-6.7 resp. 6.8, die de oplossing van  $V$  geven voor  $X_0 = 0.5$  resp.  $0.8$  weer. Deze verandering kan bv. ontstaan door een te lage of te hoge ligging van de onderkant van de instroming t.o.v. het bodemniveau. Hoofdstuk 8 komt hierop terug.

De hoogte voor de instroomopening  $h_{op}$  van de voorgaande uitvoeringen is  $0.015$  m. In figuur-6.9 is de oplossing van uitvoering met  $h_{op} = 0.01$  m en onder  $h = 2$  m,  $H = 1$  m weergegeven. Gepaard gaande met deze verandering krijgen de parameters  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $\alpha_2$ ,  $X_0$  en  $X_7$  ook andere waarden (zie tabel-B.1) dan bij een uitvoering met  $h_{op} = 0.015$  m. In dit geval ligt het verloop van  $V$  aanzienlijk hoger dan dat van  $V_{bod}$ . De waarde  $d$  is hier  $0.04$  m.

Om deze fout te corrigeren kan men bv. voor het laatste gedeelte van de uitstromingspijp een nog wat nauwere diameter te nemen. Figuur-6.10 geeft de oplossing van een veranderde uitvoering weer. De wijziging is alleen, dat een stuk uitstromingspijp van  $0.2$  m aan de einde van de pijp is vervaardigd met een diameter van  $0.03$  m (i.p.v.  $0.053$  m).

In figuur-B.17 resp. B.18 is de uitkomst met  $L_s = 0.4$  m resp.  $0.3$  m gegeven. Een uitvoering met  $L_s = 0.3$  m schijnt in dit geval beter te kunnen functioneren.

T.g.v. hogere golven (fig.-6.11),  $H = 1.5$  m en  $h = 2$  m, zal de sampler ook redelijk goed werken. Bij lange periode kan er aan de locale verliezen nog een kleinere gewenste waarde gegeven worden.

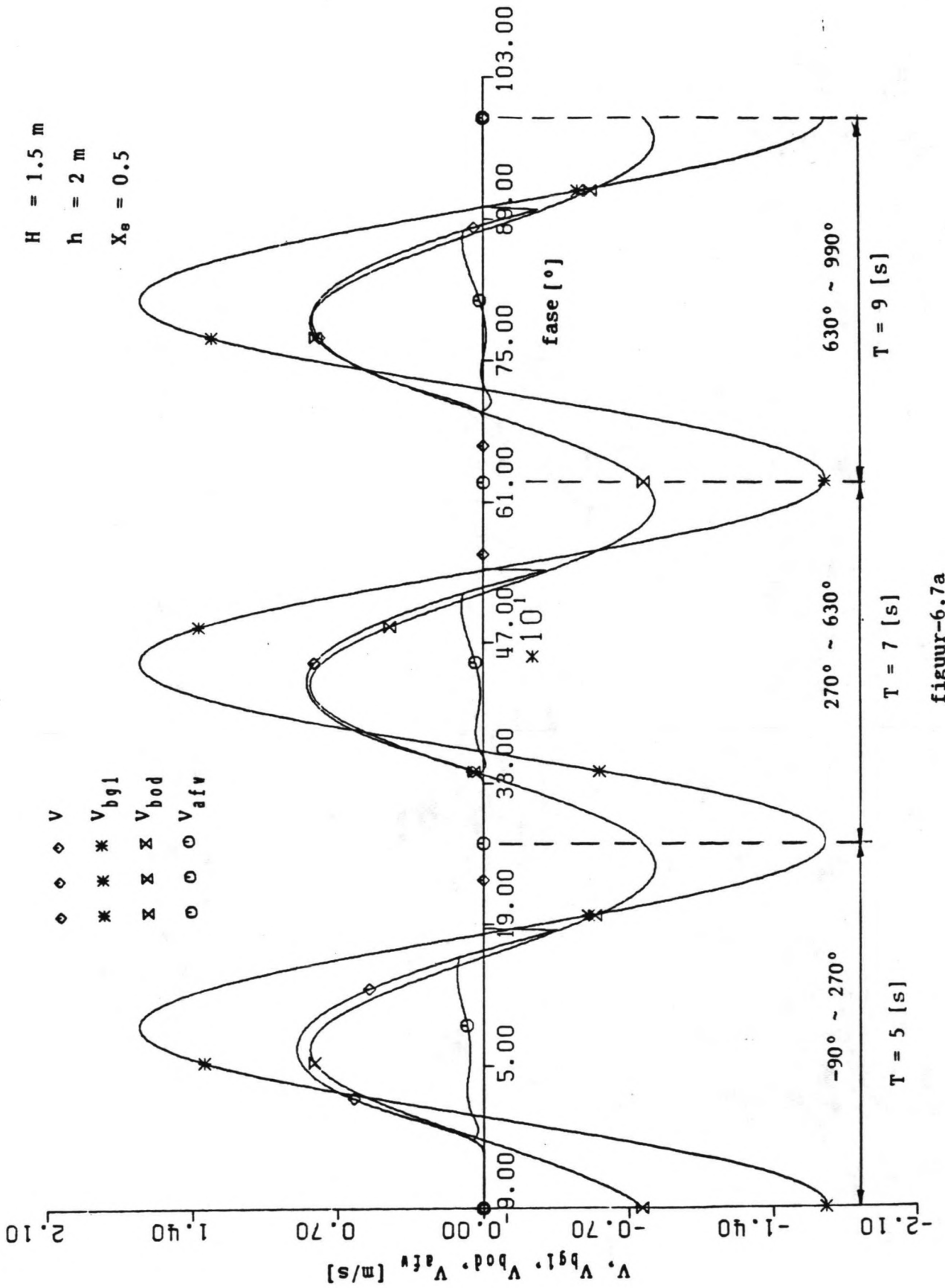
#### 6.3.3.1b Belastingen van andere vormen

In figuur-6.12 is de oplossing voor de sampler onder een asymmetrische belasting weergegeven. De instroming  $V$  voldoet bij dit geval ook redelijk.

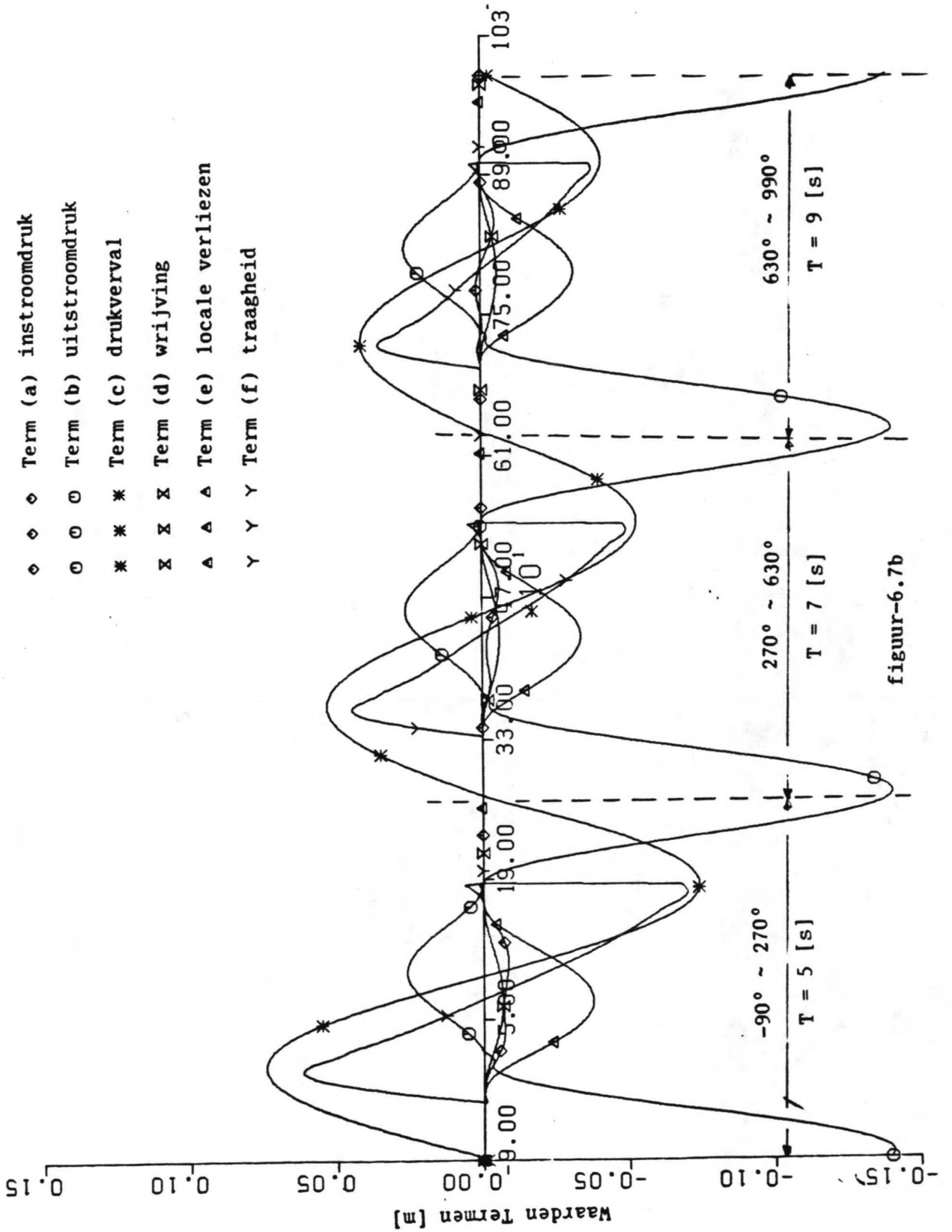
Definieer  $X_{1,0}$  als de verhouding tussen de tijdsduur  $t_1$ , waarin de orbitaalsnelheid bij de instroming in de meetrichting oplopend is, en de golfperiode  $T$ .

$$X_{1,0} = t_1 / T \quad \{6.13\}$$

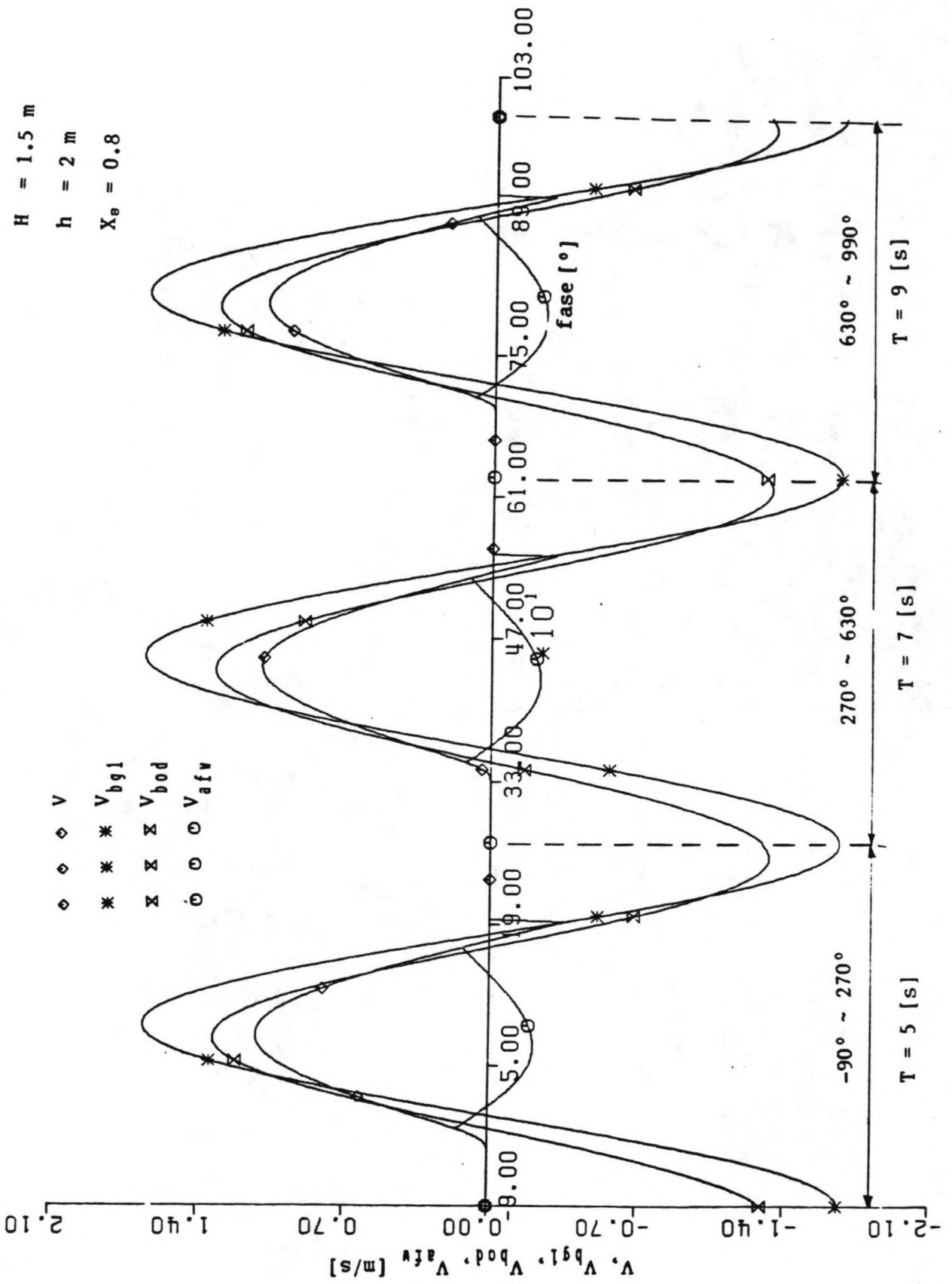
In figuur-6.12 is deze verhouding  $X_{1,0} = 0.35$ . Wanneer men met de sampler transport in offshore-onshore richting (instroom zijde zeewaarts) wil gaan meten kan de sampler zich bij brekende golven onder zo'n belastingvorm (zie



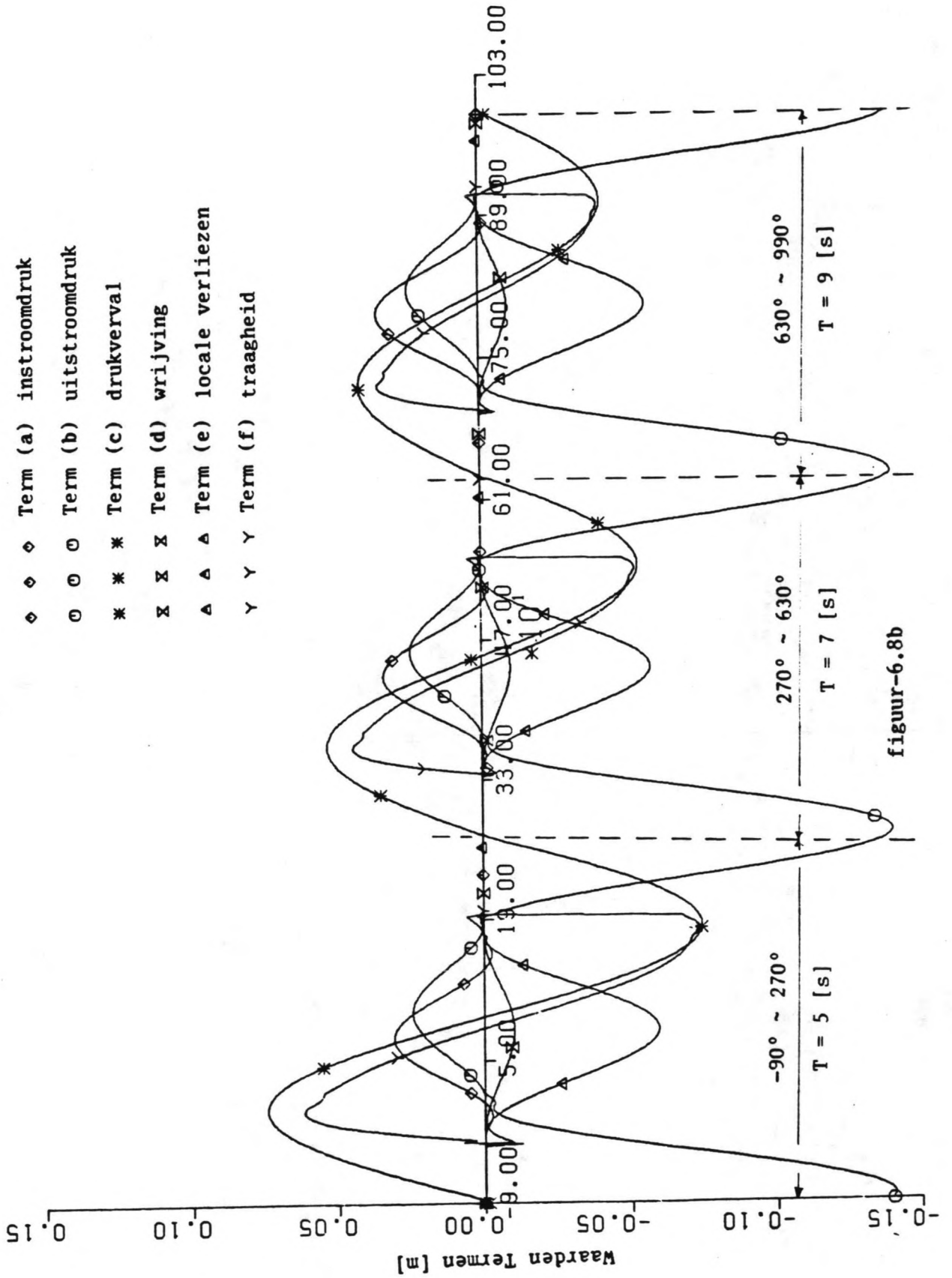
figuur-6.7a



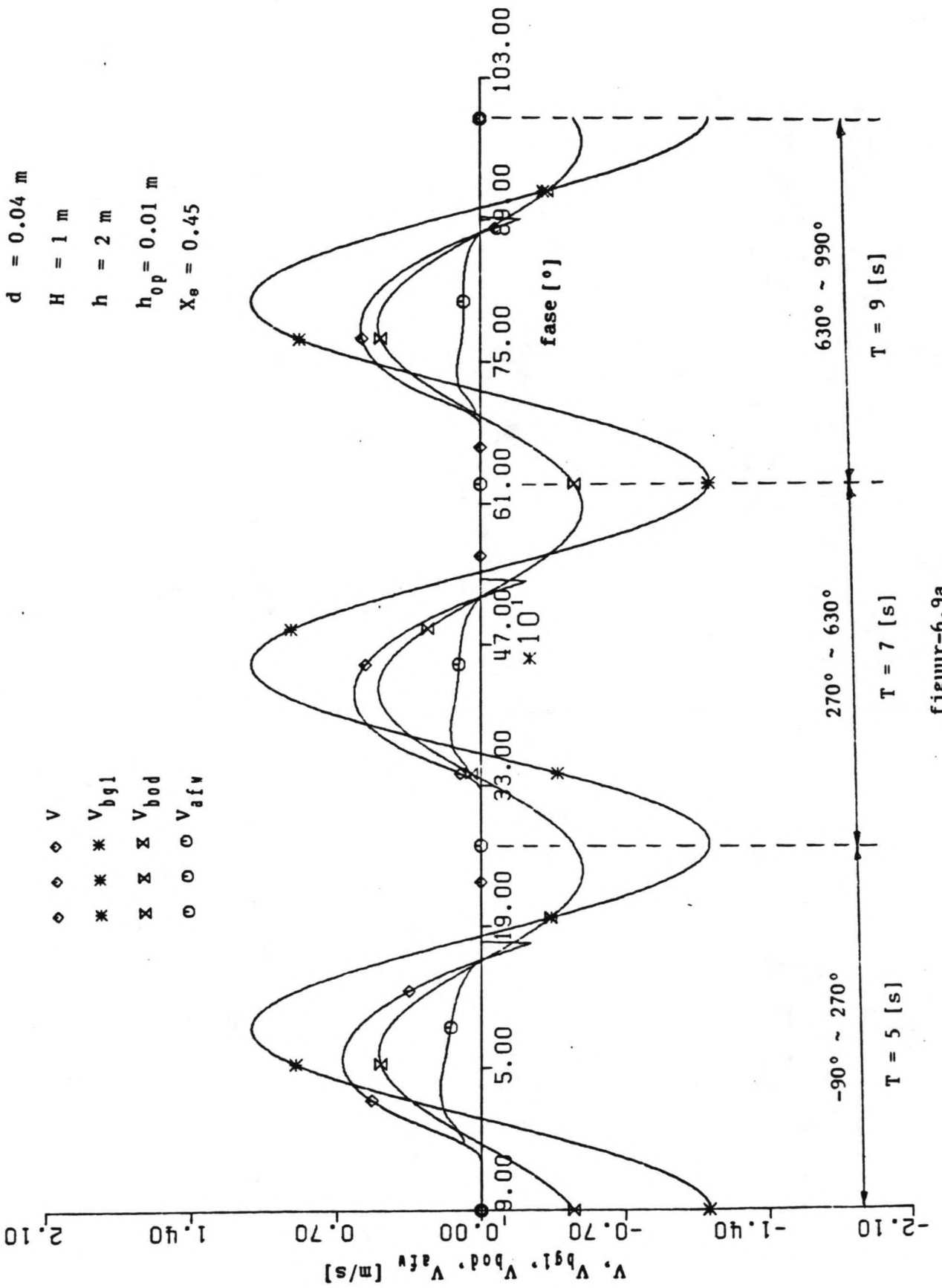
figuur-6.7b



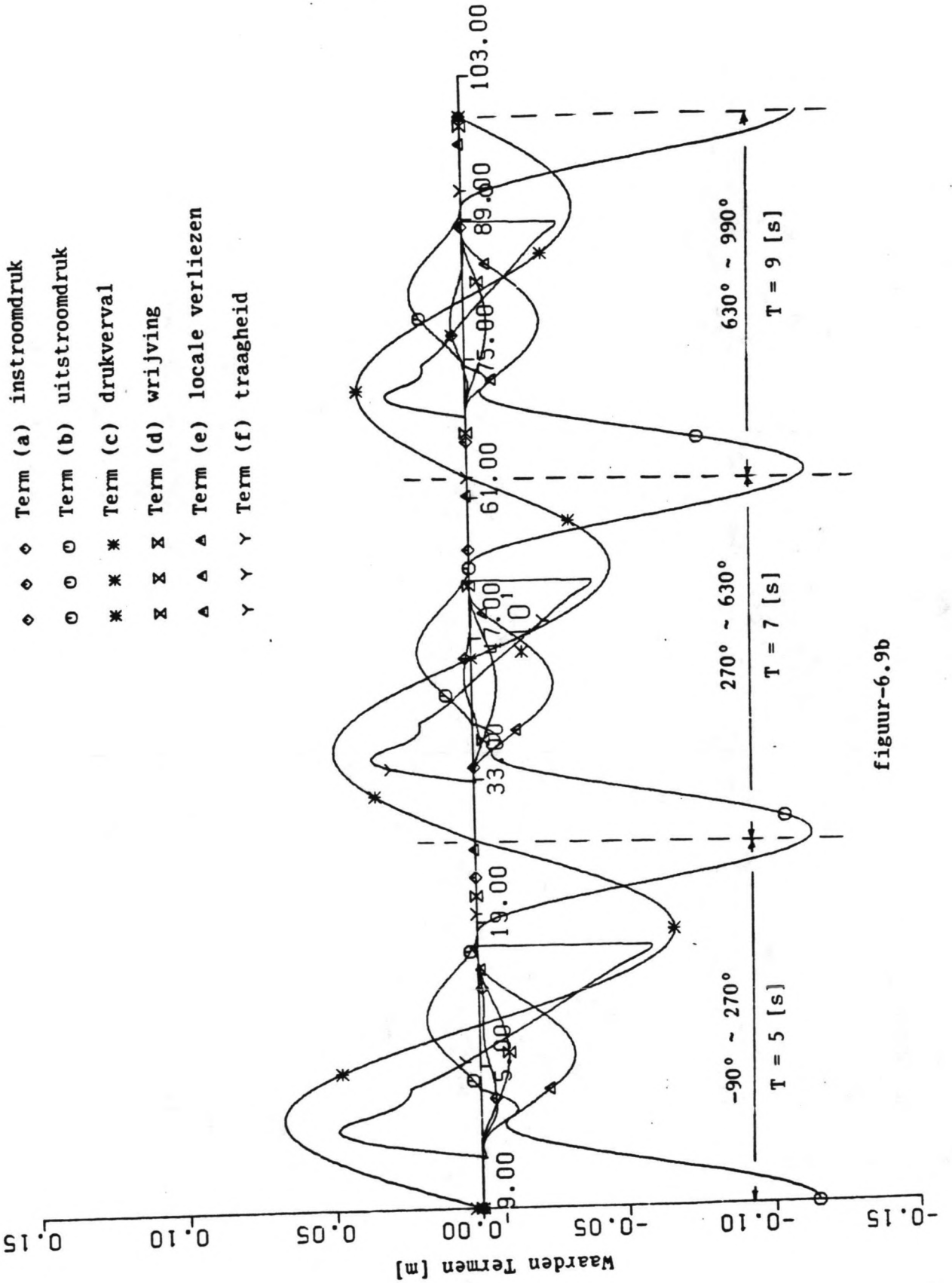
figuur-6.8a



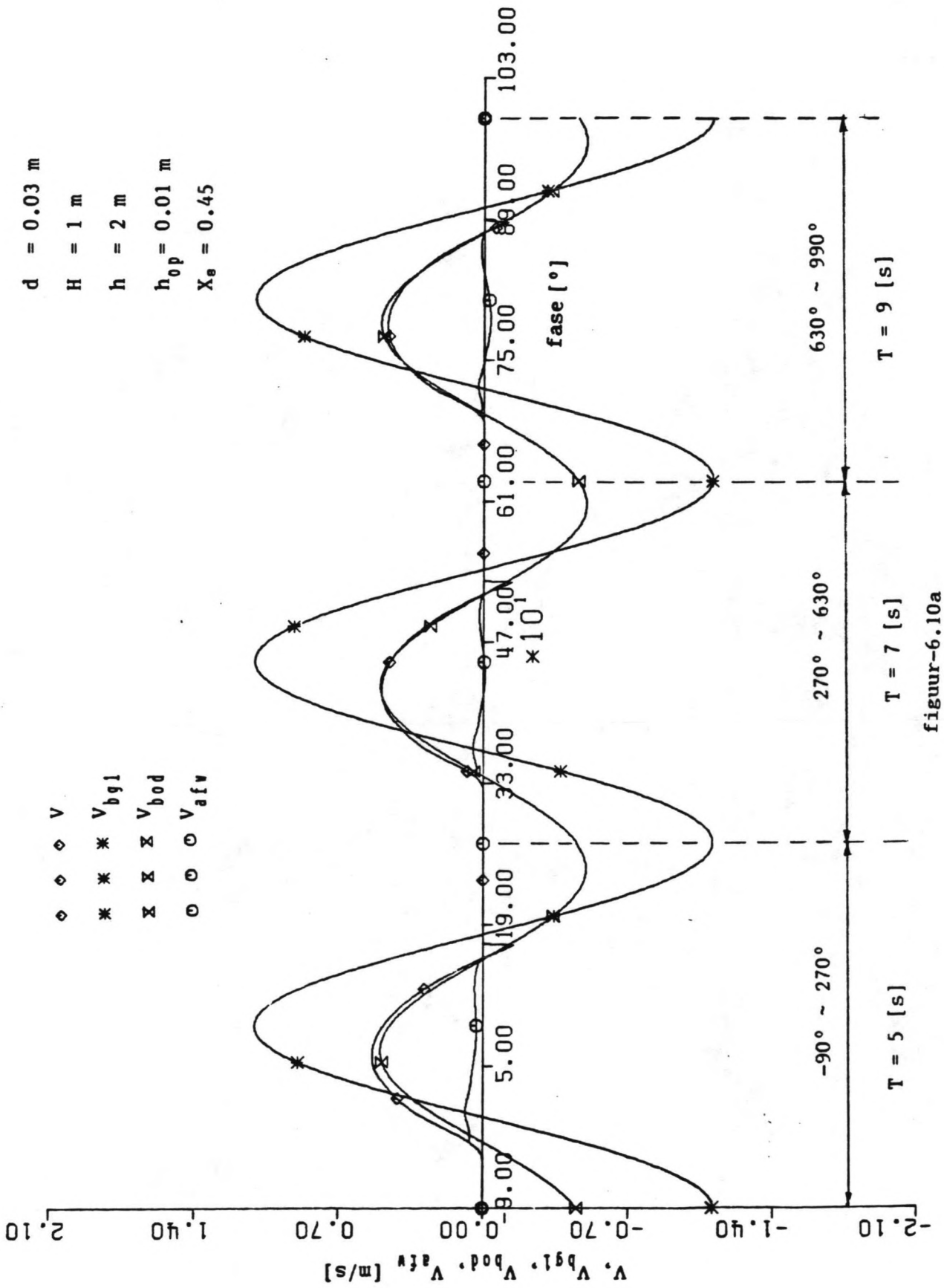
figuur-6.8b



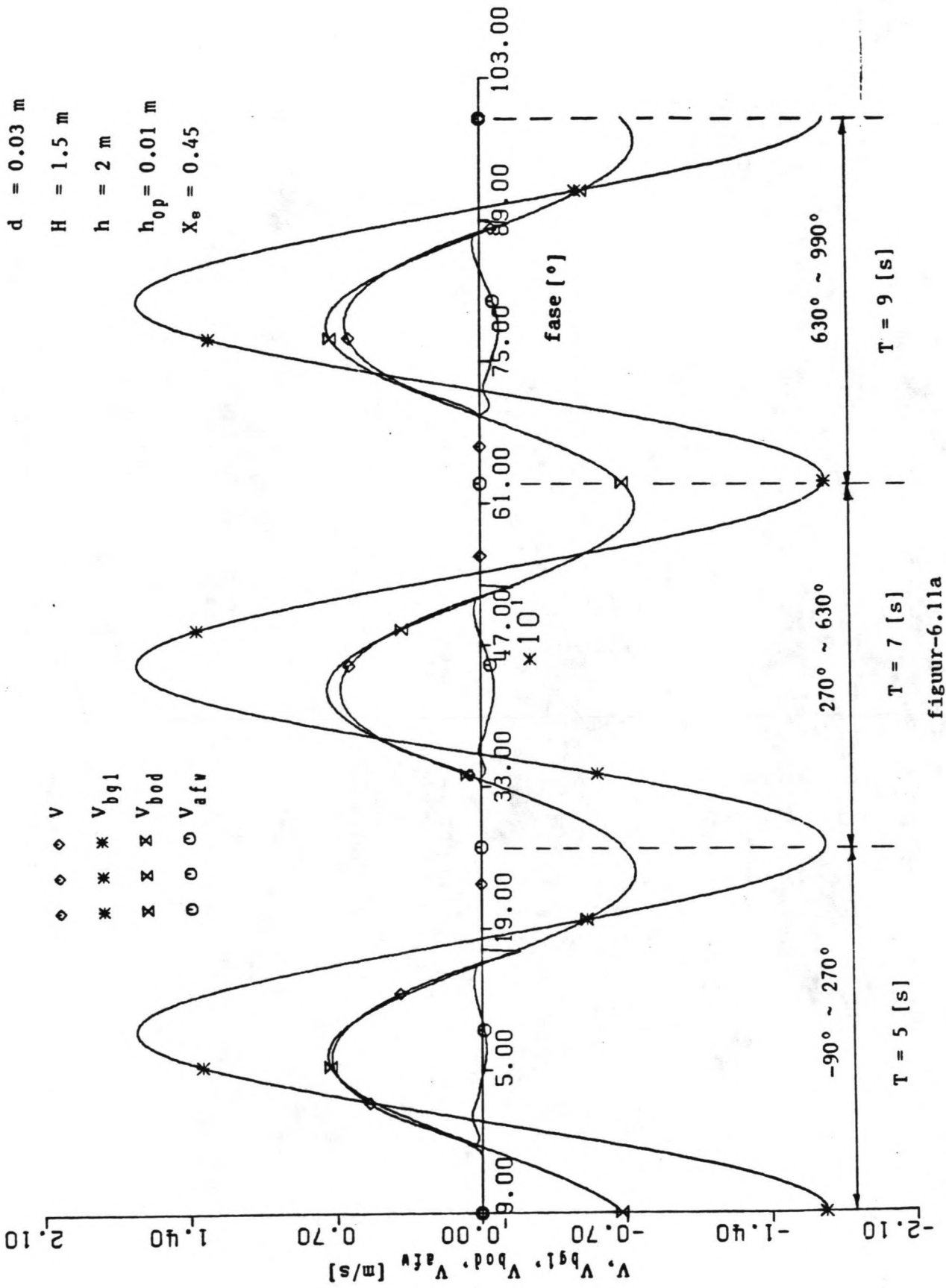
figuur-6.9a



figuur-6.9b

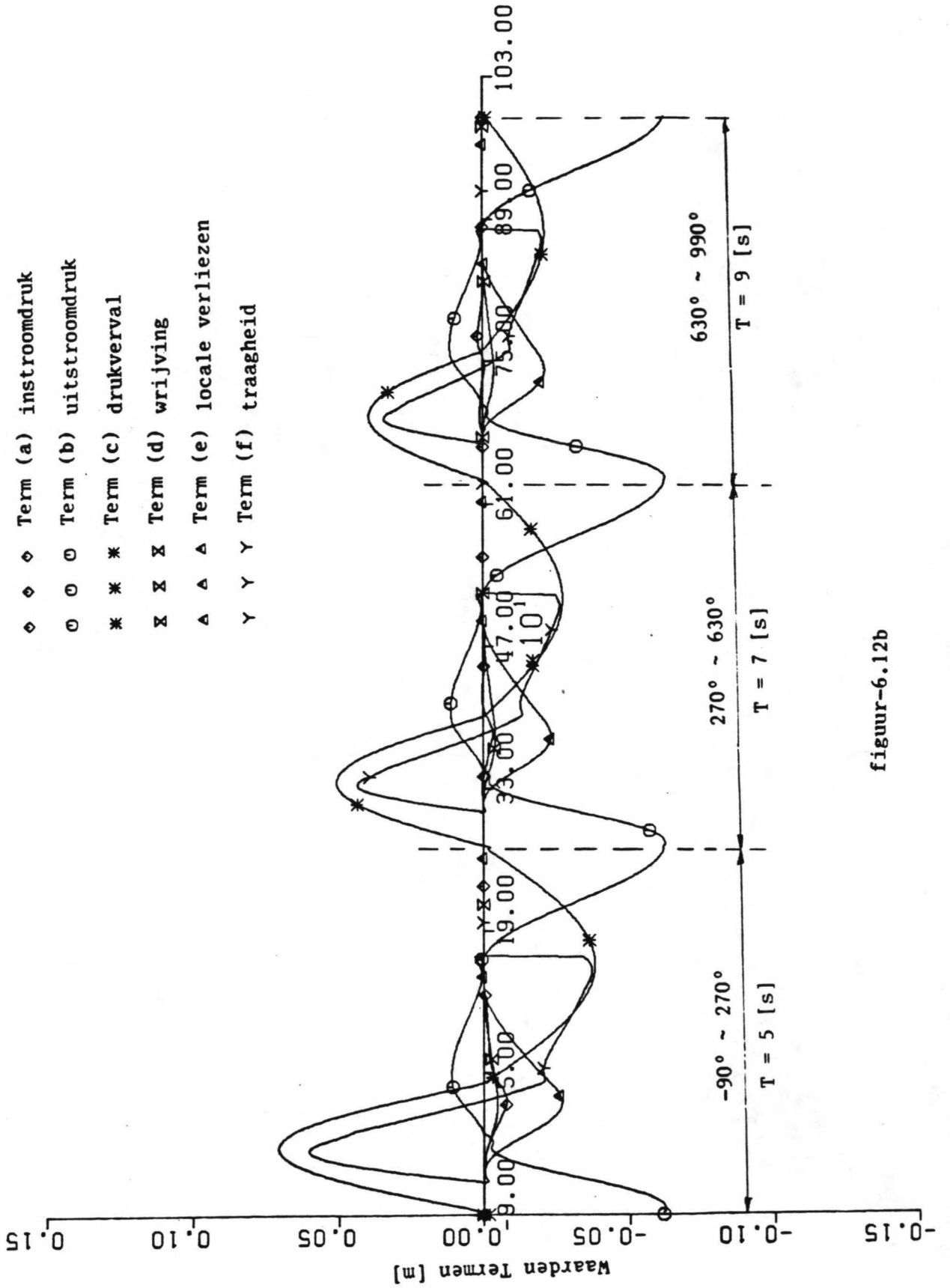




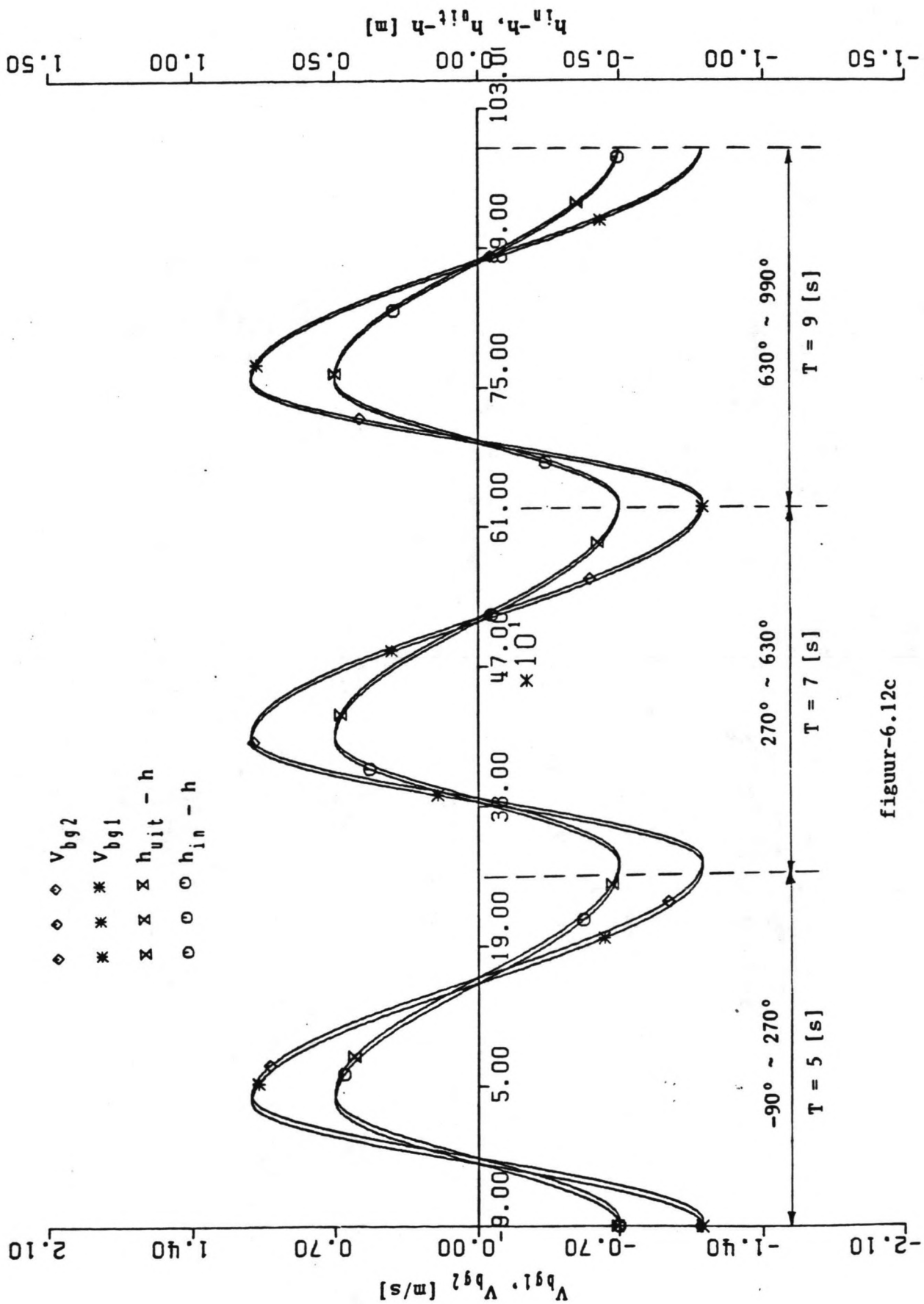


figuur-6.11a





figuur-6.12b



figuur-6.12c

fig.-6.2c) bevinden.

Voor relaties tussen hydraulische parameters ( $h$ ,  $H$ ,  $c$ ,  $\lambda$ ) worden de desbetreffende formules uit 6.3.3.1a hier weer toegepast. Echter het faseverschil  $\alpha_1$  moet wel aangepast worden aan de asymmetrische vorm. Men kan goed zien dat in figuur-6.12b het verloop van het drukverval (Term (c) van {6.2}) niet meer de vorm kent van een sinusfunctie. Het verschil tussen een steil gedeelte en een vlak gedeelte is er duidelijk waar te nemen.

Voor een nog meer vervormde golf (fig.-6.13,  $X_{10} = 0.24$ ) krijgt  $V_{afw}$  een wat grilliger verloop. Ook met een kleinere hoogte van de instroomopening ( $h_{op} = 0.01$  m) gedraagt  $V_{afw}$  zich nauwelijks afwijkend (fig.-6.14) t.o.v. die met  $h_{op} = 0.015$  m.

In figuur-B.19 is de oplossing met  $L_s = 0.4$  m weergegeven. De instroming  $V$  wordt daarmee minder goed. Als de sampler meer traagheid krijgt, werkt het apparaat beter ( $L_p = 0.8$  m bij fig.-B.20 i.p.v.  $0.6$  m bij fig.-B.19).

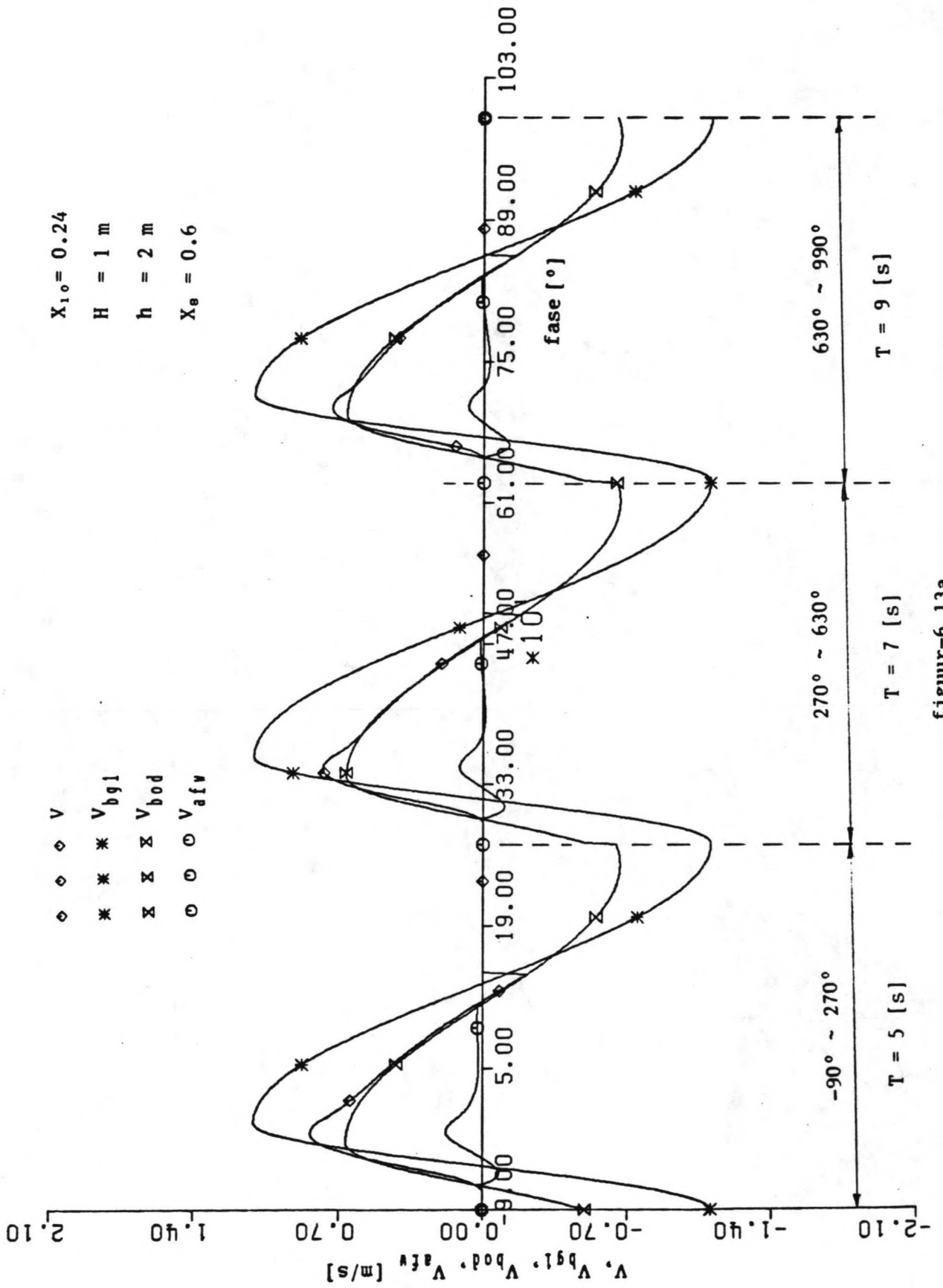
Het toepassen van een grotere afstand tussen in- en uitstroming  $L_s$  ( $0.5$  m, fig.-B.21) om  $V$  de snelstijgende  $V_{bod}$  te laten volgen is niet effectief.

Onder een andere conditie,  $H = 1.5$  m en  $h = 2$  m, verandert het verloop van  $V_{afw}$  in principe niet veel (fig.-6.15,  $L_s = 0.35$  m,  $L_p = 0.6$  m). Met bv.  $L_s = 0.4$  m en  $L_p = 0.8$  m kan de waarde van  $V$  waarschijnlijk gunstig beïnvloed worden.

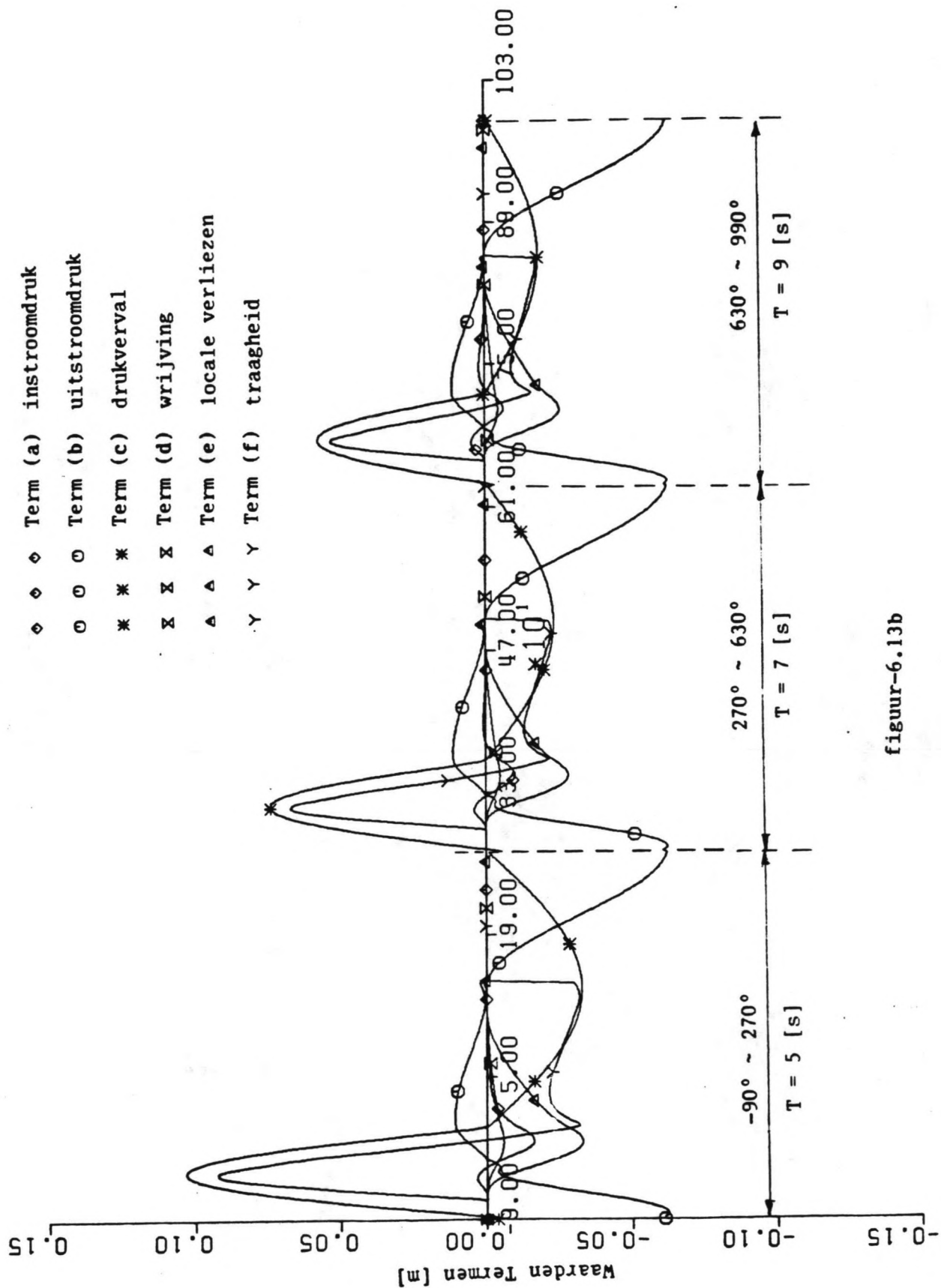
Wanneer er een meting in onshore-offshore richting (instroom zijde landwaarts) uitgevoerd zal worden, staat de sampler dan meer onder een belastingvorm met  $X_{10} > 0.5$ .

Figuur-6.16 geeft een oplossing van de sampler onder zo'n ( $X_{10} = 0.65$ ) belasting.  $V$  krijgt in dit geval te grote waarde bij begin en einde tussen de periode  $V > 0$ . Met  $L_s = 0.4$  m (fig.-B.22) is de afwijking tussen  $V$  en  $V_{bod}$  niet kleiner geworden en met  $L_s = 0.3$  m (fig.-B.23) kan  $V$  snel dalend  $V_{bod}$  nog moeilijker volgen.

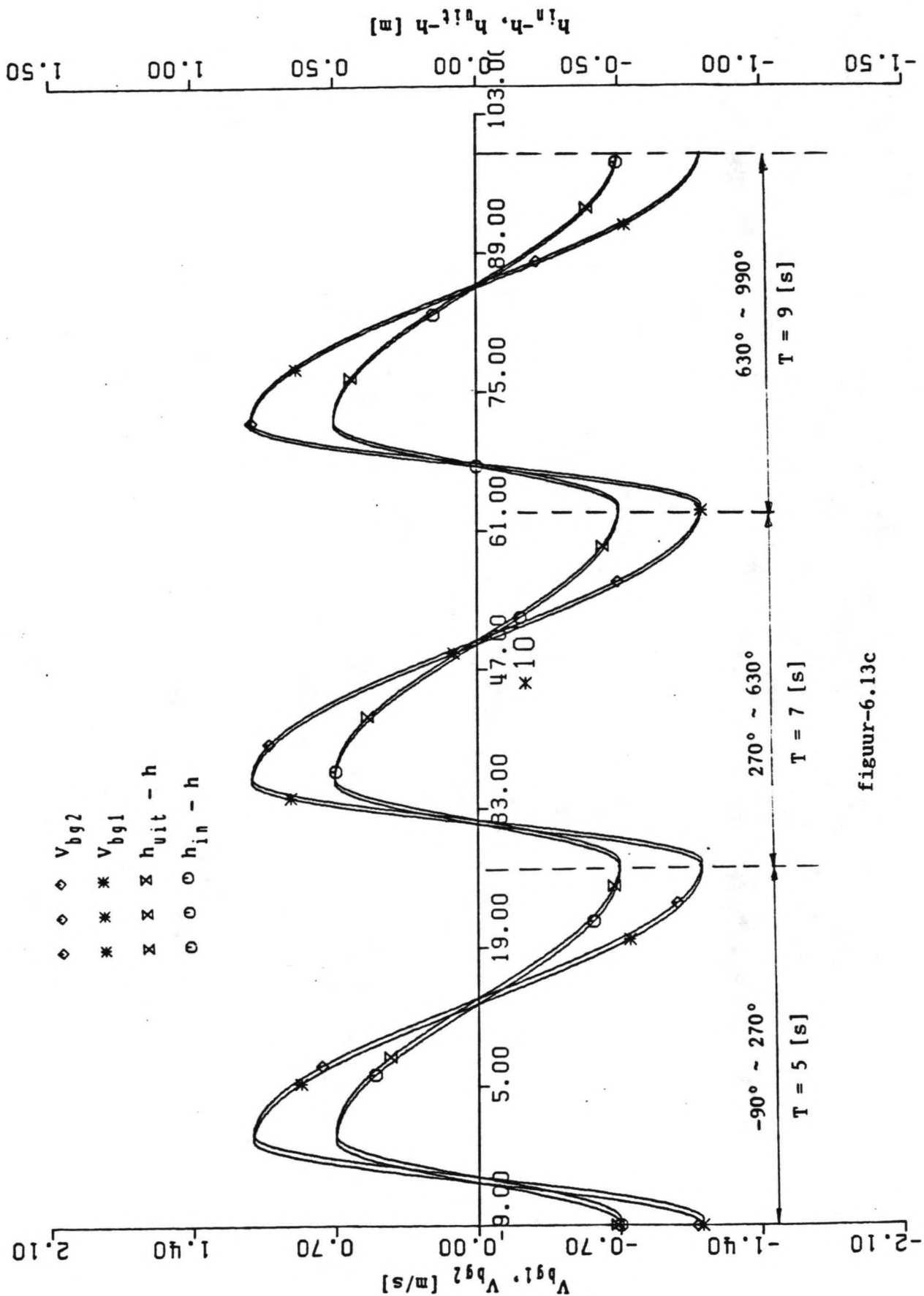
In figuur-B.24 is de oplossing met  $L_s = 0.3$  m en  $L_p = 0.5$  m weergegeven. Het verloop  $V_{afw}$  verandert niet overtuigend. Door grotere wijziging in de sampler uitvoering ( $L_{12} = 0.15$  m resp.  $L_p = 0.3$  m,  $L_s = 0.3$  m en  $f_{13} = 0.1$



figuur-6.13a

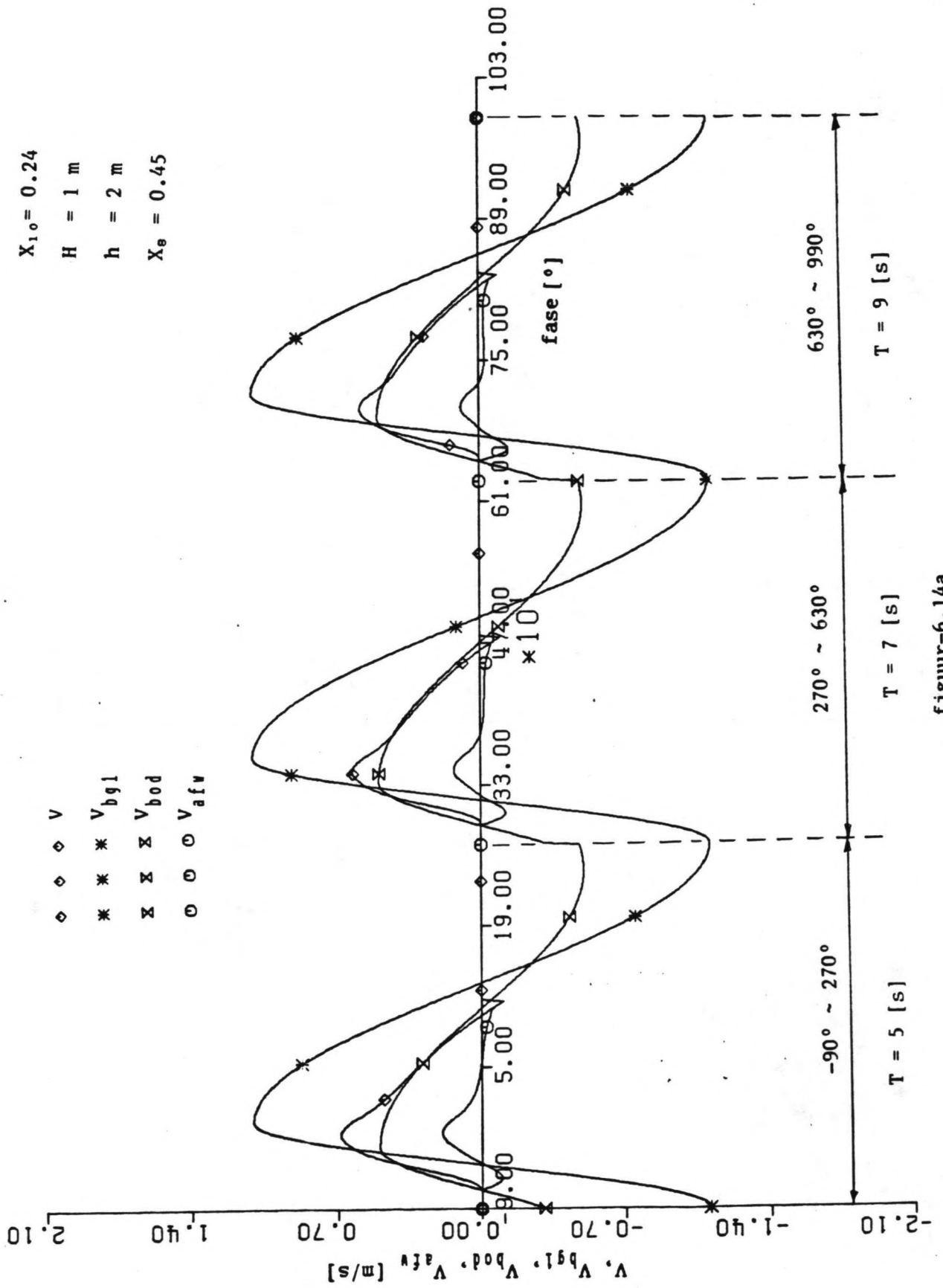


figuur-6.13b



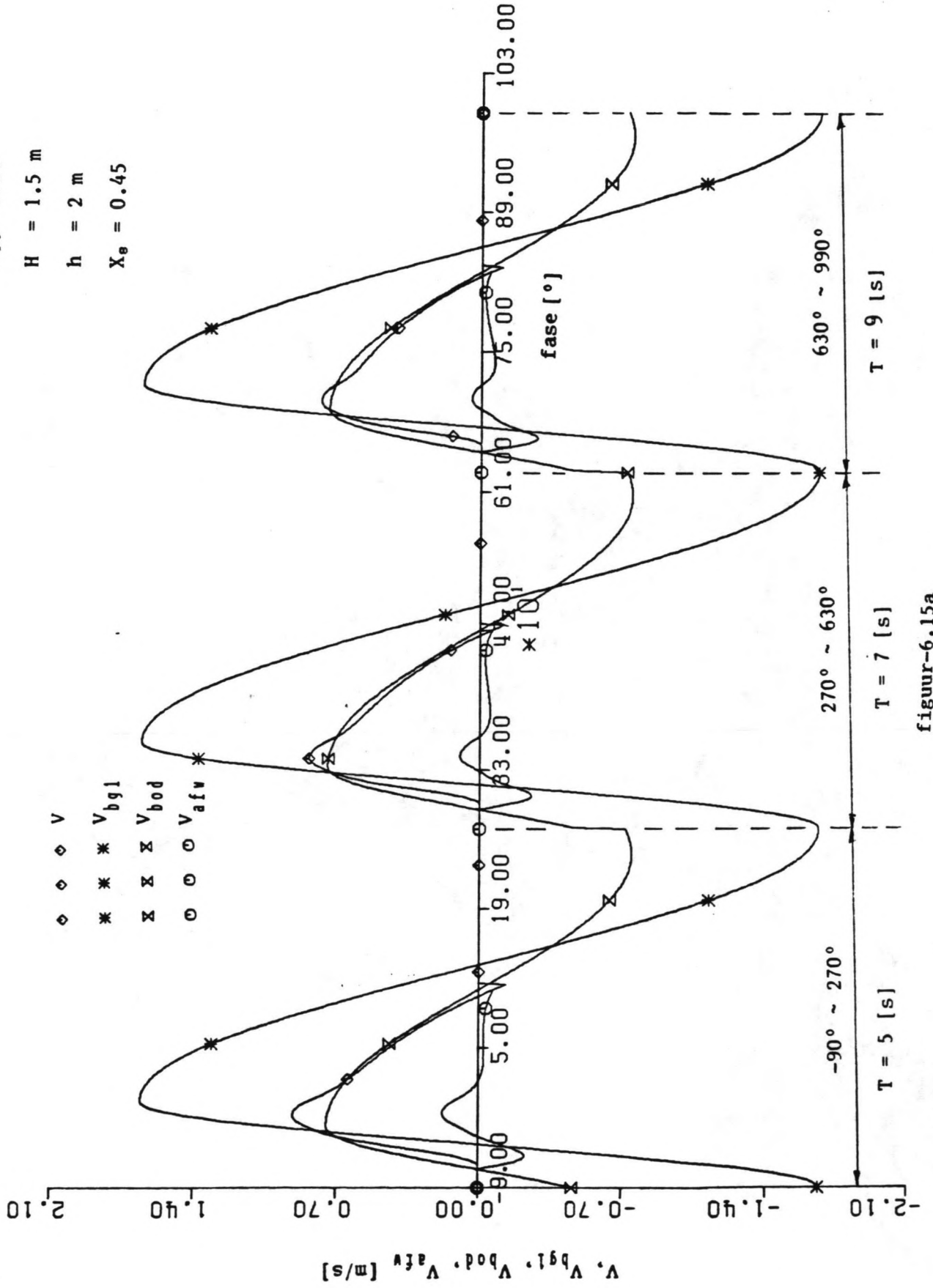
figuur-6.13c



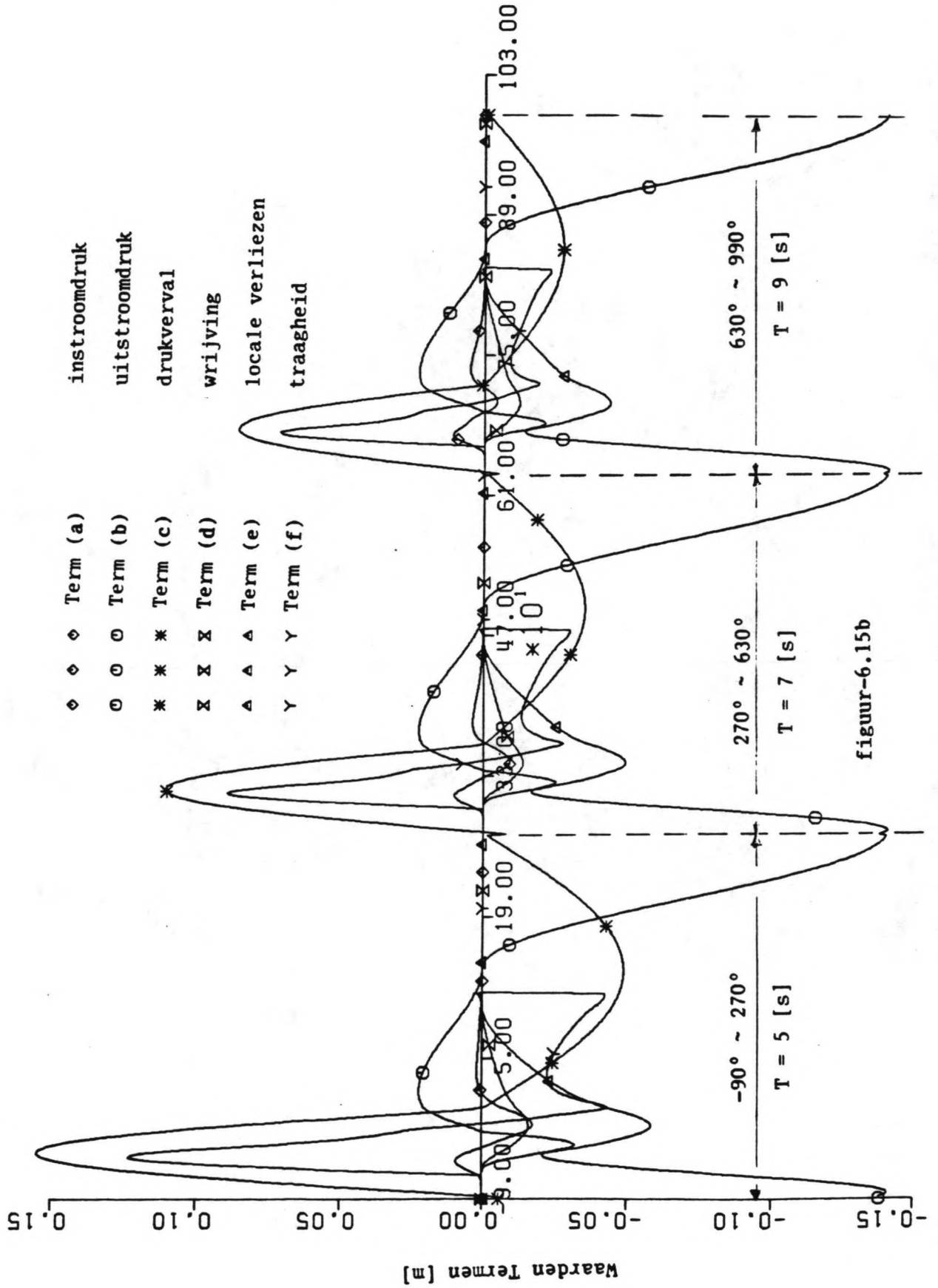


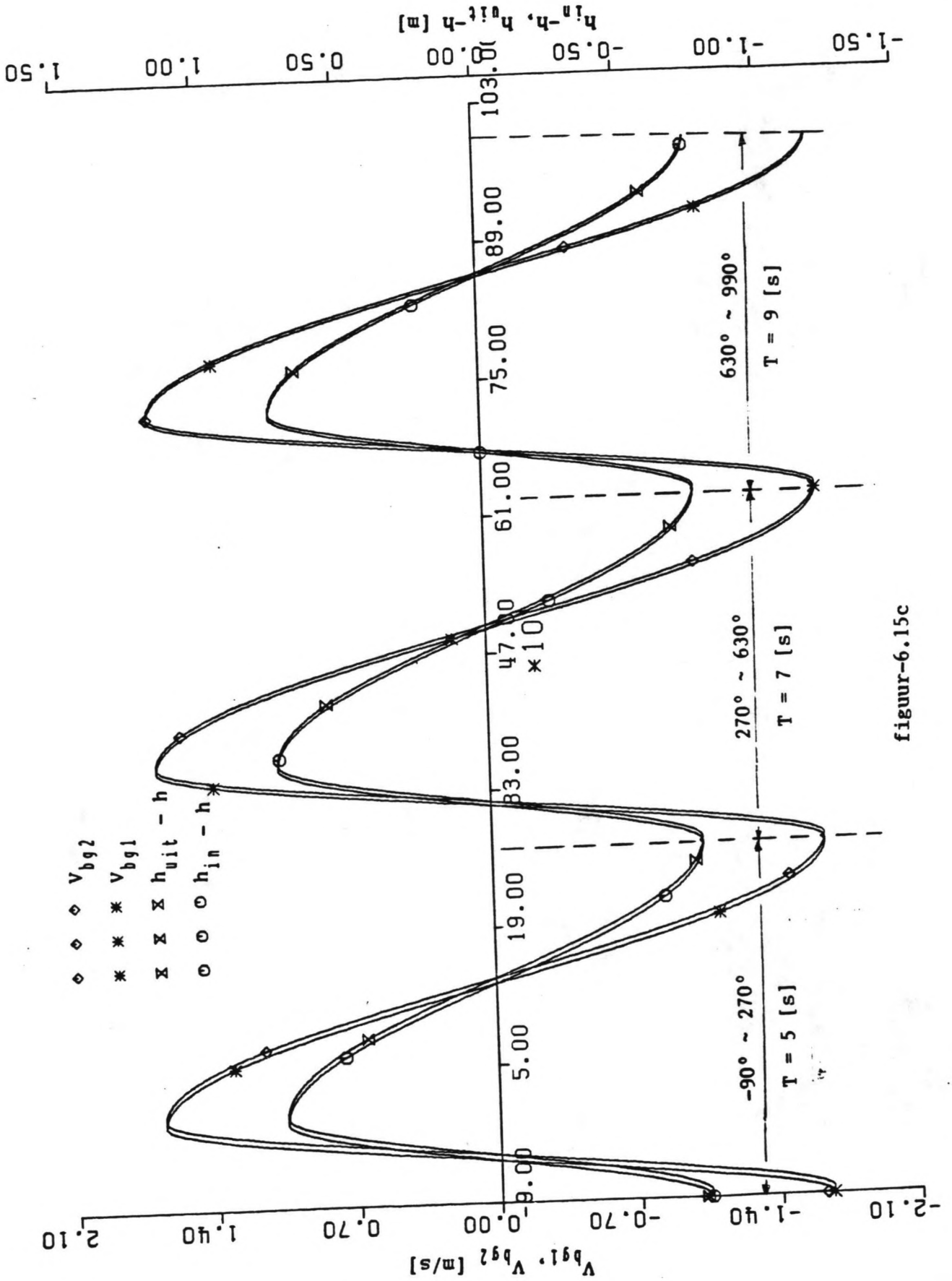
figuur-6.14a

$X_{10} = 0.24$   
 $H = 1.5 \text{ m}$   
 $h = 2 \text{ m}$   
 $X_g = 0.45$

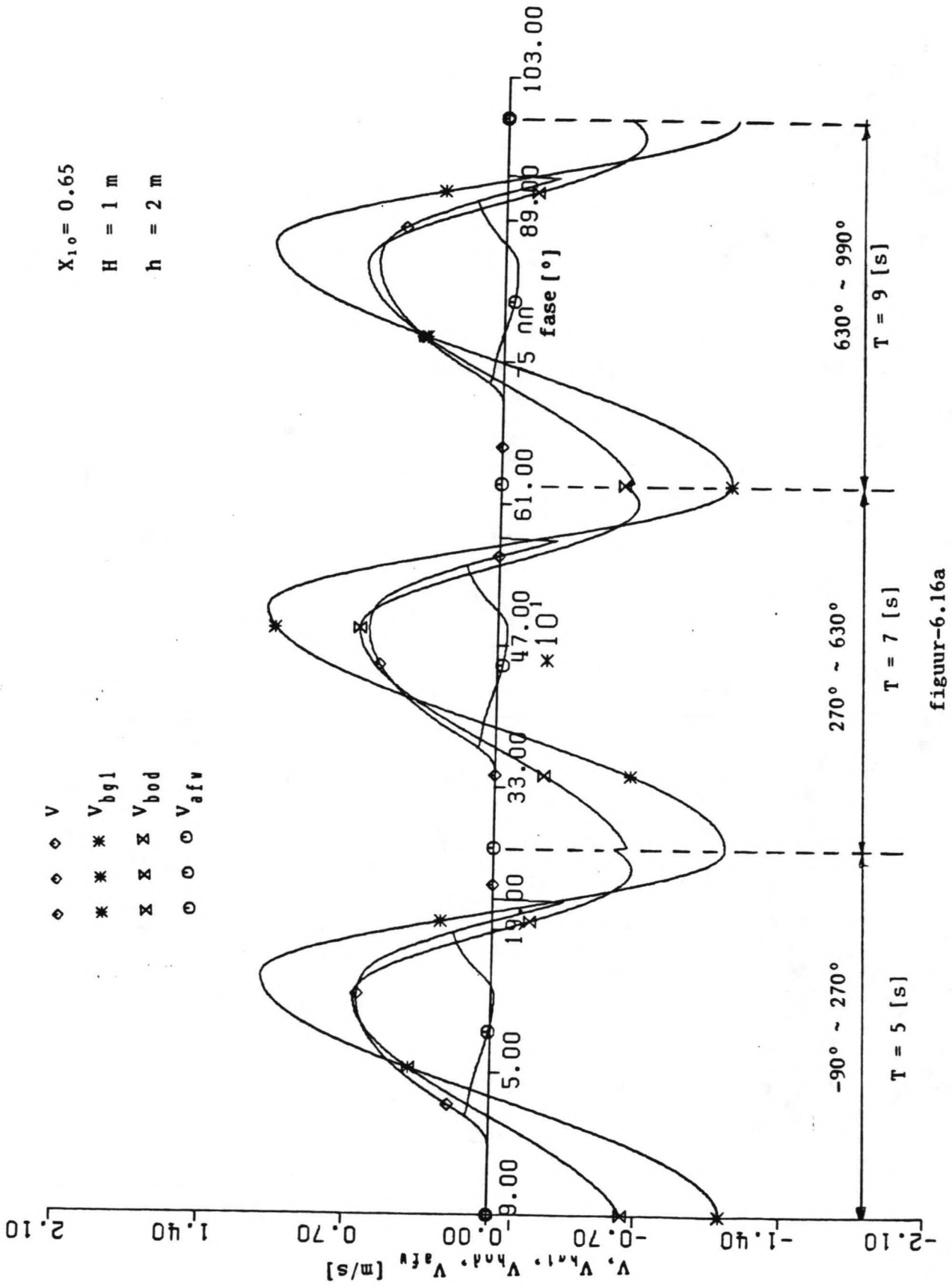


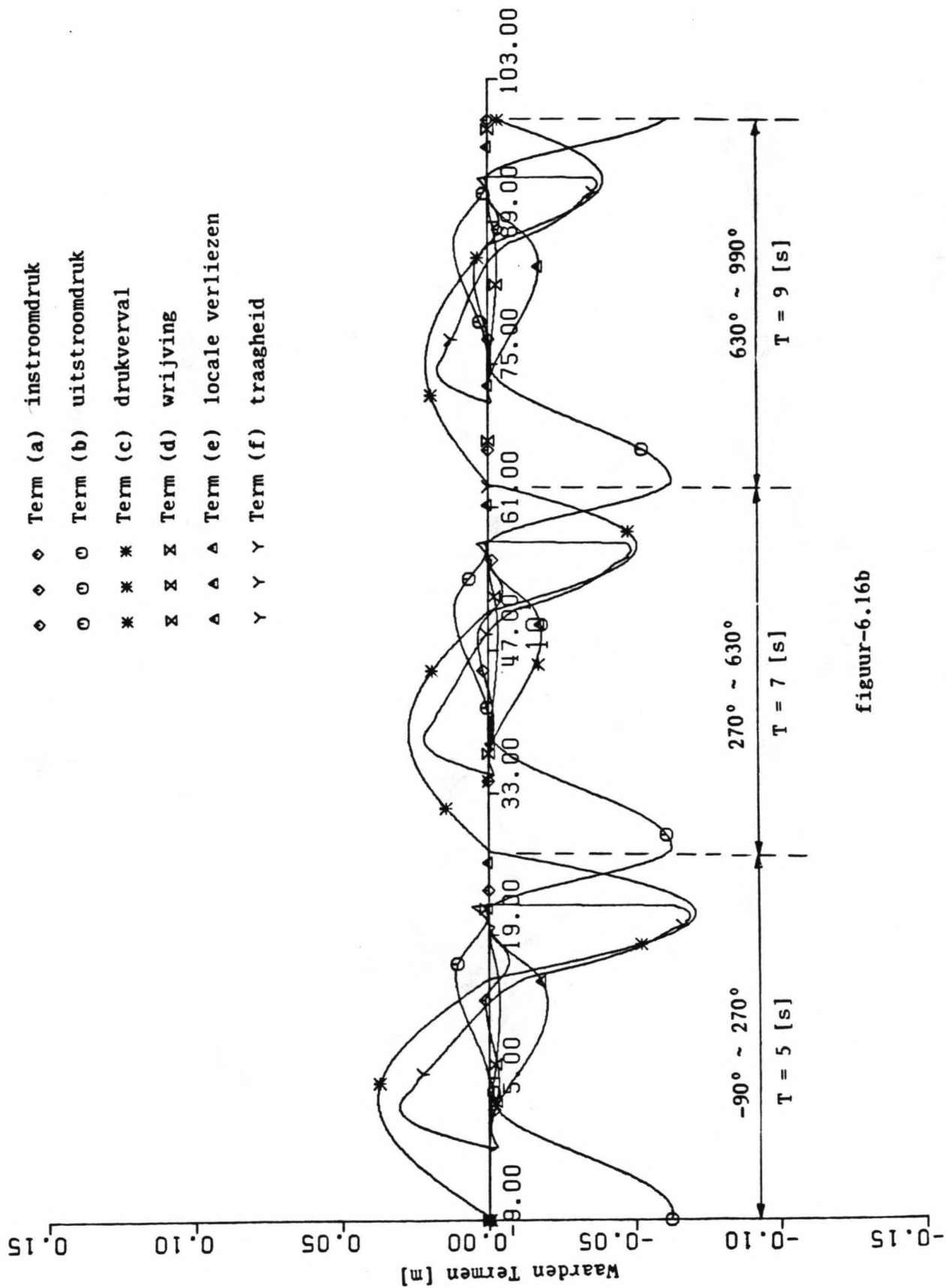
figuur-6.15a



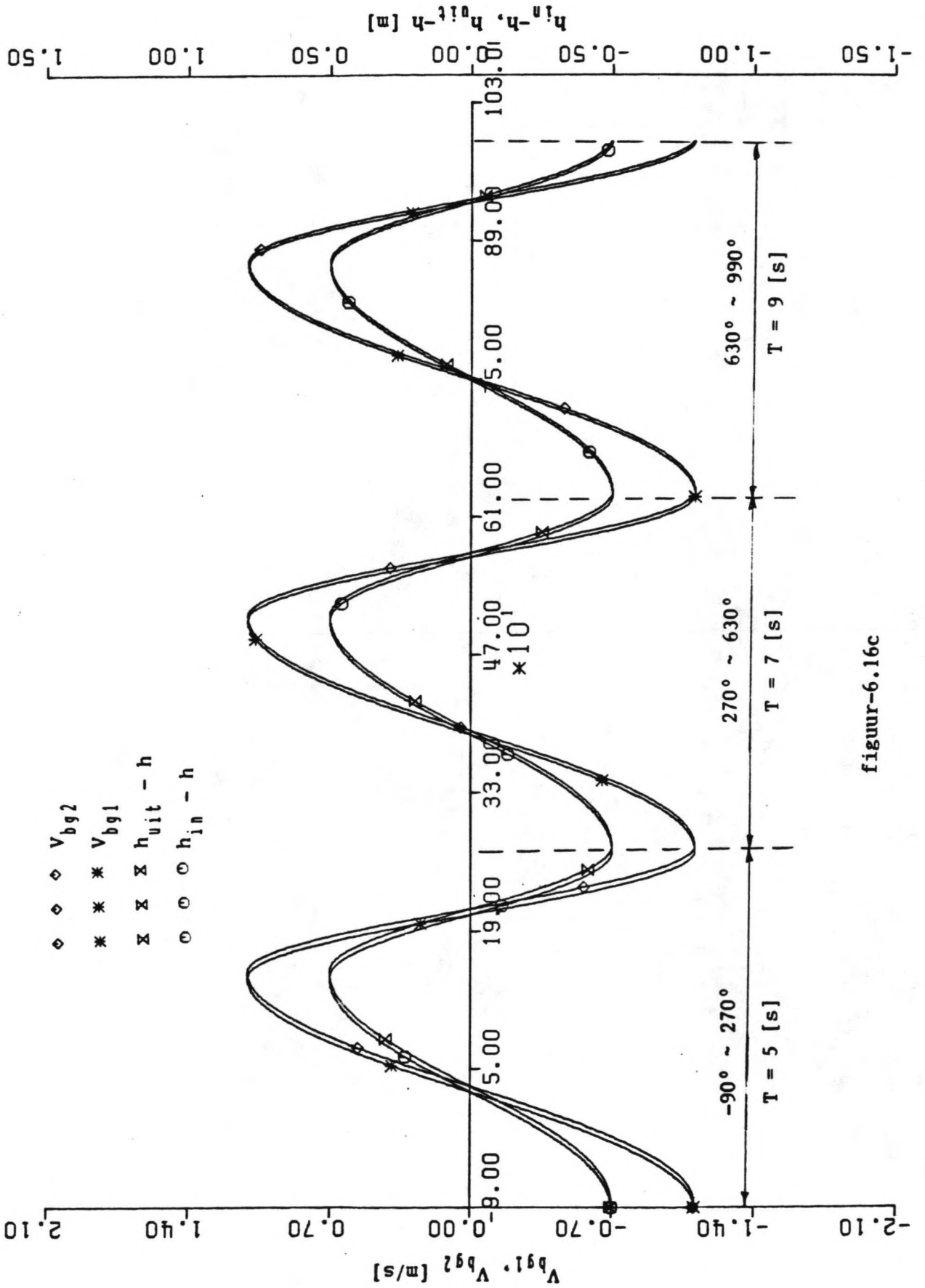


figuur-6.15c





figuur-6.16b



figuur-6.16c

i.p.v. 0.2 m resp. 0.6 m, 0.35 m en 0.2) treden er meer verandering op in V (fig.-B.25). T.o.v. vorige uitvoering is alleen  $L_s$  nu 0.25 geworden (fig.-B.26) en de uitkomst van deze uitvoering lijkt weer op die van figuur-B.22.

**Opmerkingen:**

- a. Langsstroom wordt in de berekening buiten beschouwen gelaten. Dit houdt in dat er een positieve afzuiging (zie A.3.2) bij de uitstroming verwaarloosd is. De grootte daarvan zal theoretisch echter niet bepaald kunnen worden. Als uit experimenten blijkt dat deze een degelijke bijdrage levert op de beweging van het water in de sampler, kan dat opgeheven worden door opvoeren van het lokaalverlies of veranderen van de uitstroomrichting.
- b. In het volgende zal worden nagegaan, hoe de werking van de sampler verbeterd worden, als zou blijken, dat de drie sleutelparameters  $X_e$  (zie vgl {6.2}),  $X_e$  (vgl {A.44}) en  $\alpha_2$  (vgl {6.4}) fout zouden zijn geschat. Dit is i.v.m. eventueel bijstellen van de sampler gedurende een meetuitvoering en evalueren van de gemeten resultaten.
  1.  $X_e$ : Wanneer deze een kleine afwijking van de waarde 1 heeft, kan dit goed gemaakt worden door: uitvoering met grotere  $L_s$  (en/of kleiner lokaalverlies) als  $X_e > 1$  is en omgekeerd (als  $X_e < 1$  is) met kleinere  $L_s$  (en/of groter lokaalverlies).
  2.  $X_e$ : Waar  $X_e$  de verhouding tussen de golfhoogte en de de snelheid buiten de grenslaag bepaalde, bepaalt  $X_e$  de verhouding tussen de snelheid buiten en binnen de grenslaag (zie vgl {A.44} t/m {A.46}). Voor het goede functioneren van de (in 7.2 behandelde) debietmeter zal de instroom boven een bepaalde grens moeten zijn. Voor de dimensionering van de sampler ligt het anders. Hierbij is een geringe instroming geen bezwaar: in dit geval leidt dat tot een compactere afmeting van de sampler; de locale verliezen zijn klein en dit biedt meer 'speel' ruimte in de uitvoering.

Mocht deze coefficient echter niet goed geschat zijn en bijv. 0.8 moeten zijn, dan zouden de locale en wrijvings verliezen bij de huidige dimensionering te groot worden. Daardoor wordt  $V_{afv}$  te groot. De top-



snelheid in de sampler is te klein. De openingsbreedte zou kleiner moeten worden gemaakt om de verliezen te laten afnemen.

3.  $\alpha_2$ : De fasehoek tussen snelheid buiten de grenslaag en de snelheid in de sampler is i.h.a. groter dan het faseverschil  $\alpha_2$  tussen de snelheid buiten en binnen de grenslaag. Door de afstand tussen instroming en uitstroming kleiner te kiezen zijn deze faseverschillen gelijk te maken. Hoe groter  $\alpha_2$ , hoe gemakkelijker de sampler dus is aan te passen.

### 6.3.3.2 Sampler in golftunnel

De vergelijking {6.2} wordt hier weer toegepast. T.o.v. een lopende golf (zie 6.3.3.1) treden er de volgende twee verschillen (Term (b) en (c)) op:

1. het faseverschil tussen de in- en uitstroming verdwijnt

Nu is  $\alpha_1 = 0$  en

$$V_t = V_{bg1} = V_{bg2} \quad \{6.14\}$$

waarin:  $V_t$  is de orbitaalbeweging in de tunnel buiten de grenslaag [m/s].

De uitstroombdruk Term (b) uit {6.2} wordt hier

$$\Delta H_b = (C_7/2g)(|V_t| V_t - |X_v X_2 V| X_v X_2 V) \quad \{6.15\}$$

2. er is geen sprake meer van een vrije waterspiegel

Stel

$$V_t = \hat{V}_t \sin(2\pi t/T) \quad \{6.16\}$$

Beschouw nu de tunnelsectie met een lengte van  $L_s$  tussen de in- en uitstroming van de sampler. De bewegingsvergelijking voor dit stuk tunnel (met verwaarlozing van wrijvingsweerstand) is

$$(P_{in} - P_{uit}) A_t = m_s dV/dt \quad \{6.17\}$$

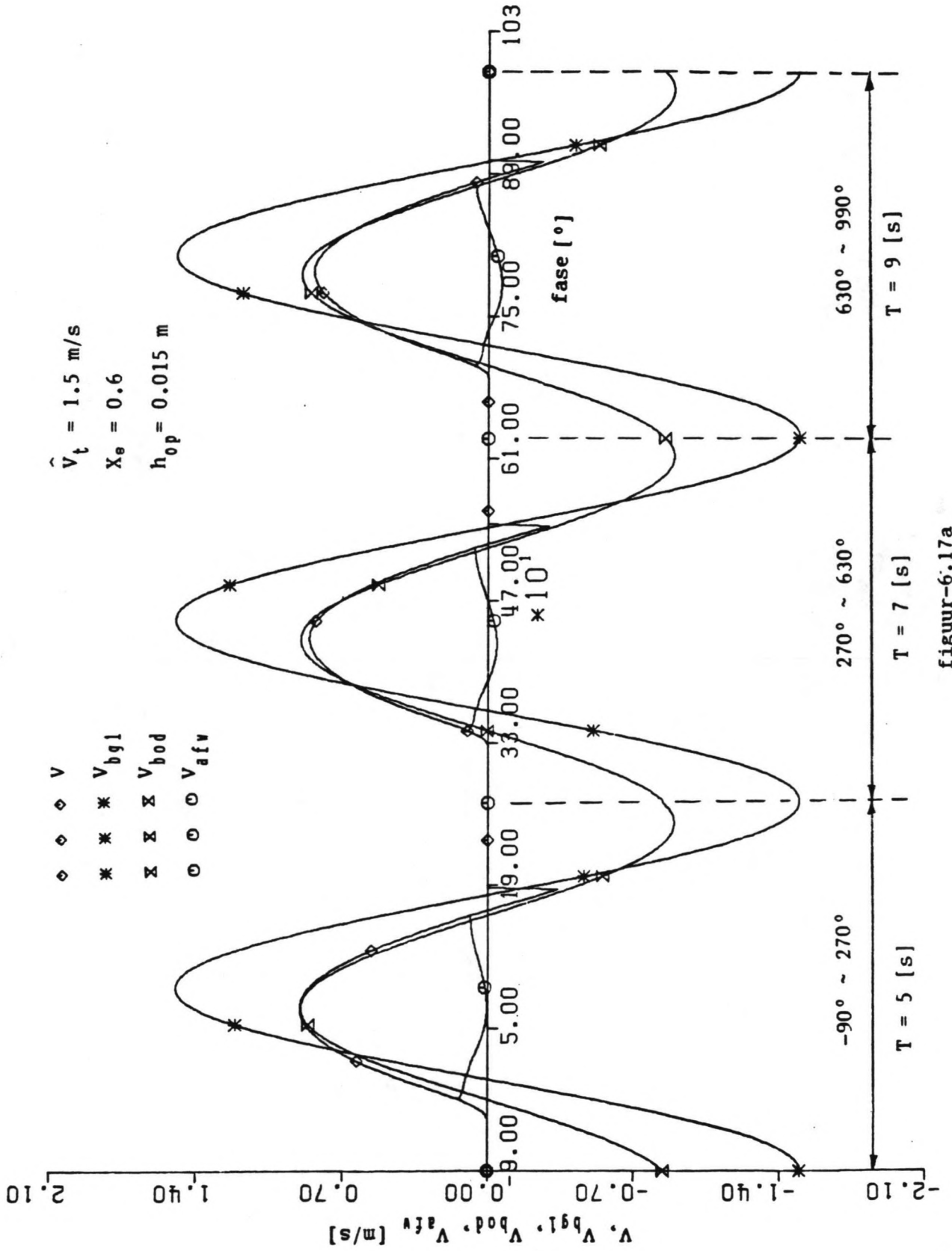
waarin:

$P_{in}$  : de druk bij de instroming [N/m<sup>2</sup>]

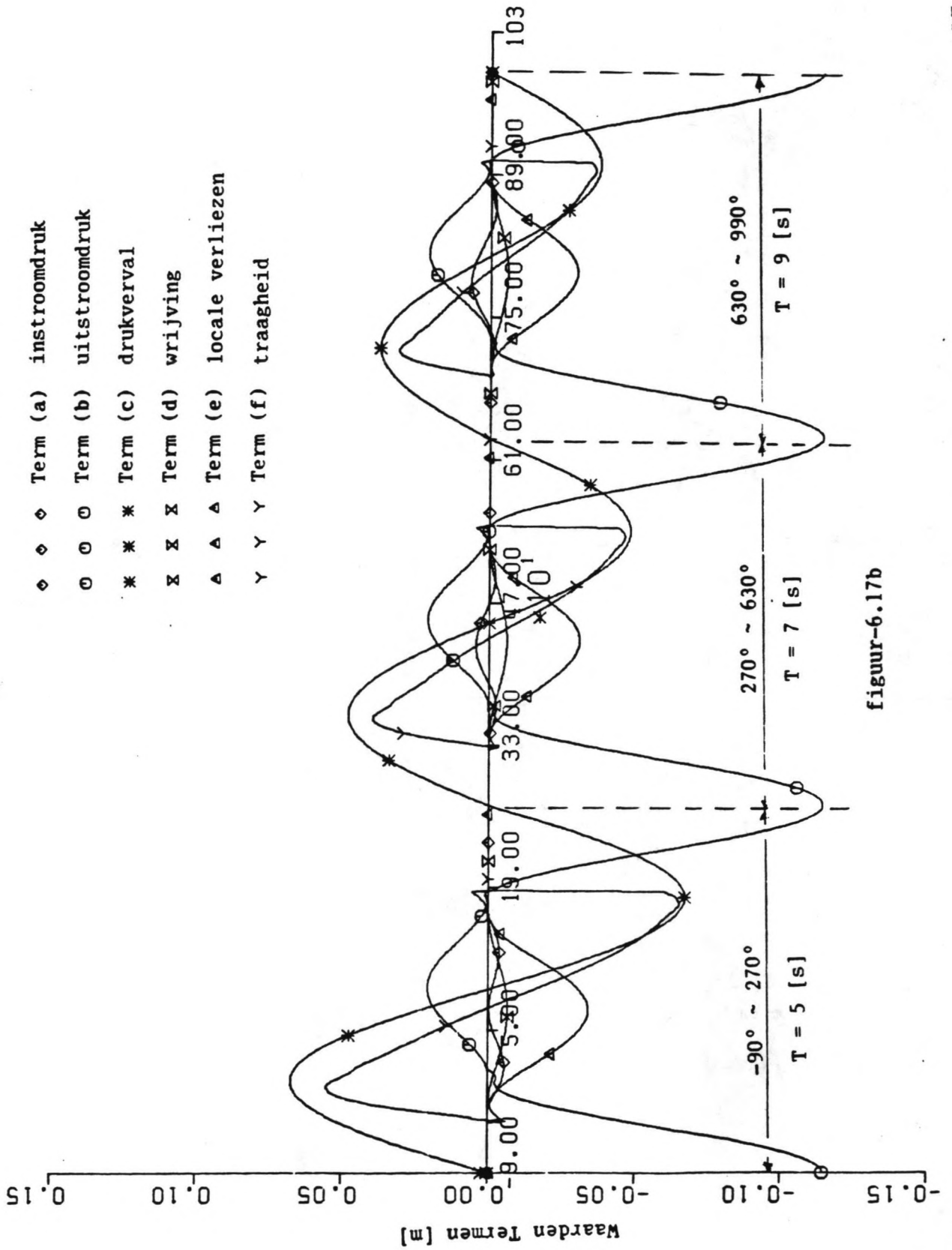
$P_{uit}$  : de druk bij de uitstroming [N/m<sup>2</sup>]

$A_t$  : de dwarsdoorsnede van het doorstroomde tunnelgedeelte [m<sup>2</sup>]

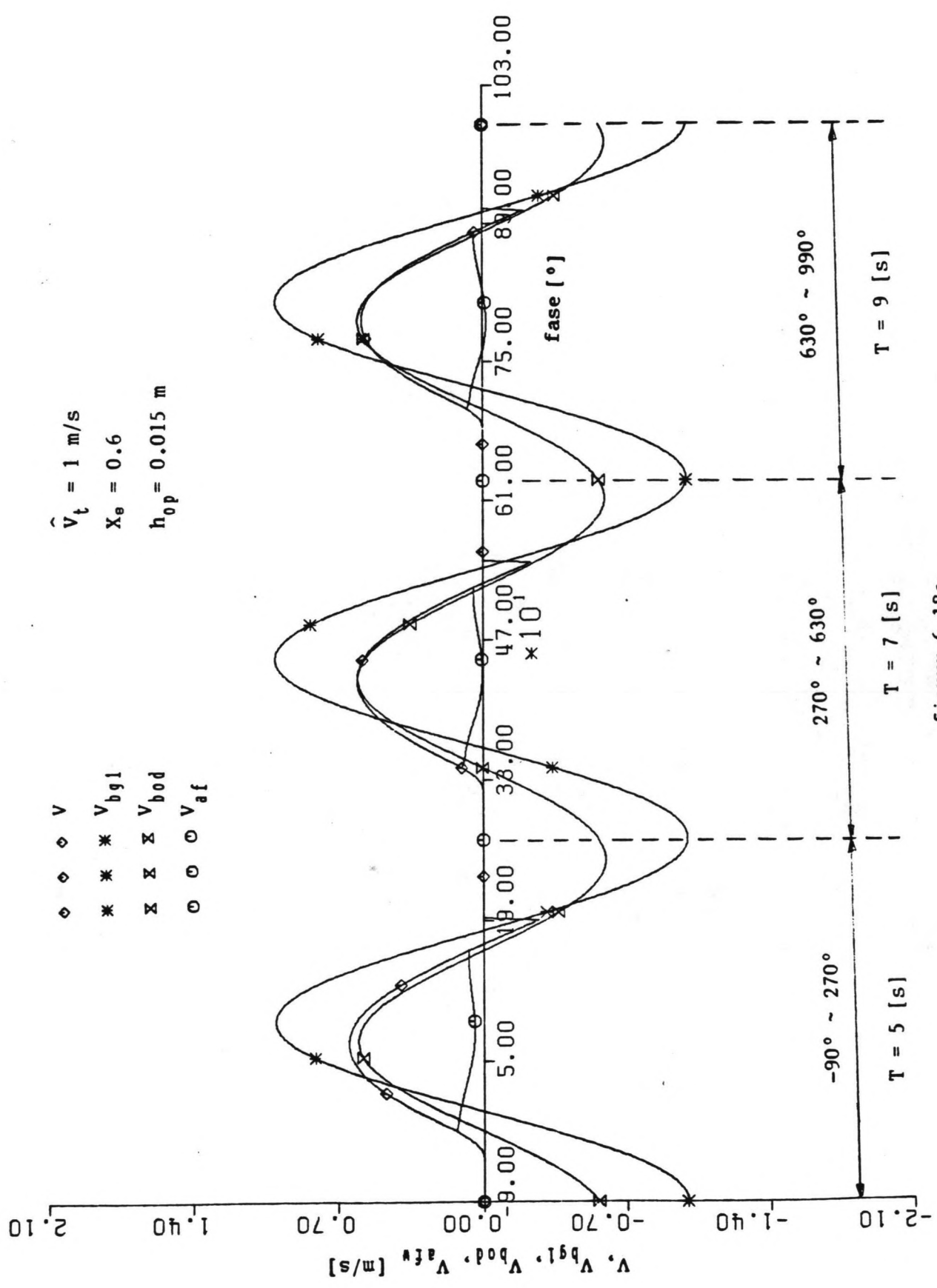
$m_s$  : de watermassa van de beschouwde sectie, over een lengte van  $L_s$  [kg].



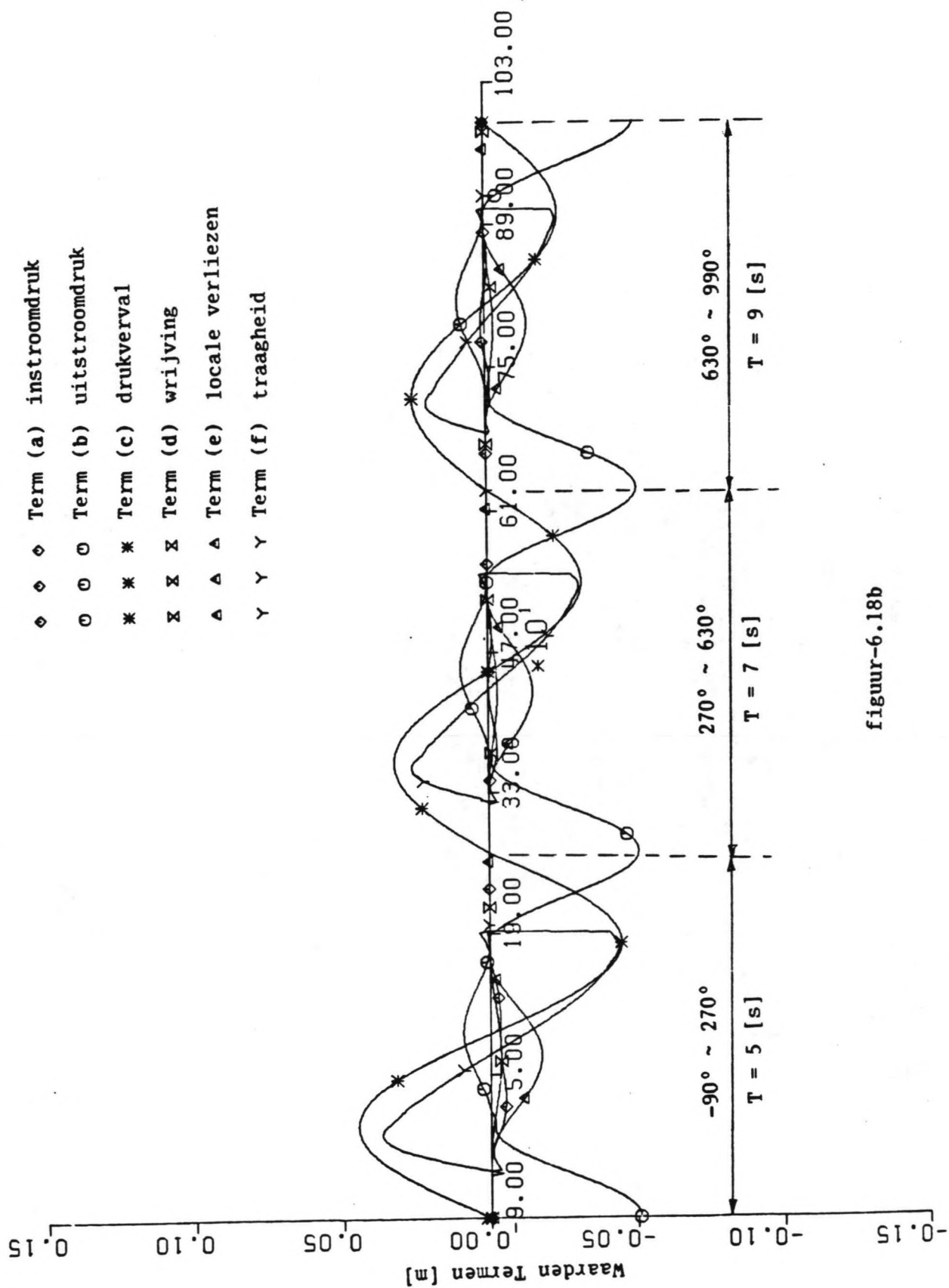
figuur-6.17a



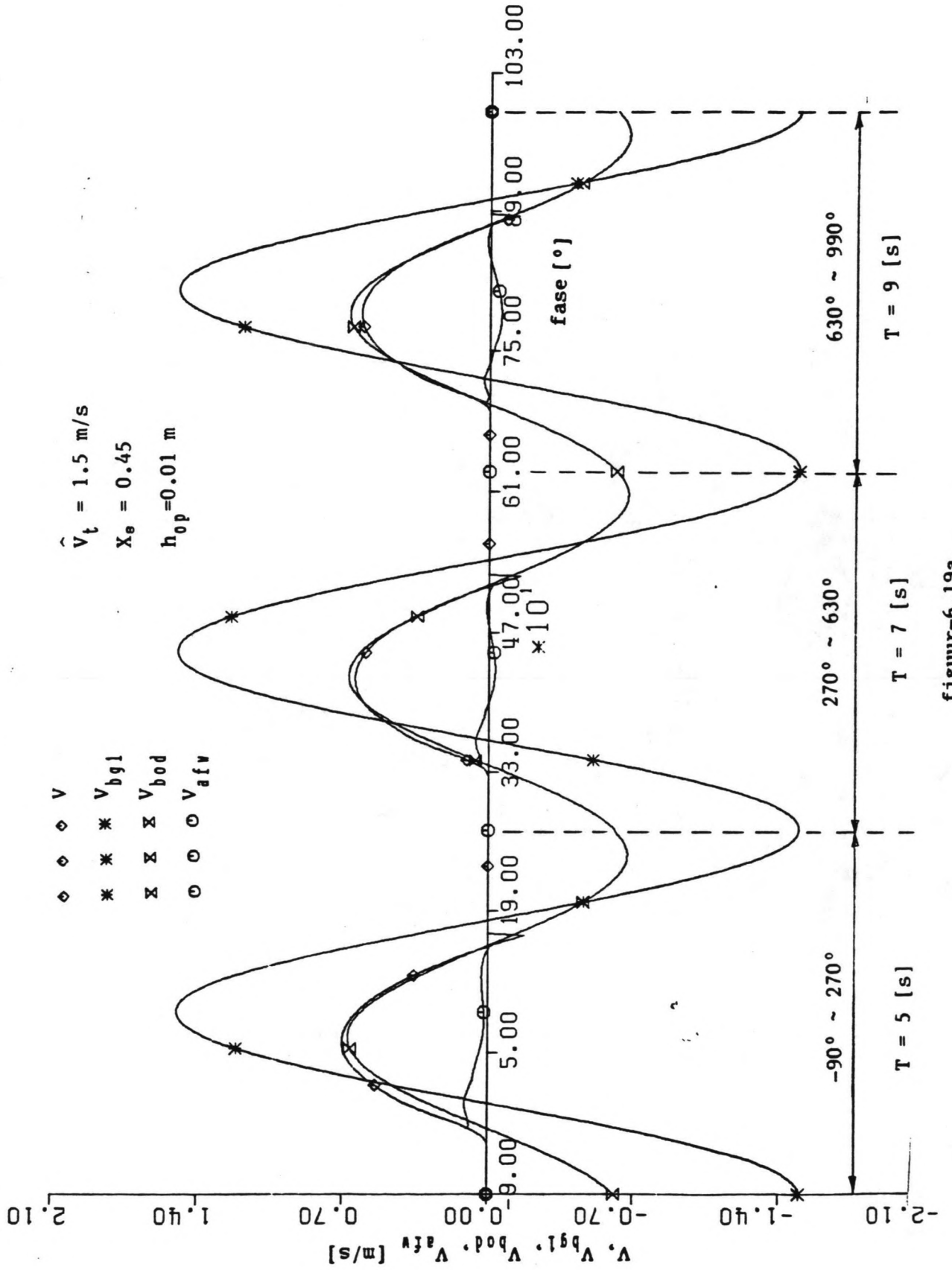
figuur-6.17b



figuur-6.18a



figuur-6.18b



figuur-6.19a

Het rechterlid van {6.17} kan nog bewerkt worden, namelijk:

$$m_s = \rho L_s A_t \quad \{6.18\}$$

$$dV/dt = (2\pi/T) \hat{V}_t \cos(2\pi t/T) \quad \{6.19\}$$

{6.17} wordt dus

$$P_{in} - P_{uit} = (2\pi/T) \rho L_s \hat{V}_t \cos(2\pi t/T) \quad \{6.20\}$$

In eenheid [m] krijgt het drukverval, de Term (c), de volgende gedaante:

$$\Delta H_c = (2\pi/gT) L_s \hat{V}_t \cos(2\pi t/T) \quad \{6.21\}$$

De uitvoering van de sampler is hier gelijk aan die van 6.3.3.1. In figuur-6.17 (min of meer te vergelijken met fig.-6.6 v.w.b. beweging in een lopende golf) vindt men de oplossing van {6.2} voor de sampler in golftunnel onder sinusvormige orbitaalbeweging met een amplitude van 1.5 m/s. De instroming  $V$  gedraagt zich hetzelfde als die in 6.3.3.1 behandelde situaties. Een proef met de sampler in een golftunnel schijnt goed geschikt voor het ijken van de sampler.

Figuur-B.27 resp. B.28 geeft de oplossing met  $L_s = 0.4$  m resp.  $0.3$  m weer (te vergelijken met  $L_s = 0.35$  m in fig.-6.17).

Een oplossing onder een orbitaalbeweging met amplitude van  $1$  m/s is in figuur-6.18 weergegeven.  $V_{afw}$  ligt nu wat hoger dan die van figuur-6.17.

Voor een lagere instromingsopening ( $h_{op} = 0.01$ ) kan er ook een tamelijk bevredigende instroming  $V$  (fig.-6.19) verkregen worden.

#### 6.4 Bezinking van zandkorrels in de sampler

Twee aspecten zullen er bekeken worden:

1. het bezinken van zand in de sampler
2. het in rust blijven van zand in de sampler

ad 1. Uit de proef van Horikawa [6] bleek dat het totaaltransport onder sheet flow conditie voornamelijk over een hoogte van ca.  $1$  cm aan de bodem plaats vindt. Stel dat de openingshoogte ( $h_{op}$ ) van de sampler  $1.5$  cm en de breedte ( $b_{op}$ )  $8$  cm (zoals de bestaande exemplaar) bedragen, dan is de oppervlakte van de instromingsopening:  $A_{op} = h_{op} b_{op}$ .

Voor een orbitaalbeweging aan de bodem

$$V_{bod} = \hat{V}_{bod} \sin(2\pi t/T) \quad \{6.22\}$$

is de maximale verplaatsing van een waterdeelte in een golfperiode

$$2a_{bod} = \int_0^{T/2} \hat{V}_{bod} \sin(2\pi t/T) dt = \hat{V}_{bod} T/\pi \quad \{6.23\}$$

waarin:  $a$  is de amplitude van de verplaatsing van waterdeelte  
aan de bodem [m].

Stel dat de instroomsnelheid is gelijk aan de aanwezige orbitaalbeweging  
( $V = V_{bod}$ ) en dat de doorsnede van de bak is  $A_b = h_b b_b$ .

Nu kunnen de orbitaalbeweging en de maximale verplaatsing van waterdeeltjes in de bak, over een bepaald stuk waar de stroming in dwarsrichting voldoende uniform verdeeld is, globaal berekend worden.

$$V_{bak} = (A_{op}/A_b) V_{bod} \sin(2\pi t/T) \quad \{6.24\}$$

en

$$2a_{bak} = (A_{op}/A_b) V_{bod} T/\pi \quad \{6.25\}$$

De valsnelheid  $w$  van een zandkorrel met een diameter  $D$  in stilwater kan m.b.v. bekende gegevens (zie Prins [16] figuur-2.3) bepaald worden. Neem aan dat deze valsnelheid, wegens de geringe stroomsnelheid in de bak, aangehouden mag worden voor de berekening t.p.v. de bak.

De valtijd, die nodig is om een zandkorrel over de hoogte van de bak te kunnen laten vallen, is:

$$t_v = h_b / w \quad \{6.26\}$$

Met {6.25} en {6.26} kan de nuttige lengte van de bak  $L_{bn}$  benaderd worden.

Het bepalen van  $L_{bn}$  aan de hand van twee numerieke voorbeelden, en uitgaand van de volgende gegevens:

de grootte van de instroming:

$$A_{op} = h_{op} b_{op} = 0.015 \times 0.08 = 0.0012 \text{ [m}^2\text{]}$$

de amplitude van de orbitaalbeweging aan de bodem:

$$\hat{V}_{bod} = 1.5 \text{ [m/s]}$$

de golfperiode:

$$T = 5 \text{ [s]}$$



de hoogte van de bak:

$$h_{bak} = 0.1 \text{ [m]}$$

de diameter van de zandkorrel:

$$D = 0.00017 \text{ [m]} = 170 \text{ [\mu]}$$

de valsnelheid is dan (uit figuur-2.3 van [16]):

$$w \approx 0.015 \text{ [m/s]}$$

de valtijd is dus:

$$t_v \approx 0.1 \div 0.015 \approx 6.7 \text{ [s]}$$

In de volgende berekening betreffende het bezinkproces wordt ervan uitgegaan, dat de verblijftijd van het water in de bak minimaal 10 seconden (tweemaal de gegeven golfperiode) moeten bedragen. Dit zal ruim voldoende zijn (immers: groot t.o.v.  $t_v$ ).

Geval 1: met een breedte van de bak  $b_b = 0.4 \text{ m}$  (het huidige exemplaar)

In 2 maal de golfperiode legt het water een weg  $L_{bn}$  af, waarvoor geldt:

$$L_{bn} = 2 \times 2a_{bak} = 2 \times [0.0012 \div (0.1 \times 0.4)] (1.5 \times 5 \div \pi) \approx 0.14 \text{ [m]}$$

(zie {6.25})

Van de bestaande sampler is de lengte van de bak:  $L_b = 0.6 \text{ m}$ . Na aftrek van de lengte van de instromingsklep, de lengte van het vertragingengebied bij de instroming en het versnellingsgebied bij de overgang bak-uitstromingspijp blijft voor  $L_{bn}$  in dit geval nog ca. 0.25 m over. Dit voldoet aan de eis.

Geval 2: met een breedte van de bak:  $b_b = 0.25 \text{ [m]}$

De eis is nu  $L_{bn} \approx 0.23 \text{ m}$

Met  $L_b \approx 0.6 \text{ m}$  moet dit ook voldoende zijn. Hierover zie verder 7.2.5 en 7.2.6.

ad 2. Voor de berekening van de schuifspanning bij de zandige bodem in de bak

$\tau_{bak}$  wordt de volgende formule (Jonsson 1966) toegepast [12]

$$\tau_{bak} = 1/2 f_w \rho |V_b| V_b \quad \{6.27\}$$

$f_w$  is een dimensieloze coëfficiënt en deze is bepaald volgens de relatie

(Swart 1974) [12]:

$$f_w = \exp[-5.977 + 5.213 (a_{bak} / r_{bak})^{-0.194}] \quad \{6.28\}$$

waarin:  $r_{bak}$  de ruwheid van de bakbodem [m].

Deze eis is zwaarder dan bij de berekening van wrijvingsweerstand in buis (zie formule {A.3}). In de nieuwe uitvoering van de sampler speelt dit aspect waarschijnlijk geen rol meer (zie 8.3).

De Shieldsparameter is

$$\tau_{bak} / [(\rho_z - \rho) g D] \quad \{6.29\}$$

waarin:  $\rho_z$  is de massadichtheid van het zand [kg/m<sup>3</sup>].

Het Reynoldsgetal voor de schuifspanningssnelheid is

$$Re_* = V_* D / \nu \quad \{6.30\}$$

$V_*$  is de schuifspanningssnelheid [m/s] en

$$V_* = \sqrt{\tau_{bak} / \rho} = \sqrt{1/2 f_v} V_b \quad \{6.31\}$$

Gebruik de numerieke waarden uit ad 1 (Geval 2) en stel  $r_{bak} = 0.002$  [m].

Het meeste kritische situatie is dan:

$$V_b = [(0.015 \times 0.08)/(0.1 \times 0.25)] \times 1.5 = 0.072 \text{ [m/s]}$$

$$a_{bak} = [5/(2\pi)] \times 0.072 \approx 0.057 \text{ [m]}$$

$$f_v \approx \exp[-5.977 + 5.213 (0.057/0.002)^{-0.194}] \approx 0.0386$$

$$\tau_{bak} \approx 1/2 \times 0.0386 \times 1000 \times 0.072^2 \approx 0.1000 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$Re_* \approx \sqrt{1/2 \times 0.0386} \times 0.072 \times 0.00017 / 10^{-6} \approx 0.17$$

$$\tau_{bak} / [(\rho_z - \rho) g D] \approx 0.1000 / [(2650-1000) \times 9.81 \times 0.00017] \approx 0.036$$

Volgens de grafiek van Shields (figuur-4.2 [16]) treedt er in de bak geen beweging van het bezonken zand op. Bij het huidige exemplaar met  $b_b = 40$  cm zal ook zeker het geval zijn.

### 6.5 Maten voor de sampler uit theoretische beschouwing

Een aantal kenmerkende waarden (meer daarover zie Bijlage-I tabel-B.1) voor de uitvoering van de sampler kunnen uit de voorgaande paragrafen afgeleid worden (zie ook het Appendix, vooral Par. A.3.6):

— voor uitvoering met instroomopening  $A_{op} = 0.015 \times 0.08 \text{ m}^2$

a. lengte instromingskoker  $L_k \approx 0.25 \text{ m}$

b. diameter instromingskoker  $D' \approx 0.053 \text{ m}$

c. lengte bak  $L_b \sim 0.6 \text{ m}$

d. doorsnede bak  $A_b \approx 0.025 \text{ m}^2$

e. lengte uitstromingspijp  $L_p \approx 0.6 \text{ m}$

f. diameter uitstromingspijp  $D \approx 0.053 \text{ m}$

— voor uitvoering met instroomopening  $A_{op} = 0.01 \times 0.08 \text{ m}^2$

Alleen een deel van 0.2 m aan de einde van de uitstromingspijp D uit de vorige uitvoering wordt vervangen door een smallere pijp, met diameter d van 0.03 m.

## Hoofdstuk 7

### Het experimentele onderzoek

#### 7.1 Inleiding

Tijdens de ontwikkelings fase moet het functioneren van de sampler op alle onderdelen geijkt worden. Op basis daarvan kunnen de eventuele verbeteringen aangebracht worden. Het zal gewenst zijn om de sampler onder sheet flow conditie te testen. Helaas is de gelegenheid tot nauwkeurig ijken nog niet aanwezig:

##### 1) In het laboratorium

a) In financieel opzicht is het niet verantwoord om speciaal voor het ontwikkelen van deze sampler kostbare proefopstellingen (bv. in de Delta Goot) op te richten.

b) TOW-ZAND was bereid om een schaal model van de sampler in combinatie met de andere reeds geplande proeven onder sheet flow conditie in de golftunnel (ISVA, Univ. Kopenhagen) te testen. Dit is echter niet doorgegaan wegens de drukke bezetting van die golftunnel. Mogelijke proeven in de nieuw te bouwen golftunnel worden in Par. 8.5 behandeld.

##### 2) In het veld

a) In zee zijn niet altijd de golven aanwezig, die een sheet flow conditie kunnen veroorzaken.

b) Op de Nederlandse kust is het moeilijk om iets onder water aan de bodem visueel waar te nemen. En de temperatuur van het zeewater is hier meestal niet hoge genoeg om zonder speciale duikkleding in het water te gaan.

c) De tijdstippen voor Hoog- en Laagwater langs de kust beperken het aantal van de veldproeven, ook als er een geschikt golfklimaat aanwezig zou zijn (zie verder 7.3).

Om toch met het ontwikkelingsproces te beginnen, worden de verschillende onderdelen van de sampler naar hun functioneren in twee categorieën

gesplitst:

A. De onderdelen, die tot de eerste categorie behoren, kunnen in het laboratorium getest (7.2) worden. Deze zijn de volgende:

- a) de debietmeter.
- b) het zandverlies van de sampler (hoeveel procent ingestroomd zand blijft in de sampler).
- c) de openingsklep (alleen onder stationaire stroming).
- d) het gedrag onder hoge concentraties met een grote (stationaire) stroomsnelheid.
- e) de uitstromingsconstructie (o.a. het sluitingsmechanisme van de terugslagklep bij het omkeren van stroomrichting in de sampler, aanwezigheid van het afzuigings effect).

B. De onderdelen van tweede categorie zullen voornamelijk in het veld bekeken worden (7.3):

- a) werking van de sampler in de natuur.
- b) invloed van de sampler op de morfologische condities rond de sampler tijdens de meetuitvoering.
- c) praktische ervaring van meten met zo'n sampler.

## 7.2 Proeven in het Laboratorium

De proeven zijn in het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van TH-Delft uitgevoerd, tenzij anders vermeld.

### 7.2.1 Proef 1: sampler in een stroomgoot

Het doel

- 1) Het globale bepalen van het hydraulische gedrag van de sampler onder stationaire stroming.

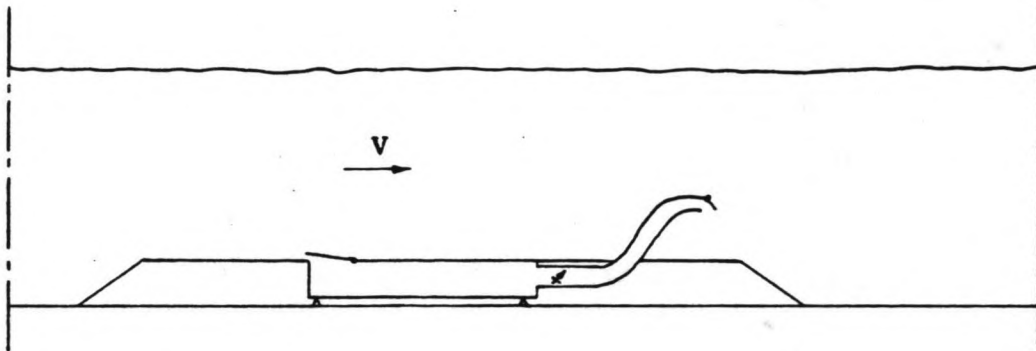
De proef opstelling is weergegeven in fig.7.1.

In de stroomgoot wordt er een verhoging ( $h_{bak}$ ) met houten planken over een gedeelte van de bodem gemaakt (fig.7.1). De onderkant van de instromingsopening ligt op hetzelfde niveau als de verhoogde bodem.

De proefuitvoering:

Afhankelijk van de waterdiepte en de grootte van de debiet kan de

stromingssnelheid (tot ca. 0.5 m/s) in de goot bijgesteld worden. Onder stationaire stroming wordt er m.b.v. merkstof het stroombeeld vlak voor de instroming beschouwd.



figuur-7.1 proefopstelling in stroomgoot

Resultaat en analyse:

- a) Bij het begin is een mechanische waterleiding-debietmeter in de uitstromingspijp van de sampler geplaatst. Deze debietmeter geeft te groot drukverlies, daardoor ontstaat een opstuwung voor de instromingsopening en het water, dat in de sampler terecht zou moeten komen, stroomt grotendeels om de opening heen.
- b) Na het verwijderen van deze debietmeter wordt de situatie veel beter. Het is nauwelijks op te merken dat er een afwijking in de stroomlijnen bij de instroming optreedt.

Het vinden van een geschikte debietmeter vormt dan een direct probleem.

### 7.2.2 De debietmeter

Uit het programma van eisen, de functies van de sampler en de ervaring van Proef 1 kunnen de eisen voor de debietmeter worden gesteld:

- 1) het drukverlies moet beperkt zijn (zie ook 6.2).
- 2) onder orbitaalstromingen, met verschillende amplituden en perioden moeten de meetresultaten (de relatie tussen een geregistreeerde numerieke waarde en de doorgestroomde water-volume) betrouwbaar en direct leesbaar zijn.
- 3) het functioneren van de debietmeter moet eenvoudig (bv. zonder net aansluiting voor electriciteit) zijn.

4) werkend in natte omstandigheden en bestand tegen (licht)zandig zeewater.

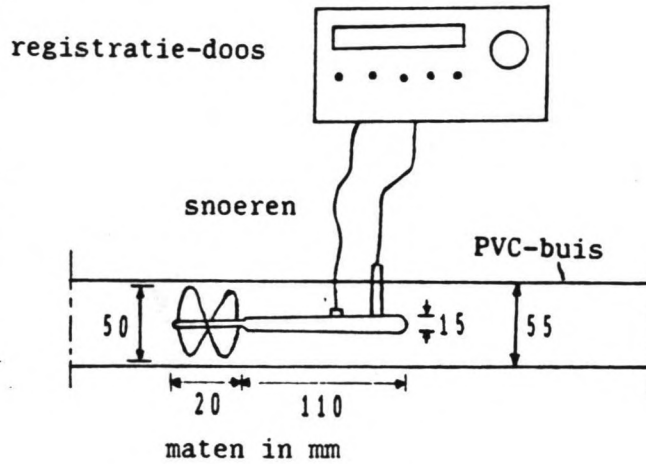
5) de kosten moet niet te hoog zijn.

Als de uiteindelijke oplossing is er een debietmeter gemonteerd, welke bestaat uit (fig.-7.2):

1) Een propeller van de A-OTT-KEMPTEN snelheidsmeter met een diameter van 5 cm.

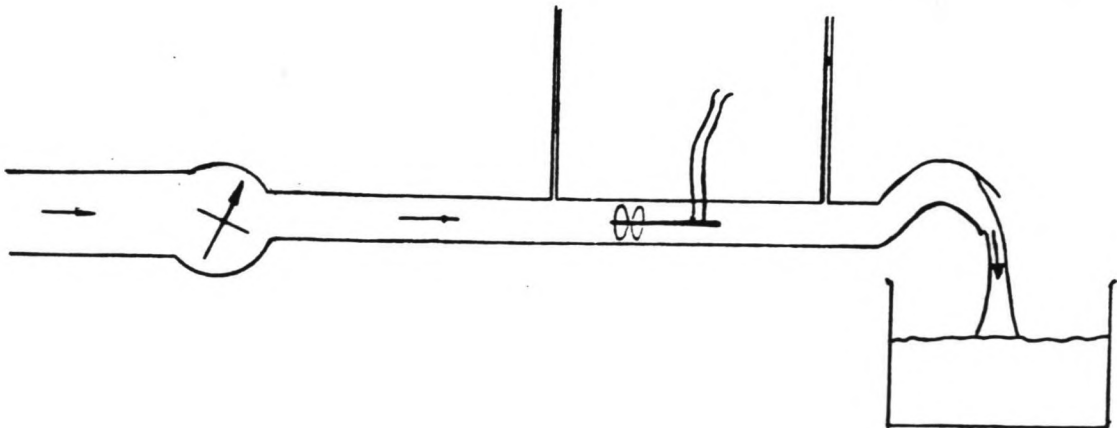
2) Een daarbij behorende registratiedoos, met een batterij als voeding. Bij iedere omwenteling, ongeacht de richting, van de propeller wordt er 1 (digitaal)opgeteld.

3) PVC buis met diameter van 5.5 cm, waarin de propeller bevestigd wordt.



figuur-7.2 de debietmeter

### 7.2.3 Proef 2: ijking debietmeter bij stationaire stroming



figuur-7.3

Het doel:

- 1) het kennen van het gedrag van de debietmeter onder stationaire stroming
- 2) schatten van het drukverlies over de debietmeter
- 3) bepalen van het calibratie getal van de debietmeter

De proefopstelling is weergegeven in figuur-7.3, waarbij de debietmeter met een waterkraan wordt verbonden.

De proefuitvoering:

Het debiet kan met het regelen van de kraan op een bepaalde grootte vastgesteld worden. De hoeveelheid water (G), die gedurende een aantal vastgestelde omwentelingen (N) van de propeller door de debietmeter gestroomd is, wordt gevangen en gewogen. De benodigde tijd (t) voor de propeller om het aantal vastgestelde omwentelingen kan voltooiën is ook door de registratie doos geregistreerd. Daaruit zijn het calibratie getal (K) en de grootte van het debiet (Q) te bepalen.

$$Q = (G / \rho g) \div t \quad \{7.1\}$$

waarin:

- Q : het gemiddelde debiet [l/s],  
G : gewicht gevangen water [N],  
 $\rho$  : massadichtheid water [kg/m<sup>3</sup>],  
t : duur van een proefuitvoering [s].

$$K = (G / \rho g) \div N \quad \{7.2\}$$

waarin:

- K : het calibratiegetal van de debietmeter [1/omw],  
N : aantal, tijdens een proef geregistreerde, omwentelingen [omw].

De twee plastic buisjes in de opstelling zijn bedoeld om het drukverlies over de propeller waar te nemen. Het verlies blijkt verwaarloosbaar te zijn.

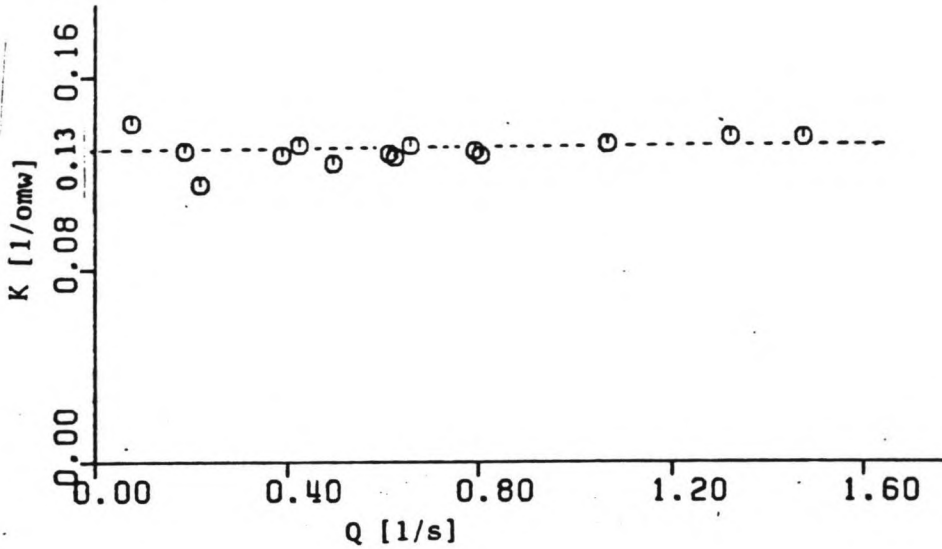
Resultaat en analyse:

De relatie Q-K is in figuur-7.4 getekend.

Voor debieten groter dan 0.20 l/s is het verloop van K vrijwel constant, ca. 0.130 1/omw.



Voor debieten kleiner dan 0.20 l/s ligt K waarde hoger dan .13 (zie verder ook fig.-7.11 en 7.13). Dit zal waarschijnlijk ontstaan door dat het draanien van de propeller onder kleine stromingssnelheid relatief meer invloeden van eigen traagheid en interne wrijving dan van de aanstroming zal krijgen.



figuur-7.4

opmerking:

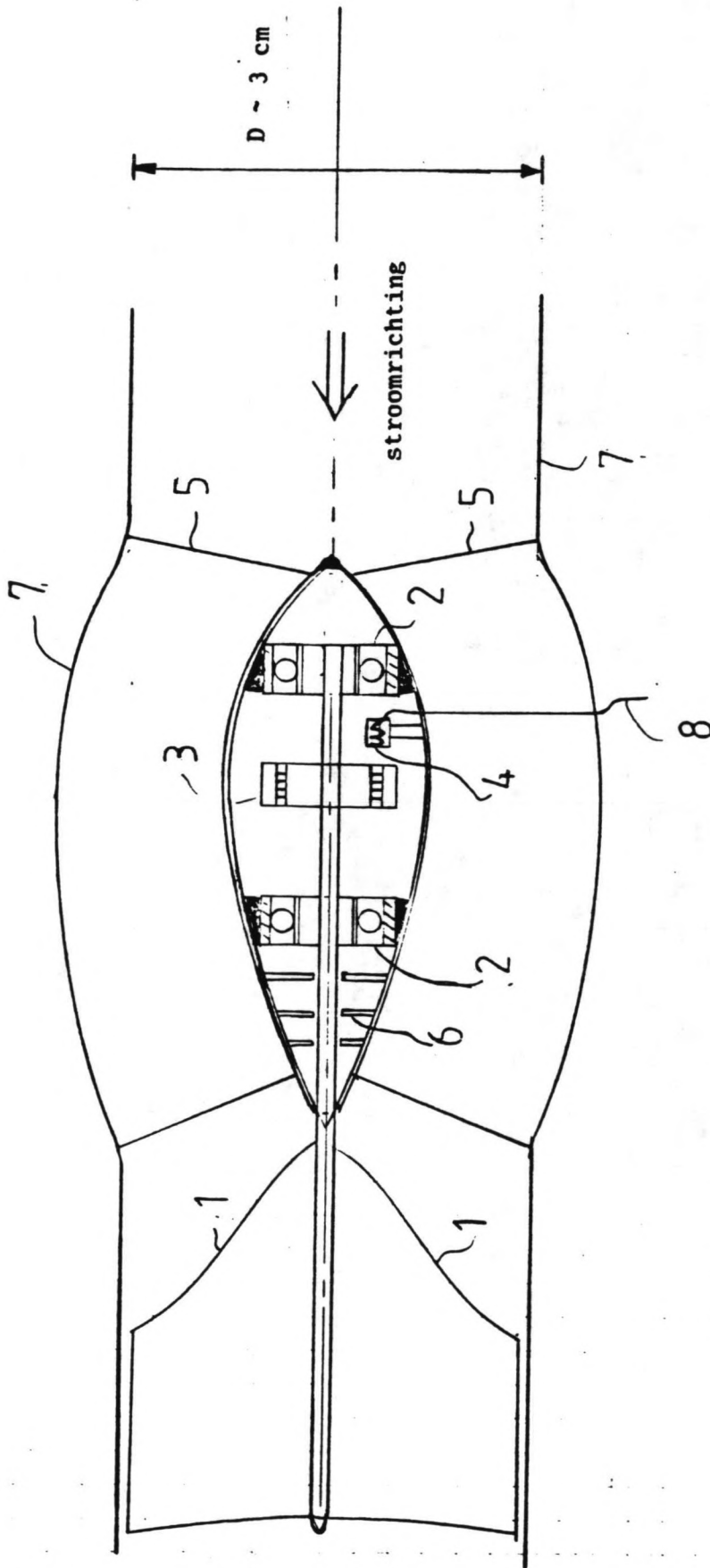
1. Tijdens het zoeken naar debietmeter is er ook aan gedacht om een meter te vervaardigen. Het principe van zo'n meter is in figuur-7.5 geschetst; dit blijkt hetzelfde te zijn als dat van de gevonden meter. De kleine diameter van 3 cm is wegens mogelijk grote ongevoeligheid van de propeller.
2. De belangrijkste vraag is echter:

Wat doet de debietmeter onder variërende stroming, in het bijzonder bij een sinusvormige orbitaalstroming?

#### 7.2.4 Proef 3 : ijking debietmeter bij orbitaalstroming

Het doel:

- 1) kennismaking met het functioneren van de debietmeter onder orbitaalstromingen.
- 2) het bepalen van het calibratiegetal van de debietmeter onder orbitaalbeweging.
- 3) het bepalen van de invloed van de periode van zo'n stroming op het calibratiegetal.

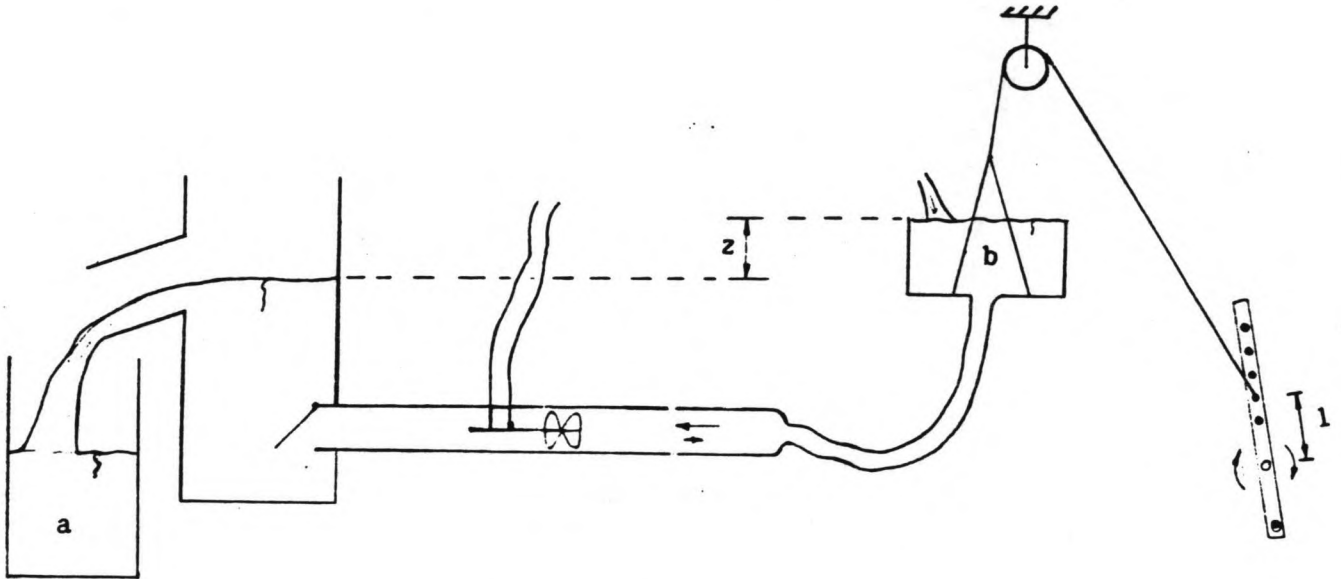


- 1 propeller blad
- 2 kogel lager
- 3 magneet
- 4 pick-up sensor
- 5 bevestiging / seleiding plaat
- 6 cylinderische plaatjes tegen zand indringing
- 7 buiswand
- 8 uitvoer signaal snoer

figuur-7.5

- 4) het bepalen van de invloed van de amplitude van zo'n stroming op het calibratiegetal.
- 5) het onderzoek naar de werking van de terugslagklep.

De proefopstelling is weergegeven in figuur-7.6.



figuur-7.6

De debietmeter is tussen twee waterbakkken gemonteerd. De ligging van een bak (a) (de uitstroming) is vast. De bak (b) wordt via een touw op een wiel gehangen. Door het draaien van het wiel kan het niveau van de waterspiegel in de bak(b) variëren. Bij deze bak wordt er steeds water tot de bovenkant van de bak toegevoegd zodat de hoogte van de waterspiegel daar alleen van de draaiing van het wiel af hangt.

De proefuitvoering:

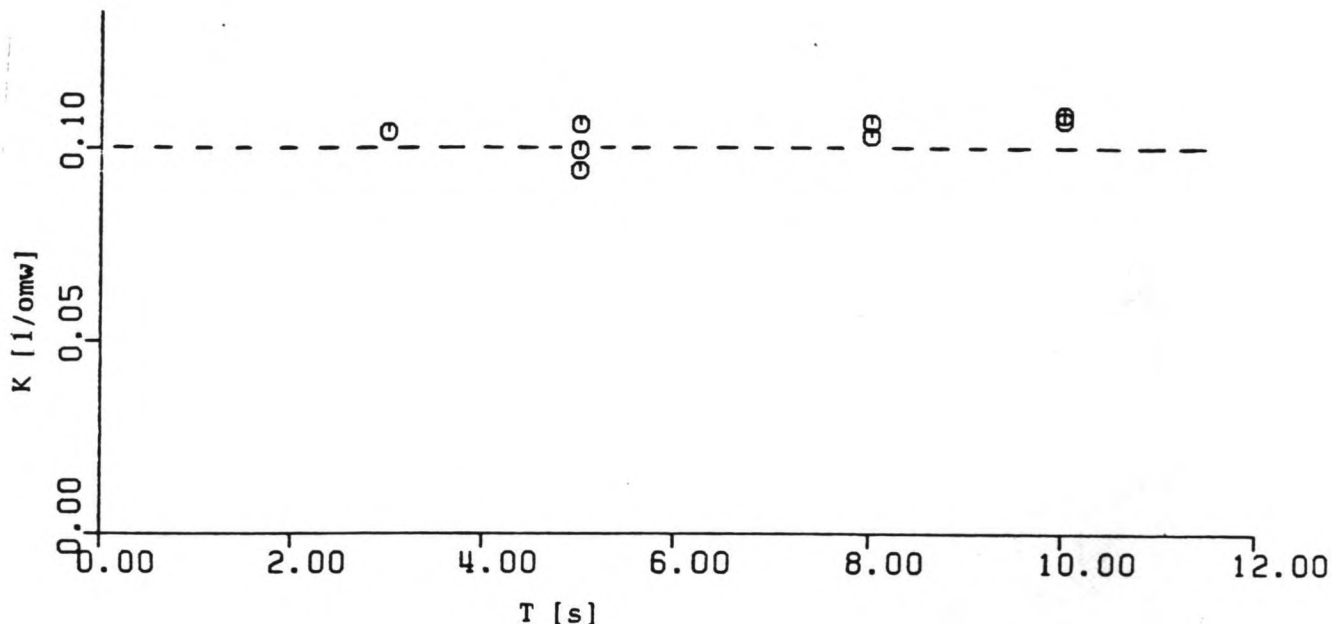
Door om de draai-hoeksnelheid  $\omega$  van het wiel te laten variëren kunnen er verschillende perioden van  $z(t)$  gecreëerd worden. De amplitude van  $z(t)$  zal m.b.v. het bijstellen van de afstand  $l$  (fig.-7.6) in grootte variëren.

Er worden met een aantal perioden doorgestroomd. De registreerde omwentelingen ( $N$ ) en het gevangen water ( $G$ ) bepalen het calibratiegetal (zie vgl {7.2}).

Resultaat en analyse:

De relatie  $K$  (calibratiegetal) -  $T$  (periode) is, met twee verschillende waarde van  $l$ , in figuur-7.7 gegeven. De waarden van  $K$  is vrijwel constant

over een gebied van  $T = 3$  s tot en met  $T = 10$  s. Het verschil in amplitude geeft ook nauwelijks invloed op het calibratiegetal. In plaats van 0.13 1/omw onder stationaire stroming is de grootte van  $K$  ca. 0.1 1/omw bij deze proef geworden.



figuur-7.7

#### 7.2.5 Proef 4 : opstelling met stationaire instroming van de sampler

Uit de resultaten van de voorgaande proeven kan geconstateerd worden dat de debietmeter afzonderlijk in grote mate aan de voorgestelde eisen, zowel onder stationaire als onder orbitaalstroming voldoet. De vraag, die hierbij zou kunnen gesteld worden, of de orbitaalbeweging waaraan getoetst is met de werkelijke overeenkomt, zal in 7.2.6 aan de orde komen.

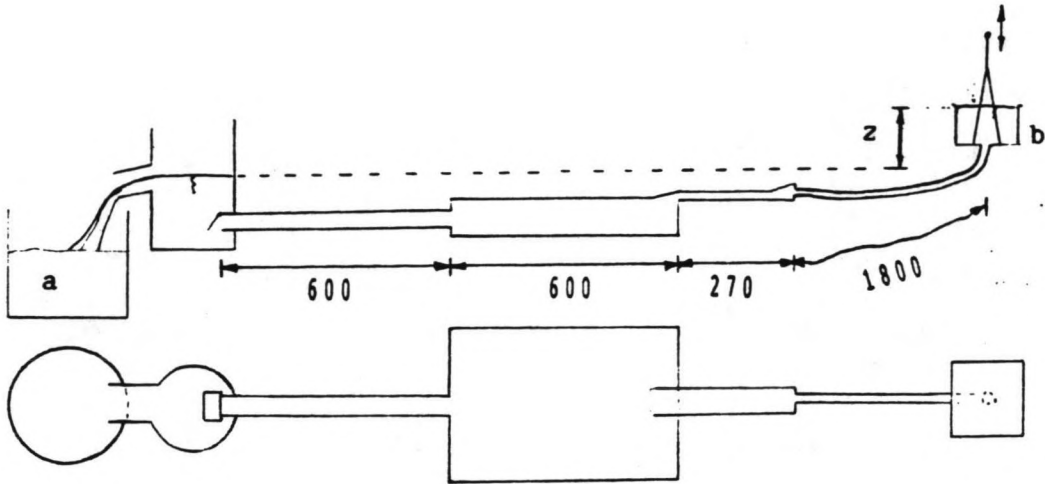
De werking van de debietmeter samen met de bak en de andere aspecten van de sampler als geheel zijn nog niet aan de orde gekomen.

In de aan de orde komende serie proeven zal daarom aan de volgende punten aandacht geschonken worden:

- 1) het waarnemen van verlies van de ingestroomde zandkorrels en maatregelen toepassen als er 'te veel' verlies optreedt.
- 2) het calibratiegetal van de, in de sampler gemonteerde, debietmeter onder stationaire stroming.
- 3) het kwalitatieve beschouwen van de relatie verval-debiet ( $z-Q$ )

onder invloed van verschillende interne constructies in de bak van de sampler met betrekking tot de lokale verliescoëfficiënten.

De principe proefopstelling is weergegeven in figuur-7.8.

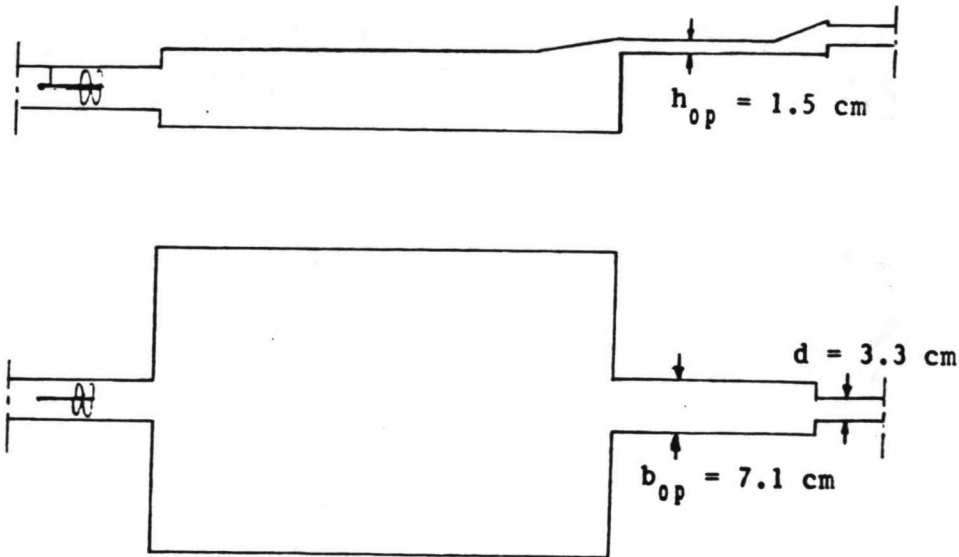


maten in mm

figuur-7.8

De opstelling is een uitbreiding van de Proef 2. Op de plaats van de debietmeter is nu de volledige sampler gekomen. De verschillende variaties van Proef 4 komen nu in Paragrafen 7.2.5a t/m 7.2.5c ter sprake.

#### 7.2.5a Proef 4a : zonder hulpconstructie in de bak



figuur-7.9

Het doel: Zie punten 1), 2) en 3) in paragraaf 7.2.5.

De vormgeving van de sampler is in figuur-7.9 weergegeven.

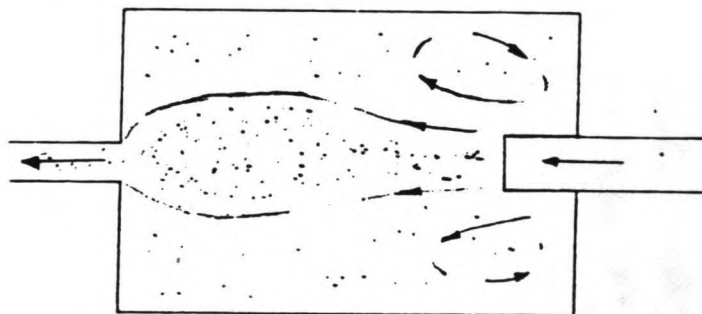
In de bak is er geen hulpconstructie aanwezig.

De proefuitvoering:

De bak (b) in figuur-7.8 is op een bepaalde vaste stand, hoger dan die van bak (a), gehouden. Het debiet kan door de verandering van het waterniveauverschil  $z$  ( $z$  is nu constant voor een bepaalde proefuitvoering) bijgesteld worden tot de gewenste grootte.

I.v.m. de eerste doelstelling worden er naast proeven met 'schoon' water ook proeven uitgevoerd waarbij in de bak (b) strandzand is toegevoegd en gemengd.

Resultaat en analyse:



figuur-7.10

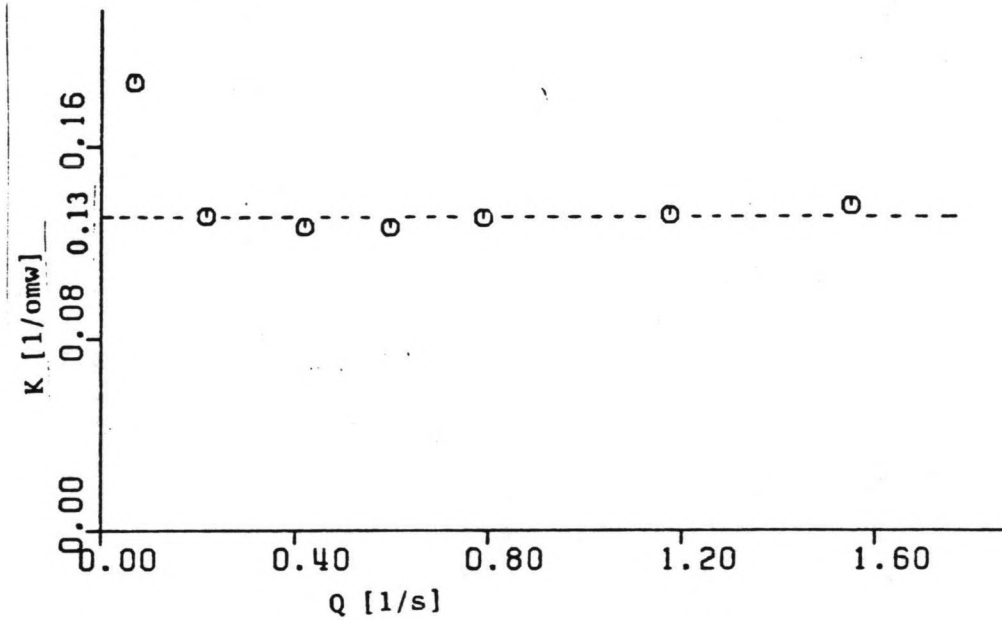
ad 1) Hier treedt behoorlijk zandverlies op. Binnen de bak is de stroming in de dwarsrichting na het instromen niet goed verdeeld. Er ontstaat een 'straal' tussen de instromingsopening en de uitstromingspijp (fig.-7.10). Dus:

a) De stroming is sterk turbulent. Een aanzienlijk deel van de ingestroomde zandkorrels blijft in suspensie. Het zinkproces van zandkorrels in de bak is deels verstoord.

b) Door de grote stroomsnelheid is de verblijfstijd (zie 6.3) van de zandkorrels in de bak kort. De korrels kunnen niet de bodem van de bak bereiken voordat zij in de uitstromingspijp terecht zijn gekomen.

ad 2) Het verloop van het calibratiegetal  $K$  (fig.-7.11) wijkt nauwelijks af van dat uit de Proef 2 (zie fig.-7.3). De aansluiting van de

debietmeter aan de bak onder stationaire stroming heeft geen invloed op de waarden van K.



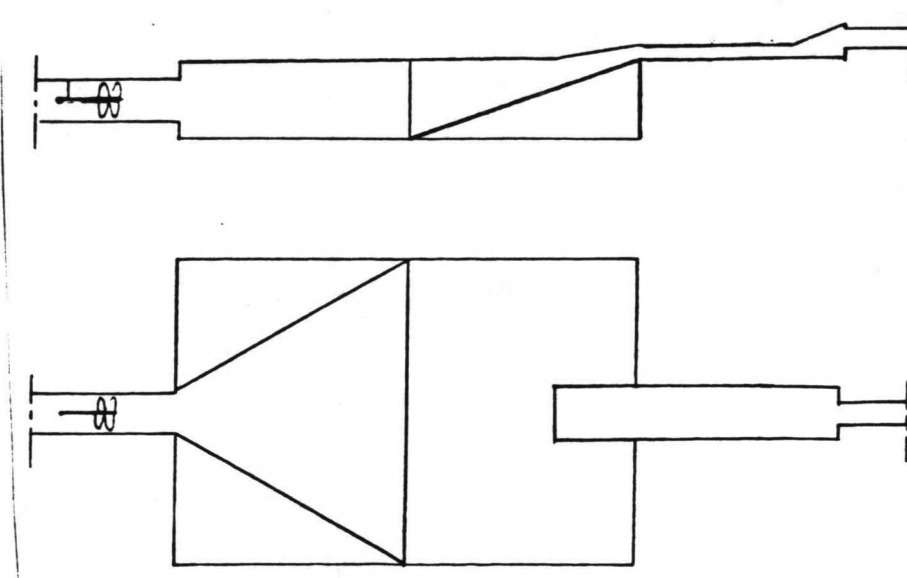
figuur-7.11

ad 3) De proefuitkomsten voor  $z$ - $Q$  met verschillende vormgevingen van de sampler zijn in figuur-7.14 getekend. Op de analyse daaromtrent komt Par. 7.2.5b op terug.

#### 7.2.5b Proef 4b : met geleide schotten in de bak

Het doel: Zie onder Proef 4a.

De vormgeving van de sampler is weergegeven in figuur-7.12.



figuur-7.12

In de bak van de sampler zijn nu twee geleideschotten voor de overgang bak-uitstromingspijp en een schuine plaat (die van de onderkant van de instromingopening tot de bodem in het midden van de bak) geplaatst. De lokale verliescoëfficiënten zullen hier kleiner zijn dan die van Proef 4a.

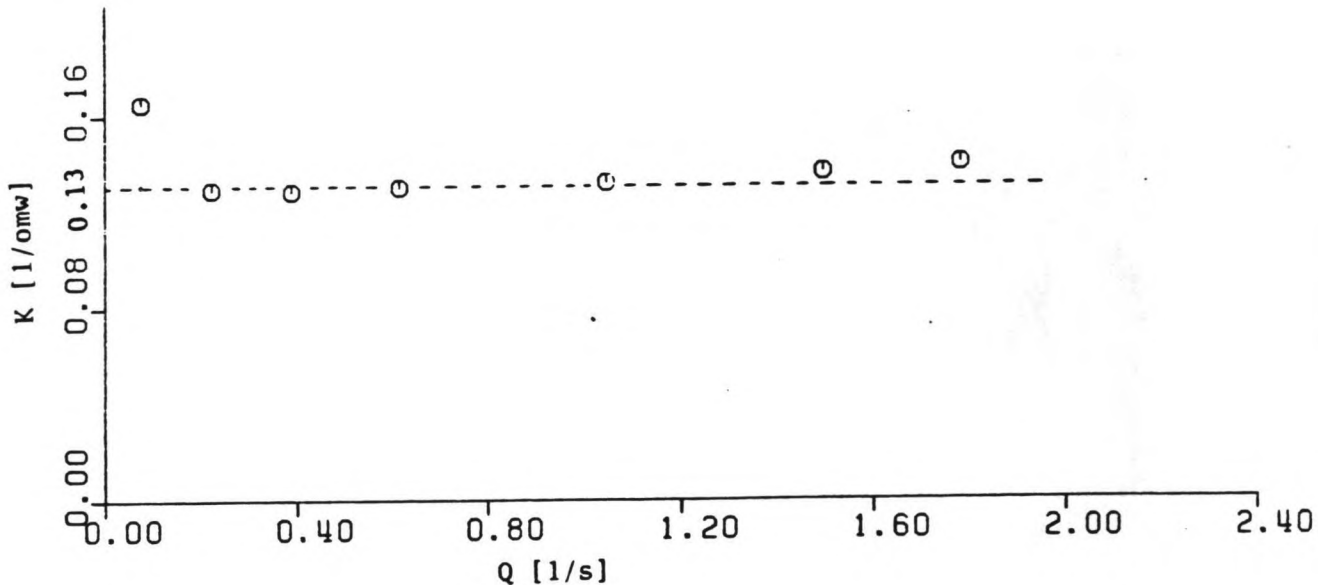
De proefuitvoering:

Zie Proef 4a.

Resultaat en analyse:

ad 1) De situatie is dezelfde als in Proef 4a.

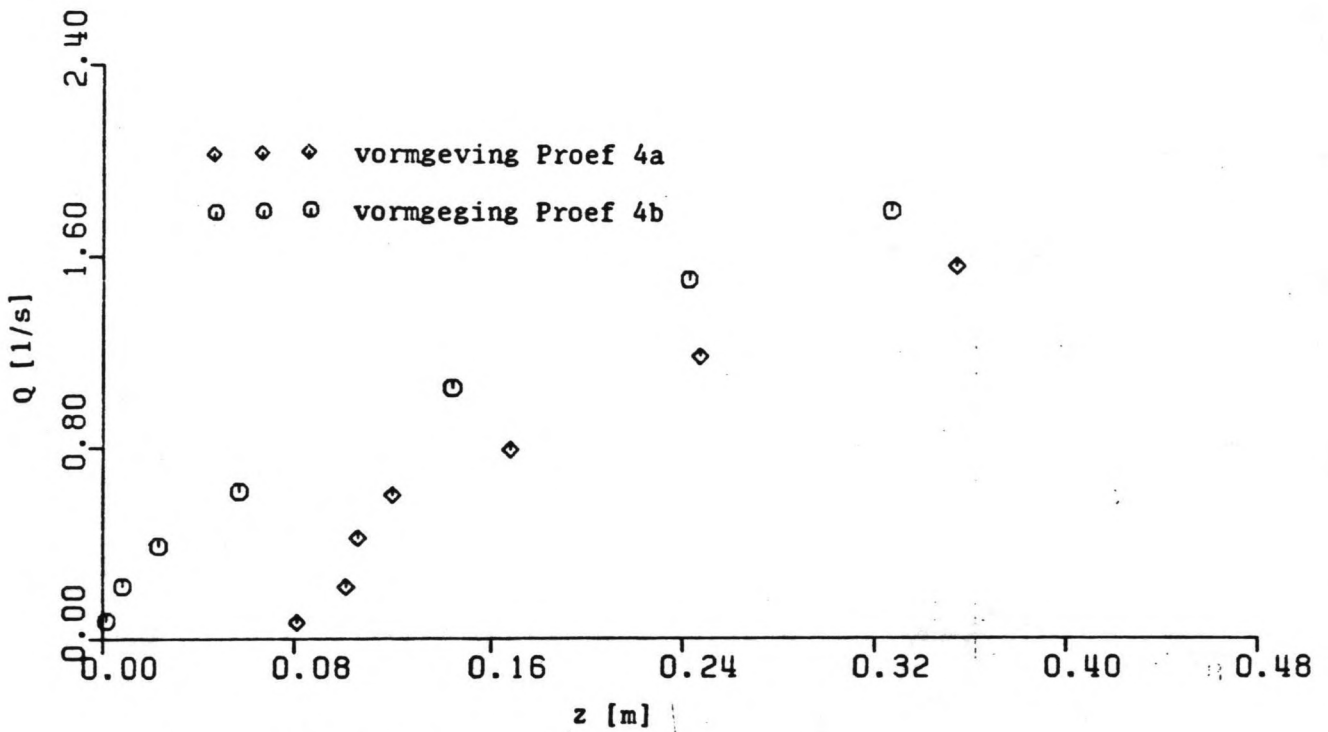
ad 2) Er is geen noemenswaardige verandering in het verloop van K-Q (fig.-7.13) t.o.v. de voorgaande proeven (zie fig.-7.3 en fig.-7.11) waar te nemen.



figuur-7.13 relatie Q-K

ad 3) Met deze opbouw wordt het lokale verlies kleiner (zie fig.-7.14). Het is duidelijk dat de uitvoering van de sampler de locale verliescoëfficiënt sterk kan beïnvloeden. Bij deze proef is er op dit punt niet verder ingegaan. Een nieuwe sampler moet vervaardigd worden als het onderzoek naar deze sampler een vervolg zal hebben. Gezien het experimentele karakter van deze verliescoëfficiënt is het nodig om bij de definitieve uitvoering van de sampler de coëfficiënt nogmaals grondig te ijken (zie Hoofdstuk 8).



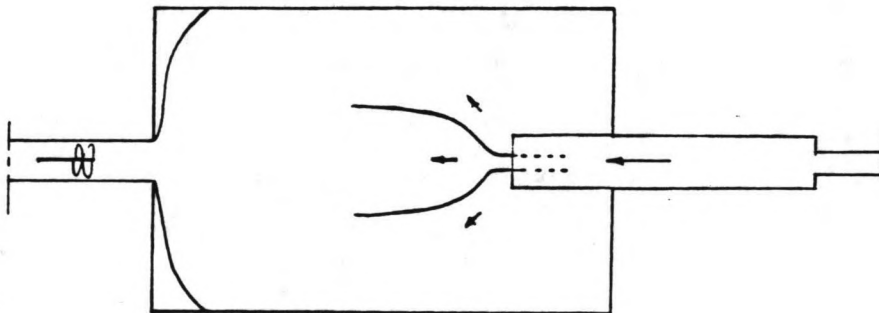


figuur-7.14

### 7.2.5c Proef 4c : met verdelingsschotten in de bak

Het doel: alleen punt 1) van 7.2.5, het reduceren van zandverlies.

De vormgeving van de sampler is in figuur-7.15 weergegeven.



figuur-7.15

Twee verticale splitsschotten zijn bij de instroming geplaatst. Deze dient om de stroom in de bak goed in de dwarsrichting te verdelen zodat het zandverlies gereduceerd kan worden.

De proefuitvoering:

Zie Proeven 4a.

Resultaat en analyse:

Na de plaatsing van de splitsschotten in de bak is de verdeling van de

stroming daar in dwarsrichting aanzienlijk verbeterd. Het bezinkingsproces van de zandkorrels verloopt stabiel. Van het aan de bodem bezonken zand spoelt alleen wat weg bij de overgang bak-uitstromingspijp door de versnelling van de stroming aldaar. Dit zal geen probleem vormen (zie Hoofdstuk 8). Het kwantitatieve bepalen van zandverlies onder orbitaalbeweging bij de instroming wordt in Proef 5b gedaan.

#### 7.2.6 Proef 5 : opstelling met orbitale instroming van de sampler

Bij deze proef zullen in principe naar dezelfde aspecten als in Proef 4 bekeken worden. Echter het in 7.2.5 genoemde punt 3) krijgt, in dit stadium, minder aandacht (zie 7.2.5b ad3)).

Het doel:

- 1) het kwantitatieve bepalen van zandverlies.
- 2) het bepalen van het calibratiegetal en daarop aansluitend: het controleren of er inderdaad een 'sinusvormige' orbitaalbeweging in de proef (dus ook in de proef opstelling 3) gecreeerd kan worden.

De principe proefopstelling blijft hetzelfde als bij Proef 4 (zie fig.-7.8). Maar de bak (b) wordt nu harmonisch op en neer bewogen (zie Proef 3). Bij Proef 4 is  $z(t) = \text{constant}$ . Hier is  $z(t) \sim 1 \sin(\omega t)$ .  $\omega$  is de hoeksnelheid van het draaien van het wiel.

De proefopstelling is dus een combinatie van Proeven 3 en 4. Om bovengenoemde punt 2) te realiseren wordt er een Laser-Doppler snelheidsmeter bij de instromingsopening geplaatst. In de Paragrafen 7.2.6a en 7.2.6b komen de varianten Proef 5a en 5b aan de orde.

#### 7.2.6a Proef 5a : zonder verstijving van de bak

Het doel:

Zie in 7.2.6 genoemde punt 2).

De vormgeving van de sampler is dezelfde als die in figuur-7.15 getekend.

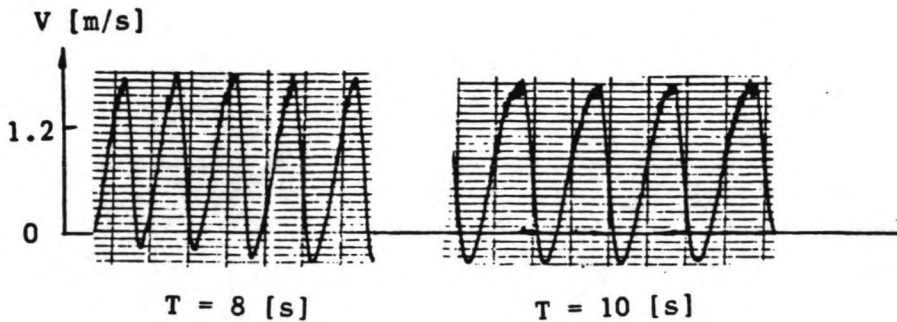
De proefuitvoering:

De behandeling voor deze proef is hetzelfde als bij Proef 3.

De resultaat en analyse:

De gemeten stroming bij de instromingsopening heeft een duidelijk

orbitaal karakter (zie fig.-7.16).



figuur-7.16

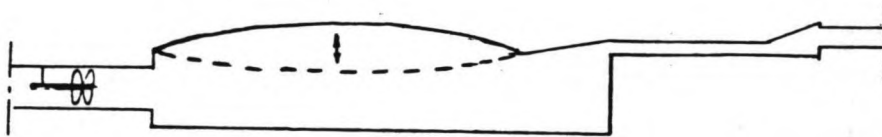
Twee opmerkingen over de resultaten:

1) Het snelheidsverloop is asymmetrisch.

Tijdens de draaiing van het wiel is geprobeerd om de hoeksnelheid zo goed mogelijk constant te houden.

2) Het effect van de terugslagklep is uit het snelheidsverloop nauwelijks te zien.

In het gedeelte van de waarneming met negatieve snelheid zouden zich naar verwachting discontinuïteiten in het snelheidsverloop, wegens het dicht gaan van de terugslagklep, manifesteren. Dit sluiten van de terugslagklep is bij de proef duidelijk waar te nemen. Echter het verloop van de snelheid is desondanks heel vloeiend.



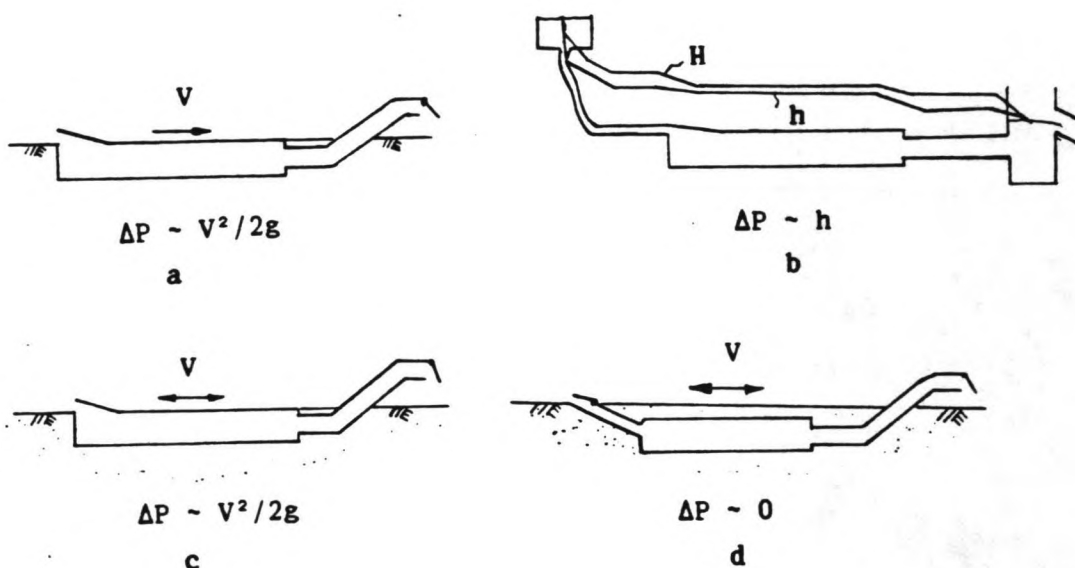
figuur.7.17

De bovengenoemde verschijnselen zullen waarschijnlijk door het 'ademen' (fig.7.17) van het perspex deksel veroorzaakt zijn. Dit is ook bij Proef 1, onder stationaire stroming, waargenomen. In fig.-7.18 zijn een aantal situaties, waarin de sampler zich tijdens laboratoriumproeven en metingen in natuur kan bevinden, getekend. In figuur-7.18 is  $\Delta P$  het drukverschil in- en buiten de sampler ter plaatse van de deksel.

In figuur-7.18a is de situatie van de sampler in een stroomgoot weergegeven. De verlopen van de energiehogte  $H$  en de plaatshogte  $h$  bij de proef

opstelling, zoals in figuur-7.8 gegeven is, worden in figuur-7.18b getekend. Het geval met het huidige exemplaar onder een orbitaalbeweging is in figuur-7.18c aangegeven en men vindt de sampler volgens de nieuwe uitvoering onder orbitaalbeweging in figuur-7.18d terug.

In figuur-7.18b kan de waarde van  $h$  tussen ca.  $-10$  cm en  $+20$  cm variëren. Verticale verstijving van de sampler is dus nodig voor verder onderzoek met het huidige exemplaar.



figuur-7.18

#### 7.2.6b Proef 5b : met verstijvingsstaven in de bak

Het doel:

Zie 7.2.6 punten 1) en 2).

Vormgeving van de sampler: zie figuur-7.19.

In de sampler zijn nu tien verticale verstijvingsstaafjes aangebracht.

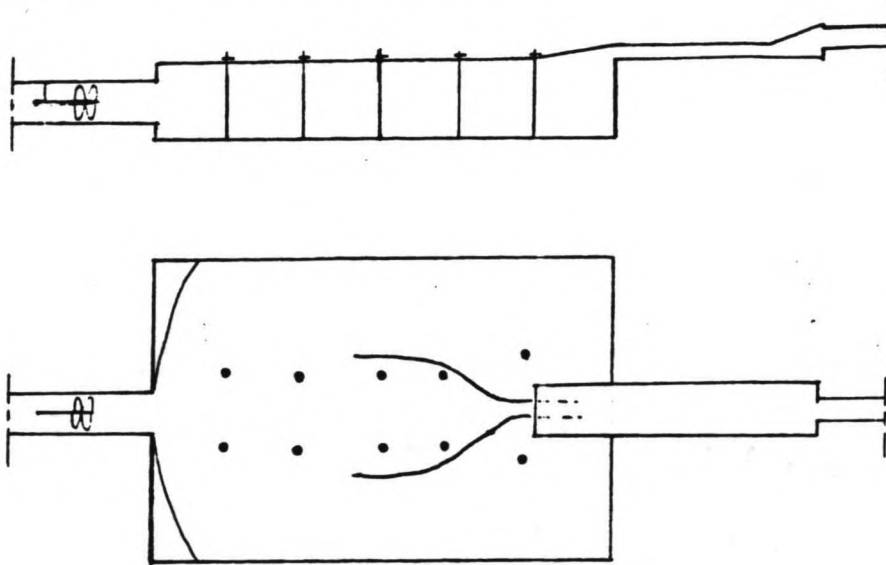
De proefuitvoering:

Zie Proeven 3 en 4.

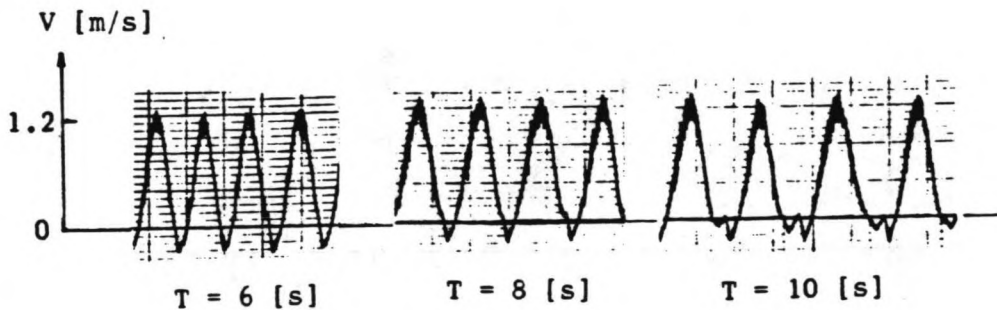
Resultaat en analyse:

Het verloop van de snelheden onder verschillende perioden en amplituden is symmetrischer (zie fig.-7.20 en vergelijk deze met fig.-7.16), t.o.v. een verticale as door de topwaarde, geworden. Bij de negatieve gedeelten zijn ook de knikken te zien. De verticale uitwijkingen van het deksel

worden kleiner door de werking van de staafjes.



figuur-7.19



figuur-7.20

Het ideaalbeeld (zie 5.2.2) zal zijn als er geen negatieve snelheid bij de instroming bestaat. Dat is niet te realiseren, want:

- 1) De beweging van de terugslagklep staat niet toe om precies op het moment, waarbij de stroming omkeert, te sluiten (zie Proef 3 en Hoofdstuk 6).
- 2) Er is altijd enige elasticiteit aanwezig in de sampler. Door de drukfluctuaties zal de sampler, van het huidige exemplaar met deze proefopstelling, 'ademen' (zie 7.2.5b).

Verder verbetering is bij de proef niet gebeurd:

- a) De behaalde stromingsbeelden zijn redelijk bevredigend.
- b) De definitieve uitvoering van de nieuwe sampler zal geheel van staal gemaakt zijn. Deze krijgt waarschijnlijk een andere vormgeving

dan het huidige exemplaar (zie fig.-7.18d en Par. 8.3.1). Dit probleem doet dan zich niet voor.

ad 1): het zandverlies.

De uitkomst van dit proefdeel, het iken van het zandverlies, is in tabel-7.1 gegeven:

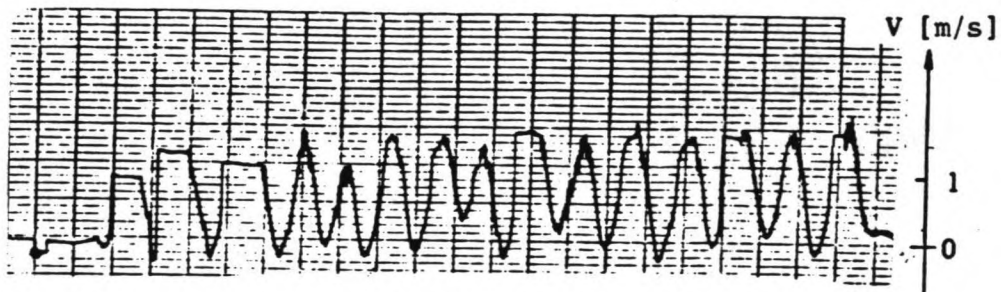
tabel-7.1

Doorgestroomde hoeveelheid water (m)	: 43290.00	[g]
Uitgestroomde hoeveelheid (droog)zand $m_{zud}$	: 9.90	[g]
(Droog)zand in de sampler $m_{zid}$	: 1137.23	[g]
De gemiddelde concentratie c	: 26.24	[g/l]
Het percentage zandverlies $\chi$	: 0.86%	

De Laser-Doppler snelheidsmeter werkt niet bij zandig water.

Figuur-7.21 toont de registratie van de snelheidsmeter, deze geeft wel een idee van het verloop van de snelheid.

In tegenstelling met de proeven getoond in figuur-7.20, waarbij getracht is een regelmatig snelheidsbeeld te creëren (door een regelmatige beweging van bak b uit figuur-7.8), is bij de proef bedoeld om het zandverlies te bepalen de bak wat onregelmatiger op en neer gehaald, waarbij geprobeerd is grote stroomsnelheid in positieve richting te geven. Het geregistreerde verloop kan verder onregelmatigheden vertonen, omdat de Laser-Doppler snelheidsmeter bij zandig water niet goed werkt.



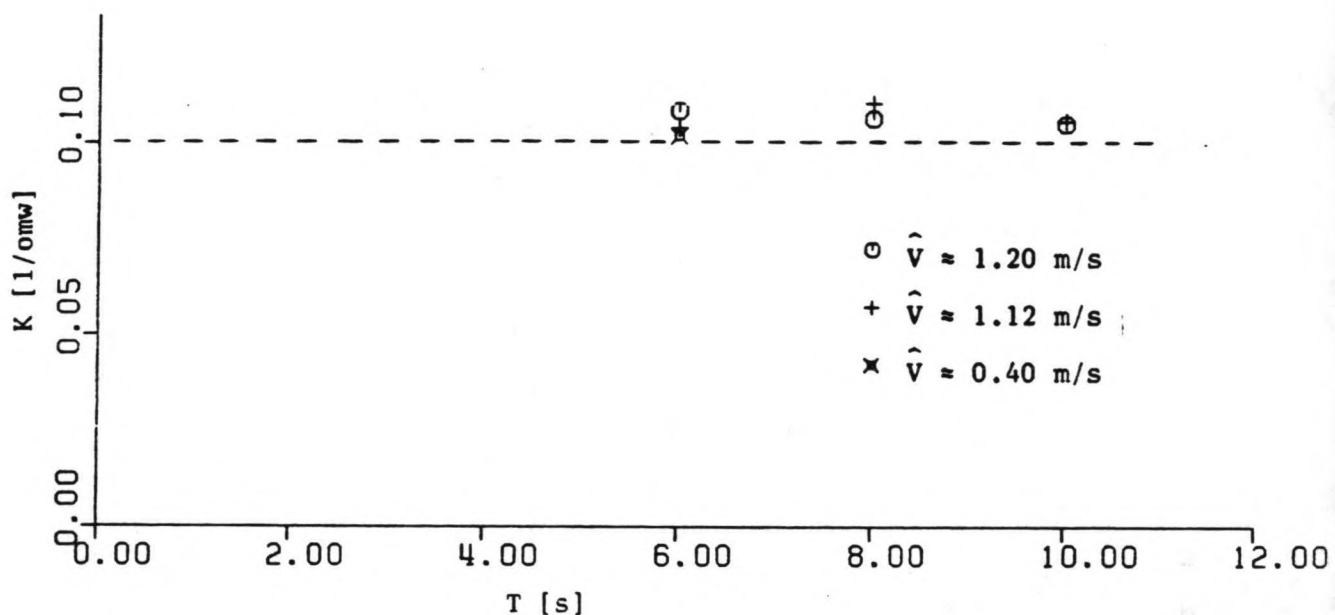
figuur-7.21

Gezien de kleine waarde van het zandverlies (ca. 1%) is dit proefdeel eenmaal uitgevoerd.

ad 2): het calibratiegetal van de debietmeter.

In figuur-7.22 is de relatie tussen de periode (T) van de orbitaalbe-

weging met verschillende amplituden en het calibratiegetal (K) weergegeven. De werking van de debietmeter onder orbitaalstroming blijkt ook genoeg betrouwbaar te zijn.



figuur-7.22

### 7.2.7 Proef 6 : opnieuw in stroomgoot

Het doel:

- 1) De beschouwing van het afzuigings effect.
- 2) Het ijken van het energieverval over de sampler.

De proefopstelling is hetzelfde als die van Proef 1 (fig.-7.1). Deze proef vindt plaats tussen de proeven in het veld en de sampler heeft de versie voor proef in het veld (zie 7.3).

De proefuitvoering:

Zie Proef 1.

Resultaat en analyse:

Het proefresultaat is positief:

- a) De stroomlijnen vlak voor de instromingsopening zijn recht, dus ( $V = V_{bod}$ ).

Dat wijst aan dat er inderdaad een zuigingseffect bij de uitstromingsklep aanwezig is. Anders zullen de in de sampler optredende wrijvings- en lokale verliezen niet gecompenseerd kunnen

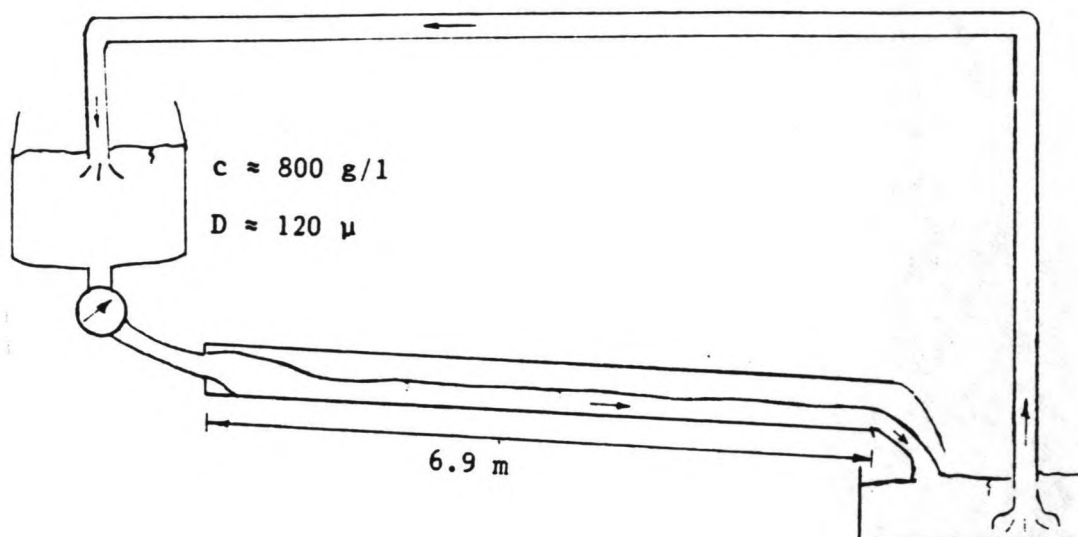
worden. In dit geval is de afzuiging gelijk aan de verliezen.

b) De debietmeter loopt heel regelmatig onder deze proef.

De maximale snelheid in de goot is ca. 0.5 m/s . Aan de bodem is de waarde veel kleiner.

#### 7.2.8 Proef 7 : onder slurry stroom

Ten behoeve van onderzoek naar de slurry stroming bij zandsluitingen is er een proefopstelling (fig.-7.23) in de Gotenhal van het Waterloopkundige Laboratorium te Delft gebouwd.



figuur-7.23

De opstelling bestaat uit de volgende onderdelen:

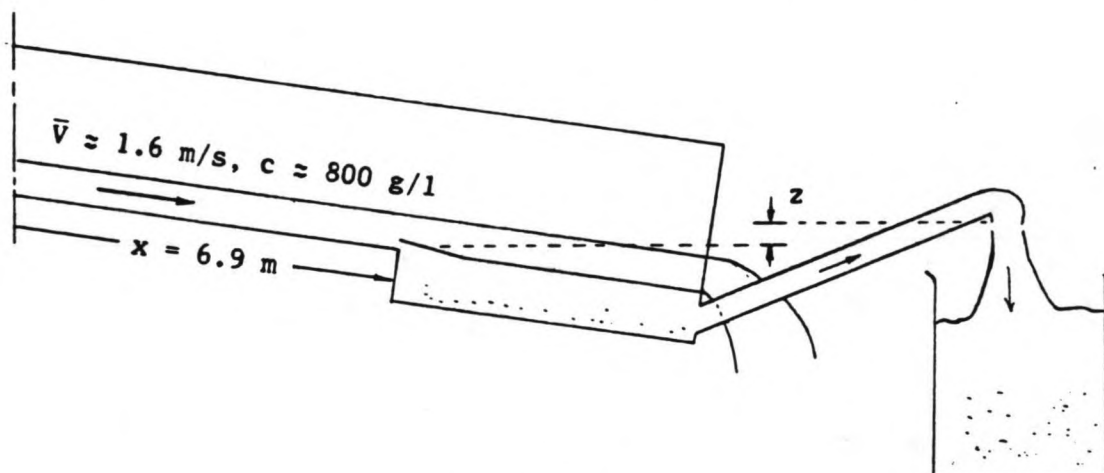
- 1) Een tank van  $12 \text{ m}^3$  is met een zand-water mengsel met, een volumeconcentratie  $c_{vol} \approx 30\%$  en de diameter van de zandkorrel  $D \approx 120 \mu$ , gevuld.
- 2) Tussen de tank en de goot bevindt er een pneumatisch gestuurde debietregelaar, die de grootte van de ontstaande slurry stroming in de goot kan bepalen.
- 3) Via de debietregelaar komt het mengsel in de goot terecht. De goot heeft een lengte van 6.9 m en de breedte daarvan is 0.3 m. De helling van de goot kan men m.b.v. een hijskraan variëren.
- 4) Om het uit de goot uitgestorte mengsel te vangen is er een 'vangbak' aan de einde van de goot aanwezig. In de bak bevindt een pomp, die het in de vangbak gestorte mengsel via een pipleiding weer



naar de tank pompt. Een slurry stroom kan dus continu in de goot aangehouden worden.

Door de verandering van het debiet en de goot helling kan een slurry stroming met verschillende snelheden en diepten in de goot gecreeerd worden. In figuur-7.24 zijn een paar gemeten snelheids- en concentratieverlopen van de desbetreffende slurry stromingen op verschillende plaatsen van de goot gegeven.

Omdat er te voren nog geen gelegenheid is geweest onder sheet flow conditie een gecontroleerde en geijkte proef met de sampler te kunnen verrichten, wordt het nuttig geacht dat de sampler met de bovengenoemde opstelling (grote stroomsnelheid en hoge zandconcentratie) beproefd wordt. De daarvoor benodigde proefopstelling (zie fig.-7.25) kan met een klein ingreep in de bestaande opstelling gerealiseerd worden.



figuur-7.25

De twee gootwanden zijn met 0.6 m verlengd. De sampler hangt op aan deze verlengde wanden. Het perspex deksel van de sampler ligt op hetzelfde niveau als de gootbodem. De instromingsopening bevindt in het midden van de gootbodem en de afstand  $x$  tot het begin van de slurry stroming bedraagt 6.9 m.

Het doel van deze proef:

Onderzoek naar het gedrag van de sampler onder grote stroomsnelheid en hoge concentratie, m.n. de invloed van de afwijking tussen de instromingssnelheid en de aanwezige stroomsnelheid aan de bodem van

Proef 10 / 20.5g

0 1-2 P-20.5g  $\epsilon = 29.5\%$

0 1-4 P-20.5g  $\epsilon = 29\%$

0 1-5 P-20.5g  $\epsilon = 30\%$

0 1-6 P-20.5g  $\epsilon = 29\%$

Proef 11 / 26.5g

0 1-3 P-26.5g  $\epsilon = 23.5\%$

0 1-4 P-26.5g  $\epsilon = 21\%$

0 1-5 P-26.5g  $\epsilon = 27\%$

0 1-6 P-26.5g  $\epsilon = 27\%$

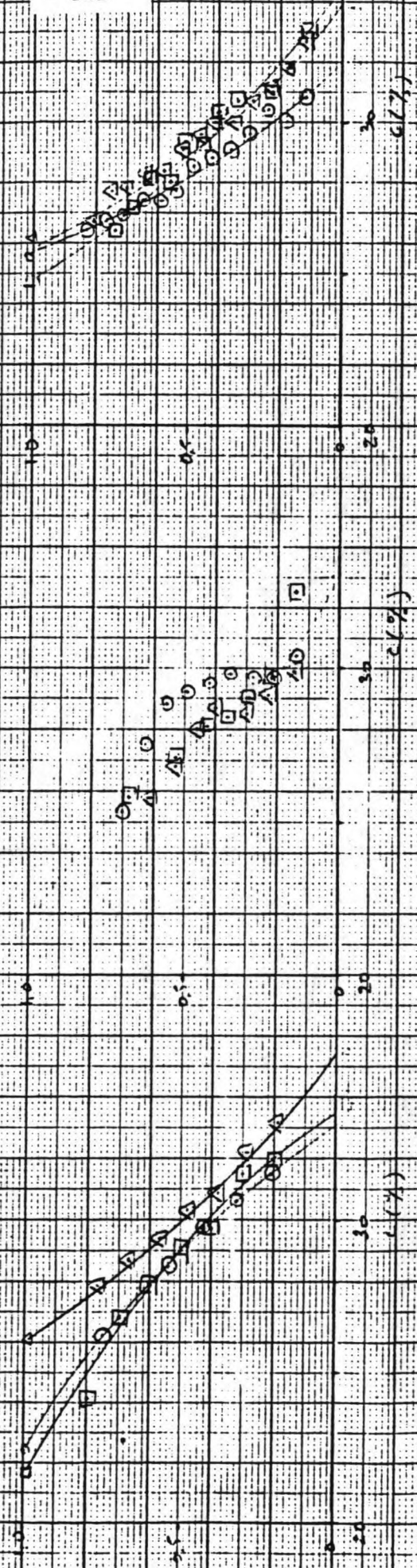
Proef 12 / 27.3g

0 1-2 P-27.3g  $\epsilon = 26.6\%$

0 1-4 P-27.3g  $\epsilon = 28\%$

0 1-5 P-27.3g  $\epsilon = 29\%$

0 1-6 P-27.3g  $\epsilon = 29\%$



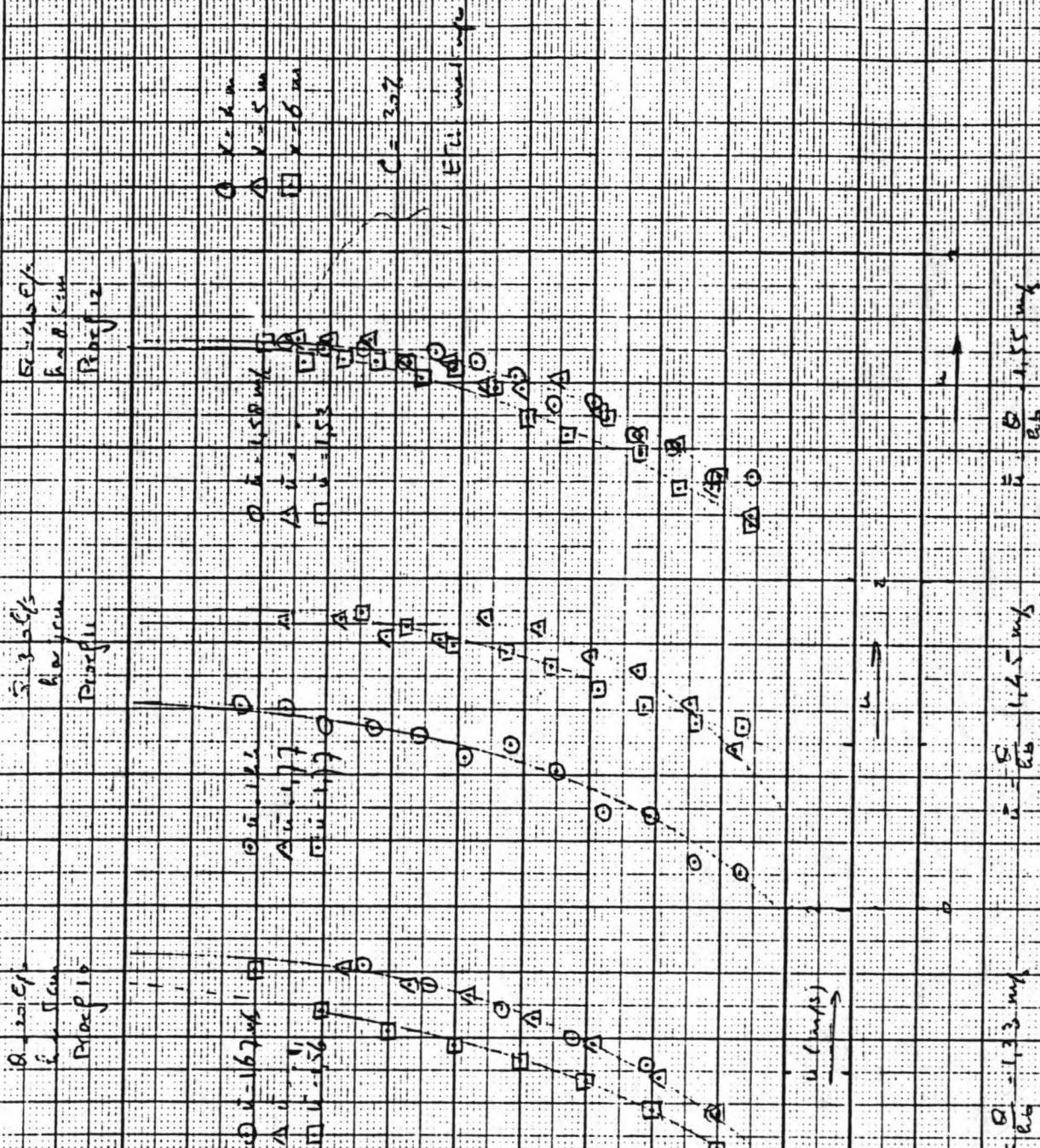
d1/a  
d5/a

d1/a  
d2/a

d1/a  
d2/a

concentratie met afwijkingen

figuur-7.24a



figuur-7.24b

de slurry stroom op de gemeten concentratie. Dus de antwoorden op de volgende twee vragen:

- a) Kan de sampler een redelijke meetresultaat aangaande de concentratie leveren?
- b) Hoe gevoelig zijn de meetresultaten voor de bovengenoemde snelheids afwijking?

De uitvoering van de proef.

Bij de met schoon water vol gevulde sampler zal tijdens het stromen in de goot het zand-water mengsel binnen dringen. Een bepaalde hoeveelheid zand zal in de sampler bezinken, de rest stroomt er weer uit. De uitgestroomde massa komt via de uitstromingspijp in een emmer terecht. Het einde van de uitstromingspijp kan in verticale richting bijgesteld worden zodat het drukverval over de sampler volgens verschillende waarden kan variëren. Het volume van het instromende mengsel is gelijk aan wat uitstroomt. Als dit uitstromende volume en het totale gewicht van het, in de sampler plus in de emmer gevangen, zand bepaald worden, kan de concentratie van het ingestroomde mengsel berekend worden (zie toelichtingen bij tabel-7.2).

De proef kan met volgende stappen uitgevoerd worden:

- 1) vul de sampler vol met schoon water en sluit de instromingsklep
- 2) wek slurzystroom in de goot op
- 3) stel uitstroming hoogte  $z$  (zie fig.7.25) vast (hierop wordt later in deze paragraaf nog teruggekomen)
- 4) trek de instromingsklep open
- 5) enige tijd bemonsteren
- 6) sluiten instromingsklep
- 7) stoppen van de slurzystroom in de goot
- 8) maak de sampler van de goot los
- 9) bepalen van het uitgestroomde volume, zand plus water en de hoeveelheid zand (massa)
- 10) bepalen van massa en volume van het zand in de sampler
- 11) bepalen van het totale volume van zand
- 12) bepalen van de bemonsterde concentratie

De proefuitkomsten en analyse:

Met een debiet van  $Q = 30$  l/s worden de proeven gedaan. Deze conditie komt overeen met de 'Proef 11' uit figuur-7.24. De snelheid- en concentratieprofielen van figuur-7.24 worden op  $x = 4, 5$  en  $6$  m tot het begin van de goot gemeten. Over een afstand van een meter ontstaan er duidelijke verschillen tussen die profielen. Voor  $x = 6.9$  m, t.p.v. de instroming van de sampler, kunnen het verloop van de snelheid en de concentratie weer anders zijn dan die uit figuur-7.24. Bij de verdere bewerking worden er de volgende waarden aangehouden:

de gemiddelde concentratie van de slurry stroom :  $c = 800$  g/l

de gemiddelde concentratie aan de bodem (32%) :  $c = 850$  g/l

de gemiddelde stroomsnelheid aan de bodem:

$V_{bod} = 1.57$  m/s met een laagdikte van 1.5 cm en

$V_{bod} = 1.50$  m/s met een laagdikte van 1 cm

de diepte van de slurry laag in de goot :  $h = 7$  cm

Om het verloop van de instroomsnelheid te schatten kan vergelijking {6.2}, met enige verandering, weer toegepast worden. Term (b) (de uitstroomdruk) vervalt in dit geval en Term (c) (het drukverval) wordt nu

$$\Delta H_c = X_7 h - z \quad \{7.3\}$$

Met  $c = 800$  g/l is de gemiddelde massadichtheid van de slurry stroom  $\rho_a = 1500$  kg/m<sup>3</sup> en de massadichtheid  $\rho_u$  van het uitgestroomde mengsel heeft een waarde van ca. 1150 kg/m<sup>3</sup>.  $X_7$  is hier ca. 1.3 (zie verder toelichting voor tabel-7.2).

Bij Term (e) verdwijnt de overgang instromingskoker-bak ( $C_2$ ) en het verlies t.g.v. eventuele verandering in de uitstromingspijp ( $C_5$ ). Men krijgt de volgende bewegingsvergelijking voor deze proefopstelling:

$$\frac{C_6 X_7}{2g} (V_{bod} V_{bod} - V V) + (X_7 h - z) - \frac{X_2^2 X_3 f L}{2g} V V$$

(a) instroomdruk (c) drukverval (d) wrijving

$$- \frac{(C_1 X_7 + C_3 X_2^2 + C_4 X_2^2)}{2g} V V = \frac{X_2 L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{7.4\}$$

(e) locale verliezen (f) traagheid

(de traagheid speelt alleen bij het beging van de instroming een rol)

Twee series (met  $h_{op} = 0.015$  m en 0.01 m) proeven worden uitgevoerd. Het m.b.v. {7.4} geschatte snelheidverloop is in figuur-7.26 weergegeven. De sampler parameterwaarden zijn (voor zover van toepassing) gelijk gekozen aan de waarden, gebruikt in figuur-6.3; deze staan aangegeven in tabel-B.1. Dit is bij het evalueren van het bestaande exemplaar (6.3.3) al besproken. De gemeten concentraties bij die proefuitvoeringen zijn in tabel-7.2 gegeven.

tabel-7.2 uitkomsten van Proef 7

nr.	(c) [m]	$m_{znu}$ [g]	$m_{zni}$ [g]	$m_{zdt}$ [g]	$V_{znu}$ [l]	$V_{vu}$ [l]	$V_{ut}$ [l]	c [g/l]	V [m/s]
1a	0.191	6028	13081	15192	3.014	15.263	18.277	831	1.6
1b	0.091	4711	12908	14007	2.356	13.338	15.694	893	1.4
1c	0.015	3026	12038	11976	1.513	10.270	11.783	1016	1.2
2a	0.191	4880	13227	14395	2.440	15.653	18.093	796	1.6
2b	0.091	1430	8702	8055	0.715	8.747	9.462	851	1.4
2c	-0.003	1614	11368	10321	0.807	8.856	9.663	1068	1.1

Toelichting voor tabel-7-2:

nr. : uitvoeringsnummer van de proef, onder proefserie 1 is  $h_{op} = 1.5$  cm en proefserie 2 is  $h_{op} = 1$  cm.

(c) : waarde van Term (c), het drukverval over de sampler [m],

$m_{znu}$  : massa nat zand, dat via de uitstromingspijp in de vangemmer terecht gekomen is [g],

$m_{zni}$  : massa nat zand, dat in de sampler gebleven is [g],

$m_{zdt}$  : massa totaal droog zand [g], en

$$m_{zdt} = (1 - \epsilon) (m_{znu} + m_{zni}) \rho_z / \rho_{zn}$$

waarin:

$\epsilon$  : porositeit van nat zand [-], met  $\epsilon \approx 0.4$  en

$\rho_z$  : massadichtheid van zandkorrels [kg/m<sup>3</sup>].

$V_{vu}$  : volume uitgestroomd water (exclusief het gedeelte dat nog in het nat zand zit) [l],

$V_{znu}$  : volume uitgestroomd nat zand [l] en

$$V_{znu} = m_{znu} / \rho_{zn} \quad \{7.5\}$$

$\rho_{zn}$  : massadichtheid natzand, de waarde daarvan is ca. 2 [kg/m<sup>3</sup>],

$V_{ut}$  : totaal uitgestroomde volume, dat is gelijk aan het ingestroomde volume [l] en

$$V_{ut} = V_{znu} + V_{vu} \quad \{7.7\}$$

de massadichtheid van de in de emmer gevangen vloeistof is

$$\rho_u = (m_{znu} + m_{vu}) / V_{ut} \quad \{7.8\}$$

dus  $X_7$  wordt

$$X_7 \approx \rho_a / \rho_u \quad \{7.9\}$$

$c$  : de gemeten zandconcentratie [g/l].

$$c = m_{zdt} / V_{ut} \quad \{7.10\}$$

$V$  : het berekende verloop van de instroomsnelheid in de sampler [m/s].

(Deze moet dus worden vergeleken met  $V_{bod}$ , zie fig.-7.26)

Vergelijking van de concentraties volgens tabel-7.2 met uit figuur-7.24 gevonden waarden, 800 g/l resp. 850 g/l voor proef serie 1 resp. 2, levert gelijkheid binnen enige percenten, als het verschil tussen de instroomsnelheid en de aanwezige stroomsnelheid aan de bodem binnen ca. 10% is (proeven a en b). Als de snelheid te sterk afwijkt (proef c) worden hogere concentraties gevonden.

### 7.3 Proeven in het veld

Na de proeven in het laboratorium zijn de proefresultaten genoeg overtuigend om de proeven verder in het veld voort te zetten.

#### 7.3.1 Locatie proeven

Behalve de laatste keer (proef nr. 14, in Grootte Keeten, zie tabel 7.3) zijn de veldproeven in het kustgebied tussen Scheveningen en Hoek van Holland uitgevoerd. Hiervoor zijn de volgende redenen.

1) Korte afstand tot Delft en Den Haag.

De veranderingen van de sampler worden in de werkplaats van het Laboratorium voor Vloeistofmechanica van TH-Delft aangebracht. Het drogen en eventuele zeven van gevangen zand vindt ook daar plaats. De jeep, waarmee de sampler naar het strand gebracht kan worden, van

Rijkswaterstaat komt uit Den Haag. Langs de Nederlandse kust is het getij dubbeldaags. De duur van LW tot HW zal gemiddeld 6 uur bedragen. Omdat de sampler met LW wordt ingegraven, betekent dit dat de uitvoering van de meting (op het strand) ook ca. 6 uur duurt. Er blijft niet veel tijd voor het reizen.

## 2) Het tijverschil.

Het gemiddelde verschil HW (NAP+1.05 m) - LW (NAP-0.64 m) in dit gebied, tussen Scheveningen en Hoek van Holland is ca. 1.8 m. Dat is net voldoende voor de proeven. Immers, bij Laagwater moet de sampler worden ingegraven (op het droge strand), terwijl het de bedoeling is ook bij een redelijk grote waterdiepte (bij HW, zie 7.3.4) over metingen te kunnen beschikken. Bij een golfhoogte van 1 - 1.2 m kan de sampler de hele brandingzone nog bemonsteren.

### 7.3.2 Tijd proeven

Technisch gezien is het gewenst als de proeven tijdens zware golfcondities uitgevoerd kunnen worden. Dergelijke golfcondities komen meestal in het najaar en in de winter voor. Helaas was het met de beschikbare middelen niet mogelijk om de proeven in de genoemde perioden te realiseren. Het water is te koud om erin te duiken en de periode met daglicht is te kort. De uitvoeringsperiode van de reeds uitgevoerde proeven was (m.u.v. de laatste keer proef nr.14, zie tabel-7.3) daarom in het warme seizoen.

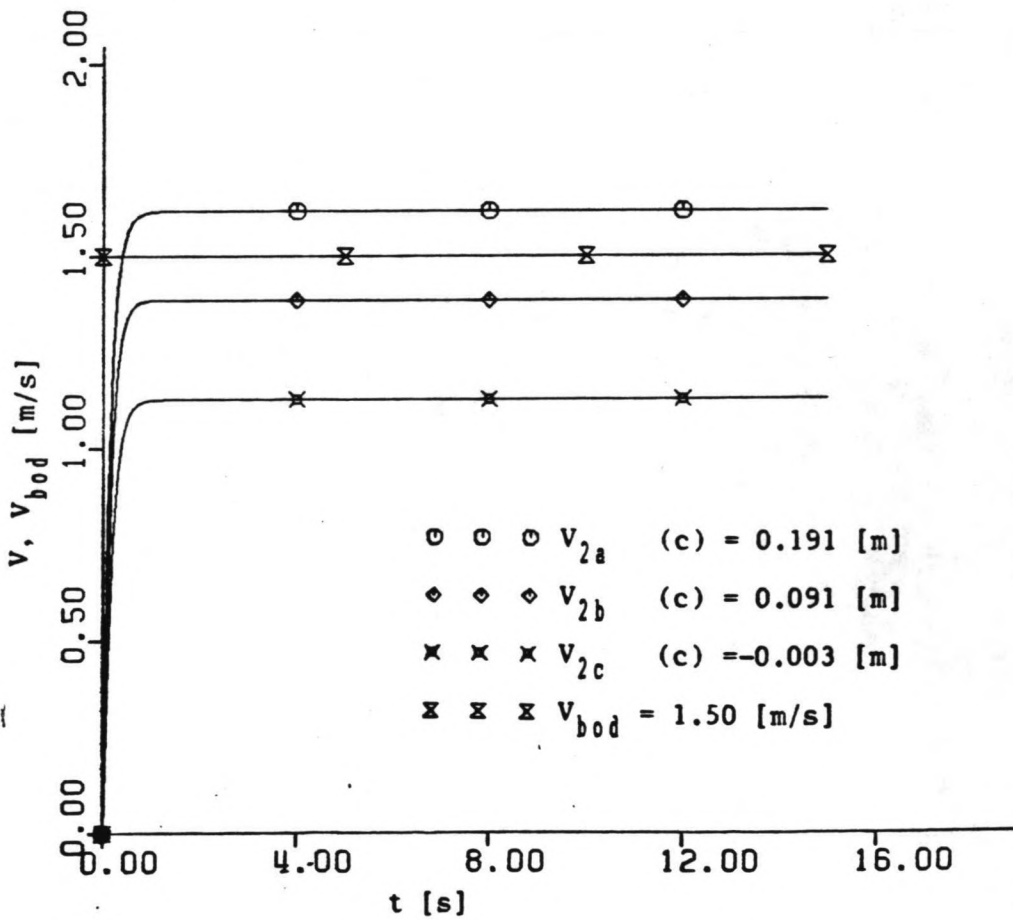
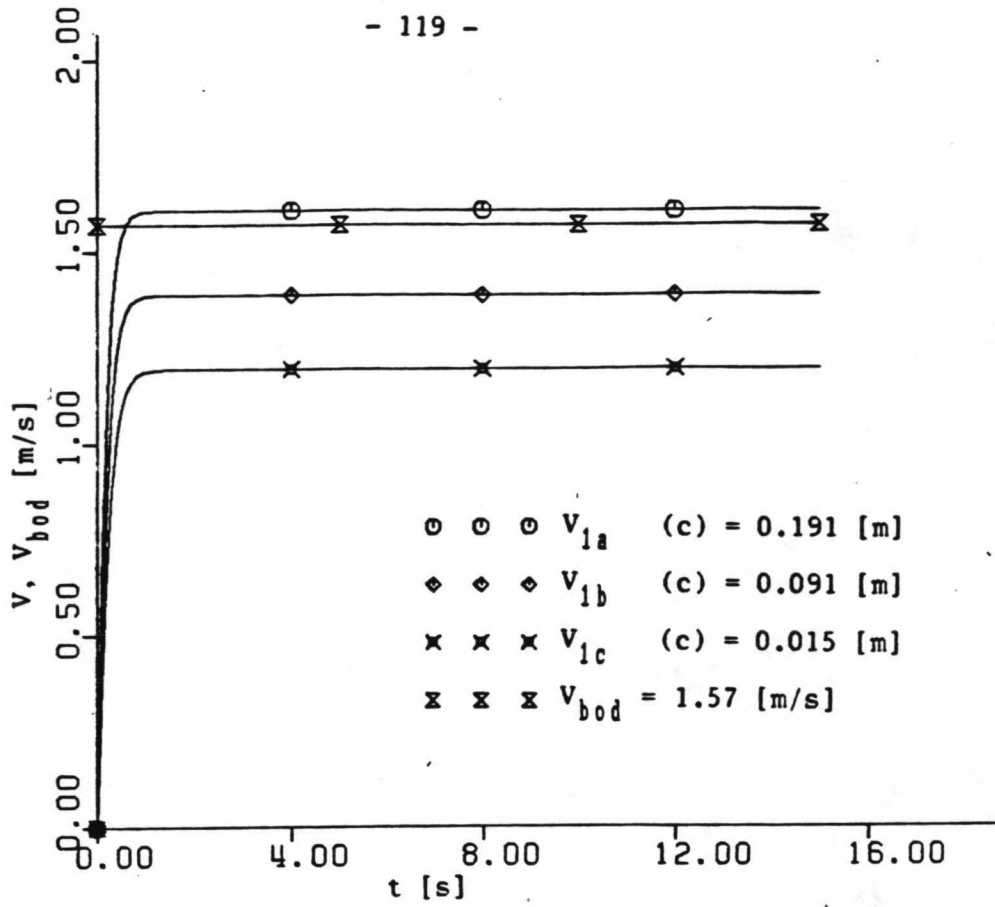
### 7.3.3 Handeling proeven

De behandelingen voor de verschillende uitvoeringen zijn identiek. Deze kunnen in de volgende stappen (fig.-7.27) samengevat worden.

#### 1) Ingraven van de sampler

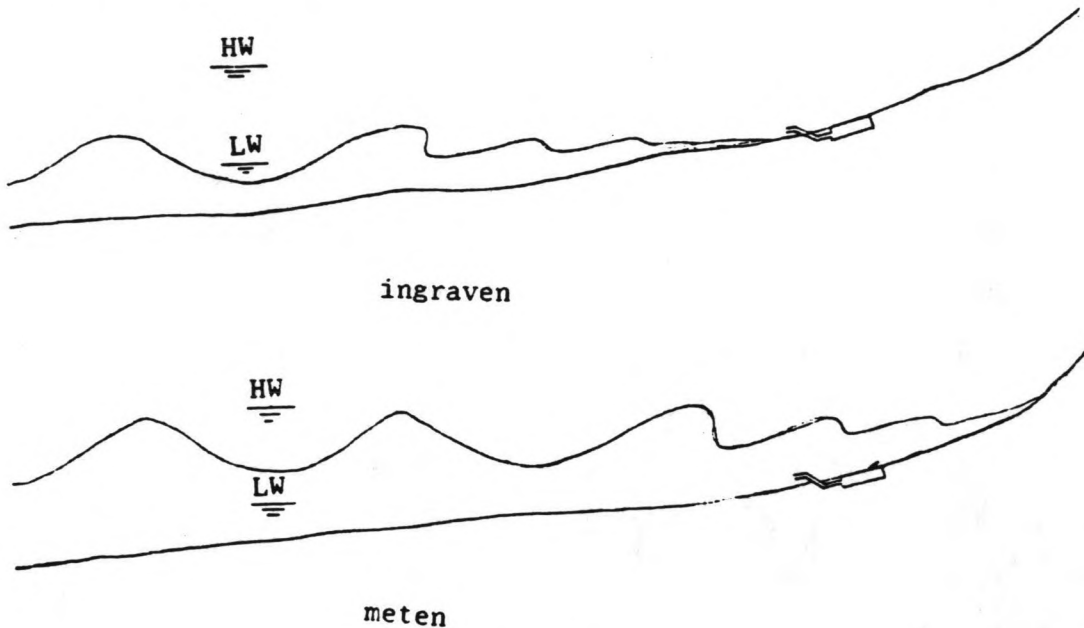
Bij het tijdstip van LW wordt de sampler in de bodem (op het 'droge' strand, zie 7.3.4) ingegraven. De onderkant van de opening van de sampler kan beter iets lager dan de aanwezige bodem liggen, want de bodemligging verandert nog met het stijgende waterniveau. Onder water kan de sampler wel met hand naar boven getrokken worden, als de





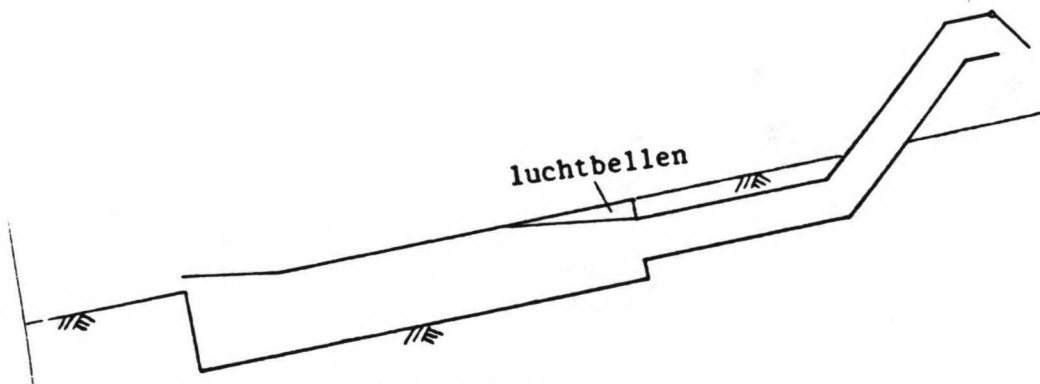
figuur-7.26

onderkant van de opening te diep in de bodem ligt. Maar het zal, met het huidige exemplaar, niet meer lukken om de sampler naar beneden te krijgen, wanneer door de bodemdaling de onderkant van de opening te veel uit de bodem steekt.



figuur-7.27

2) Vullen met 'schoon' water.



figuur-7.28

De ingegravende sampler moet gauw, voor een sterke golfoploop komt, vol met water gevuld zijn om het gevaar van opdrijven te vermijden. Er moet een ontluichtings mogelijkheid aanwezig zijn. Met het huidige exemplaar zal een kleine fractie lucht in de bak niet verwijderd worden als de opening in de zeewaartse richting wijst (fig.-7.28).

3) Begin van meten

Meestal begint 'echte' meting op het moment waarop de uitstromings-

pijp in het water verdwijnt. De openings- en terugslagklep worden losgelaten. De registratie doos gaat in werking.

4) Noteren registratie en controleren werking sampler

De gebruikte registratie doos telt de omwentelingen maximaal gedurende 15 minuten na de start. Tenminste iedere 15 minuten moet de telstand (aantal omwentelingen  $N$  en de meettijd  $t$ ) genoteerd worden, waarna de registratie opnieuw kan gestart worden.

Bij de tot nu toe uitgevoerde metingen kan de uitvoerder nog naar de sampler toe zwemmen. Hoewel vlakbij de bodem, in de brandingszone, het water minder wild dan bij het wateroppervlak is (daar zijn namelijk geen golfklappen), kan de sterke orbitaalbeweging ter plaatse van de sampler zeer hinderlijk zijn voor het observeren. De uitstromingspijp van de sampler moet soms (zeker wanneer de golfhoogte  $H \approx 1$  m is) als steun voor de uitvoerder functioneren. Het onder 1 genoemde te diep ingraven kan gecorrigeerd worden.

5) Stoppen bemonstering en terughalen sampler

De sampler is op dit moment meestal 30 a 40 m ver zeewaarts van het 'droge' strand. Mits de sampler genoeg sterk is en een paar keer botsen tegen de bodem kan doorstaan, zal het terughalen van de sampler geen probleem opleveren.

6) Drogen en bepalen van het gevangen zand  $m_{zd}$

Dit gebeurt in het laboratorium.

7) Bepalen van het transport en concentratie

Het doorgestroomde watervolume  $V$ :

$$V = K N \quad \{7.11\}$$

waarin:

$K$ : het calibratiegetal van de debietmeter [l/omw],

$N$ : het aantal geregistreerde omwentelingen [omw].

De gemiddelde gemeten concentratie  $c$ :

$$c = m_{zd} / V \quad \{7.12\}$$

waarin:

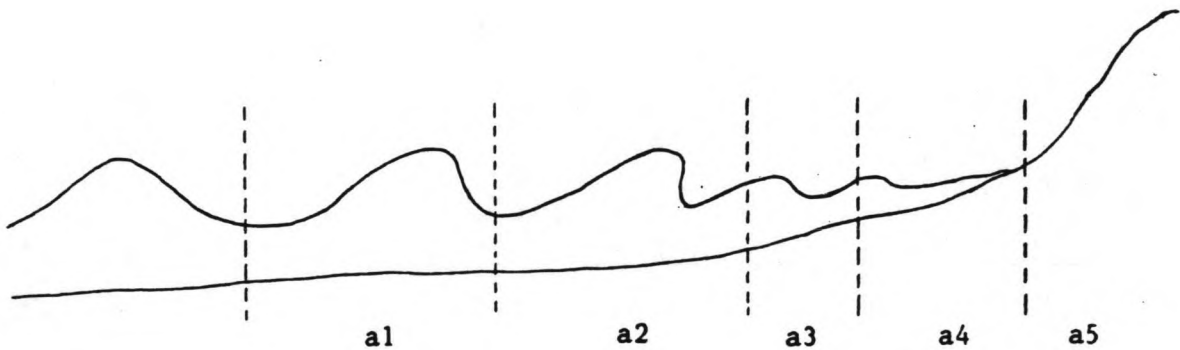
$m_{zd}$  : massa van gevangen droog zand [g]

### 7.3.4 Golfcondities en daarbij behorende bodemvormen

Tijdens de proeven is het duidelijk gebleken dat de bodemvorm sterk van de waterdiepte en de golfconditie zal afhangen. Globaal kan de kust topografie naar verschillende golfconditie in drie categorieën onderscheiden worden:

- a)  $H_s$  is groter dan ca. 1 m
- b)  $H_s$  is ca. 0.5 m
- c)  $H_s$  is kleiner dan ca. 0.3 m

ad a) Onder deze omstandigheid is de kust (in dwarsrichting) in vijf gebieden (zie fig.7.29) te verdelen, waarbinnen de sampler zich gedurende een proefuitvoering kan bevinden.



figuur 7.29

gebied a1: Dit gebied bevindt zich net buiten de brandingszone.

Naarmate de golf de kust dichterbij nadert, wordt de golfhoogte groter en de waterdiepte kleiner (shoaling). Daardoor zal de amplitude van de orbitaalbeweging toenemen. De bodem in dit gebied is vlak en het verschijnsel sheet flow is heel goed waar te nemen. De orbitaalbeweging hier is relatief symmetrisch.

gebied a2: In dit gebied vindt het breekproces van de golf plaats

Op een gegeven moment kan de golf in ondiepwater niet meer stabiel blijven. Er treedt vervorming en breking op. Tijdens dit proces kan de orbitaalbeweging asymmetrisch zijn. In de zeevaartse richting is de amplitude van deze beweging aan de bodem groter dan in de landwaartse

richting. De aard van het transport is ook verschillend: zeewaarts overwegend bodemtransport en landwaarts meer suspensietransport. De bodem is er redelijk vlak: veranderingen vinden plaats binnen afstanden van enige meters, maar niet op afstanden van enige centimeters. Van tijd tot tijd, afhankelijk van de grootte van de golf, treden hier grote transporten op.

gebied a3: In dit gebied plant de gebroken golf zich voort naar het strand

De orbitaalbeweging is hier veel minder intensief t.o.v. de gevallen onder a1 en a2. Het stromingsbeeld in dit gebied is 'onregelmatiger'. Op de bodem zijn grove ribbels, die geen eenduidige patroon kennen, ontstaan.

gebied a4: De swash zone

Door het golfoploop en de backwash zal de orbitaalbeweging hier weer opgevoerd worden. De bodem is glad in deze zone. Het transport wordt duidelijk in twee vormen vertegenwoordigd:

1. overwegend sheet flow, een relatieve dunne laag aan de bodem, bij backwash.
2. overwegend suspensietransport bij golfoploop.

gebied a5: Het 'droge' strand

De sampler wordt bij Laagwater in het zand ingegraven. Met het getij verandert de plaats van de ingraving van 'gebied a5' in 'gebied a4', 'gebied a3', etc. en weer tot 'gebied a5' na een getij cyclus.

ad b) Drie gebieden kunnen in deze situatie bij kust aangemerkt worden.

gebied b1: De gebieden a1, a2 en a3 uit geval a) zijn nu tot een gebied gereduceerd. De golf breekt heel dichtbij het droge strand. In dit gebied zijn fijne ribbels met 'regelmatig' patroon aanwezig. De orbitaalbeweging aan de bodem is gering.

gebied b2: In deze swashzone kan af en toe sterke orbitaalbeweging ontstaan. Dit gebied is iets kleiner dan gebied a4. De bodemvorm is hier ook glad.

gebied b3: Het droge strand.

ad c) Hier verdwijnt de swashzone en er is nauwelijks zandtransport.

### 7.3.5 Resultaat, analyse en beschrijving van de gedane veldmetingen

In tabel-7.3 zijn alle veldproeven samengevat.

Het is niet mogelijk om een uitspraak te doen over de nauwkeurigheid van de gemeten grootheden in tabel-7.3. De algemene indruk tijdens de proefuitvoering is dat de verstoring in de bodemconfiguratie de meeste gevoelige factor lijkt te zijn voor de nauwkeurigheid van het meetresultaat.

Het vlakke perspex deksel kan zich moeilijk goed bij de bodem aanpassen:

- a) De bodemligging kan gedurende een getij een orde van ca. 5 cm in verticaal veranderen en de helling van het strand blijft in die periode niet constant.
- b) Meestal is de bodem niet echt glad over een groot oppervlak. Langs de rand van het deksel steken sommige delen van de sampler uit de bodem en deze oneffenheid plant zich snel voort tot de gehele rand van de sampler.

Vooraf onder sterke orbitaalbeweging kan er snel een kuil rond de sampler ontstaan als gevolg van een kleine oneffenheid tussen sampler en bodem. De ligging van de onderkant van de instromingsopening  $y_1$  blijft daarom meestal boven bodemniveau ( $y_1 > 0$  mm, zie Appendix figuur-A.7). Een andere vormgeving moet aan de sampler gegeven worden en de belangrijke eis voor de nieuwe sampler zal het voorzien van een bijstelbare onderkant voor de instroming zijn. Daarom komt Hoofdstuk 8 terug.

tabel-7.3 resultaten veldmetingen

nr	datum	H <sub>s</sub> [m]	N [omw]	t <sub>d</sub> [s]	m <sub>zd</sub> [g]	S [kg/m <sup>2</sup> s]	c [g/l]	$\hat{v}$ [m/s]
1	24-sep.-84	1.0	/	1800	5243	2.427	/	/
2	04-juni-85	0.5	de terugslagklep is kapot geslagen					
3	07-juni-85	1.0	773	720	2744	3.176	34.47	0.29
4	17-juni-85	0.6	sampler is weggespoeld					
5	19-juni-85	/	de waterspiegel is praktisch glad					
6	01-juli-85	0.6	800	2400	2653	0.921	32.20	0.09
7	02-juli-85	/	PVC uitstromingspijp was gebroken					
8	03-juli-85	/	de propeller was geblokkeerd					
9	04-juli-85	0.5	1832	2580	2138	0.691	12.20	0.18
10	08-juli-85	1.3	2684	3660	3148	0.717	12.26	0.18
11	15-juli-85	1.1	5792	4860	2185	0.375	3.94	0.30
12	16-juli-85	1.1	10552	2880	7043	2.038	6.98	0.92
13	04-okt.-85	0.5	met dwarsuitvoering					
14	17-dec.-85	1.7	tjischil te klein					

Toelichting over de parameters uit tabel-7.3:

H<sub>s</sub> : de geschatte significante golfhoogte [m],

N : de geregistreerde aantal omwentelingen van de debietmeter [omw],

t<sub>d</sub> : duur van de meting [s],

m<sub>zd</sub> : massa gevangen droog zand [g],

S : transport in de gemeten richting gemiddeld over de meetoppervlakte [kg/m<sup>2</sup>s] en:

$$S = m_{zd} / (A_{op} t) \quad \{7.13\}$$

A<sub>op</sub> is hier de oppervlakte van de instromingsopening en

$$A_{op} = 1.5 \times 8 \times 10^{-4} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

c : gemeten concentratie [g/l] en:

$$c = m_{zd} / (K N) \quad \{7.14\}$$

K is het calibratiegetal [1/omw],

In de bewerking van proef 1 t/m 7 is voor K de waarde 0.103 1/omw (zie fig.-7.22) aangehouden.

In proef 8 t/m 14 wordt de gebroken PVC uitstromingspijp (diameter 5.5 cm) vervangen door een stalen uitstromingspijp (diameter 5.3 cm).

De waarde K voor deze proeven wordt als volgt benaderd:

$$K = 0.103 (5.3 / 5.5)^2 \approx 0.096 [1/omw],$$

$\hat{V}$  : amplitude voor de gemeten orbitaalbeweging bij de bodem, in het geval dat de beweging daar puur sinusvormig zou zijn [m/s] en  $\hat{V}$  wordt als volgt bepaald:

per periode van de orbitaalbeweging is de hoeveelheid door de sampler gestroomd water

$$A_{op} \int_0^{T/2} \hat{V} \sin(2\pi t/T) dt = A_{op} \hat{V} T / \pi$$

het aantal perioden gedurende  $t_d$  is  $t_d/T$ , dus

$$t_d A_{op} \hat{V} / \pi = K N / 1000, \text{ dus}$$

$$\hat{V} = \pi K N / (1000 A_{op} t_d) \quad \{7.15\}$$

Hier volgt een korte beschrijving van de gedane strandmetingen.

#### Meting 1:

Dit is de eerste proef (ook voor de proeven in het laboratorium) met de sampler. Bij deze proef is een waterleiding-debietmeter tussen de bak en een rubberslang, die als uitstromingspijp functioneert, bevestigd. De debietmeter heeft tijdens de proefuitvoering niet gewerkt, daarom ontbrak het doorgestroomde volume en de concentratie in de tabel.

Ca. 30 minuten na het begin van meting verscheen de van de sampler losgespoelde rubberslang op het strand en de sampler werd teruggehaald.

Uit deze proef is het gebleken:

- 1) De meting met de sampler kan op een tamelijke eenvoudige wijze in het veld uitgevoerd worden.
- 2) sommige delen van de sampler moeten anders uitgevoerd zijn.
- 3) ijking van de debietmeter is gewenst.

Hierna zijn de proeven in het laboratorium (zie 7.2) begonnen.



-- Vanaf meting 2 is steeds alleen de 'backwash' gemeten, d.w.z. de opening van de sampler was steeds landwaarts gericht.

#### Meting 2:

Na de proeven in het laboratorium wordt de sampler weer naar het strand gebracht. Hoewel de terugslagklep in het laboratorium prima blijkt te werken, kan zij de golfklappen,  $H_s$  in dit geval is ca. 0.5 m, niet doorstaan.

#### Meting 3:

Met een buienachtig weer zijn dunne waterfilmpjes op het strand te zien. De (strand)bodem is aanzienlijk zachter dan deze onder 'normale' omstandigheid zou zijn. Het waait, met wind vanuit de zee, erg hard. De golfkammen worden intensief naar het strand gestuwd.

In de swashzone vindt een sterk transport plaats. Het zand lijkt extra in suspensie te zijn. Tijdens sommige backwash's zakken de voeten van de uitvoerder heel snel het zand in zodat het lichaam aandachtig in evenwicht moet worden gehouden. Voor de instroming is er geen hinderlijke verstoring in de bodem aanwezig. De gemeten concentratie komt goed overeen met de concentratie van  $y=0$  tot  $y=15$  mm onder sheet flow conditie uit tabel-A.1.

#### Meting 4

Bij sommige gebieden langs de kust zijn massaal schelpen aanwezig. Uit de ervaring later blijkt dat de schelpen massa zich bij de 'brekende' zone bevindt. In het begin van deze meting ziet het droge strand erg 'schoon' uit. Omdat nog geen ervaring met schelpen is opgemaakt, wordt de sampler in een stuk strand met grote helling (ca. 1:15 op het droge strand en een gedeelte van de swashzone,  $H_s \approx 0.6$  m) ingegraven om met zo'n golfconditie toch een redelijk bodemtransport te bemonsteren.

Met het stijgende water beweegt de 'brekende' zone, dus daarmee ook de schelp 'zone', zich strandwaarts. De steile helling wordt door het golfaanval vervlakt en de zandige bodem ter plaatse van de sampler wordt vervangen door schelpen. De sampler verliest onder golfklappen haar stabiliteit.

#### Meting 5

De tijdstippen van LW en HW zijn gunstig voor de proefuitvoering. Maar

de zee is te rustig.

#### Meting 6

De swashzone (met vlakke bodem) is niet breed (dus ook diep) genoeg om de uitstromingspijp in deze zone helemaal onder water te laten verdwijnen. De sheet flow in deze zone was dus niet te meten. Daarom is de actuele meting uitgevoerd na het verder opkomen van de waterstand. De waterdiepte was toen ca. driekwart meter en de meting vond plaats aan de buitenrand van de brandingszone. Toen bestond de bodemvorm echter uit fijne ribbels.

De orbitaalbeweging heeft een kleine amplitude. De oneffenheid in de bodem door de aanwezigheid van de sampler blijft stabiel.

#### Meting 7

Tijdens het ingraven van de sampler is de PVC uitstromingspijp gebroken.

#### Meting 8

Een nieuwe uitstromingspijp van staal (diameter van 5.3 cm) wordt aan de bak bevestigd. Direct na de start van de meting weigert de propeller te werken. Deze zal waarschijnlijk geblokkeerd zijn.

#### Meting 9

De golfconditie en de diepteligging van de sampler is hetzelfde als die bij meting 6. Het transport is in beide gevallen van dezelfde orde van grootte. Toch is de concentratie bij meting 6 veel groter en de  $V$  is daar veel kleiner. Een lagere ligging van de sampler, t.o.v. de gemiddelde bodemligging, in meting 6 t.o.v. proef 9 kan dit soort meet-

resultaten veroorzaken. Visueel waren dit soort verschillen in hoogteligging van de sampler niet goed op te merken.

In tabel-7.4a is het verloop van de debietmeter stand en daarbij behorende amplitude van de gemeten orbitaalbeweging,  $\hat{V}_i$  gegeven. De kleiner wordende  $\hat{V}_i$  kan een indicatie zijn voor de stijgende waterstand. De orbitaalbeweging aan

tabel-7.4a Meting 9

$t_i$ [s]	$N_i$ [omw]	$\Sigma t_i$ [s]	$\Sigma N_i$ [omw]	$\hat{V}_i$ [m/s]
840	681	840	681	0.20
780	556	1620	1237	0.18
780	487	2400	1724	0.16
180	108	2580	1832	0.15

\* index 'i' staat op 'interval'

de bodem bij deze golfconditie wordt steeds minder.

### Meting 10

Bij Laagwater wordt de sampler achter een zandplaat ingegraven. De stroming, vooral de backwash, in de swashzone is relatief heel zwak, de terugstroming vindt waarschijnlijk zijdelings plaats via het zwin en muien. De golfconditie is echter wel geschikt voor een behoorlijke swashzone

tabel-7.4b Meting 10

$t_i$ [s]	$N_i$ [omw]	$\Sigma t_i$ [s]	$\Sigma N_i$ [omw]	$\hat{V}_i$ [m/s]
900	581	900	581	0.16
900	519	1800	1100	0.14
900	620	2700	1720	0.17
900	864	3600	2584	0.24
84	100	3684	2684	0.30

De waarde  $\hat{V}_i$  in tabel-7.4b is oplopend. Dit kan misschien met het volgende verklaard worden:

In geval met een stuk 'normaal' strand zal de orbitaalbeweging bij zo'n golfconditie een grote waarde in de zones a1, a2 en a4 en een relatief kleinere waarde in de zone a3 (fig.-7.29) hebben. Door het ontbreken van de 'swashzone effect' is de orbitaalbeweging aan de bodem in deze zone zwak. Dus deze is als het ware alleen afhankelijk van de afstand tot de brandingszone en met stijgen van het water neemt deze afstand af, dus de snelheid neemt toe.

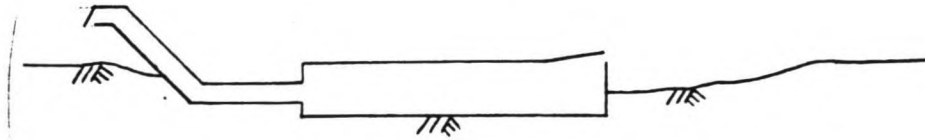
### Meting 11

Bodemtransport met overtuigende sheef flow wordt in bepaalde periodes tijdens de uitvoering waargenomen. Voor de instroming in het sheef flow gebied ontstaat er een grote kuil, (fig.-7.30) die het resultaat van de meting zeer onbetrouwbaar zal hebben gemaakt. De kleine instroomsnelheid in tabel-7.4c is waarschijnlijk te wijten aan het trage reageren van de instromingsklep (zie verder daarover

tabel-7.4c Meting 11

$t_i$ [s]	$N_i$ [omw]	$\Sigma t_i$ [s]	$\Sigma N_i$ [omw]	$\hat{V}_i$ [m/s]
600	572	600	572	0.24
600	606	1200	1178	0.25
600	822	1800	2000	0.34
600	781	2400	2781	0.33
600	573	3000	3354	0.24
600	668	3600	4022	0.28
600	741	4200	4763	0.31
696	1029	4896	5792	0.37

Par. 8.2 'Het openingsmechanisme').



figuur-7.30

Het variërende verloop  $V_i$  zal een aanduiding van de verdeling voor de strandzone (fig.-7.27, Par. 7.3.4) kunnen zijn.

Meting 12

De golfconditie is hetzelfde als in de vorige proef. Bij deze meting wordt een houten plaat voor de instroming geplaatst. De sampler ligt, in de sheet flow zone, duidelijk hoger dan de bodem. Toch is er geen sprake van een serieuze kuil. Tijdens de uitvoering kan het waargenomen

tabel-7.4d Meting 12

$t_i$ [s]	$N_i$ [omw]	$\Sigma t_i$ [s]	$\Sigma N_i$ [omw]	$V_i$ [m/s]
900	3448	900	3448	0.96
900	3198	1800	6646	0.89
900	3264	2700	9910	0.91
180	642	3780	10552	0.89

worden dat boven de houten plaat het zand sterk in suspensie is gebracht.

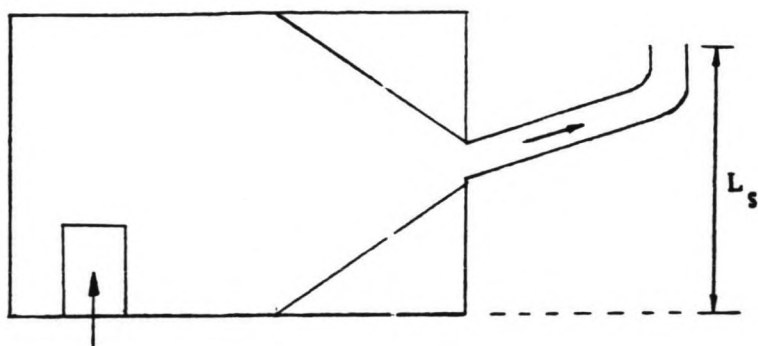
Bij deze meetuitvoering wordt er een houten wig in de instromingsopening geplaatst, zodat tijdens terugstroom de instromingsklep niet helemaal dicht is en deze bij het omkeren van de stroomrichting niet hoeft te worden 'opgetild' door de instroming. Dit zal de grote waarde van  $V_i$  (zie ook 6.3.3.1) veroorzaakt hebben.

In de voorgaande gevallen kon door het drukverval (Term (c) van vgl {6.2}) de instroomklep dichtdrukken, terwijl de stroming aan de bodem al inwaarts gericht was. Bij Proef 12 kan dit niet.

Meting 13

Tijdens de eerdere gedane metingen schijnt de instroom niet echt met de aanwezige orbitaalbeweging in fase te zijn. Deze dwarsuitvoering (fig.-7.31) voor de sampler is bedoeld om de afstand tussen in- en uitstroming  $L_s$  te reduceren (zie ook 6.3.3.1).

De temperatuur van het zeewater is te laag geworden om met een surfpak aan bij de bodem bij goed bewustzijn de werking van de sampler waar te nemen.

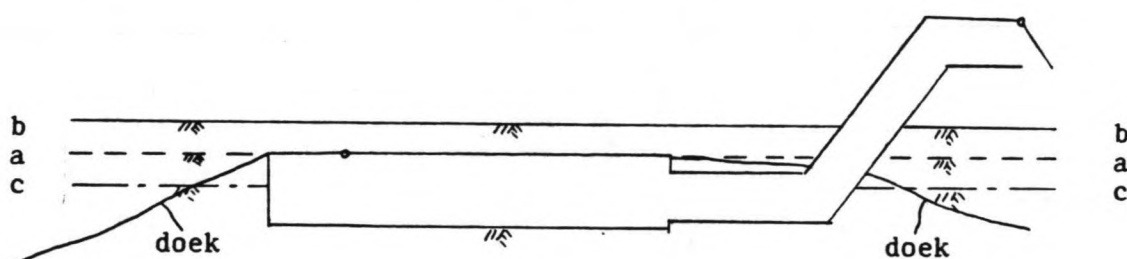


figuur-7.31

#### Meting 14

Deze meting wordt op het strand bij Groote Keeten uitgevoerd. Het doel daarvan is de ijking voor de sampler door het gebruik te maken van de bestaande afzuiging meetinstallaties (zie Hoofdstuk 3).

Rond om de omgeving van de sampler wordt een schermdoek geplaatst, die een goede morfologische conditie voor de sampler moest waarborgen. Maar bleek, is dit niet gelukt. De bodemligging heeft in de verticale richting zeker meer dan 5 cm gefluctueerd en het doek kan geen gunstiger invloed op morfologische conditie voor de meting uitoefenen (fig.-7.32)



a, b en c zijn de bodemliggingen op verschillende tijdstippen

figuur-7.32

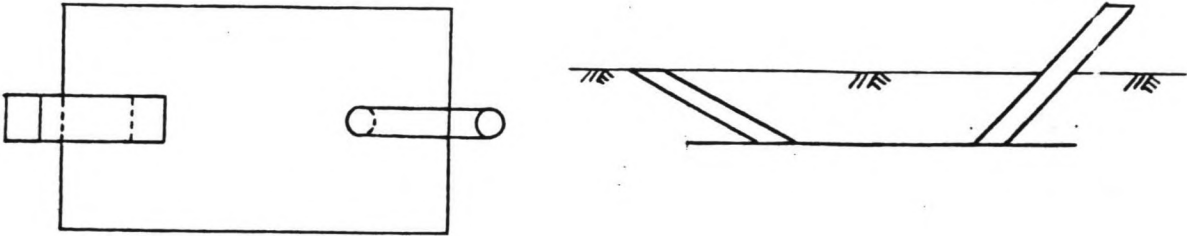
Door de hoge golven is de golfoploop sterk en de sampler moet dichter bij de duinvoet ingegraven worden. Met het relatief klein tijschil aldaar is de uitstromingspijp gedurende de meting boven het water gebleven.

#### Meting 15 : met een alternatieve vormgeving

T.g.v. de verandering van de bodemligging treden er twee negatieve

effecten op bij meting met het huidige exemplaar:

- a. het gevaar van wegspoelen van de sampler
- b. het verstoren van de morfologische conditie bij de instroming



figuur-7.33

Om de boven genoemde nadelen te ontgaan is er na enige ervaring met veldmetingen een constructie (fig.-7.33) gemaakt en met deze wordt er op strand een <sup>tal</sup> keer beproefd. Deze bestaat uit van een stalen plaat, waaraan een rechthoekige koker en een ronde buis zijn gelast. In wezen is dat een sterk vereenvoudigde vormgeving van het nieuwe ontwerp van de sampler.

De resultaten zijn:

- ad a. wegspoelen kan het niet meer
- ad b. er ontstaat geen kuil (dus de morfologische conditie blijft 'natuurlijk') bij de 'instroming' wanneer deze op hetzelfde niveau (of zelfs iets hoger, want men kan de rechthoekige contour van de koker nog heel duidelijk zien) als de bodem ligt (zie ook Bijlage II, foto-12).

## Hoofdstuk 8

### Nieuw ontwerp sampler

#### 8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal een nieuw ontwerp, gebaseerd op de verkregen ervaring met het bestaande exemplaar (Hfd 7) en het theoretische onderzoek (Hfd 6), voor de sampler gemaakt worden. Het nieuwe ontwerp heeft op de volgende punten belangrijke verandering t.a.v. het bestaande exemplaar:

1. de instromingsopening en de uitstroming
2. mogelijkheid voor meervoudig meetresultaat van zandtransport tijdens een meetuitvoering

Punt 1 resp. 2 wordt in Par. 8.2 resp. 8.3 behandeld. In Par. 8.4 zullen de maten en vormgeving voor de nieuwe uitvoering van de sampler gegeven worden en de eventuele ijking voor deze uitvoering komt in Par. 8.5 aan de orde.

#### 8.2 Instroom- en uitstroomconstructie

Uit de gedane veldmetingen kan er wat betreft de instroomconstructie de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- a. de instroomklep functioneert niet optimaal onder golfbeweging
- b. met een niet bijstelbare onderkant van de instromingsopening zal het praktisch niet mogelijk zijn om meetresultaat met een adequate nauwkeurigheid te verkrijgen

De werking van de terugslagklep op zich is bevredigend. Echter de vormgeving van de uitstroming moet verbeterd worden.

Over deze aspecten zal het volgende handelen.

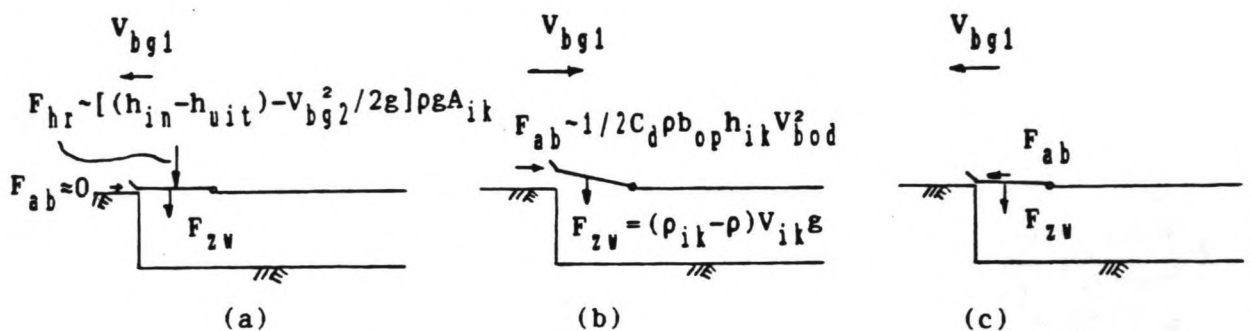
##### 8.2.1 De instroomklep

De uitvoering van de bestaande instroomklep heeft drietal bezwaren.

1. openingstijd is niet in fase met het omkeren van de stroomrichting aan de bodem
2. tijdens retourstroom wordt er voor de instroming sterke turbulentie (door het naar boven gebogen gedeelte van de klep) opgewekt, die duidelijke storing in morfologische conditie veroorzaakt

3. tussen de twee geleideschotten en de klep komt soms iets, bv. schelp, zand (veel zand als de instroming op een laag niveau plaats vindt) etc., dat de klep kan vastklemmen

ad 1 het openingsmechanisme



figuur-8.1

Hoewel volgens de theoretische beschouwing voor het bestaande exemplaar de instroomsnelheid een grotere waarde en een voorsprong in fase t.o.v. de werkelijke orbitaalbeweging (zie 6.3.3.1a) zou hebben, is dat niet gebleken uit de veldmetingen (zie 7.3.5). In figuur-8.1 wordt het openingsmechanisme van de instroomklep van het bestaande exemplaar getekend. Dit kan globaal in drie stadia onderscheiden worden:

a) bij de omkeer van de stroomrichting aan de bodem

Er zijn twee neerwaartse krachten, die het openen van instroomklep tegenhouden:

1) de zwaartekracht

$$F_{zv} = (\rho_{ik} - \rho) V_{ik} g \quad \{8.1\}$$

waarin:

$\rho_{ik}$  : massadichtheid van de instroomklep [kg/m<sup>3</sup>]

$V_{ik}$  : volume van de instroomklep [m<sup>3</sup>]

2) de hydraulische overdruk

$$F_{hr} \sim [(h_{in} - h_{uit}) - V_{bg2}^2 / 2g] \rho g A_{ik} \quad \{8.2\}$$

waarin:

$A_{ik}$  : oppervlakte van de instroomklep [m<sup>2</sup>]

De grootte van  $F_{hr}$  hangt sterk af de waterdichtheid bij de instroming.

De aanstroomkracht door de orbitaalstroom aan de bodem oefent een opwaartse kracht op de instroomklep.



$$F_{ab} \approx 1/2 C_d \rho b_{op} h_{ik} V_{bod}^2 \quad \{8.3\}$$

waarin:

$C_d$  : weerstandscoefficient [-]

$h_{ik}$  : aanstroom-hoogte ( $h_{op}$  plus de 'dikte') van de instroomklep [m]

Op dit moment kan  $F_{ab}$  ( $\approx 0$ ) veel kleiner zijn dan de som van  $F_{zw}$  en  $F_{hr}$ .

De klep blijft lang dicht.

b) bij overtuigend positieve stroom

Onder a) is de opening echter niet helemaal (water) dicht. Wanneer de aanstroom tot een bepaalde waarde opgevoerd wordt, zal deze de klep open doen. Dan valt  $F_{hr}$  praktisch weg, het drukverval tussen onder- en bovenzijde van de klep zal zeer klein worden. De massadichtheid van de klep is niet veel groter dan die van het water en de klep blijft open. Dit gebeurt ook in de stroomgoot onder stationaire stroming.

c) bij overtuigend negatieve stroom

In deze periode staat de klep goed dicht. De aanstroomkracht is nu in negatieve richting en voor de instroming wordt de bodem ligging verstoord door sterke turbulentie.

Als oplossing voor dit probleem wordt er aan de volgende constructie (fig.-8.2) gedacht.

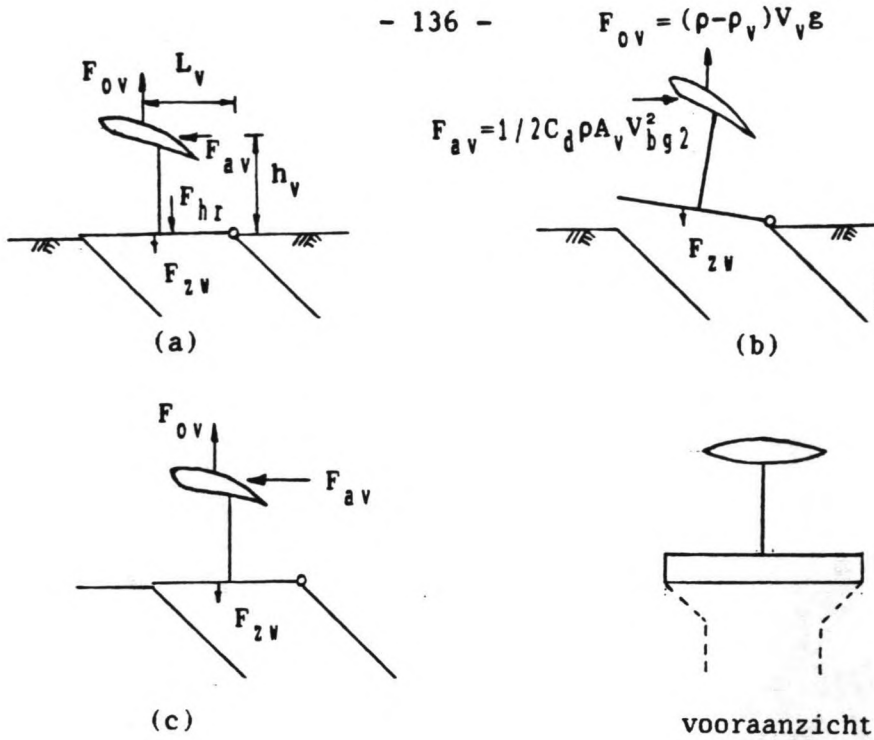
Een vleugel wordt op de instroomklep bevestigd en deze maakt een hoek met de klep. De afstand tussen de klep en de vleugel zal zo kort mogelijk zijn; hiervoor zal bv. 5 cm, aangehouden worden, tenzij er daardoor extra verstoring aan de bodem optreedt. De massadichtheid van deze vleugel moet kleiner zijn dan die van water. Daardoor kan er een drijvende opwaartse kracht gecreeerd worden, en de grootte daarvan is

$$F_{ov} = (\rho - \rho_v) V_v g \quad \{8.4\}$$

waarin:

$\rho_v$  : massadichtheid van de vleugelconstructie [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$V_v$  : volume van de vleugel [ $\text{m}^3$ ]



figuur-8.2

Voorwaarde voor het openen van de instroomklep bij omkeer van stroomrichting, aan de bodem, is

$$F_{0v} L_v > F_{av} h_v + (F_{zv} + F_{hr}) L_{op} / 2 \quad \{8.5\}$$

waarin:

$L_v$  : afstand bevestiging van vleugel op de klep tot de draai-as van de klep [m]

$F_{av}$  : aanstroom kracht van de vleugel door de stroom buiten de grenslaag [N], en

$$F_{av} = 1/2 C_d \rho A_v V_{bg}^2 \quad \{8.6\}$$

$h_v$  : verticale afstand tussen vleugel en draai-as van de klep [m]

$L_{op}$  : lengte van de instroomklep [m]

In het rekenprogramma (A.4) wordt daarom aangenomen dat deze klep bij de omkeer van de stroomrichting al open staat.

Als de stroomrichting buiten de grenslaag (deze heeft een achterstand in fase t.o.v. de stroom aan de bodem) zich ook omkeert (stadium b), verandert {8.5} dan in

$$F_{op} L_v + F_{av} h_v > F_{zv} L_{op} / 2 \quad \{8.7\}$$

In de periode c, stilstand water in de sampler en daarbuiten een sterke negatieve stroom, zal het gewenst zijn als

$$F_{0v} L_v < F_{av} h_v + F_{zw} L_{op} / 2 \quad \{8.8\}$$

want dan blijft de klep dicht en voor de instroming zal er weinige hinder t.a.v. de morfologische conditie plaats vinden.

opmerking:

a) Hier zal niet verder worden ingegaan op het dimensioneren van de vleugel

Dit kan gebeuren als men met het fabricage proces van een nieuwe sampler begint en de benodigde materiaalconstanten bekend zijn. De werking van dergelijke vleugel moet echter geijkt worden (zie 8.5.2).

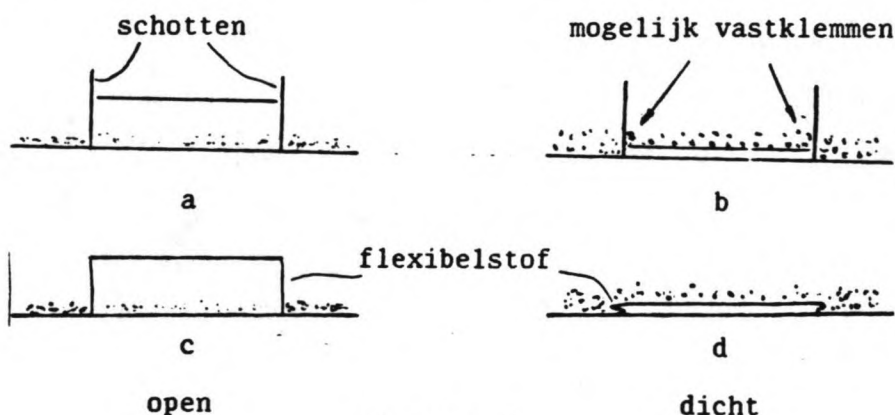
b) Een alternatief van de vleugelconstructie is dat men de instroomklep van licht materiaal laat fabriceren en deze zelf de drijvende opwaartse kracht kan opleveren.

ad 2 verstoring bodem configuratie

Dit punt wordt in principe al bij ad 1 behandeld. Doelmatigere ideeën daarover zullen uit proefresultaten afgeleid moeten worden.

ad 3 vastklemmen van de klep

De twee geleideschotten van het huidige exemplaar kunnen vervangen worden door twee 'schotten' van zeer flexibele waterdicht weefsel. De vergelijking van twee typen uitvoeringen is in figuur-8.3 grafisch weergegeven. Het gevaar van vastklemmen, figuur-8.3b, komt bij de veranderde constructie, figuur-8.3d, niet meer voor.



figuur-8.3

### 8.2.2 Ligging onderkant van de instromingsopening

Hoe nauwkeurig de sampler het werkelijke transport onder sheet flow zal kunnen meten, wanneer de onderkant van de instromingsopening de bodemlig-

ging wel goed volgt, is nog onbekend. Par. 8.5 komt daar op terug. Zeker is dat meten met de sampler praktisch geen betrouwbare meetresultaten zal leveren, als de onderkant van de instromingsopening tijdens de meetuitvoering niet steeds op het niveau van de bodem ligt. In het volgende zullen een aantal alternatieve constructietypen op dit aspect van de instroming behandeld worden.

1. vormgeving als het bestaande exemplaar

Zo'n sampler zal eerst extra diep in het droge strand ingegraven worden. Vlak voor het bemonsteren moet deze op een juist niveau gebracht worden.

voordeel : a. eenvoudige constructie

nadeel : a. plaatsen van de sampler op juist niveau in de zandige bodem is moeilijk; de tamelijke grote afmeting maakt het instrument moeilijk hanteerbaar

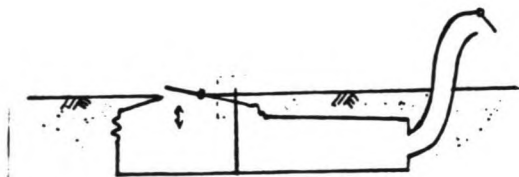
b. wanneer de instroming te veel uit de bodem steekt, is er geen remedie meer voor herstellen van de ligging sampler

2. een beweegbare bovenconstructie

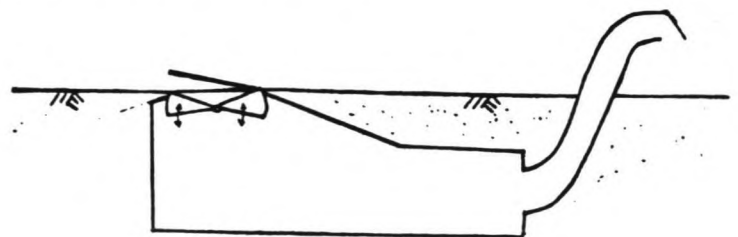
Het deksel op de bak wordt nu door een flexibel materiaal met de rest van de sampler verbonden. Voor het fixeren op een vaste stand van het deksel is een staaf op de bodem van de bak vast gemaakt. Deze staaf steekt, enige centimeters, het deksel uit en met een klemmechanisme kan het deksel aan de staaf bevestigd worden. In figuur-8.4 is de principe uitvoering van zo'n constructie getekend.

voordeel : a. de constructie is niet ingewikkeld

nadeel : a. het bijstellen zal veel inspanning vergen



fiuur-8.4



figuur-8.5

### 3. met een beweegbare instromingsopening

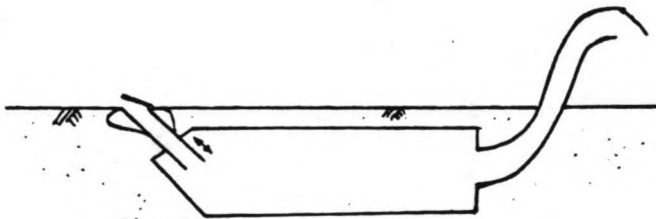
De voor- en achterkant van de instromingsopening worden met een schanierende constructie op het deksel bevestigd. De ligging van de onderkant van de instromingsopening en de instromingsklep kunnen daarmee gemakkelijk geregeld worden. Deze instromingsopening wordt in figuur-8.5 aangegeven.

voordeel : a. het bewegingsmechanisme heeft weinige contact met het zand  
(dus minder zwaar te hanteren)

nadeel : a. het niveauverschil is relatief klein, tenzij met een lange instromingsopening

### 4. schuifbare instromingsconstructie

Een aparte instromingsconstructie klemt in de bakwand. De verbinding moet wel zo gemaakt zijn dat deze instroming heen en weer geschoven kan worden. In de bak zal een klemmechanisme (misschien is dat ook niet nodig: er staat praktisch geen kracht op de instroomkoker en de wrijvingsweerstand van het zand zal deze koker op zijn plaats vasthouden) aanwezig zijn, dat tijdens het meten de instromingsconstructie (relatief) vast houdt en bij het bijstellen deze weer los laat. De uitvoering is in figuur-8.6 weergegeven.



figuur-8.6

voordeel : a. de bak blijft onder de zandige bodem, niet bloot gesteld aan golfaanval

b. het instroomniveau is bij te stellen met een goed hanterbare constructie

c. grote niveau verandering in verticale richting is mogelijk

nadeel : a. het vereist een relatieve hogere uitvoering van de bak

De keuze van type sampler constructie voor verdere onderzoek/meting valt op alternatief 4.

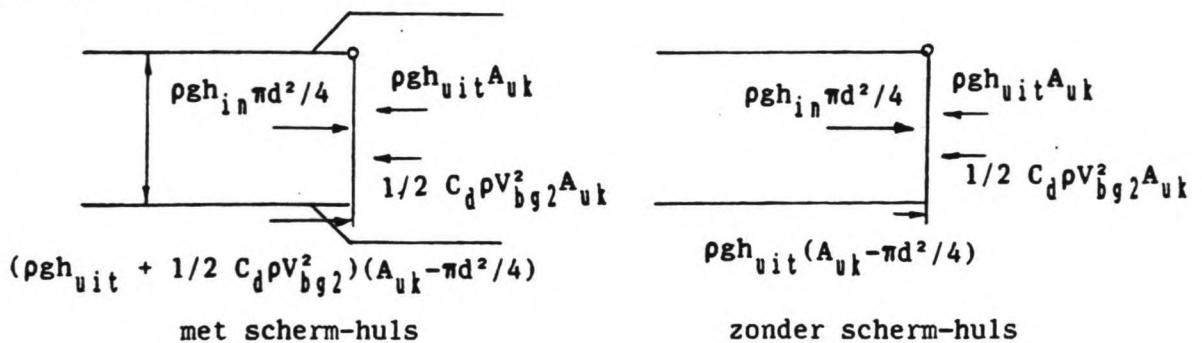
### 8.2.3 Uitstroomconstructie

Er is een faseverschil ( $\alpha_1 + \alpha_2$ ) tussen de orbitaalbeweging aan de bodem  $V_{bod}$  voor de instroom en die bij de uitstroming  $V_{bg2}$ . De grootte daarvan ligt op  $20^\circ \sim 30^\circ$ . Het gedrag van de terugslagklep kan in volgende vier perioden beschouwd worden.

1. periode bij het begin van instroom ( $V_{bod} \geq 0, V_{bg2} < 0$ )

Volgens {6.2} zullen bij het begin van de instroom de uitstroomdruk Term (b) en het drukverval Term (c) elkaar opheffen. Dit impliceert dat de netto belaste oppervlakte van de terugslagklep door deze twee termen gelijk is. Dat klopt wel degelijk in het geval met een scherm-huls aan de uitstroming, maar niet met het huidige uitvoering (zie figuur-8.7a resp. 8.7b). In figuur-8.7a is de belaste oppervlakte voor beide termen  $\pi d^2/4$  en in geval van figuur-8.7b blijft deze waarde voor de het drukverval hetzelfde maar t.a.v. de Term (b) moet nu de oppervlakte van de terugslagklep  $A_{uk}$  gebruikt worden.

In het algemeen zal  $A_{uk} > \pi d^2/4$  (ook bij het huidige exemplaar) zijn, met een uitstroming als in figuur-8.7b gegeven is wordt het begin van de instroom belemmerd.



figuur-8.7

2. periode van positieve stroom ( $V_{bod} > 0, V_{bg2} > 0$ )

Bij deze conditie bestaat er geen wezenlijk verschil tussen de twee uitvoeringen m.b.t. de beweging voor de terugslagklep, die blijft op de maximale openstand. Misschien kan het afzuigings effect wel door een andere vormgeving van de uitstroming beïnvloed worden.

3. bij de omkeer van de instroomrichting ( $V_{bod} \leq 0$ ,  $V_{bg2} > 0$ )

In deze periode kan de terugslagklep door de positieve stroom  $V_{bg2}$  nog enige tijd in de openstand gehouden worden. Men krijgt dan een te grote terugstroom  $V$  in de sampler. Door een scherm-huls werkt de terugslagklep meer afhankelijk van de stroom in de sampler (zie A.4).

4. onder negatieve stroom ( $V = 0$ ,  $V_{bod} < 0$  en  $V_{bg2} < 0$ )

Beide uitvoeringen leveren er geen probleem op.

### 8.3 constructies voor het krijgen van meervoudige meetresultaten bij een meetuitvoering

Uit tabel-7.4a t/m 7.4d is de hoeveelheid water, die gedurende een tijdinterval tijdens metingen door de sampler stroomt, bekend en deze grootte varieert in sommige gevallen nog sterk. Daar de hoeveelheid zand tussentijds niet gemeten kan worden is het niet mogelijk te bepalen hoe groot het transport en de concentratie in die tijdintervallen zouden zijn. Het is de moeite waarde om de sampler met een toegevoegde constructie efficiënter te laten gaan werken.

#### 1. meervoudige samplers

Er worden een aantal samplers naast elkaar in de bodem ingegraven. Als een daarvan over een bepaalde tijd gemeten heeft, wordt deze weggehaald en treedt de volgende sampler in werking. De debietmeter kan in dit geval gezamenlijk, om de beurt, gebruikt worden.

voordeel : a. eenvoudige constructie

nadeel : a. massale aantallen instrumenten moeten naar het strand vervoerd worden

b. ingraven kost veel werk

#### 2. een pomp systeem

2a. elektrisch (reden daarvoor zie opmerking van Hoofdstuk 4)

Een voorbeeld daarvan is o.a. door Thornton [20] op de 'sandtrap' toegepast.

2b. mechanisch of pneumatisch (bv. m.b.v. perslucht)

Daaromtrent is geen voorbeeld te noemen.

Wat betreft het pompsysteem moet er nog aan desbetreffende specialisten

advies gevraagd worden. Hier zal op dit punt niet verder worden ingegaan.

### 3. bergruimte voor gevangen zand in de sampler

Onder de bak bevindt een draaibord. Dit wordt door een aantal schotten in diverse sectoren verdeeld. In de bodem van de bak is een gat aangeemaakt, waardoor het zich op de bakbodem bevindende zand in het bord kan neervallen (de duiker kan het zand naar de gat vegen). In het deksel van de bak wordt een opening gemaakt die tijdens het meten gesloten blijft. Bij wisseling van meetperiode wordt de opening geopend en na het schoon vegen van het zand op de bakbodem wordt het bord over een sector gedraaid.



figuur-8.8

Een cirkelvormige bord met een diameter van 40 cm en een diepte van 10 cm kan in zes sectoren verdeeld worden als er voor iedere sector een maximale bergingscapaciteit van ca. 3 kg natte zand is vereist.

In figuur-8.8 is de constructie met draaibord geschetst.

voordeel : a. eenvoudige constructie

nadeel : a. beperkte aantal sectoren voor bergruimte

b. het kost veel inspanning het zand in het gat te vegen en  
het resultaat is onzeker

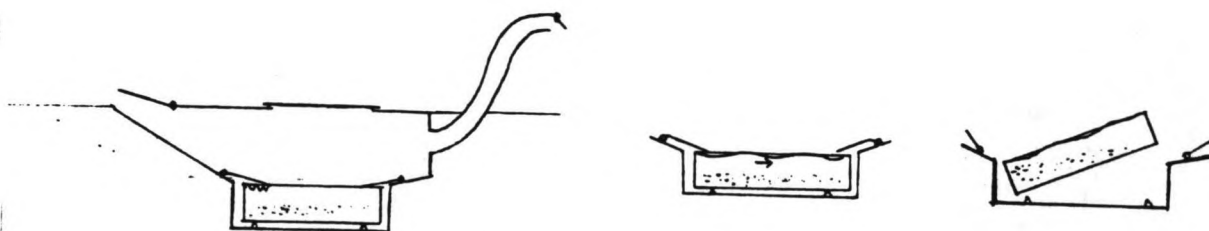
### 4. wegneembaar voorwerp voor zandberging op de bakbodem

#### 4a. een doos als bergruimte

In plaats van het draaibord uit 3 staat bij deze uitvoering een wegneembare doos op de bakbodem. De gevulde doos kan vervangen worden door een lege wanneer er een nieuwe meetperiode begint.

In figuur-8.9 worden de constructie en het wisselproces van de doos geïllustreerd.





figuur-8.9

voordeel : a. geen beperking op het aantal bemonsterintervallen, dit is zeer voordelig als er bv. gedurende een periode een groot aantal metingen moet plaatsvinden

b. met steil bakwanden vallen de zandkorrels automatisch in de doos neer, er hoeft geen veegwerk verricht te worden

nadeel : a. wegnemen en (vooral) herplaatsen van de doos onder sterke orbitaalbeweging zal moeizaam zijn

b. steile wanden betekent hoge constructie

#### 4b. zakjes als bergruimte

De doos wordt nu vervangen door op elkaar gestapelde dunne zakjes. Een greeptouw van het bovenste zakje hangt op het 'plafond' van de bak, en het greeptouw van het daaronder liggende zakje is aan de bodem van dit zakje verbonden. Tijdens het weghaalproces van het bovenste zakje, zal de bovenopening van dit zakje nauw getrokken worden. Het greeptouw van het daaronder liggende zakje kan dan losgemaakt en aan het 'plafond' van de bak opgehangen worden.

voordeel : a. een groot aantal bemonsterintervallen voor zandtransport mogelijk

b. tijdens gehele handeling blijven de handen van de meting-uitvoerder praktisch buiten de sampler

c. weghaalproces van een zakje duurt kort

nadeel : a. gevaar voor een keer leegtrekken van de zakjes in de sampler wanneer de uitvoerder 'wegspoelt' wordt door sterke orbitaalbeweging

#### 5. ingegraven kist

Een kist wordt in de bodem ingegraven en deze blijft daar gedurende een meetuitvoering. De kist creëert een permanente ruimte, waarin de (lege) sampler geplaatst en, als die 'vol' is, weer weggehaald kan worden.

voordeel : a. ingraven van de kist in 'natte' strand is mogelijk, dus over een bredere zone kan er gemeten worden

nadeel : a. probleem met veranderlijke bodemligging

Alternatief 4 verdient de voorkeur. Varianten 4a en 4b kunnen ook gecombineerd worden. Het is mogelijk dat voor alternatief 2 een goede toepasbare oplossing bestaat.

#### 8.4 Vorm en maten nieuwe sampler

In figuur-8.10 is de vormgeving van het principe ontwerp voor de nieuwe sampler gegeven. Hier zijn een aantal toelichtingen op sommige punten:

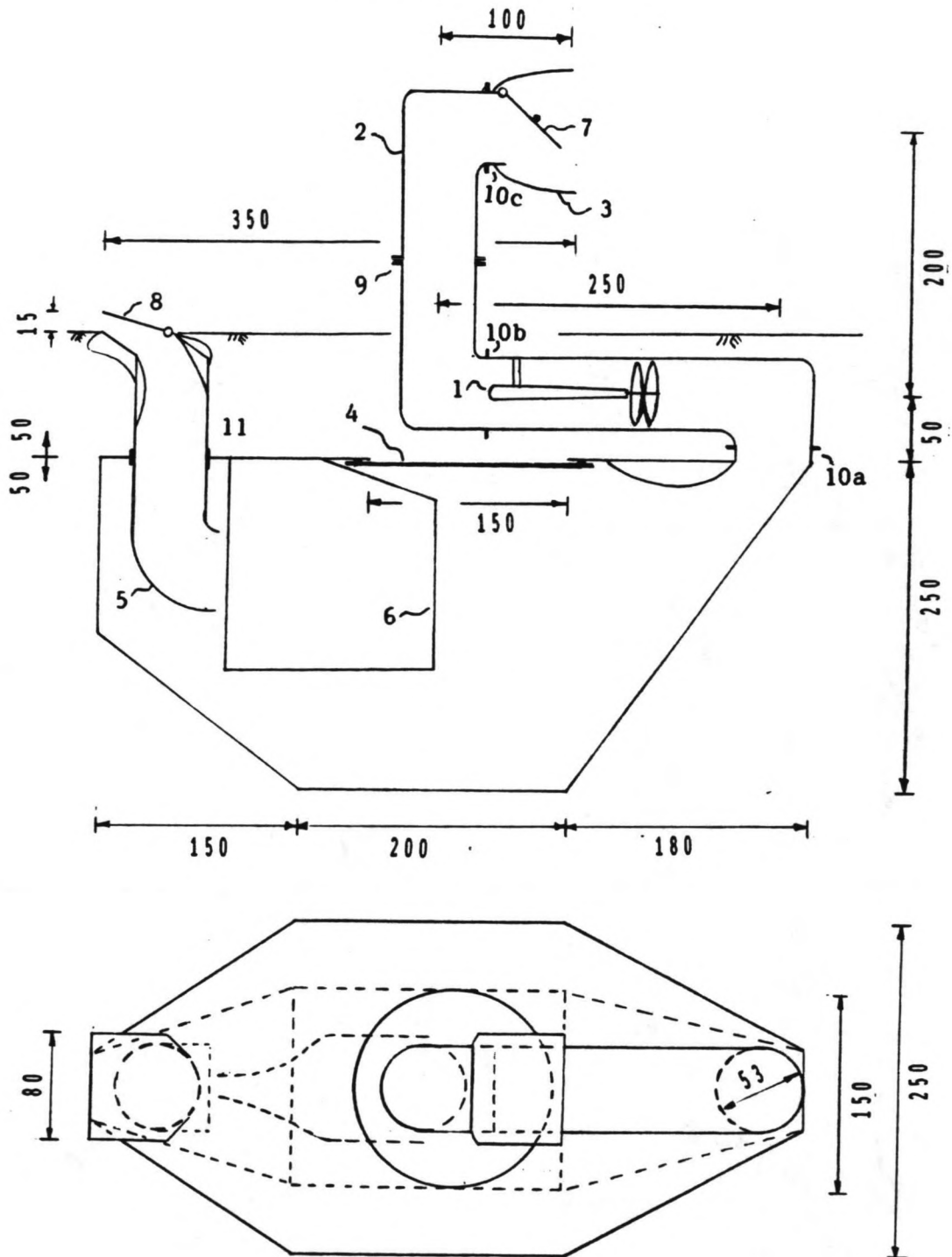
a. Voor een andere openingshoogte van de instroming hoeft alleen het stuk pijp bij de uitstroming met een andere diameter verwisseld te worden (zie blz 89). De koppeling 9 is daarvoor bestemd.

b. De draaibare verbinding 10a is bedoeld om de uitstroompip in horizontaal vlak een rotatie te kunnen geven zodat het deksel aan de bovenzijde van de bak geopend kan worden. Verder zal de horizontale positie van de uitstroming met deze verbinding geregeld worden.

De verbindingen 10b maakt het mogelijk dat men bij een kleine waterdiepte al kan beginnen met de meting. Deze regelt namelijk het verticale niveau van de instroming. Door een draaiing aan 10c te geven, kan de terugslagklep weer in de goede stand gebracht worden.

c. De instroomkoker kan met een variante uitvoering korter vervaardigd worden, en daarmee kan een kleinere bakhoogte worden bereikt.

d. Meer praktische details voor de sampler zijn niet in dit rapport opgenomen, deze kunnen bij het fabricageproces, na eventuele overleg met een werktuigbouwkundige, toegevoegd worden.



- |                              |   |
|------------------------------|---|
| 1 debietmeter                | 7 terugslagklep                                   |
| 2 uitstromingspijp           | 8 instroomklep                                    |
| 3 scherm-huls                | 9 koppeling voor verandering van<br>pijp diameter |
| 4 opening van de bak         | 10 draaibare verbindingen                         |
| 5 instromingskoker           | 11 vastklemmechnisme                              |
| 6 (stroom)verdelingsschotten |   |

figuur-8.10

## 8.5 Ijking voor de nieuwe sampler

In principe kan het ijkingsproces voor de nieuwe sampler uit twee gedeelten bestaan:

- a. bepalen van de diverse gebruikte verlies- en impulsoverdrachtscoëfficiënten
- b. onderzoek naar de werking van de sampler onder orbitaalbeweging en sheet flow conditie

### 8.5.1 Bepalen coëfficiënten

#### a. Proefvoorstel 8.1

Het doel van deze proef is:

1. bepalen van verliescoëfficiënten in de sampler
3. ijking van de debietmeter

De proefopstelling blijft hetzelfde als die in figuur-7.8 getekend is. Nu komt de nieuwe uitvoering voor de sampler uit figuur-8.10 in de proefopstelling het oude exemplaar vervangen. Door het meten van de energiehoogten op bepaalde plaatsen kunnen de verliescoëfficiënten van de desbetreffende locaties vastgesteld worden.

#### b. Proefvoorstel 8.2 (in een stroomgoot)

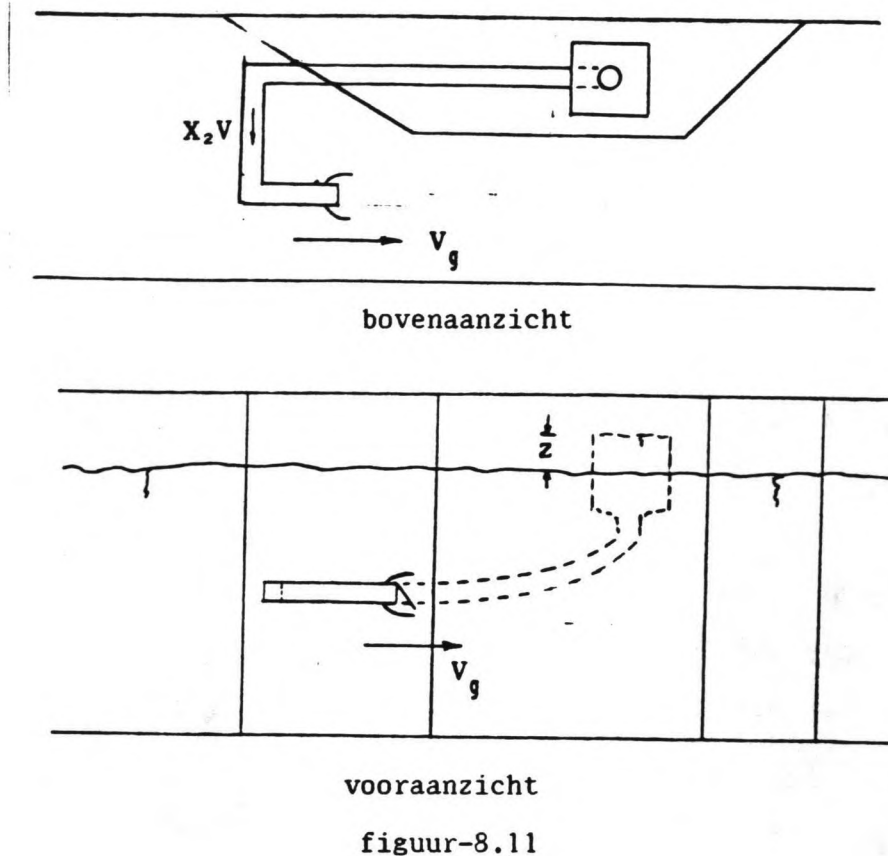
Het doel van deze proef is:

1. bepalen van de overdrachtscoëfficiënt  $C_7$ , bij de uitstroming
2. beschouwen van het werk van de terugslagklep (verliescoëfficiënt als functie van de hoek)
3. bepalen van de invloed van een vernauwing bij de uitstroming op de punten 1 en 2.

De opstelling van deze proef is in figuur-8.11 weergegeven. De proef kan met de volgende stappen geschieden:

- a. bepaal de totale verliescoëfficiënt  $C_0$  van de proefopstelling (zie hiervoor Proefvoorstel 8.1)
- b. bepaal de waarde  $C_7$ , onder verschillende hydraulische condities aan de hand van de volgende vergelijking:

$$z + \frac{C_7}{2g} (|V_g| \dot{V}_g - |X_V X_2 V| X_V X_2 V) = \frac{C_0}{2g} |X_2 V| X_2 V \quad \{8.9\}$$



### 8.5.2 Proeven in golftunnel

Voordat men met de nieuwe sampler serieuze meting in het veld gaat verrichten, zal de nauwkeurigheid van het met het apparaat gemeten meetresultaat verkend moeten worden. Uitvoeren van proeven met de sampler in een golftunnel is daarvoor het meeste voor de hand liggende keuze:

- a. de sampler wordt in een golftunnel in principe hetzelfde belast als onder lopende golven (6.3.3.2)
- b. het gedrag van de sampler kan vergeleken worden met de meetresultaten van andere meetinstrumenten
- c. uitvoering van de proef is niet afhankelijk van de weersomstandigheden
- d. een prototype van de sampler kan in de golftunnel onderzocht worden

Het doel van proeven in een golftunnel kan als volgt samengevat:

1. ijking voor de juistheid van de schematisatie betreffende de traagheidsterm (zie fig.-A.4) en controleren van de geschat parameterswaarden: de bewegingsvergelijking {6.2} en oplossingen daarvan als geheel.

2. bepalen (eventuele) afwijking tussen de snelheidsverloop aan de bodem direct voor de instroming en dat onder 'natuurlijke' omstandigheden (zie fig.-A.10).
3. beantwoordt de vraag of er met de sampler bevredigende meetresultaten van transport en gemiddelde concentratie onder sheetflow conditie geleverd kunnen worden, en zo ja:
  - 3a. wat is de invloed van de ligging van de onderkant van instromingsopening op het meetresultaat?
  - 3b. wat is de invloed van de samplerparameters op de meetresultaat?
  - 3c. hoe gevoelig is het meetresultaat bij een bepaalde uitvoering van de sampler voor verschillende belastingen?

**Uitvoering van de proef:**

De proef kan met de volgende twee stappen gerealiseerd worden:

1. een harde bodem en schoon water in de tunnel (proefopstelling 8a)
2. tunnel met een zandige bodem, sheet flow (proefopstelling 8b)

Bij Proef 8a meet men de stroomsnelheden op twee plaatsen:

- a. direct voor de instroming van de sampler en
- b. op de plaats waar het stroombeeld niet door de plaatsing van de sampler is beïnvloed

Door de verlopen van deze twee registraties steeds met elkaar te vergelijken kan men het gedrag van de sampler in de volgende situaties evalueren:

- a. onder variërende condities van de orbitaalbeweging,
- b. met elkaar afwijkende ligging van de instroming en,
- c. als het nodig is, verschillende uitvoeringen van de sampler

Als de uitkomst van Proef 8a niet overtuigend is voor een goed functionerende sampler, dan hoeft Proef 8b niet meer plaats te vinden. Wanneer het resultaat van Proef 8a genoeg bemoedigend blijkt, zal de sampler met proefopstelling 8b verder onderzocht worden.

In deze proef kan men de sampler beter eerst beginnen te testen met variërende ligging van de onderkant van de instromingsopening. Dit is om de volgende twee redenen:

1. als de morfologische conditie bij de instromingsopening, ook met ver-

schillende vormgevingen, niet stabiel gehandhaafd kan worden wegens een geringe afwijking van de instromingsopening t.o.v. de bodemligging waargenomen is, betekent dat de sampler niet praktisch zal zijn voor meting bij een snel, sterk veranderend strand, immers een afwijking van 2 a 3 mm is tijdens meting in het veld moeilijk te vermijden.

Tijdens proeven in het veld, zie 7.3.5 Metingen 12 en 15, wordt er wel waargenomen dat de morfologische conditie stabiel is wanneer de onderkant van de instromingsopening op hetzelfde niveau als de bodem ligt.

2. als de meetresultaten een grote onderlinge spreiding, met de onder 1 genoemde kleine afwijking, in het transport en/of de concentratie vertonen, moet ernaar gekeken worden of dat de moeite waard is om m.b.v. zo'n sampler meetresultaten in het veld te verkrijgen.

Wanneer de uitkomsten heel reeel zullen zijn, kan de nauwkeurigheid van de sampler bepaald worden. Men besteedt hierbij wel de aandacht aan volgende drie punten:

a. eerder genoemde ligging onderkant van de instroming

Dit is in het voorgaande al uitvoerig aan de orde geweest.

b. het verschil tussen de gemeten transport/concentratie en die van werkelijk optredende t.g.v. van elkaar afwijkende instroming en aanwezige orbitaalbeweging

De afwijking in die twee stromingen kan door een bepaalde uitvoering van de sampler bewust (misschien ook 'nauwkeurig') gecreeerd worden. Bij veldmetingen zal een dergelijke afwijking niet uit te sluiten zijn. Als men het bovengenoemde verschil t.g.v. een bepaalde afwijking kent, kan de nauwkeurigheid van het meetresultaat uit veldmetingen t.o.v. dit aspect ook goed in beschouwing genomen worden (zie hiervoor ook 6.3.1).

c. invloed van stroom die loodrecht staat op de meetrichting

De meetrichting van de sampler kan door het bijstellen van de in- en uitstroming gemakkelijk veranderd worden. Als deze een hoek met de orbitaalstroom in de tunnel maakt, zal het meetresultaat daarvan een indicatie geven voor werking van de sampler onder bv. combinatie van dwars- en langstroom bij een kust.

Opmerkingen m.b.t. het ijken van de sampler:

De proeven in de tunnel hebben prioriteit boven de stroomproeven. De tunnel proeven zijn beslissend voor het functioneren van het instrument.



## Hoofdstuk 9

### Conclusies

Een definitieve beoordeling over werking van de sampler kan nog niet gegeven worden. In de huidige uitvoering vertoont het instrument gebreken en de uitvoering volgens een verbeterd ontwerp kon nog niet worden gemaakt en geijkt.

In het volgende worden de conclusies t.a.v. sommige aspecten, die essentieel zijn m.b.t. uitvoerbaarheid van een goed functionerende sampler, uit voorgaande drie hoofdstukken (6, 7 en 8) samengevat.

#### Conclusies uit experimenteel onderzoek

##### a. sampler in het veld

- metingen met het bestaande exemplaar kunnen eenvoudig in het veld uitgevoerd worden
- uitvoering van metingen moeten onder begeleiding van een duiker geschieden
- het tijschil in het kustgebied, waar metingen met de sampler zullen plaats vinden, moet i.v.m. het ingraven van de sampler voldoende zijn, tenzij de sampler bij een rustige zeegang voor de meting in de bodem zou ingegraven kunnen worden

##### b. zandvangst

- onder een orbitale instroming met een amplitude van ca. 1.2 m/s zullen de ingestroomde (zee) zandkorrels praktisch allemaal (ca. 99%) in de sampler bezinken

##### c. debietmeter

- de gevonden debietmeter werkt betrouwbaar onder een orbitaalbeweging van variërende amplitude en periode

##### d. vormgeving bestaande exemplaar

- er treedt sterke verstoring van de bodemligging op (zeker onder sheet flow conditie) t.p.v. de instroming t.g.v. de plaatsing van de sampler en deze verstoring maakt het meetresultaat zeer onbetrouwbaar. Het is niet mogelijk om met deze uitvoering die verstoring te vermijden

- bij een meetuitvoering krijgt men alleen een resultaat van zandtransport (dus ook concentratie), dit is niet efficiënt
- het huidige exemplaar van het meetinstrument is qua afmeting nog net als "goed hanteerbaar" te kwalificeren

**e. sampler in stationaire stroming**

- er ontstaat praktisch geen afwijking tussen de instroming van de sampler en het ongestoorde stroombeeld in een stroomgoot

**Conclusies uit theoretisch onderzoek**

**f. bewegingsmechanisme van een dergelijk type sampler onder lopende korte golven**

- de vormgeving van de bestaande sampler geeft een grote afwijking tussen de gemeten snelheid (instroming) en de werkelijke aanwezige orbitaalbeweging
- het lijkt heel reeel mogelijk om een sampler met hanteerbare afmeting te vervaardigen welke de orde van grootte van het on-offshore bodemtransport onder sheet flow conditie kan meten
- de afwijking tussen de instroomsnelheid van de sampler, met een bepaalde uitvoering, en de aan de bodem optredende orbitaalbeweging is niet gevoelig voor verschillende waarden van golfhoogte, golflengte, golfperiode, waterdiepte, of combinaties daarvan

**g. verbeterde uitvoering sampler**

- met het nieuwe ontwerp kan de sampler een meervoudig meetresultaat van transport en concentratie gedurende een meetuitvoering verschaffen
- door de (binnen bepaalde grens) bijstelbare ligging voor de onderkant van de instroming zal met de sampler ook bij een sterke veranderende bodemligging langdurig gemeten kunnen worden
- het is mogelijk dat er tijdens een meetuitvoering voor bepaalde delen en/of maten van de sampler (de uitstromingspijp) veranderingen aangebracht worden zodat de sampler onder variërende hydraulische conditie optimaal functioneert

**h. ijking voor een eventuele nieuwe sampler**

- het ijkingsproces kan goed geschieden in een golftunnel, want in principe kunnen alle facetten van de werking van de sampler daarbij beproefd worden

## Appendix

### A.1 Inleiding

In Hoofdstuk 6 zijn de bewegingsvergelijkingen {6.1} en {6.2} en de oplossingen van {6.2} onder verschillende condities gegeven. De komende paragrafen zullen deze uitgebreider gaan behandelen.

A.2 geeft de afleiding van de bewegingsvergelijking voor niet-stationaire stroming in buis.

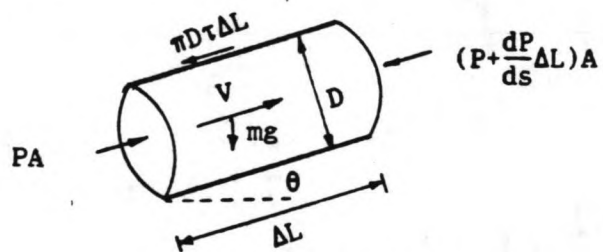
In A.3 komen de afleiding (het samenstellen), aan de hand van ieder aparte term, van de bewegingsvergelijking voor de sampler {6.2} en de achtergronden van de toegekende parameterwaarden aan de orde.

Het computer programma voor het oplossen van {6.2} zal in A.4 behandeld worden.

### A.2 Afleiding bewegingsvergelijking voor niet-stationaire stroming in de buis

Beschouw een sectie van een buis met constante diameter (fig.-A.1). Volgens de Tweede Wet van Newton geldt:

$$\Sigma F = m \frac{dV}{dt} \quad \{A.1\}$$



figuur-A.1

De bewegingsvergelijking van water in deze buissectie, na substitutie van de grootheden uit de figuur-A.1, is

$$PA - (P + \frac{dP}{ds} \Delta L)A - mg \sin \theta - \tau \pi D \Delta L = m \frac{dV}{dt} \quad \{A.2\}$$

waarin:

P : de druk [N/m<sup>2</sup>],

A : grootte van de buisdoorsnede [m],

ΔL : lengte van de buissectie [m],

m : massa van het water in de beschouwde ruimte [N],

θ : hoek tussen de buis-as en de horizontaal [°],

$\tau$  : schuifspanning uitgeoefend door de buiswand op het water [N/m<sup>2</sup>],

D : diameter van de buis [m].

Gebruik voor de wrijvingsterm de uitdrukking van Darcy-Weisbach:

$$\tau = \frac{fV^2\rho}{8} \quad \{A.3\}$$

waarin:

f : de wrijvingscoëfficiënt van de buiswand [-], in de berekening is voor deze coëfficiënt de waarde uit 'Moody Diagram' (stationaire stroming) gebruikt, onder een orbitaalbeweging kan dit een factor van 2 a 3 verschillen. Gezien de kwadratische invloed van de snelheid en het verschil tussen de diverse uitvoeringen t.a.v. de lokale verliescoëfficiënten is hier op dit punt niet verder ingegaan.

V : gemiddelde stroomsnelheid [m/s],

$\rho$  : massadichtheid van water [kg/m<sup>3</sup>].

Dan kan {A.1} weer geschreven worden als

$$-\frac{p}{\rho g} - \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{A.4\}$$

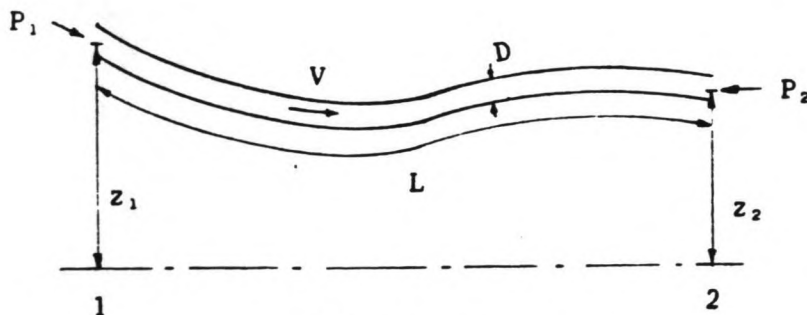
Toepassen van {A.4} op een buis met lengte L en diameter D (fig.-A.2).

$$-\int \frac{p}{2g} ds - \int \frac{\partial z}{\partial s} ds - \int \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} ds = \int \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{A.5\}$$

Na de integratie langs de as van de buis:

$$\frac{p_1}{2g} - \frac{p_2}{2g} + z_1 - z_2 - f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{A.6\}$$

waarin:  $z_1$  resp.  $z_2$  is de plaatshoogte in "1" resp. "2".



figuur-A.2

Als er nog lokale verliezen (door vertraging, bochten, etc.) aanwezig zijn,

kan dit als volgende uitgedrukt worden:

$$\Delta H_1 = C_1 \frac{V^2}{2g} \quad \{A.7\}$$

$C_1$  is de lokaalverliescoëfficiënt

Noem het totale drukverval over "1" en "2"  $\Delta H$ , dus

$$\Delta H = \frac{P_1}{2g} - \frac{P_2}{2g} + z_1 - z_2 \quad \{A.8\}$$

Met {A.6}; {A.7} en {A.8} kan de vergelijking {6.1} weergegeven worden:

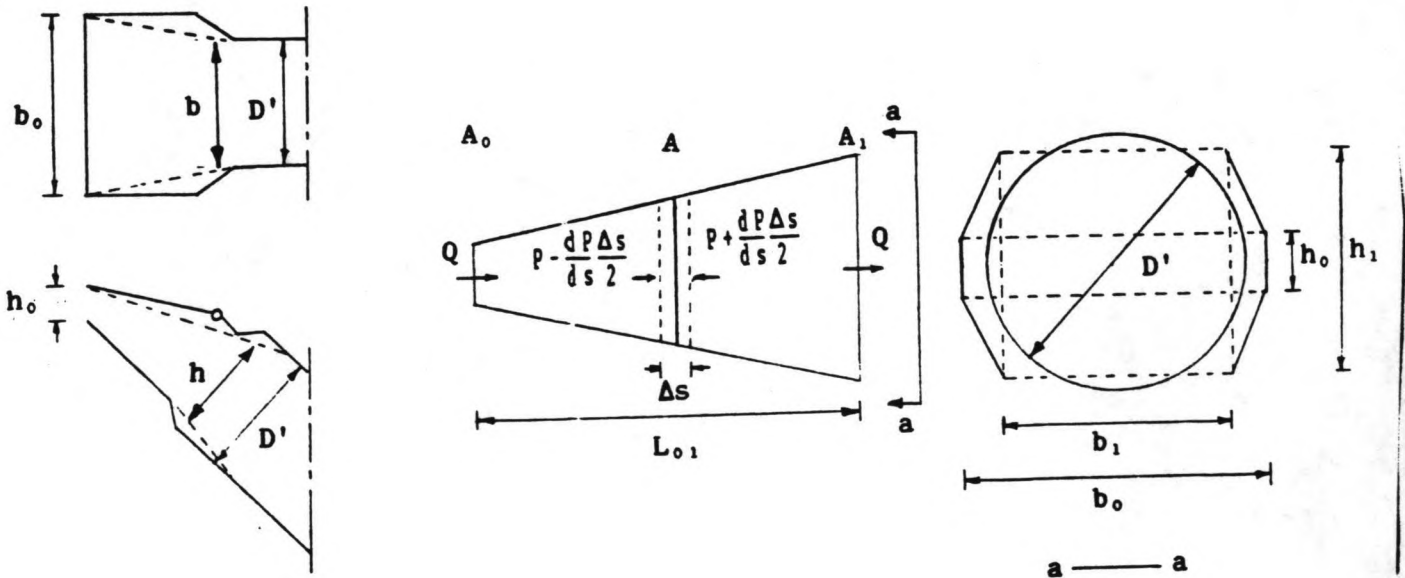
$$\Delta H - f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} - C_1 \frac{V^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{6.1\}$$

### A.3 Bewegingsvergelijking voor de sampler

De sampler wordt nu in een aantal gedeelten verdeeld (fig.-A.3). Deze zullen eerst apart bekeken worden.

#### a. gedeelte 0-1:

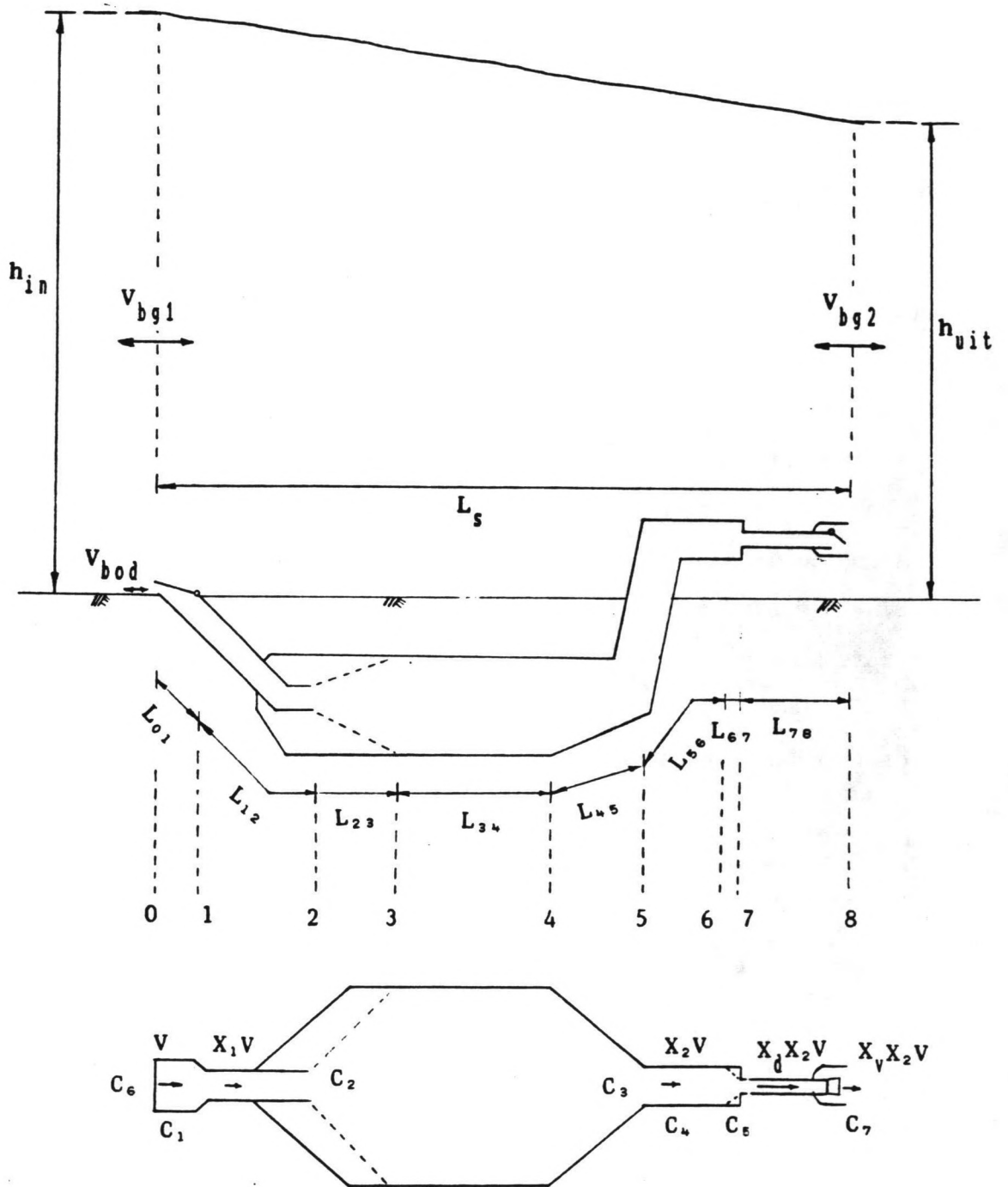
Hier bevindt zich de instromingsconstructie. De vormgeving van deze constructie is tamelijk ingewikkeld (zie 8.2) en het is theoretisch niet nodig (ook niet mogelijk) om daar te veel op de details in te gaan. Daarom worden er de volgende schematisaties (zie figuur-A.4) gemaakt:



figuur-A.4

a. het stroombeeld in iedere doorsnede is uniform verdeeld

b. het verloop van het stroomvoerend oppervlak langs de sampler as wordt



figuur-A.3

als volgt uitgedrukt:

$$h = h_0 + (h_1 - h_0) s/L_{01} \quad \{A.9\}$$

$$b = b_0 + (b_1 - b_0) s/L_{01} \quad \{A.10\}$$

waarin:

$h$  : hoogte van het stroomvoerend oppervlak [m]

$b$  : breedte van het stroomvoerend oppervlak [m]

$h_0$  : hoogte bij "0" (zie fig.-A.3), dit is dus de hoogte van de instromingsopening  $h_{0p}$  [m]

$b_0$  : breedte bij "0", de breedte van de instromingsopening  $b_{0p}$  [m]

$h_1$  : de fictieve hoogte van de instromingskoker [m]

$b_1$  : de fictieve breedte van de instromingskoker [m]

met (zie fig.-A.4, rechts):

$$h_1 b_1 = 1/4 \pi D'^2 = A_1 \quad \{A.11\}$$

en

$$h_1 = b_1 = D' \sqrt{\pi} / 2 \quad \{A.12\}$$

$D'$  is de diameter van de instromingskoker [m]

$L_{01}$ : de lengte van het beschouwde gedeelte [m]

$s$  : coördinaat langs de as van de sampler [m], die begint op "0" in figuur-A.3

Bekijk een willekeurige doorsnede  $A$  tussen "0" en "1" en neem voorlopig alleen de versnelling van de massa over  $\Delta s$  daar in beschouwing, dan is:

$$\left[ P - \frac{dP}{ds} \frac{\Delta s}{2} - \left( P + \frac{dP}{ds} \frac{\Delta s}{2} \right) \right] A = \rho \Delta s A \frac{dV}{dt} \quad \{A.13\}$$

waarin:

$P$  : de druk [ $N/m^2$ ]

$A$  : de grootte van de beschouwde doorsnede [ $m^2$ ], met:

$$A = h b \quad \{A.14\}$$

$\rho$  : de massadichtheid van de vloeistof [ $kg/m^3$ ]

$V$  : de gemiddelde snelheid bij doorsnede  $A$  [m/s]

$\Delta s$ : lengte van de beschouwde sectie [m]

In {A.13} zijn  $P$  en  $V$  functies zowel van plaats ( $s$ ) als van tijd ( $t$ ).

Met de alleen tijd afhankelijke grootheid, het debiet, Q

$$Q = A V \quad \{A.15\}$$

kan {A.13} herschreven worden als:

$$- \frac{dP}{ds} = \frac{\rho}{A} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.16\}$$

Na substituties van {A.9}, {A.10} en {A.14} in {A.16} kan dP langs s geïntegreerd worden:

$$P_0 - P_1 = \frac{\rho L_{01}}{h_0(b_1 - b_0) - b_0(h_1 - h_0)} \ln\left[\frac{(b_1 h_0)/(b_0 h_1)}{(b_0 h_1)/(b_1 h_0)}\right] \frac{dQ}{dt} \quad \{A.17\}$$

waarin:

$P_0$ : de druk bij "0" (de instroming) [N/m<sup>2</sup>]

$P_1$ : de druk bij "1" [N/m<sup>2</sup>]

Noem het lokaalverlies resp. wrijvingsverlies over dit gedeelte  $P_{01}$  resp.  $P_{01v}$ , dan is de bewegingsvergelijking in dit gebied, met  $h_1 = b_1 = D'\sqrt{\pi}/2$ , te schrijven

$$P_0 - P_{01} - P_{01v} - P_1 = \frac{\rho L_{01}}{(D'\sqrt{\pi}/2)(b_0 - h_0)} \frac{dQ}{dt} \quad A.18$$

b. gedeelte 1-2:

In dit gedeelte blijft de doorsnede A constant, namelijk  $A = \pi D'^2 / 4$ , en de bewegingsvergelijking (zie ook A.2) kan als volgt opgesteld worden:

$$(P_1 - P_{12} - P_{12v} - P_2) A = \rho A L_{12} \frac{d(Q/A)}{dt} \quad \{A.19\}$$

dus

$$P_1 - P_{12} - P_{12v} - P_2 = \frac{\rho L_{12}}{(1/4) \pi D'^2} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.20\}$$

De betekenis van de symbolen in {A.20} is te vergelijken met die uit de afleiding voor het gedeelte 0-1.

c. gedeelte 2-3:

Hier is het vertragingsgebied, waarin de netto stroomdoorsnede van  $A_2$  (de instromingskoker) tot  $A_3$  (de bak) verandert. De schematisaties uit '0-1' worden er weer van toepassing gemaakt. Men krijgt

$$P_2 - P_{23} - P_{23v} - P_3 = \frac{\rho L_{23}}{(D'\sqrt{\pi}/2)(b_3 - h_3)} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.21\}$$



d. gedeelte 3-4:

In dit stuk bak is de doorsnede weer constant, dus (zie '1-2'):

$$P_3 - P_{341} - P_{34W} - P_4 = \frac{\rho L_{34}}{h_3 b_3} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.22\}$$

e. gedeelte 4-5:

De afleiding hier, de overgang bak-uitstromingspijp, is weer analoog aan die voor het gedeelte 0-1:

$$P_4 - P_{451} - P_{45W} - P_5 = \frac{\rho L_{45} \ln(b_4 / h_4)}{(D \sqrt{\pi/2})(b_4 - h_4)} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.23\}$$

D : diameter van de uitstromingspijp [m]

f. gedeelte 5-6:

Hier is het gedeelte van de uitstromingspijp, waar de diameter D bepaald is aan de hand van de debietmeter (zie verder onder A.3.6). De vergelijking voor dit stuk is (zie de afleiding bij '1-2'):

$$P_5 - P_{561} - P_{56W} - P_6 = \frac{\rho L_{56}}{(1/4)\pi D^2} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.24\}$$

g. gedeelte 6-7:

Bij de overgang van pijp met diameter D naar kleinere (of grotere) diameter d (daarover zie verder toelichting voor Term (f)) wordt de netto stroomdoorsnede als volgt geschematiseerd:

$$D_{67} = D - (D - d) (s - s_6) / L_{67} \quad \{A.25\}$$

waarin:

$D_{67}$ : verloop van de diameter voor de stroomvoerende doorsnede tussen "6" en "7" [m]

d : de diameter van het veranderde stuk uitstromingspijp [m]

$s_6$  : coördinaat van doorsnede "6" op de sampler as [m]

Men krijgt de volgende vergelijking voor deze overgang:

$$P_6 - P_{671} - P_{67W} - P_7 = \frac{\rho L_{67}}{(1/4)\pi D d} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.26\}$$

h. gedeelte 7-8:

De bewegingsvergelijking voor dit stuk uniforme pijp, met diameter d is weer analoog uit de afleiding '1-2' af te leiden:

$$P_7 - P_{781} - P_{78W} - P_8 = \frac{\rho L_{78}}{(1/4)\pi d^2} \frac{dQ}{dt} \quad \{A.27\}$$

Tel nu de beide zijden van {A.18}, {A.20}, {A.21}, {A.22}, {A.23}, {A.24}, {A.26} en {A.27} op:

$$\begin{aligned}
 & P_0 - P_{01} - P_{01V} - P_{12} - P_{12V} - P_{23} - P_{23V} - P_{34} - P_{34V} \\
 & - P_{45} - P_{45V} - P_{56} - P_{56V} - P_{67} - P_{67V} - P_{78} - P_{78V} - P_8 = \\
 & \rho \left[ \frac{L_{01} \ln(b_0 / h_0)}{(D^3 \sqrt{\pi/2})(b_0 - h_0)} + \frac{L_{12}}{(1/4) \pi D^2} + \frac{L_{23} \ln(b_3 / h_3)}{(D^3 \sqrt{\pi/2})(b_3 - h_3)} + \frac{L_{34}}{h_3 b_3} + \right. \\
 & \left. \frac{L_{45} \ln(b_4 / h_4)}{(D^3 \sqrt{\pi/2})(b_4 - h_4)} + \frac{L_{56}}{(1/4) \pi D^2} + \frac{L_{67}}{(1/4) \pi D d} + \frac{L_{78}}{(1/4) \pi d^2} \right] \frac{dQ}{dt} \quad \{A.28\}
 \end{aligned}$$

$P_0$  is de druk bij de instroming en deze kan uit twee gedeelten bestaan:

- de statisch-hydraulische waterdruk door de aanwezige waterdiepte, noem deze  $P_{0h}$ .
- de druk dat veroorzaakt door eventuele afwijking van de instroomsnelheid t.o.v. de aanwezige orbitaalbeweging, noem deze  $P_{0V}$ .

$P_8$  is de druk bij de uitstroming en deze kan ook op dezelfde manier als bij de instroming in twee delen,  $P_{8h}$  en  $P_{8V}$ , gesplitst worden.

Noem verder de som van de wrijvingsverliezen  $P_V$  en van de lokaalverliezen  $P_l$ . Definieer  $X_u$  als de correctie voor de afwijking in traagheid van de sampler t.o.v. een uniforme buis.

Nu kan {A.28}, na delen door  $\rho g$ , geschreven worden:

$$\frac{P_{0V} - P_{8V} + P_{0h} - P_{8h} - P_V - P_l}{\rho g} = \frac{X_u L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{A.29\}$$

{A.29} kan weer tot de vorm van {6.2} uitgewerkt worden:

$$\begin{aligned}
 & \frac{C_6 X_7}{2g} (|V_{b0d}| V_{b0d} - |V|V) + \frac{C_7}{2g} (|V_{bg2}| V_{bg2} - |X_V X_2 V| X_V X_2 V) + X_5 (h_{in} - h_{uit}) \\
 & \quad \text{(a) instroomdruk} \qquad \qquad \qquad \text{(b) uitstroomdruk} \qquad \qquad \qquad \text{(c) drukverval} \\
 & - \frac{X_2^2 X_3 f L}{2gD} |V|V - \frac{(C_1 X_7 + C_2 X_7 X_1^2 + C_3 X_2^2 + C_4 X_2^2 + C_5 X_d^2 X_2^2)}{2g} |V|V = \frac{X_u L}{g} \frac{dV}{dt} \quad \{6.2\} \\
 & \quad \text{(d) wrijving} \qquad \qquad \qquad \text{(e) lokale verliezen} \qquad \qquad \qquad \text{(f) traagheid}
 \end{aligned}$$

De dimensie van {6.2} is de eenheid [m]. De richting van de instroming naar de uitstroming wordt als positief vastgesteld.

Beschrijving van de termen en betekenis van ieder apart symbool uit {6.2} zijn in Par. 6.3 al gegeven. De termen (a), (b) en (c) van {6.2}, het totale drukverval over de sampler, corresponderen met de term  $\Delta H$  in {6.1}. Verder geven de Term (d) resp. (e) het wrijvings- resp. lokaalverlies en

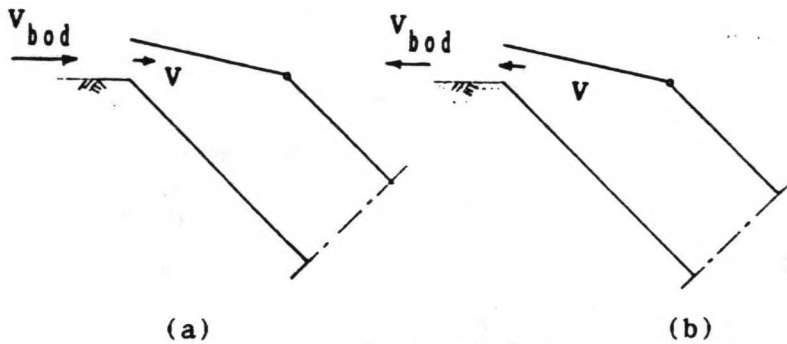
de Term (f) de versnelling. Deze termen zullen in het volgende apart behandeld worden.

### A.3.1 Term (a) instroomdruk

#### A.3.1a De afleiding

Onder de ideale situatie ( $V=V_{bod}$ ) zal er bij de instromingsopening geen drukgradient door de snelheidscomponent geleverd worden. Dus Term (a) = 0.

In meeste gevallen zullen  $V$  en  $V_{bod}$  echter niet gelijk zijn (fig.-A.5).



figuur-A.5

Als  $V_{bod} > V > 0$ , dan zal er een stuw voor de instromingsopening ontstaan (zie fig.-A.5a). Een positieve druk wordt dan op de massa in de sampler uitgeoefend. De grootte van deze stuwdruk  $\Delta P_a$  kan als volgt benaderd worden

$$\Delta P_a \sim (1/2)\rho_a V_{bod}^2 - (1/2)\rho_a V^2 \quad \{A.30\}$$

$\rho_a$  is hier de massadichtheid van de beschouwde laag aan de bodem [ $\text{kg/m}^3$ ]

In eenheid [m] is {A.30}, na delen door  $\rho g$ , te schrijven als:

$$\Delta H_a = \frac{C_a}{2g} (\rho_a / \rho) (V_{bod}^2 - V^2) \quad \{A.31\}$$

Noem:

$$X_7 = \rho_a / \rho \quad \{A.32\}$$

dan volgt uit {A.30}:

$$\Delta H_a = \frac{C_a X_7}{2g} (V_{bod}^2 - V^2) \quad \{A.33\}$$

Bij de berekening van  $X_7$  wordt de invloed van het zoutgehalte in het water verwaarloosd. Deze invloed valt weg in teller en noemer, als  $\rho_a$  door  $\rho$  gedeeld wordt.

Als  $0 > V > V_{bod}$ , (zie fig.-A.5b), zal er een negatieve druk door het snelheidsverschil op de vloeistof in de sampler worden uitgeoefend. De

grootte van deze negatieve druk volgt analoog uit de voorgaande situatie:

$$\Delta H_a = - \frac{C_e X_7}{2g} (V_{bod}^2 - V^2) \quad \{A.34\}$$

Op hetzelfde wijze kan Term (a) voor andere gevallen afgeleid worden. De algemene uitdrukking van de Term (a) is dus:

$$\Delta H_a = \frac{C_e X_7}{2g} (|V_{bod}| V_{bod} - |V|V) \quad \{A.35\}$$

### A.3.1b Waarden van de parameters

$C_e$ : Met een stationaire stroming,  $V_{bod} > V > 0$ , is  $C_e \approx 1$  (denk bv. aan de pitotbuis). Hier is  $(V_{bod} - V)$  een functie van tijd. De waarde van  $C_e$  zal niet eenduidig zijn. In de berekening is  $C_e$  echter als een constante, in een zekere periode, beschouwd en deze heeft in het algemeen de volgende gedaante:

$$C_e = 0 \text{ als } V_{bod} < V < 0:$$

De negatieve afzuiging (noem in dit geval  $C_e = f_{1,2}$ ) wordt verwaarloosd:

- a) Deze is klein t.o.v. de andere termen.
- b) Over een grote periode vindt een afzuiging, in de negatieve richting, plaats bij de instromingsopening wanneer de terugslagklep en de instromingsklep in gesloten stand zijn. Het heeft geen invloed op de snelheid  $V$  ( $V$  blijft namelijk in die periode 0).

$$\text{en } C_e = f_{1,1} = 1 \text{ voor overige situaties } \left\{ \begin{array}{l} V_{bod} > V > 0 \\ V_{bod} < V < 0 \\ V > V_{bod} > 0 \\ V > 0, V_{bod} < 0 \\ V < 0, V_{bod} > 0 \end{array} \right.$$

$X_7$  : In figuur-A.6a zijn de verlopen van concentratie in verticale richting uit de proeven van Horikawa [7] weergegeven. De horizontale as geeft de relatieve concentratie  $c'$  weer en:

$$c' = c / c_0 \quad \{A.36\}$$

$c$  : de gewichtconcentratie [ $\text{kg/m}^3$ ]

phase

$\Theta = 0^\circ$

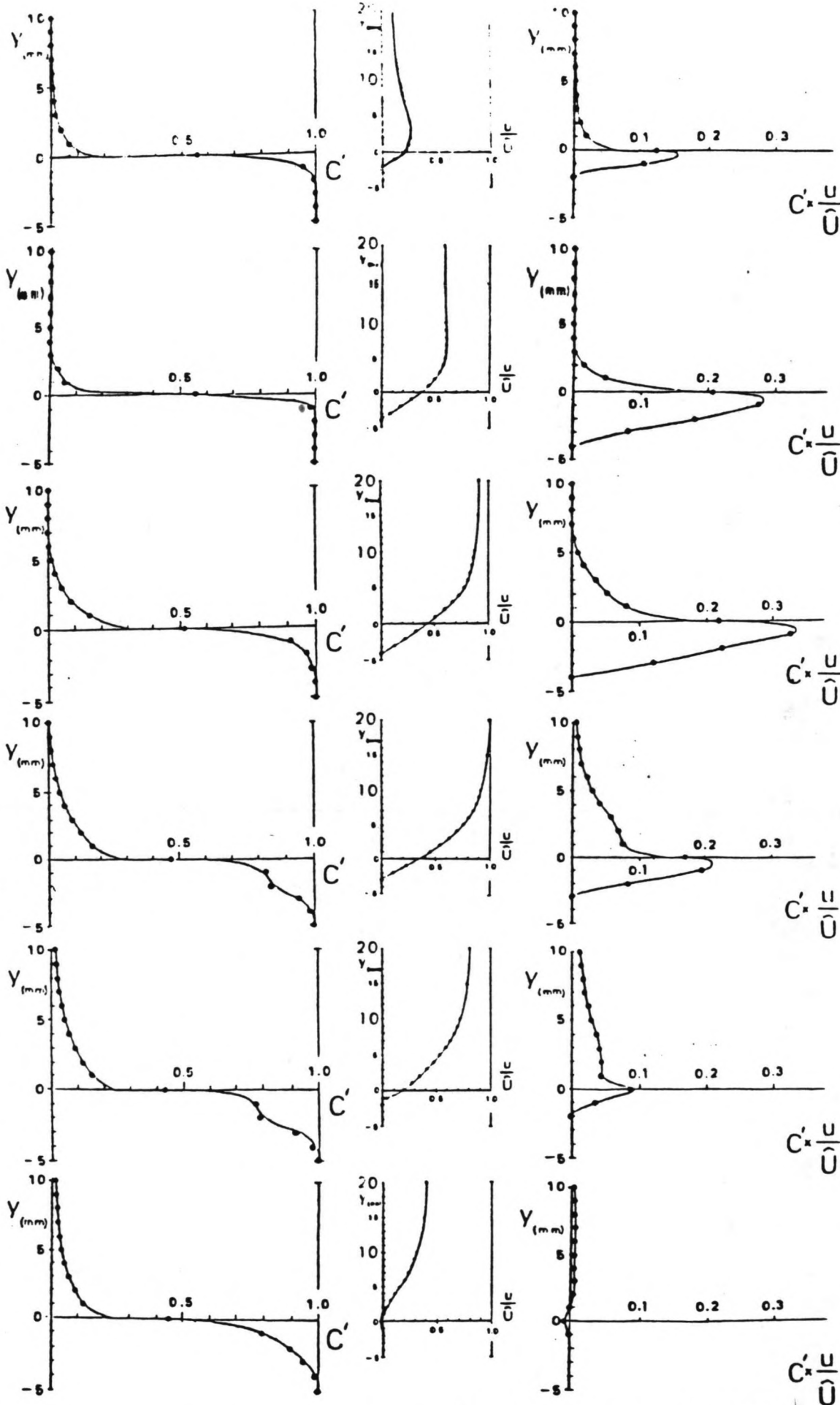
$\Theta = 30^\circ$

$\Theta = 60^\circ$

$\Theta = 90^\circ$

$\Theta = 120^\circ$

$\Theta = 150^\circ$



(a) concentratie

(b) snelheid

(c) transport

figuur-A.6

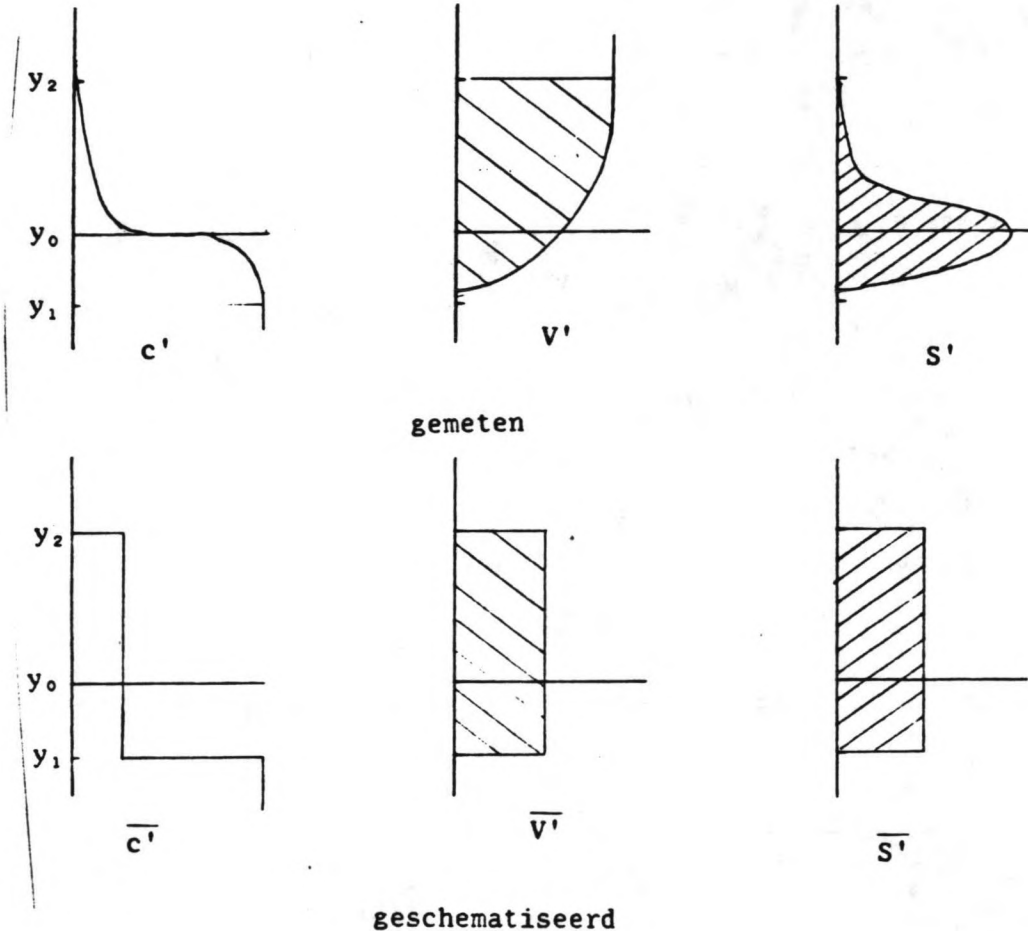
$c_0$  : de verzadigde gewichtconcentratie [g/l] en

$$c_0 \approx 1670 \text{ [g/l]}$$

de bij  $c'$  behorende massadichtheid is:

$$\rho^* = c' c_0 + (1 - c' c_0 / \rho_z) \rho \quad \{A.37\}$$

$\rho_z$  is de massadichtheid van zand en  $\rho_z = 2660 \text{ [kg/m}^3\text{]}$



figuur-A.7

Het verloop van de verhouding tussen de orbitaalbeweging  $V$  en de amplitude van de orbitaalbeweging buiten de grenslaag  $\hat{V}$  wordt in figuur-A.6b uitgezet. Noem  $V' = V/\hat{V}$ .  $\bar{V}'$ , de gemiddelde waarde (zie verder bij  $V_{bod}$ ) van  $V'$  over een zekere laag is dan:

$$\bar{V}' = \frac{1}{y_2 - y_1} \int_{y_1}^{y_2} V' dy \quad \{A.38\}$$

waarin:

$y_1$  : de ondergrens van de beschouwde laag [mm]

$y_2$  : de bovengrens van de beschouwde laag [mm]

Noem verder  $S' = c' V'$  (zie fig.-A.6c), dan is de gemiddelde waarde van  $S'$  over een bepaalde laag:

$$\overline{S'} = \frac{1}{y_2 - y_1} \int_{y_1}^{y_2} (c' V') dy \quad \{A.39\}$$

Definieer nu de gemiddelde waarde van  $c'$ :

$$\overline{c'} = \overline{S'} / \overline{V'} \quad \{A.40\}$$

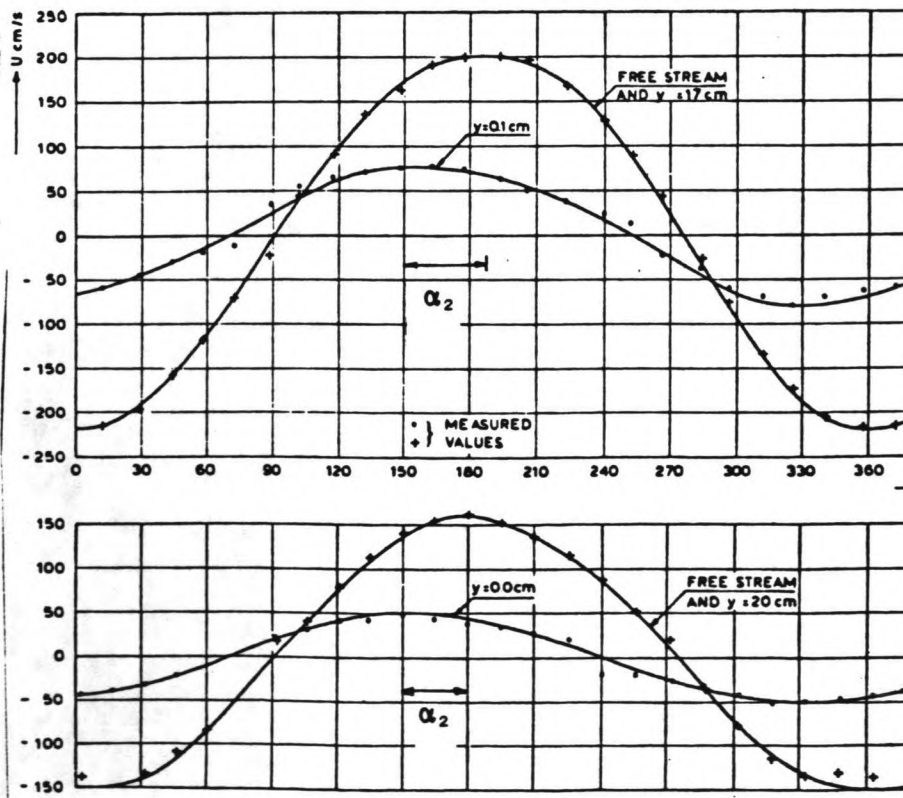
dan is de massadichtheid van de gemeten laag:

$$\rho_a = \overline{c'} c_o + (1 - \overline{c'} c_o / \rho_z) \rho \quad \{A.41\}$$

Met {A.41} en {A.32} kan  $X_7$  weer bepaald worden. In tabel-A.1 zijn het verloop van  $\overline{c'}$ ,  $c$  en  $X_7$  voor verschillende laagdikten gegeven.

Deze waarden zijn gemeten uit figuur-A.6. Het geschematiseerde verloop van  $\overline{c'}$ ,  $\overline{V'}$  en  $\overline{S'}$  worden in figuur-A.7 weergegeven.

$V_{bod}$ : In de berekening wordt de gemiddelde snelheid (fig.-A.7b) van de orbitaalbeweging gehanteerd. Deze wordt gemiddeld over een zekere laagdikte vanaf de diepte (hier is ca.  $y = -4\text{mm}$ , zie fig.-A.6b), waar het zand gedurende de hele golfperiode net niet in beweging kan komen, tot een bepaalde hoogte boven de bodem.



figuur-A.8

tabel-A.1 waarden van  $\bar{c}^T$ , c en  $X_7$  bij verschillende fasen

laag	fase	0°	30°	60°	90°	120°	150°
y=- 4 mm tot y=+ 5 mm	$\bar{c}^T$ [-]	0.190	0.262	0.292	0.253	0.164	0.038
	c [g/l]	317.30	437.54	487.64	422.51	273.88	63.67
	$X_7$ [-]	1.198	1.273	1.304	1.264	1.171	1.040
y=- 4 mm tot y=+10 mm	$\bar{c}^T$ [-]	0.111	0.137	0.143	0.112	0.064	0.027
	c [g/l]	185.10	228.79	238,81	187.04	106.88	42.52
	$X_7$ [-]	1.116	1.143	1.149	1.117	1.067	1.028
y= 0 mm tot y=+15 mm	$\bar{c}^T$ [-]	0.025	0.023	0.026	0.037	0.030	0.013
	c [g/l]	41.47	39.20	42.93	62.27	50.13	31.13
	$X_7$ [-]	1.026	1.024	1.027	1.039	1.031	1.013

Voor een sinusvormige orbitaalbeweging zijn snelheden  $V_{bod}$  in golftunnels gemeten door, bv. Horikawa e.a. en Jonsson. De metingen van Jonsson [11] (fig.-A.8) vonden plaats in een golftunnel met harde ribbelbodem. In het geval van Horikawa waren de metingen met zandige bodem onder sheet flow conditie uitgevoerd. De snelheidsprofielen van een proef onder:

$$V_{bg} = \hat{V}_{bg} \sin(2\pi t/T) \quad \{A.42\}$$

met:  $\hat{V}_{bg} = 1.27$  [m/s] en  $T = 3.6$  [s].

zijn gepubliceerd (fig.-A.6b). In de berekening is de waarde voor  $V_{bod}$  de proefuitkomst van Horikawa als referentie gehouden, want:

- De bodemgesteldheden waarmee de metingen voor de snelheidsverloop door Jonsson gedaan worden zijn niet overeenkomstig met een zandige bodem waar de sheet flow zal kunnen optreden.
- In de metingen van Jonsson is geen nulpunt voor de snelheid gegeven. Het begin niveau (bodem) van de metingen is bij de toppen van harde ribbels.  $\hat{V}_{bod}$  is daar al ca.  $0.3 \hat{V}_{bg}$ .
- Globaal gezien is er wel overeenkomst van het faseverschil tussen  $V_{bg}$  en  $V_{bod}$  uit twee proeven, nl.  $\alpha_2 \approx 20^\circ \sim 30^\circ = \pi/9 \sim \pi/6$

In tabel-A.2 zijn de numerieke waarden, gemeten uit de snelheidsprofielen van figuur-A.6b, voor de orbitaalbeweging op verschillende



hoogten en gemiddelde snelheden (bepaald volgens {A.38}) over twee laagdikten, met de fase weergegeven. In figuur-A.9 zijn het verloop van  $V'$  voor de orbitaalbeweging buiten de grenslaag,  $\bar{V}'$  voor de lagen van  $y=-4\text{mm}$  tot  $y=+5\text{mm}$  en tot  $y=+10\text{mm}$  uit tabel-A.2 en de benaderingsfuncties voor de gemiddelde snelheden van deze twee lagen getekend. De algemene vorm van de benaderingsfunctie is:

$$V_{bod} = \hat{V}_{bod} \sin(2\pi t/T + \alpha_2) \quad \{A.43\}$$

waarin:

$\alpha_2$  : het faseverschil tussen de orbitaalbewegingen buiten de grenslaag en de beschouwde laag aan de bodem [rad]

$\hat{V}_{bod}$  kan weer in  $\hat{V}_{bg}$  uitgedrukt worden

$$\hat{V}_{bod} = X_s \hat{V}_{bg} \quad \{A.44\}$$

$X_s$  : een coëfficiënt [-],

Voor  $y = -4 \text{ mm}$  tot  $y = +10 \text{ mm}$ :

$$X_s \approx 0.60$$

$$\alpha_2 \approx 20^\circ = \pi/9$$

{A.45}

en voor  $y = -4 \text{ mm}$  tot  $y = +5 \text{ mm}$ :

$$X_s \approx 0.45$$

$$\alpha_2 \approx 25^\circ = 5\pi/36$$

{A.46}

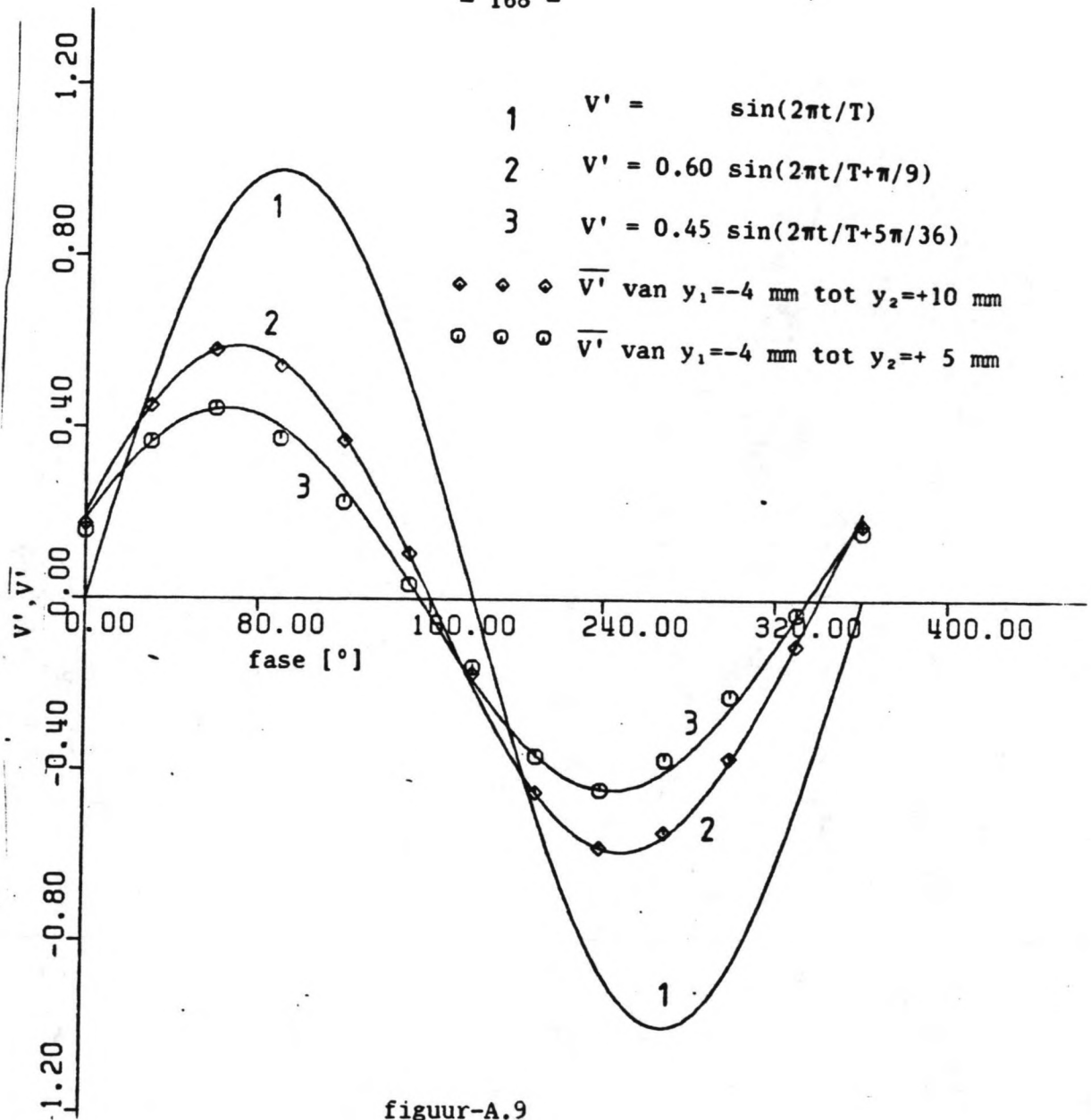
Opmerkingen:

1) Het is voor sheet flow niet bekend of de benaderingsfunctie voor een langere golfperiode nog de boven gegeven vorm kan bezitten als er geen grote afwijking met de werkelijkheid mag ontstaan. In de desbetreffende literatuur is er geen vermelding over metingen van de snelheid onder andere proeven (met langere perioden en kleinere amplituden).

2) Het is niet duidelijk hoe  $V_{bod}$  zich zal gedragen:

a) wanneer de orbitaalbeweging buiten de grenslaag  $V_{bg}$  geen puur sinusvormige functie van tijd is maar bv. asymmetrisch verloopt t.o.v. de maxima.

b) t.g.v. 'knikken' in het verloop van  $V_{bg}$ .



V : De instroomsnelheid bij de instromingsopening moet zo min mogelijk van de aanwezige beweging  $V_{bod}$  aan de bodem afwijken. Om dit te bereiken kunnen de gewenste waarden van de sampler-parameters met het oplosproces van de vergelijking {6.2} berekend worden. Uit die waarden volgt dan de optimale uitvoering van de sampler.

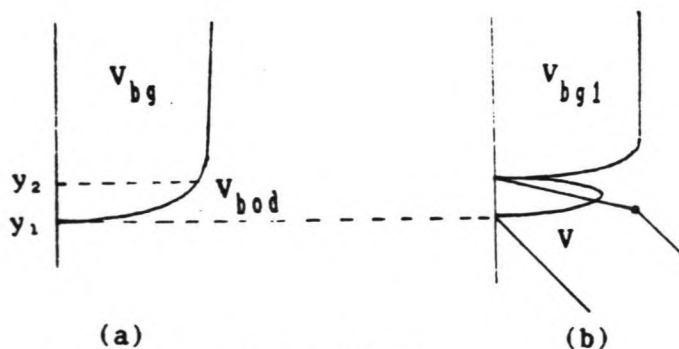
g : De versnelling t.g.v. de zwaartekracht is  $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ .

tabel-A.2

$v'$	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
+20mm	0.105	0.581	0.916	1.000	0.812	0.393	-0.105
+15mm	0.121	0.581	0.911	0.989	0.785	0.372	-0.121
+13mm	0.147	0.591	0.890	0.963	0.770	0.361	-0.147
+10mm	0.157	0.602	0.863	0.916	0.728	0.314	-0.157
+ 8mm	0.194	0.602	0.838	0.874	0.654	0.251	-0.194
+ 5mm	0.246	0.602	0.785	0.760	0.524	0.157	-0.246
+ 3mm	0.261	0.544	0.665	0.628	0.429	0.079	-0.261
0mm	0.209	0.393	0.436	0.361	0.204	-0.026	-0.209
- 1mm	0.105	0.283	0.330	0.220	0.026	0.000	-0.105
- 2mm	0.000	0.183	0.226	0.105	0.000	0.000	0.000
- 3mm	0.000	0.079	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000
- 4mm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-4~+5	0.158	0.366	0.444	0.375	0.226	0.034	-0.158
-4~+10	0.174	0.450	0.581	0.544	0.370	0.107	-0.174
0~+15	0.196	0.568	0.778	0.792	0.593	0.216	-0.196

Discussies over Term (a):

1. Het snelheidsprofiel bij de instroming (zie fig.-A.10a en A.10b) zal anders zijn dan dat onder de ongestoorde situatie. Wat voor consequenties dit heeft m.b.t. de nauwkeurigheden van het gemeten transport en de gemeten concentratie, is niet bekend. Theoretisch wordt er op dit punt verder niet ingegaan. In Hoofdstuk 8 wordt hierop teruggekomen (Par. 8.5.2 onder 2).



figuur-A.10

2. Tijdens het bepalen van  $\bar{V}$ ,  $\bar{c}$  en  $\bar{S}$  wordt er verondersteld dat de onderkant van de instromingsopening op het niveau ligt, waar het zand net niet in beweging komt (hier is  $y=-4\text{mm}$ ), ligt. Bij meting in het veld zal de situatie anders zijn:

- a. de ligging van de bodem kan sterk variëren gedurende een meetuitvoering (zie 7.3).
- b. er is een onnauwkeurigheid in de behandeling van de sampler tijdens de meting.
- c. de indring diepte van de sheet flow is niet constant onder variërende golfaanval (zie bv. Bakker en Kesteren [1]).

Hoe gevoelig de meetuitkomst is voor de bovengenoemde aspecten zal ook in Hoofdstuk 8 verder behandeld worden.

### A.3.2 Term (b) uitstroomdruk

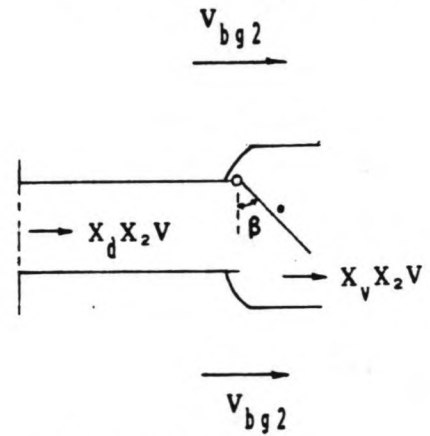
#### A.3.2a De afleiding

In principe is het mechanisme hier, bij de uitstroming, hetzelfde als dat voor de instromingsopening.

In vergelijking {6.2} is de instroomsnelheid  $V$  als de referentie snelheid in de berekeningen gehanteerd. De snelheden op andere plaatsen van de sampler kunnen m.b.v. de continuïteitsvergelijking {A.15} ook in  $V$  uitgedrukt worden.

Hierdoor ontstaan de termen  $X_d$ ,  $X_2$  en  $X_v$  (zie blz 6.5 en 6.6).

Figuur-A.11 geeft de situatie bij de uitstroming weer. Om de negatieve stroom in de sampler te beperken zal de maximum openstand van de terugslagklep  $\beta$ , ca.  $45^\circ$  bedragen. De uitstroomsnelheid heeft een waarde van  $X_v X_2 V$ . Buiten de uitstroming is de orbitaalstroming  $V_{bg2}$  aanwezig. Het water kan hier als 'schoon' beschouwd (de massadichtheid binnen en buiten de uit-



figuur-A.11

stroming is gelijk aan  $\rho$ ). De Term (b) kan als volgt uitgedrukt worden:

$$\Delta H_b = \frac{C_7}{2g} (|V_{bg2}| V_{bg2} - |X_v X_2 V| X_v X_2 V) \quad \{A.47\}$$

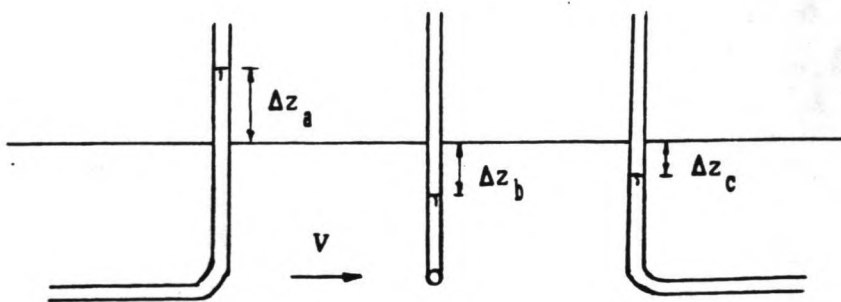
### A.3.2b Waarden van de parameters

$C_7$ : In figuur-A.12 zijn de proeven van Darcy [15] getekend. De grootte  $C_7$  (in het geval  $V_{bg2} > X_v X_2 V > 0$ ) zal echter niet gelijk aan die in de situatie uit figuur-A.12c, nl. 0.43, zijn, want:

- De stroming hier is niet-stationair.
- Het water in de uitstromingspijp stroomt ook en deze stroming kan in tegengestelde richting met de stroming buiten de pijp zijn.
- Er is een terugslagklep bij de einde van de uitstromingspijp aanwezig. Die zal het afzuigingseffect beïnvloeden.
- De vormgeving van de uitstroming is anders dan die uit figuur-A.12, bij de sampler is er een scherm-huls (fig.-A.11) aanwezig.

In Hoofdstuk 8 zijn proefvoorstellen voor het bepalen van deze coëfficiënt gegeven. Voor de theoretische berekeningen heeft  $C_7$  i.h.a. de volgende gedaante ( $C_7$  is aan de veilige kant gekozen):

$$C_7 = f_{13} = 0.1 - 0.3 \text{ als } \begin{cases} V_{bg2} > X_v X_2 V > 0 \\ V < 0, V_{bg2} > 0 \end{cases}$$



$$\Delta z_a = V^2/2g \quad \Delta z_b = 0.68 V^2/2g \quad \Delta z_c = 0.43 V^2/2g$$

(a)

(b)

(c)

figuur-A.12

Onder deze conditie vindt er een afzuiging bij de uitstroming plaats. De grootte van  $C_7$  zal voor dit geval echter met experimenteel onderzoek bepaald moeten worden.

$$C_7 = f_{14} \approx 1 \text{ voor overige situaties } \begin{cases} V_{bg2} < X_v X_2 V < 0 \\ X_v X_2 V < V_{bg2} < 0 \\ X_v X_2 V > V_{bg2} > 0 \\ V > 0, V_{bg2} < 0 \end{cases}$$

Ook hier moet  $C_7$  experimenteel bepaald worden.

$V_{bg2}$ : Onder sinusvormige ongebroken golven wordt er verondersteld dat deze snelheid alleen een faseverschuiving ( $\alpha_1$ ) heeft t.o.v. de snelheid bij de instroming.

$$V_{bg2} = \hat{V}_{bg} \sin(2\pi t/T + \alpha_1) \quad \text{\{A.48\}}$$

met

$$\alpha_1 = \frac{2\pi}{\lambda} L_s \quad \text{\{A.49\}}$$

waarin:

$L_s$  : de afstand tussen de in- en uitstroming [m],

$\lambda$  : de golflengte [m]

Voor onregelmatige gevallen zie 6.3.3.1b.

$X_v$  : De waarde van  $X_v$  hangt af van de diameter van het einde van de uitstromingspijp, de maximale openstand van de terugslagklep en de vormgeving van de scherm-huls. Deze kan bv. tijdens het oplossen van {6.2} geschat worden en later bij Proef 8.1 geijkt worden.

$X_2$  : De grootte van  $X_2$  is de verhouding tussen de doorsnede van de instromingsopening en de doorsnede van de uitstromingspijp.

$$X_2 = A_{op}/A_p = (h_{op} b_{op}) \div ((1/4)\pi D^2) \quad \text{\{A.50\}}$$

### A.3.3 Term (c) drukverval

#### A.3.3a De afleiding

Het verschil tussen de waterspiegels van de in- en uitstroming (zie ook figuur-A.3) geeft een netto statische hydraulische druk over de sampler.

$$\Delta H_c = X_s (h_{in} - h_{uit}) \quad \text{\{A.51\}}$$

### A.3.3b Waarden van de parameters

$X_5$ : Deze coefficient krijgt in de berekening meestal de waarde 1, want:

1) Bij niet gebroken korte golven in ondiep water is de drukverdeling hydro-statisch. Dus  $X_5 = 1$ .

2) Met brekende golven, in de brandingszone, zal de verticale versnelling niet verwaarloosbaar mogen verondersteld worden t.o.v. de zwaartekracht. Het is onmogelijk om  $X_5$  in zo'n situatie nog, als functie van tijd, uit te drukken. In dit geval zal de afwijking van  $X_5$  in de gegeven waterdiepte verdisconteerd worden (Zie verder  $h_{in}$ ).

$h_{in}$ : Uit de toelichting voor  $X_5$  blijkt dat het wenselijk is om de drukverdeling meteen als hydro-statisch aan te nemen. De afwijking daarvan kan in  $h_{in}$  uitgedrukt worden.  $h_{in}$  is hier dus de druk in [m(water kolom)].

$h_{uit}$ : Zie  $h_{in}$ .

### A.3.4 Term (d) wrijving

#### A.3.4a De afleiding

De sampler is een samenstelling van de instromingskoker, de bak en de uitstromingspijp. De uitdrukking van het wrijvingsverlies voor een uniforme buis is in {6.1} al gegeven. Om alle drie de wrijvingsverliezen in een term weer te geven is er een coefficient  $X_3$  ingevoerd. Term (d) is dus te schrijven:

$$\Delta H_d = \frac{X_3 f L}{2gD} |X_2 V| X_2 V \quad \{A.52\}$$

#### A.3.4b Waarden van de parameters

$X_3$ : Het totale verlies, Term (d), moet gelijk zijn aan de som van de verliezen van de instromingskoker, de bak en de uitstromingspijp. Het wrijvingsverlies in de bak is echter veel kleiner t.o.v. die andere twee verliezen, bv. voor:

$h_b = 0.10$  m,  $b_b = 0.25$  m,  $L_b = 0.60$  m,  $D' = 0.05$  m en  $L_k = 0.2$  m is de verhouding tussen de wrijvingsverliezen in de bak  $\Delta H_{d,b}$  en in de instro-

mingskoker  $\Delta H_{d,k}$  (de coëfficiënten van deze wrijvingsverliezen hebben de zelfde orde van grootte, zie verder onder f)

$$\frac{\Delta H_{d,b}}{\Delta H_{d,k}} \sim \frac{L_b D'}{L_k [2 h_b b_b / (h_b + b_b)]} (A_k/A_b)^2$$

$$= \frac{0.6 \times 0.5 \times (0.05^2 \pi)^2}{0.2 \times [2 \times 0.1 \times 0.25 / (0.1 + 0.25)] \times (0.1 \times 0.25)^2}$$

$$\approx 0.0065$$

Het wrijvingsverlies in de bak  $\Delta H_{d,b}$  mag verwaarloosd worden, dus:

$$\Delta H_d = \Delta H_{d,k} + \Delta H_{d,p} \quad \{A.53\}$$

Het aandeel van de instromingskoker is:

$$\Delta H_{d,k} = [f_k L_k / (2gD')] |X_1 V| X_1 V \quad \{A.54\}$$

Voor de uitstromingspijp is (zie {6.1} en fig.-A.3):

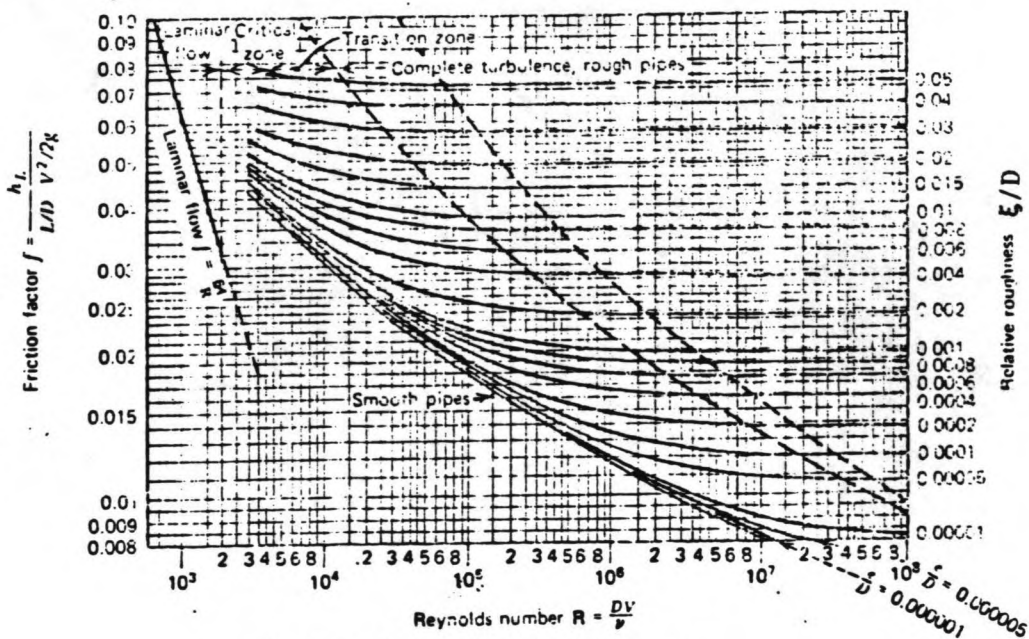
$$\Delta H_{d,p} = f \frac{L_{56} + L_{67}}{2gD} |X_2 V| X_2 V + f_d \frac{L_{78}}{2gD} |X_d X_2 V| X_d X_2 V \quad \{A.55\}$$

Met {A.52}, {A.53}, {A.54} en {A.55} kan  $X_3$  bepaald worden.

$$X_3 = \frac{f_k L_{02} D}{f L D'} (X_1/X_2)^2 + \frac{L_{56} + L_{67}}{L} + \frac{f_d L_{78} D}{f L d} X_d^2 \quad \{A.56\}$$

f : De waarde van de wrijvingscoëfficiënt f voor stromingen in een buisvormige voorwerp kan i.h.a. naar verschillende grootte van het Reynolds getal met aparte formules bepaald worden. Zie ook figuur-A.13 (Moody diagram). Het Reynolds getal is hier

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad \{A.57\}$$



figuur-A.13 Moody diagram



Vier gevallen worden er onderscheiden:

1)  $Re < 2000$  (laminaire stroming)

$$f = 64/Re \quad \{A.58\}$$

2)  $2000 < Re < 4000$  (critisch gebied)

$$f = 64/2000 + (f'' - (64/2000)) \frac{\log(Re) - \log(2000)}{\log(4000) - \log(2000)} \quad \{A.59\}$$

met  $f''$  de uitkomst van {A.60} voor  $Re=4000$ .

3)  $4000 < Re < 800(D/\xi)$  (overgangs gebied)

$$f = \frac{1}{4 \left( \log \left( \frac{1}{3.7 D/\xi} \right) + \left( \frac{2.5}{Re\sqrt{f'}} \right)^2 \right)} \quad \{A.60\}$$

$$\text{waarin: } f' = 0.0055 \left( 1 + \sqrt[3]{\left( \frac{20000}{D/\xi} + \frac{10^6}{Re} \right)} \right)$$

4)  $Re > 800(D/\xi)$  (volledige turbulente stroming)

$$f = \frac{1}{4 \left( \log \left( \frac{1}{3.7 D/\xi} \right) \right)^2} \quad \{A.61\}$$

Symbolen uit vergelijkingen {A.57} t/m {A.61}:

$V$  : de gemiddelde stroomsnelheid [m],

$D$  : de diameter [m],

$\nu$  : de kinetische viscositeit van water [ $m^2/s$ ] en  $\nu = 10^{-6}$  [ $m^2/s$ ]

$f$  : de wrijvingscoëfficiënt voor buiswand in het algemeen [-]

$\xi$  : de ruwheid van de wand [m] en voor staal is:

$$\xi_s \approx 0.46 \sim 2.6 \times 10^{-4} \text{ [m]}$$

tabel-A.3 waarde f

$\xi$ [m]		$0.5 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$
$D = 0.025$ m	$V = 1$ m/s	0.023430	0.453590
	$V = 0.3$ m/s	0.023424	0.040371
$D = 0.05$ m	$V = 1$ m/s	0.019637	0.032118
	$V = 0.3$ m/s	0.019640	0.032118
$D = 0.1$ m	$V = 1$ m/s	0.016700	0.026166
	$V = 0.3$ m/s	0.016701	0.026168

numerieke voorbeelden:

In tabel-A.3 zijn een aantal waarden van  $f$  m.b.v. {A.61} (in het meeste geval heeft  $Re$  de waarde, die tot het overgangsgebied behoort) voor verschillende  $V$ ,  $\xi$  en  $D$  gegeven.

Bij een bepaalde uitvoering van de sampler ( $D$  en  $\xi$ ) is de waarde  $f$  vrijwel constant, dus niet afhankelijk van  $V$ . Ook t.g.v. de veranderde  $D$  en  $\xi$  treedt er echter geen grote verschil in de waarden voor  $f$ . De indirecte invloeden van  $V$  en  $D$ , via  $f$ , op  $\Delta H_d$  zijn veel kleiner dan de directe invloeden en de ruwheid  $\xi$  heeft een relatieve kleine invloed op  $\Delta H_d$ , vergelijk met  $D$  en  $V$ .

Voor de sampler kunnen de resp. waarden van  $f_k$ ,  $f$  en  $f_d$  verkregen worden door de resp. parameterswaarden van de instromingskoker, de uitstromingspijp en het veranderde gedeelte van die pijp te gebruiken.

### A.3.5 Term (e) locale verliezen

#### A.3.5a De afleiding

Het locale verlies in de sampler ontstaat t.g.v. de volgende vijftal oorzaken.

- 1) het verlies ter plaatse van de instromingsopening.
- 2) het verlies bij de overgang instromingskoker-bak.
- 3) het verlies bij de overgang bak-uitstromingspijp.
- 4) het bochtverlies in de uitstromingspijp.
- 5) het verlies bij de uitstroming t.g.v. eventuele vernauwing aldaar.

$$\Delta H_e = \Delta H_{e,in} + \Delta H_{e,kb} + \Delta H_{e,bp} + \Delta H_{e,bo} + \Delta H_{e,uit} \quad \{A.62\}$$

Bij de instromingsopening en in de overgang instromingskoker-bak wordt er verondersteld dat de massadichtheid nog gelijk aan  $\rho_a$  (zie term (a)) is. Met de continuïteitsvergelijking {A.15} en diverse verliescoëfficiënten kan {A.62} herschreven worden als:

$$\Delta H_e = \frac{(C_1 X_7 + C_2 X_7 X_1^2 + C_3 X_2^2 + C_4 X_2^2 + C_5 X_d^2 X_2^2)}{2g} |V|V \quad \{A.63\}$$

### A.3.5b Waarden van de parameters

$C_1$  : De waarde van  $C_1$  is, theoretisch of m.b.v. de uitkomsten van experimentele onderzoek aangaande het lokaalverlies uit de literatuur, niet te bepalen. Hier zal de orde van grootte voor de ondergrens van  $C_1$  (die wel met tamelijk eenvoudig fabricage proces gerealiseerd kan worden) globaal, d.m.v. schematisatie, bepaald worden:

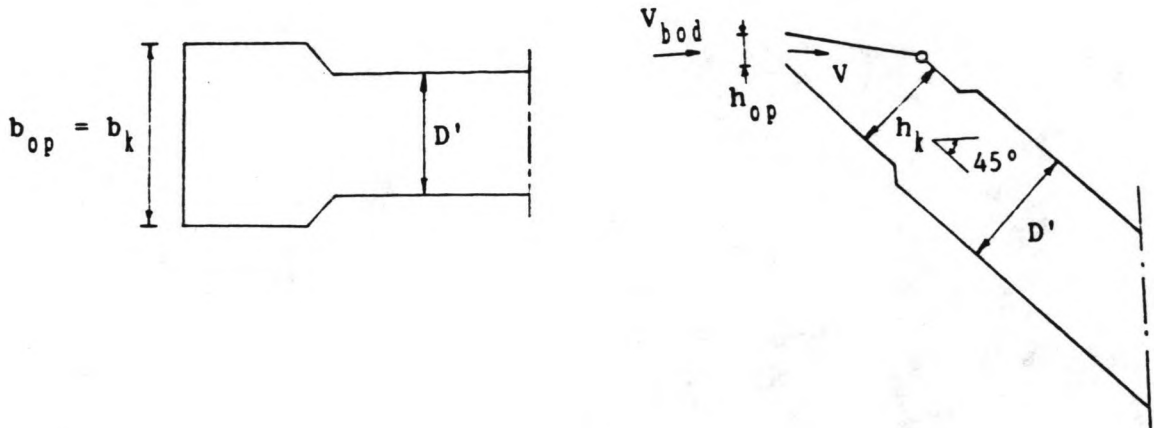
De grootte van  $\Delta H_e$  is afhankelijk van de randvoorwaarde-parameters  $V_{bod}$  (want  $V$  moet  $V_{bod}$  zo goed mogelijk benaderen),  $X_7$  (indirect) en van een aantal sampler-parameters uit de ronde haakjes van vergelijking {A.63}.

Iedere sampler-parameter heeft als het ware een minimale waarde, en dit minimum is groter dan 0. Dat betekent dat de som uit die haakjes van {A.63} kan niet tot een waarde verminderd worden, die beneden een bepaalde ondergrens ligt. Maar de waarde van deze som kent echter praktisch geen 'bovengrens'. M.a.w. wanneer uit het onderzoek blijkt dat er een grotere of veel grotere waarde dan de bovengenoemde 'ondergrens' aan die som toegekend moet worden, kan dit op veel manieren gebeuren. Als een parameter 'te weinig' bijdraagt, zijn er altijd een of meer parameters die het tekort gaan compenseren. Het is anders als een parameter 'te groot' wordt, dan kan dit niet altijd door vermindering van andere parameters opgeheven worden, deze hebben namelijk allemaal een positief minimum. In geval dat er fijn mechanische werken zullen moeten verricht worden om het minimum van een of meer sampler-parameter te realiseren, zal het duidelijk vermeld worden.

Deze filosofie geldt in principe ook voor het bepalen van  $C_2$  t/m  $C_5$ . De instromingsconstructie (meer daarover in Par. 8.2) is in figuur-A.14 weergegeven. Drie verschillende verliezen worden er onderscheiden:

- a. binnen de instromingsopening wordt de doorsnede groter, er is een vertragingsverlies  $\Delta H_{e,ina}$ .
- b. de as van de instromingskoker maakt een hoek met het bodemvlak (dus ook de instroming), er treedt een bochtverlies  $\Delta H_{e,inb}$  op.

c. bij de verbinding tussen het rechthoekige gedeelte en het ronde gedeelte is er vertrags- of versnellingsverlies  $\Delta H_{e,inc}$  aanwezig.



figuur-A.14

ad a. In tabel-A.4 [13] zijn de verliescoëfficiënten voor geleidelijke vertraging bij een overgang tussen twee buizen met verschillende diameters gegeven (fig.-A.15).

De verliescoëfficiënt  $C_{1a}$  in dit geval wordt als volgt bepaald:

$$\theta = \arcsin\left[\frac{(h_k - h_{op})/2}{\sqrt{2} h_k}\right] \quad \{A.64\}$$

tabel-A.4

$D_2/D_1$	Angle of cone, $\theta$											
	2°	6°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°
1.1	0.01	0.01	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.04	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
$\infty$	0.03	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

Met  $h_k = 0.04$  m,  $h_{op} = 0.010$  a  $0.015$  m,  $b_k = b_{op} = 0.08$  m is

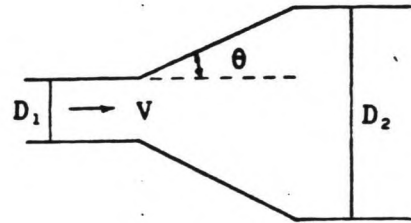
$\theta \approx 15^\circ$  a  $13^\circ$  en

$D_2 / D_1 \sim h_k / h_{op} \approx 4$  a  $2.7$

Uit tabel-A.4 wordt gevonden

$$C_{1a} \approx 0.16$$

$$\Delta H_{e,ina} = \frac{0.16 X_2}{2g} v v \quad \{A.65\}$$



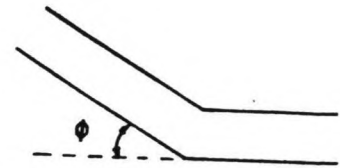
figuur-A.15

ad b. Het verlies t.g.v. een bocht kan bepaald worden met de volgende formules:

1. voor een niet-afgeronde bocht (fig.-A.16, zie 'table 4-4' van [19])

$$C_{b0} = 67.6 \phi^{2.17} / 10^6 \quad \{A.66\}$$

$\phi$  : de bochtthoek [ $^\circ$ ]



figuur-A.16

numerieke voorbeelden:

met  $\phi = 45^\circ$  is  $C_{b0} = 67.6 (45)^{2.17} / 10^6 \approx 0.26$  en

met  $\phi = 90^\circ$  is  $C_{b0} \approx 1.18$

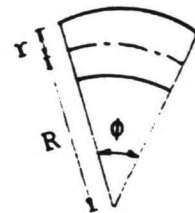
twee bochten met iedere van  $45^\circ$  geeft ca. 0.52 en dit is kleiner dan bij een bocht met  $90^\circ$ .

2. voor een afgeronde bocht (fig.-A.17, [19])

$$C_{b0} = (0.13 + 1.85(r/R)^{3.5}) \sqrt{\phi/180^\circ} \quad \{A.67\}$$

r : de straal van de buis [m]

R : de straal van de bocht [m]



figuur-A.17

numeriek voorbeeld:

met:  $r = D/2 = 0.053/2 = 0.0265$  m,  $R = 0.1$  m en  $\phi = 90^\circ$  is

$$C_{b0} = (0.13 + 1.85 (0.0265/0.1)^{3.5}) \sqrt{90/180} \approx 0.10$$

Uit de voorbeelden van 1 en 2 blijkt dat de grootte van de verliescoefficient voor een bocht naar verschillende uitvoeringen zeer flexibel kan zijn.

Stel dat men hier met een niet-afgeronde bocht te maken heeft en met een bocht van  $\phi \approx 45^\circ$ , dan wordt  $C_{b0} \approx 0.26$ .

De stroomsnelheid bij deze bocht is

$$\frac{h_{op} b_{op}}{h_k b_k} v$$

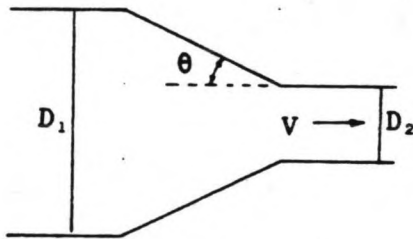
Met de numerieke waarden uit ad a krijgt men:

voor  $h_{op} = 0.01$  m is  $C_{1b} \approx 0.02$  en

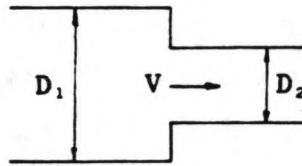
voor  $h_{op} = 0.015$  m is  $C_{1b} \approx 0.04$  dus

$$\Delta H_{e, inb} \approx 0.02 \text{ a } 0.04 \frac{X_7}{2g} |v| v \quad \{A.68\}$$

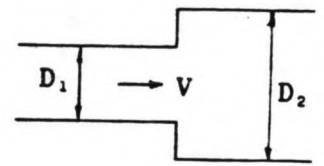
ad c. In figuur-A.18 t/m A.20 zijn drie typen verbindingen -- geleidelijke vernauwing, plotselinge vernauwing en plotselinge vertraging -- tussen twee buizen weergegeven. De daarbij behorende verliescoëfficiënten vindt men in tabel-A.5 t/m tabel-A.7 terug [19].



figuur-A.18



figuur-A.19



figuur-A.20

tabel-A.5 verliescoëfficiënt bij een geleidelijke vernauwing

$\theta$	$3^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$
$D_1 = 3D_2$	0.11	0.14	0.35	0.71	0.89	0.94	0.92	0.92	0.92
$D_1 = 1.5D_2$	0.07	0.09	0.22	0.53	0.68	0.64	0.61	0.59	0.58

tabel-A.6 verliescoëfficiënt bij plotselinge vernauwing (met niet-afgeronde overgang)

$D_1/D_2$	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$C_{v\eta}$	0.0	0.03	0.07	0.17	0.26	0.34	0.38

tabel-A.7 verliescoëfficiënt bij plotselinge vertraging

$D_2/D_1$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	10
$C_{vt}$	0.0	0.10	0.25	0.39	0.49	0.58	1.0

Neem  $D' = 0.053$  m, dan is de verhouding tussen de twee doorsneden

$$\frac{h_k b_k}{\pi D'^2/4} = \frac{0.04 \times 0.08}{\pi 0.053^2/4} \approx 1.2$$

Voor een plotselinge vernauwing met  $D_1 / D_2 = 1.2$  is de verliescoëfficiënt (uit tabel-A.6)  $C_{v\eta} \approx 0.07$  en de stroomsnelheid hier is

$$X_1 V = \frac{h_{0p} b_{0p}}{\pi D'^2 / 4} \approx 0.3626 \text{ á } 0.5439 V$$

voor  $h_{0p} = 0.010$  m is  $C_{1c} \approx 0.03$  en

voor  $h_{0p} = 0.015$  m is  $C_{1c} \approx 0.04$  dus

$$\Delta H_{e,inc} \approx 0.03 \text{ a } 0.04 \frac{X_2}{2g} |V|V \quad \{A.69\}$$

Met {A.65}, {A.68} en {A.69} kan  $C_1$  globaal bepaald worden

$$C_1 \approx 0.20 \sim 0.25 \quad \{A.70\}$$

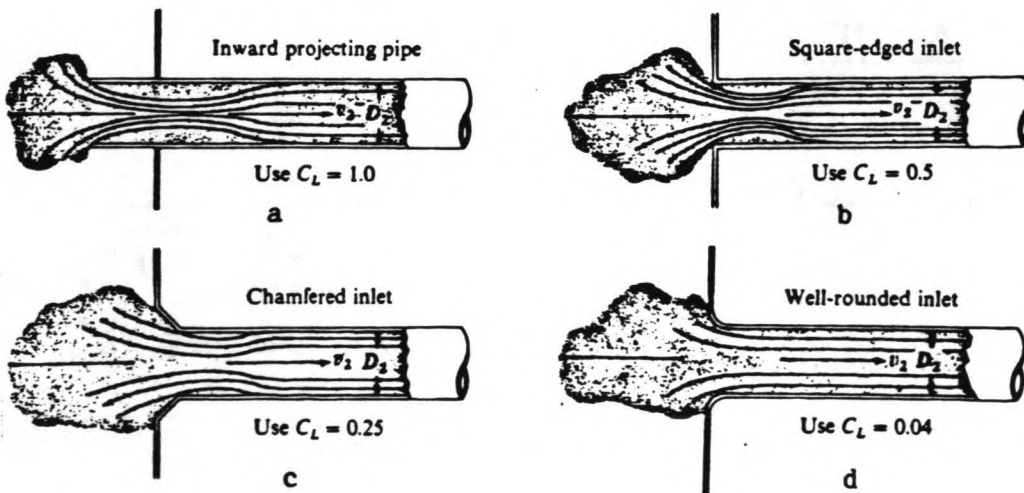
$C_2$  : Bij deze overgang bevinden er zich een aantal (minstens twee) schotten (zie 7.2.5c), die de stroom in de bak over de hele dwarsdoorsnede goed moeten verdelen. Neem aan dat er door die schotten een geleidelijke overgang met  $\theta \approx 45^\circ$  aanwezig is. Om van de tabel-A.4 gebruik te maken wordt er verder als volgt gewerkt:

$D' = 0.053$  m,  $h_b = 0.10$  m,  $h_b = 0.25$  m is

$$D_2 / D_1 \sim \sqrt{A_b / A_k} = \sqrt{0.10 \times 0.25 / (\pi D'^2 / 4)} \approx 3.4$$

$$C_2 \approx 0.65 \quad \{A.71\}$$

$C_3$  : Deze verliescoëfficiënt is sterk afhankelijk van de vormgeving van de overgang bak-uitstromingspijp. In figuur-A.21 [13] zijn vier voorbeelden van verschillende vormen voor zo'n overgang aangegeven. Het verschil in grootte van de coëfficiënt kan tot een factor 20 oplopen.



figuur-A.21

Voor de berekening zal de coëfficiënt van vormgeving uit figuur-A.21b i.h.a. gebruikt worden. In de sampler zijn de stroomlijnen bij deze overgang van richting veranderd, dus er wordt aangenomen

$$C_3 \approx 0.5 \sim 0.6 \quad \{ A.72 \}$$

$C_4$  : Formules voor berekeningen van verliescoëfficiënten bij bochten zijn in {A.66} en {A.67} gegeven. Welke van de bovengenoemde formules moet toegepast worden hangt af van het type van de uitvoering. Tijdens het oplossen van {6.2} moet het blijken welke waarde(n) voor  $C_4$  het meest gewenst zijn en daardoor wordt de uitvoering van bocht(en) in de sampler vastgelegd.

$C_5$  : De reden om een deel bij de uitstromingspijp in doorsnede te veranderen is voornamelijk: het reguleren van de traagheid (zie verder onder Term (f)). De vormgeving bij een eventuele verandering zal een uit de figuren A.15 en A.18 t/m A.21 zijn, dus  $C_5$  kan in principe bepaald worden m.b.v. de tabellen A.4 t/m A.7.

Opmerking:

In wezen zijn de locale verliescoëfficiënten bepaald voor het geval bij een positieve stroom in de sampler. Op dezelfde wijze kunnen de coëfficiënten onder negatieve stroom bepaald worden.

$X_d$  : De grootte van  $X_d$  is:

$$X_d = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi d^2 / 4} = \frac{D^2}{d^2} \quad \{A.73\}$$

### A.3.6 Term (f) traagheid

#### A.3.6a De afleiding

In feit is de afleiding van de Term (f) bij de afleiding van {6.2} (zie {A.9} t/m {A.29}) al uitvoerig behandeld. Hier zal daarom niet verder daarop worden ingegaan.

#### A.3.6b Waarden van de parameters

$X_4$  : Vergelijk het rechterlid van {A.29} met dat van {A.28} ({A.28} moet



wel nog gedeeld worden door  $\rho g$ ) dan kan  $X_u$  teruggevonden worden:

$$X_u = \left[ \frac{L_{01} \ln(b_0 / h_0)}{(D' \sqrt{\pi/2})(b_0 - h_0)} + \frac{L_{12}}{(1/4) \pi D'^2} + \frac{L_{23} \ln(b_3 / h_3)}{(D' \sqrt{\pi/2})(b_3 - h_3)} + \frac{L_{34}}{h_3 b_3} + \frac{L_{45} \ln(b_u / h_u)}{(D \sqrt{\pi/2})(b_u - h_u)} + \frac{L_{56}}{(1/4) \pi D^2} + \frac{L_{67}}{(1/4) \pi D d} + \frac{L_{78}}{(1/4) \pi d^2} \right] \frac{A_{op}}{L} \quad \{A.74\}$$

waarin:

$A_{op}$  : de oppervlakte van de instromingsopening [ $m^2$ ]

$L$  : de lengte van de sampler gemeten langs de sampler as [m] en

$$L = \sum L_{ij}$$

met  $i = 0, 1, 2, \dots, 7$  en  $j = i + 1$  (zie fig.-A.3).

numeriek voorbeeld

voor

$h_0 = 0.01$  m,  $b_0 = 0.08$  m,  $h_3 = h_u = 0.10$  m,  $b_3 = b_u = 0.25$  m en

$D' = D = 0.053$  m,  $d = 0.03$  m is

$$X_u \approx (0.5060 L_{01} + 0.3626 L_{12} + 0.1040 L_{23} + 0.0320 L_{34} + 0.1040 L_{45} + 0.3626 L_{56} + 0.6406 L_{67} + 1.1318 L_{78}) / L \quad \{A.75\}$$

Behalve de lengte  $L_{ij}$ , hebben de verhouding tussen de instromingsopening  $A_{op}$  ( $=A_0$ ) en diverse dwarsdoorsneden  $A_j$  van de sampler invloed op de waarde van  $X_u$ , de grootte daarvan is evenredig met  $A_0/A_j$ . Er zit dus ook zekere flexibiliteit in de traagheidsterm voor de uitvoering van de sampler. Belangrijk is het op te merken dat de lengte van de bak een onbelangrijke rol speelt t.a.v. de traagheid. Dit is gunstig voor het dimensioneren van de sampler. Immers de maten en vormgeving van de bak kunnen op basis van proeven uit Hoofdstuk 7 vastgelegd worden en eventuele afwijking tussen de theoretische benadering (t.g.v. in figuur-A.4 gegeven schematisatie) en de werkelijkheid (bv. afgeleid uit proef in golftunnel, zie 8.5) zal eenvoudig gecompenseerd worden door kleine veranderingen in uitvoering van de instromingskoker en/of (vooral) uitstromingspijp.

$D$  : De grootte van dit gedeelte uitstroompip is bepaald door de toegepaste debietmeter. Maatgevende afmeting van de in 7.2 beschrijven debietmeter is de propeller. Deze heeft een diameter van 5 cm. Aan  $D$  zal waarden tussen 5.3 cm en 5.5 cm kunnen gegeven worden.

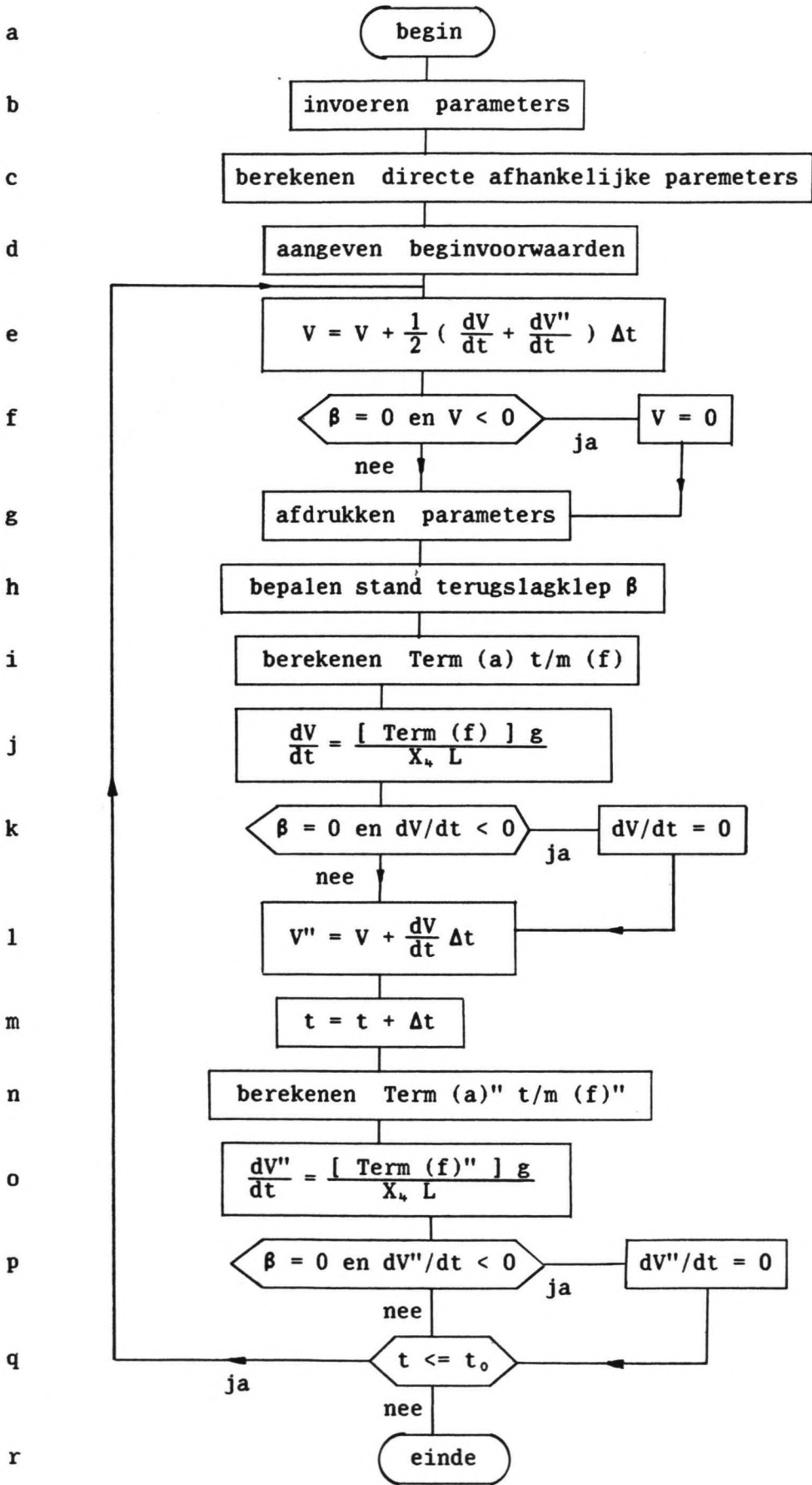
$D'$ ,  $d$ ,  $L_{ij}$  :

Waarden voor deze parameters hangen volledig af van het verkrijgen van een goed werkende sampler. Natuurlijk, hoe compacter de sampler, is des te minder inspanning er nodig zal zijn voor uitvoering van metingen met de sampler in het veld.

#### A.4 Het rekenprogramma

Het oplossen van de bewegingsvergelijking {6.2} wordt geschied m.b.v. een computer programma. In figuur-A.22 is het stroomdiagram daarvan weergegeven. Hier volgt een korte toelichting over dat diagram.

- a. Start van het programma.
- b. Deze zijn de ingevoerde onafhankelijke parameters, bv.: maten van de sampler, waterdiepte, golfhoogte etc..
- c. Parameters onder deze categorie worden bepaald door de desbetreffende parameters uit stap b. Deze zijn bv.: amplitude van de orbitaalbeweging, verhoudingen tussen diverse doorsneden, grootten van verschillende verliescoëfficiënten etc..
- d. Aan alle beginvoorwaarden kan de waarde 0 gegeven worden door het kiezen van een geschikte tijdstip, namelijk onder negatieve stroom. De beginvoorwaarden zijn:
  1. stroomsnelheid in de sampler  $V$
  2. de versnelling  $dV/dt$
  3. de versnelling van de hulpstap  $dV''/dt$  (zie verder onder 1 en o)
  4. de stand van de terugslagklep  $\beta$
- e. De waarde van  $V$  uit numerieke oplossing. Hier is de methode van Heun gebruikt.
- f. Als de terugslagklep op gesloten stand staat en de uit stap e gekregen  $V$  negatief is wordt  $V = 0$ , anders blijft  $V = V$ .
- g. Laat bepaalde parameters op papier printen.
- h. Er zijn twee aannamen gedaan aangaande de beweging van de terugslagklep t.g.v. het stromende water bij de uitstroming.



figuur-A.22 stroomdiagram van het rekenprogramma

1. de klep beweegt mee in de stroomrichting van het water (geen extra traagheid- en sleepkracht)

Beschouw het punt op de klep, dat een afstand van  $d$  tot de draaias van de klep heeft (fig.-A.23). Als het water daar met een snelheid van  $X_v X_2 V$  stroomt, beweegt dit punt dan in de normaalrichting (fig.-A.23a) van de klep

$$V_{uk} = X_v X_2 V \cos \beta \quad \{A.76\}$$

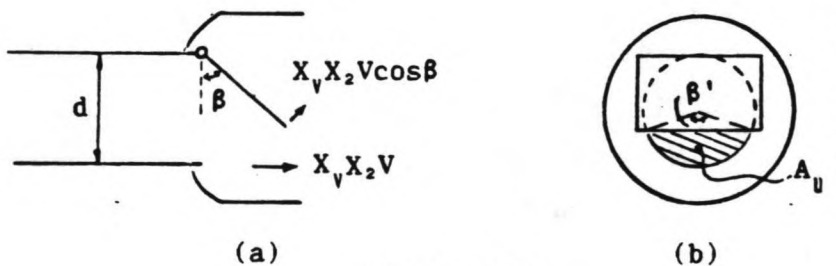
De relatie tussen de klepstand  $\beta$  en de afgelegde weg  $L_{uk}$  van dat punt is

$$\beta = \frac{360}{2\pi d} L_{uk} \quad \{A.77\}$$

en met  $0 \leq \beta \leq \beta_0$ . Deze grootte  $L_{uk}$  kan weer in  $V_{uk}$  uitgedrukt worden

$$L_{uk} = \begin{cases} L_{uk} + V_{uk,i} \Delta t & \text{voor } 0 < \beta < \beta_0, \beta=0 \text{ en } V_{uk,i} > 0, \beta=\beta_0 \text{ en } V_{uk,i} < 0 \\ 0 & \text{voor } \beta=0 \text{ en } V_{uk,i} \leq 0 \\ \frac{2\beta_0 \pi d}{360} & \text{voor } \beta=\beta_0 \text{ en } V_{uk,i} \geq 0 \end{cases} \quad \{A.78\}$$

$V_{uk,i}$  is de snelheid van het beschouwde punt in een bepaalde tijdinterval.



figuur-A.23

2. invloed van de grootte geopende stroomoppervlakte op de beweging van de terugslagklep

Behalve  $X_v X_2 V$  speelt de grootte van de stroomoppervlakte ter plaatse van de terugslagklep (fig-A.23b) een rol voor de beweging van de klep. De invloed daarvan wordt d.m.v. een coëfficiënt  $X_9$  vertegenwoordigd en

$$X_9 = \frac{1 + C}{A_u / A_{u0} + C} \quad \{A.79\}$$

$C$  : een constante [-] en  $0 < C \ll 1$ , de coëfficiënt is ingelast om naar oneidig naderende snelheid bij praktisch gesloten toestand te vermijden.

$A_u$  : de geopende oppervlakte bij de einde van de uitstromingspijp [ $m^2$ ]  
en

$$A_u = 1/4 \pi d^2 \beta' / 360 - 1/8 d^2 \sin \beta' \quad \{A.80\}$$

met

$$\beta' = \begin{cases} 2 \arctan \sqrt{\frac{1}{(2 \cos \beta - 1)^2} - 1} & \text{voor } 0^\circ \leq \beta < 60^\circ \\ 180^\circ & \text{voor } \beta = 60^\circ \\ 360^\circ - 2 \arctan \sqrt{\frac{1}{(1 - 2 \cos \beta)^2} - 1} & \text{voor } 60^\circ < \beta \leq 90^\circ \end{cases} \quad \{A.81\}$$

$A_{u0}$ : oppervlakte bij een maximale openstand ( $\beta = \beta_0$ ) klep [ $m^2$ ]

combineer {A.76} met {A.79}, dan is

$$V_{uk} = X_s X_v X_2 V \quad \{A.82\}$$

opmerking:

Er is verondersteld dat de openingsklep bij de instroming al open staat wanneer de instroomsnelheid  $V > 0$  wordt (zie 8.2.1).

- i. Met {6.2} kunnen deze termen berekend worden.
- j. Bepalen van de versnelling
- k. Wanneer  $\beta$  de waarde 0 bezit betekent dit, dat  $V = 0$  is (zie onder f). Dan kan  $dV/dt$  niet kleiner dan 0 zijn, omdat er bij een gesloten terugslagklep geen negatieve stroom in de sampler zal ontstaan.
- l. Eerst benadering van de instroomsnelheid  $V$  op tijdstip  $t + \Delta t$ .
- m. Tijd  $t$  wordt  $t + \Delta t$ . De randvoorwaarden (belastingen) krijgen hiermee ook de passende numerieke waarden.
- n t/m p.  
Zie stappen i t/m k (numerieke methode van Heun).
- q. Aflopen van een rekenstap en controleren of de gegeven duur voor het rekenproces verstreken is, zo niet gaat dit door met volgende stap.
- r. Einde van het rekenprogramma.

## Symbolen

- $A$  : oppervlakte [ $m^2$ ]
- $A_b$  : oppervlakte van de bak [ $m^2$ ]
- $A_i$  : oppervlakte van doorsnede  $i$  op een bepaalde plaats van de sampler [ $m^2$ ] en  
 $i = 0, 1, 2, \dots, 8$
- $A_i$  : oppervlakte van de instroomklep [ $m^2$ ]
- $A_k$  : oppervlakte van de instromingskoker [ $m^2$ ]
- $A_{op}$  : oppervlakte van de instromingsopening [ $m^2$ ]
- $A_p$  : oppervlakte van de uitstromingspijp [ $m^2$ ]
- $A_t$  : oppervlakte van het stroomvoerende gedeelte in een golftunnel [ $m^2$ ]
- $a_{bak}$  : verplaatsing van waterdeeltje in de bak [m]
- $a_{bod}$  : verplaatsing van waterdeeltje aan de zeebodem [m]
- $b_b$  : breedte van de bak [m]
- $b_i$  : breedte op een bepaalde plaats  $i$  [m] met  $i = 0, 1, 2, \dots, 8$
- $b_k$  : breedte van het rechthoekige gedeelte instromingskoker [m]
- $b_{op}$  : breedte van de instromingsopening [m]
- $C$  : coëfficiënt of constante [-]
- $C_1$  : verliescoëfficiënt bij de instroming [-]
- $C_2$  : verliescoëfficiënt bij de overgang instromingskoker-bak [-]
- $C_3$  : verliescoëfficiënt bij de overgang bak-uitstromingspijp [-]
- $C_4$  : verliescoëfficiënt bij de bochten in de uitstromingspijp [-]
- $C_5$  : verliescoëfficiënt bij verandering in de uitstromingspijp [-]
- $C_6$  : coëfficiënt van impuls overdracht bij de instroming [-]
- $C_7$  : coëfficiënt van impuls overdracht bij de uitstroming [-]
- $C_{b0}$  : verliescoëfficiënt bij een bocht [-]
- $C_{vg}$  : verliescoëfficiënt bij een vergroting van stroomprofiel [-]
- $C_d$  : weerstandcoëfficiënt voor een aangestroomd lichaam [-]
- $C_{vn}$  : verliescoëfficiënt bij een verkleining van het stroomprofiel [-]
- $C_o$  : verzadigingsconcentratie [g/l], [kg/m<sup>3</sup>]
- $c$  : zandconcentratie [g/l], [kg/m<sup>3</sup>]
- : voortplantingssnelheid van korte golf [m/s]

- $c_{vol}$  : volumeconcentratie [-]
- $c'$  : dimensieloze zandconcentratie [-]
- $\bar{c}'$  : gemiddelde dimensieloze zandconcentratie van de gemeten laag [-]
- $D$  : de diameter van het gedeelte uitstromingspijp, waarvan de grootte wordt bepaald door de gebruikte debietmeter [m]
- : diameter van zandkorrel [m]
- $D'$  : diameter van de instromingskoker [m]
- $D_1$  : diameter buis voor een verandering [m]
- $D_2$  : diameter buis na een verandering [m]
- $d$  : de diameter van een eventueel veranderd gedeelte in de uitstromingspijp, de grootte daarvan wordt voornamelijk bepaald door het verkrijgen van een optimaal hydraulisch gedrag voor de sampler [m]
- $F_{ab}$  : aanstroomkracht instroomklep door  $V_{bod}$  [N]
- $F_{av}$  : aanstroomkracht vleugel door  $V_{bg}$  [N]
- $F_{hr}$  : kracht uitoefend op de instroomklep door waterdruk [N]
- $F_{ov}$  : opdrijvende kracht van de vleugel op de instroomklep [N]
- $F_{zw}$  : gewicht instroomklep onderwater [N]
- $f$  : wrijvingscoëfficiënt [-]
- : verliescoëfficiënt t.g.v. wrijving voor de uitstromingspijp [-]
- $f_d$  : verliescoëfficiënt t.g.v. wrijving voor het veranderde gedeelte in de uitstromingspijp [-]
- $f_k$  : verliescoëfficiënt t.g.v. wrijving voor de instromingskoker [-]
- $f_w$  : wrijvingscoëfficiënt van de zeebodem onder orbitaalbeweging [m]
- $f_1$  : verliescoëfficiënt bij de instroming onder positieve instroomsnelheid [-]
- $f_2$  : verliescoëfficiënt bij de instroming onder negatieve instroomsnelheid [-]
- $f_3$  : vertraging verliescoëfficiënt bij de overgang instromingskoker-bak onder positieve stroomsnelheid [-]
- $f_4$  : versnellings verliescoëfficiënt bij de overgang instromingskoker-bak onder negatieve stroomsnelheid [-]

- $f_5$  : versnellings verliescoëfficiënt bij de overgang bak-uitstromingspijp onder positieve stroomsnelheid [-]
- $f_6$  : vertragings verliescoëfficiënt bij de overgang bak-uitstromingspijp onder negatieve stroomsnelheid [-]
- $f_7$  : verliescoëfficiënt t.g.v. bochten in de uitstromingspijp onder positieve stroomsnelheid [-]
- $f_8$  : verliescoëfficiënt t.g.v. bochten in de uitstromingspijp onder negatieve stroomsnelheid [-]
- $f_9$  : verliescoëfficiënt t.g.v. eventuele verandering in de uitstromingspijp onder positieve stroomsnelheid [-]
- $f_{10}$  : verliescoëfficiënt t.g.v. eventuele verandering in de uitstromingspijp onder negatieve stroomsnelheid [-]
- $f_{11}$  : coëfficiënt voor de impuls overdracht bij de instromingsopening onder bepaalde condities [-]
- $f_{12}$  : coëfficiënt voor de impuls overdracht bij de instromingsopening onder andere condities dan die bij  $f_{11}$  [-]
- $f_{13}$  : coëfficiënt voor de impuls overdracht bij de uitstroming onder bepaalde condities [-]
- $f_{14}$  : coëfficiënt voor de impuls overdracht bij de uitstroming onder andere condities dan die bij  $f_{13}$  [-]
- $G$  : gewicht [g], [kg]
- $g$  : de versnelling t.g.v. de zwaartekracht [ $m/s^2$ ]
- $H$  : golfhoogte [m]
- $\Delta H$  : druk verval [m]
- $H_s$  : significante golfhoogte [m]
- $h$  : hoogte [m]  
: waterdiepte [m]
- $h_b$  : hoogte van de bak [m]
- $h_i$  : hoogte op een bepaalde plaats [m] met  $i = 0, 1, 2, \dots, 8$
- $h_{ik}$  : aanstroomhoogte van de instromingsklep [m]
- $h_k$  : hoogte van het rechthoekige gedeelte instromingskoker [m]
- $h_{in}$  : waterdiepte bij de instroming [m]



- $h_{uit}$  : waterdiepte bij de uitstroming [m]  
 $h_{op}$  : hoogte van de instromingsopening [m]  
 $h_v$  : verticale afstand vleugel draai-as instroomklep [m]  
 $K$  : calibratiegetal van de debietmeter [1/omw]  
 $k$  : golfgetal [ $m^{-1}$ ]  
 $L$  : lengte [m]  
: de lengte van de sampler gemeten langs de sampler as [m]  
 $L_b$  : lengte van de bak [m]  
 $L_{ji}$  : lengte van een bepaald gedeelte van de sampler [m], met  $i = 1, 2, \dots, 8$   
en  $j=i-1$   
 $L_k$  : lengte van de instromingskoker [m]  
 $L_p$  : lengte van de uitstromingspijp [m]  
 $L_{op}$  : lengte van de instromingsklep [m]  
 $L_s$  : afstand tussen de in- en uitstroming [m]  
 $L_v$  : horizontale afstand vleugel draai-as instroomklep [m]  
 $l$  : afstand [m]  
 $m$  : de massa [kg]  
 $m_s$  : watermassa in de sectie van een golftunnel tussen de in- en uitstro-  
ming [kg]  
 $m_s$  : massa van het zand [kg], [g]  
 $N$  : het geregistreeerde aantal omwentelingen van de debietmeter [omw]  
 $P$  : druk [ $N/m^2$ ]  
 $P_i$  : druk op een bepaalde plaats [ $N/m^2$ ] met  $i = 0, 1, \dots, 8$   
 $Q$  : debiet [ $m^3/s$ ], [ $l/s$ ]  
 $R$  : straal van een bocht [m]  
 $r$  : straal van een buis- of pijpprofiel [m]  
 $r_{bak}$  : ruwheid van de zandige bakbodem [m]  
 $S$  : zandtransport [ $kg/s.m^2$ ]  
 $S'$  : dimensieloos zandtransport [-]  
 $s$  : coördinaat op de sampler as [m]  
 $T$  : golfperiode [s]  
 $T_i$  : golfperiode met verschillende grootten [s] met  $i = 1, 2, 3$

- t : tijd [s]
- $t_v$  : valtijd van zandkorrel in de bak [s]
- V : volume [m<sup>3</sup>],[l]
- V : stroomsnelheid [m/s]  
: de instroomsnelheid [m/s]
- V' : dimensieloze snelheid [-]
- $V_{\neq}$  : schuifspanningssnelheid [m/s]
- $V_b$  : stroomsnelheid in de bak [m/s]
- $V_{bg}$  : stroomsnelheid buiten de grenslaag [m/s]
- $V_{bg1}$  : stroomsnelheid buiten de grenslaag bij de instroming [m/s]
- $V_{bg2}$  : stroomsnelheid buiten de grenslaag bij de uitstroming [m/s]
- $V_{bod}$  : gemiddelde stroomsnelheid van de gemeten laag aan de bodem [m/s]
- $V_g$  : stroomsnelheid in een goot [m/s]
- $V_i$  : stroomsnelheid in een bepaalde periode [m/s]
- $V_{ik}$  : volume instroomklep [m<sup>3</sup>]
- $V_t$  : orbitaalbeweging in een golftunnel [m/s]
- $V_{uk}$  : bewegingssnelheid van de terugslagklep [m/s]
- $V_v$  : volume vleugel [m<sup>3</sup>]
- w : valsnelheid van zandkorrel in water [m/s]
- $X_d$  : verhouding tussen doorsneden van de twee verschillende delen in de uitstromingspijp [-]
- $X_v$  : verhouding tussen doorsneden van de uitstromingspijp en de uitstroming [-]
- $X_1$  : verhouding tussen de doorsneden van de instromingsopening en de instromingskoker [-]
- $X_2$  : verhouding tussen de doorsneden van de instromingsopening en de uitstromingspijp [-]
- $X_3$  : correctie voor de wrijvingsverlies t.g.v. de afwijking van de sampler t.o.v. een uniforme buis [-]
- $X_4$  : correctie voor de traagheid t.g.v. de afwijking van de sampler t.o.v. een uniforme buis [-]

- $X_5$  : coefficient voor afwijking van de waterdruk onder een korte golf in  
ondiep water t.o.v. de druk bij een hydro-statische drukverdeling  
bij een bepaalde waterdiepte [-]
- $X_6$  : coefficient bij berekening voor de amplitude van orbitaalbeweging uit  
gegeven H en h [-]
- $X_7$  : coefficient voor het uitdrukken van dichtheidsverschil tussen het inge-  
stroomde zand-water mengsel en het water [-]
- $X_8$  : verhouding tussen de amplituden van de orbitaalbewegingen aan de bodem  
en buiten de grenslaag [-]
- $X_9$  : coefficient voor de invloed van de stand terugslagklep op de beweging  
van de terugslagklep [-]
- $X_{10}$  : graad voor de symmetrie van orbitaalbeweging [-]
- y : verticale coördinaat [mm], [m]
- z : plaats hoogte [m]
- $\alpha_1$  : faseverschil tussen de in- en uitstroming van de sampler onder een  
lopende golf [rad], [ $^\circ$ ]
- $\alpha_2$  : faseverschil tussen de orbitaalbeweging van de gemeten laag en die  
buiten de grenslaag bij de instromingsopening [rad], [ $^\circ$ ]
- $\beta$  : openingshoek van de terugslagklep [ $^\circ$ ]
- $\beta_0$  : hoek bij de maximale openstand van de terugslagklep [ $^\circ$ ]
- $\theta$  : hoek tussen buis-as en de horizontaal [ $^\circ$ ]  
: hoek bij een geleidelijke verandering van buisprofiel [ $^\circ$ ]
- $\lambda$  : golflengte [m]
- $\nu$  : kinetische viscositeit [ $m^2/s$ ]
- $\xi$  : ruwheid van buiswand [m]
- $\rho$  : massadichtheid [ $kg/m^3$ ]  
: massadichtheid van water [ $kg/m^3$ ]
- $\rho_a$  : massadichtheid van de gemeten laag bij de instroming [ $kg/m^3$ ]
- $\rho_{ik}$  : massadichtheid instroomklep [ $kg/m^3$ ]
- $\rho_v$  : massadichtheid vleugel [ $kg/m^3$ ]
- $\rho_z$  : massadichtheid van zand [ $kg/m^3$ ]
- $\tau$  : schuifspanning [ $N/m^2$ ]

$\tau_{bak}$  : schuifspanning bij de bakbodem [N/m<sup>2</sup>]

$\phi$  : hoek van een bocht [°]

$\omega$  : hoeksnelheid [s<sup>-1</sup>]

## Literatuur

1. Bakker, W.T. and van Kesteren, W.G.M.  
The dynamics of oscillating sheetflow  
Proc. 20th Conf. on Coastal Eng., 1987
2. Basinski, T., e.a..  
Radioisotopic probe for measurement of concentration and distribution of  
suspended sediment in coastal zone  
Rozpr. Hydrotech. 41(1980), pp. 119-127
3. Battjes, J.A.  
Collegedictaat b76 'Korte Golven'
4. Cook, D.O. and Gorsline, D.S.  
Field observations of sand transport by shoaling waves  
Mar. Geol., V 13(1), pp. 31-55 1972
5. Dette, H.H.  
Wellenmessungen und Braundungsuntersuchungen vor Westerland/sylt  
Leichtweiss-Institut Fur Wasserbau der Technischen Universitat Braun-  
schweig  
Mitteilungen Heft 40, 1974 pp. 285-327
6. Geilvoet, P.W.J.  
Een pulsating water tunnel  
Afstudeerverslag 1974
7. Horikawa, K., Watanabe, A. and Katori, S.  
Sedement transport under sheet flow condition.  
Proc. 18th Conf. on Coastal Eng., 1982 pp. 1439-1458
8. Hulsbergen, C.H. en Bosman, J.J.  
Ontwerp, bouw en eigenschappen van de Golftunnel  
Verslag van onderzoek M1388, WL
9. Jansen, R.H.J.  
Het ontwikkelen van een zandtransportmeter voor gebruik in het prototype  
(inventarisatie en evaluatie).  
WL R1043 deel 1 maart 1976
10. John, P. and Dowing, JR.  
Nearshore Sediment Transport Study Workshop on Instrumentatie for Near-  
shore Processes held in La Jolla, California on June 16-17, 1977.  
Sediment transport in the nearshore environment: A review of the state  
of the art.  
(WL 35330)
11. Jonsson, I.G.  
Measurements in the turbulent wave boundary layer.  
Proc. of the 10th IAHR Cong. 1963
12. Massie, W.W.  
Collegedictaat f11B 'Coastal Engineering Volume II: Harbor and Beach  
Problems'  
1980
13. Mott, R.L.  
Applied fluid mechanics.  
1972

14. Nielsen, P.  
Field measurements of time-averaged suspended sediment concentrations under waves.  
Coastal Engineering, 8, 1984, pp. 51-72
15. Nortier, I.W. en Velde, H. van der  
Hydraulica voor Waterbouwkundigen.  
1961
16. Prins, A.  
Collegedictaat f10 'Sedimenttransport'  
1978
17. Schaafsma, A.S.  
Concept offerte meetinstrumenten  
Stencil aan TOW-ZAND, 1-juni-1986
18. Shibayama, T. and Horikawa, K.  
Sediment transport and beach transformation.  
Proc. 18th Conf. on Coastal Eng., 1982 pp. 1439-1458
19. Simon, A.L.  
Practical Hydraulics  
1976
20. Thornton, E.B.  
A field investigation of sandtransport in the surf zone.  
Proc. 11th Conf. on Coastal Eng., 1968
21. Watters, G.Z.  
Analysis and control of unsteady flow in pipelines.  
1984



