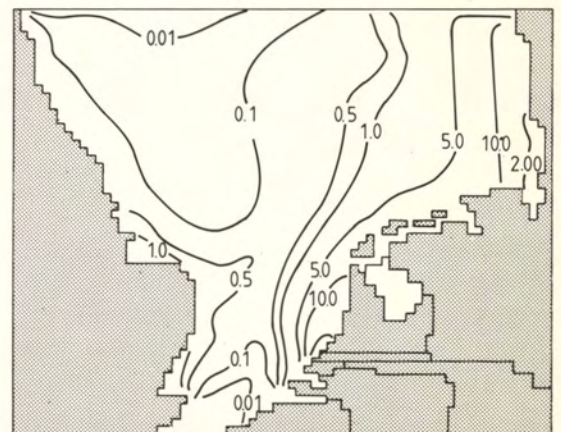
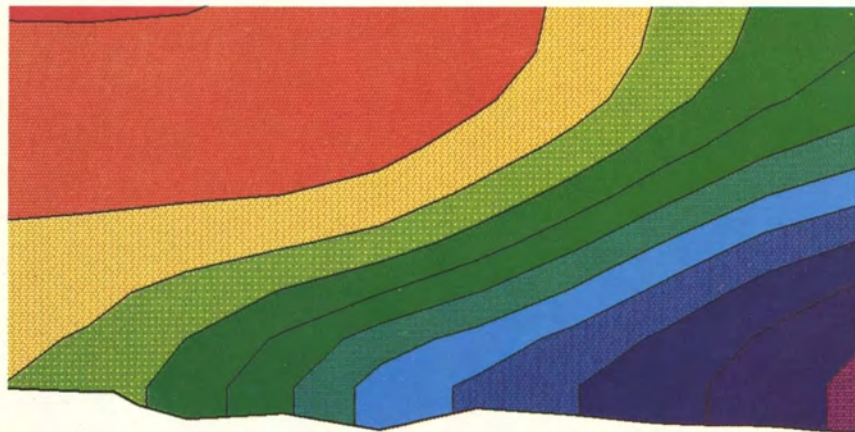
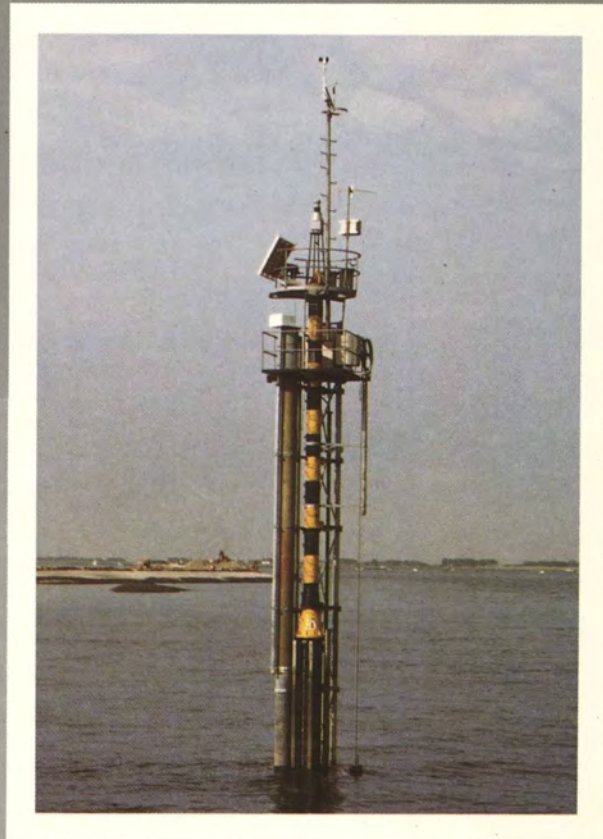


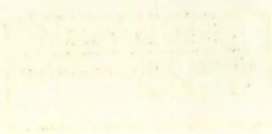
DI:17901

# inhomogene stromingen

## 4 Oriënterend onderzoek naar de getijbeweging en de zoutverdeling in de getijgoot







tswaterstaat

nst getijdewateren

C-2910, 4

iotheek

515



#### 4 Oriënterend onderzoek naar de getijbeweging en de zoutverdeling in de getijgoot

verslag metingen

Z162-31

januari 1989



U.K. Water State  
State of California  
Department of Water



## INHOUD

### Symbolen

	blz.
<u>1 Inleiding.....</u>	<u>1.1</u>
<u>2 Getijkarakteristieken van de getijgoot.....</u>	<u>2.1</u>
2.1 Opzet van het onderzoek.....	2.1
2.2 Verkennende berekeningen.....	2.2
2.3 Bepaling ruwheid van de goot.....	2.5
2.4 Gemeten getijkarakteristieken.....	2.7
2.5 Aanvullend onderzoek zeeregeling.....	2.9
2.6 Aanvullend onderzoek getijtankregeling.....	2.13
<u>3 Zout/zoetkarakteristieken van de goot.....</u>	<u>3.1</u>
3.1 Opzet van het onderzoek.....	3.1
3.2 De inhomogene getijbeweging.....	3.3
3.3 Skimmeronderzoek.....	3.5
3.4 Zout/zoet-gevoeligheidsonderzoek.....	3.8
3.5 Onderzoek temperatuurseffekten.....	3.10
<u>4 Samenvatting, konklusies en aanbevelingen.....</u>	<u>4.1</u>
4.1 Samenvatting.....	4.1
4.2 Konklusies.....	4.2
4.3 Aanbevelingen.....	4.4

### Referenties

### Tabellen

### Figuren

Appendix A - Beschrijving van de getijgoot.

Appendix B - Systematisch onderzoek in oude getijgoot.

Appendix C - Koördinatenstelsel getijgoot.

Appendix D - Getijtankregeling.



# Symbolenlijst

symbool	omschrijving	dimensie
$a_k$	amplitude $k^e$ fourierkomponent vertikaal getij	m
B	breedte	m
$b_k$	amplitude $k^e$ fourierkomponent horizontaal getij	$m^3 s^{-1}$
C	Chezy koëfficiënt	$m^{1/2} s^{-1}$
D	dempingsfaktor analytisch getijmodel	-
f	frekwentie	$s^{-1}$
$F_o$	intern Froudegetal gebaseerd op getij	-
$F_r$	intern Froudegetal gebaseerd op rivierafvoer	-
g	gravitatieversnelling	$m s^{-2}$
h	waterdiepte	m
L	fiktieve gootlengte	m
$L_f$	fysieke gootlengte	m
$L_r$	resonantielengte	m
Q	debiet	$m^3 s^{-1}$
$Q_{riv}$	rivierafvoer	$m^3 s^{-1}$
$Q_{sk}$	skimmer afzuigdebiet	$m^3 s^{-1}$
R	hydraulische straal	m
t	tijd	s
T	getijperiode	s
$T_e$	temperatuur	°C
U	stroomsnelheid in x-richting	$m s^{-1}$
$U_o$	maximum stroomsnelheid in mond	$m s^{-1}$
V	vervormingsfaktor vertikaal getij	-
x	koördinaat in lengterichting	m
	x = 0 mond v/d goot, stroomopwaarts positief	
y	dwarskoördinaat	m
	y = 0 rechterwand (vanuit goot gezien), naar linkerwand positief	
z	vertikale koördinaat	m
	z = 0 bodem, omhoog positief	



$\alpha$	versterkingsfaktor $a_1(x) / a_1(32)$	-
$\psi$	faseverschil t.o.v. bovenstroomse rand	rad
$\phi$	faseverschil t.o.v. mond	rad
$\Delta\Phi I$	faseverschil t.o.v. $x = 32$ m	rad
$\kappa$	geleidendheid	S
$\omega$	getijfrekwentie	$s^{-1}$
$\Delta\rho$	dichtheidsverschil	$kg\ m^{-3}$
$\rho$	dichtheid	$kg\ m^{-3}$



## 1 Inleiding

Bij het ontwerp van een nieuwe getijgootfaciliteit (een korte beschrijving is in Appendix A gegeven), is een programma van eisen opgesteld t.a.v. de in te stellen inhomogene getijbeweging in de nieuwe goot. Dit resulteerde enerzijds in de koeze van een goot met een totale lengte van 130 m en een breedte van 1 m en een zeegedeelte met een lengte van 14.8 m en een breedte van 6-8 m (zie figuur A). Anderzijds moesten de volgende gootparameters en randkondities instelbaar zijn tussen de volgende grenzen:

- de waterdiepte  $h$  van 0.1 tot 0.9 m
- de getijperiode  $T$  van 30-1800 s
- de amplitude van het vertikaal getij in de mond tot 0.075 m
- de amplitude van het horizontale getij op 130 m tot 300 l/s
- de rivierafvoer  $Q_{riv}$  tot 30 l/s
- de skimmerafvoer  $Q_{sk}$  tot 60 l/s
- het maximale dichtheidsverschil tot 30 kg/m<sup>3</sup>

De ruwheid van de getijgoot kan vergroot worden door ruwheidsmiddelen op de gootbodem en/of aan de gootwanden aan te brengen.

Uitgaande van dit programma van eisen is de vormgeving en de regeling van de goot ontworpen. Na de bouw van de goot is een vrij omvangrijk onderzoek uitgevoerd om de instelling en de realisatie van de randkondities te optimaliseren [6]. Daarbij is slechts summier (voorzover dit van belang was voor de regeling) aandacht besteed aan de in de goot zelf optredende getijbeweging en is helemaal niet met zout gestroomd. Bij het onderzoek van de zeeregeling bleek reeds dat niet elke combinatie van waarden van de bovenvermelde gootparameters en randkondities ook in de goot gerealiseerd kan worden. Met name wordt in de combinatie kleine waterdiepte/groot vertikaal getij/korte getijperiode/gladde goot (bv.  $h=0.2$  m,  $a_1 = 0.75$  m,  $t < 400$  s) de op zee opgedrukte getijgolf in de goot sterk vervormd: het getijgolf front wordt steeds steiler en de golf ontaardt na terugkaatsing aan het bovenstroomse eind in een serie translatiegolven met een golflengte van ca. 1 m en amplitude van ca. 0.05 m. Dit zogenaamde "bore" verschijnsel maakt een goede zeeregeling van de waterstand onmogelijk bij deze kondities.

Een ander verschijnsel dat mogelijk beperkingen oplegt aan de in te stellen getijbeweging is het resonantieverschijnsel, dat vooral van belang is in een



gladde goot, waarin de getijperiode ongeveer gelijk aan of kleiner is dan de resonantieperiode van de goot zelf. Dit laatste treedt op als er korte getijperioden ingesteld worden.

Als vervolg op het inregelonderzoek is een oriënterend onderzoek in de nieuwe goot uitgevoerd met als doel:

- . het onder homogene omstandigheden verkennen van de getijkarakteristieken van de goot
- . het onder inhomogene omstandigheden verkennen van de getij- en zout/zoetkarakteristieken in de goot en het bekijken van de mogelijkheden om de dichtheidsvertikaal in de mond van de goot te regelen m.b.v. de skimmer.

Uit deze oriëntatie moeten de mogelijkheden en beperkingen van toekomstig getijonderzoek in de gootfaciliteit blijken, zodat een toekomstig onderzoeker die een getijstroming en zoutverdeling in de goot wil realiseren vooraf kan schatten

- welke getijbeweging en zoutverdeling globaal optreedt bij een gekozen instelling van randkondities en gootparameters
- hoe hij de randkondities en gootparameters moet instellen om een gewenste getijbeweging en zoutverdeling zo goed mogelijk te benaderen.

In de opzet van het oriënterende onderzoek is aansluiting gezocht bij het in de oude getijgoot uitgevoerde systematische onderzoek naar de invloed randkondities en gootparameters op de zoutverdeling (zie appendix B en [3,4]). Deze aansluiting werd bereikt door als uitgangspunt van het onderzoek een referentiesituatie te kiezen die zoveel mogelijk overeenkomt met de referentie van het oude getijgootonderzoek. Aldus is het mogelijk om de meetresultaten in de nieuwe goot te toetsen aan reeds bestaande ervaring. Om de juiste gootruwheid (van de referentie) te bereiken zijn betonnen ruwheidselementen op de gootbodem aangebracht.

Echter in het toekomstige getijonderzoek zal het aksent komen te liggen op onderzoek zonder wand- en/of bodemruwheidselementen:

- in het slibonderzoek wordt i.h.a. uitgegaan van een gladde bodem, waarbij door sedimentatie eventueel een slibbodem ontstaat
- in het turbulentieonderzoek zal i.h.a. als eis gelden dat de eventueel aan te brengen extra ruwheidsmiddelen klein zijn t.o.v. de waterdiepte (orde 1%) en zo homogeen mogelijk verdeeld zijn.



Dit betekent dat in het toekomstig getijonderzoek de ruwheid van de goot veel kleiner is dan de eerder genoemde referentiewaarde. Het belang van onderzoek in een gladde goot en het feit dat de getijden met korte getijperioden gedraaid moeten kunnen worden vormen de aanleiding om bij het onderzoek van de getijkarakteristieken van de goot de nadruk te leggen op het onderzoek naar resonantieverschijnselen in de goot.

Bij het zout/zoet getijonderzoek is het resultaat vergeleken met de resultaten uit de oude goot. Daarnaast is onderzocht wat de mogelijkheden van de skimmerbak zijn voor het instellen van de dichtheidsrandkonditie in de mond.

Het onderzoek heeft in het voorjaar van 1986 plaatsgevonden. Naar aanleiding van de resultaten van dit onderzoek en het verkennende slibonderzoek in het najaar van 1986 is er begin 1987 nog een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de realisatie van randkondities en de invloed van temperatuurverschillen.

In hoofdstuk 2 wordt de opzet en het resultaat van de oriëntatie t.a.v. de getijkarakteristieken in een homogene goot en het aanvullende onderzoek naar de realisatie van verbeterde getijrandkondities beschreven.

In hoofdstuk 3 wordt de opzet en het resultaat van het zogenaamde skimmeronderzoek, de oriëntatie t.a.v. de zout/zoetkarakteristieken en het aanvullende onderzoek naar de invloed van temperatuursverschillen beschreven.

Hoofdstuk 4 bevat de samenvatting, de konklusies en de aanbevelingen.



## 2 Getijkarakteristieken van de goot

### 2.1 Opzet van het onderzoek

De getijbeweging in een rechte goot waar in de mond een vertikaal getij opgedrukt wordt en het andere eind gesloten is kan beschreven worden als een staande golfbeweging. Wordt er een sinusvormige golf opgedrukt met amplitude  $a_1(0)$  en periode  $T$  in een goot met lengte  $L$ , waterdiepte  $h$  en ruwheidscoëfficiënt  $C$  dan zijn de maatgevende parameters die de getijbeweging bepalen:

$a_1(0)$ ,  $T$ ,  $L$ ,  $h$  en  $C$

De getijbeweging in een goot is te simuleren met:

- een analytisch model, zoals door Ippen [1] gebruikt, waarin de 1D-bewegingsvergelijking gelineariseerd is door de konvektieve term te verwaarlozen en de weerstandsterm evenredig met de snelheid te maken. Volgens dit model vindt er geen energie-overdracht van de opgedrukte getijgolf naar hogere componenten plaats.
- het 1D-numeriek model INITAK, dat de volledige 1D-bewegingsvergelijking oplost [5]. Via de niet-lineaire termen in de vergelijkingen vindt er wel energie-overdracht naar hogere getijkomponenten plaats.

In paragraaf 2.2 wordt het resultaat van verkennend onderzoek met deze modellen weergegeven. Ze zijn in de eerste plaats gebruikt om de ruwheid van de goot te bepalen. In de tweede plaats is vooral de invloed van de variatie van de getijperiode  $T$  op de getijbeweging onderzocht.

Bij de samenstelling van het proevenprogramma van dit oriënterende onderzoek is uitgegaan van een referentieproef met kondities die zo veel mogelijk passen bij de referentieproef uit de oude goot. De reden van deze keuze is dat aldus de nieuwe meetresultaten zo goed mogelijk getoetst kunnen worden aan oude resultaten. Om dit te bereiken zijn in de nieuwe goot beton-elementen als extra bodemruwheidselementen toegevoegd.

In de beginfase van het onderzoek is de ruwheid van de goot met deze blokjes bepaald door via een gevoeligheidsonderzoek met INITAK te bepalen welke  $C$ -waarde het beste bij een gemeten getijbeweging past. In een latere fase is ook via een vervalmeting bij een permanente stroming de grootte van de ruwheid bepaald. Deze ijking is in paragraaf 2.3 beschreven.



Vervolgens is er een beperkt aantal proeven uitgevoerd (zie paragraaf 2.4) om de getijkarakteristieken vast te leggen, waarbij de gemeten getijbeweging steeds vergeleken is met de INITAK-simulatie. In tegenstelling tot voorgaand onderzoek naar de getijbeweging in een getijrivier met een konstante doorsnede is nu vooral het getij in een lange goot met  $L > L_r$  bekeken, mede in verband met de variatiemogelijkheid voor  $T$  van 30 - 1800 s.

Daarnaast zijn 2 proeven gedaan met een groot vertikaal getij in de mond om vooral de vervorming van het getij in beeld te brengen.

## 2.2 Verkennende berekeningen

Volgens het analytisch model wordt de verticale getijbeweging, vastgelegd via de amplitudeversterking  $a_1(x)/a_1(0)$  en het faseverschil  $\psi$  (t.o.v. bovenstrooms gooteind), bepaald door 2 dimensieloze parameters:

- $L/L_r$  met  $L_r = 0.25 T \sqrt{gh}$  als de resonantielengte van de staande golf in de goot ( $0.25 \cdot$  getijgolflengte)
- $D = (g/c^2) \cdot U_0 \cdot (T/R)$  de dempingsparameter met de maximale snelheid  $U_0$  en de hydraulische straal  $R$ .

De markantste resultaten zijn weergegeven in de figuren 1 en 2, (waarin  $a_k$  en  $b_k$  de amplitude van de  $k^e$  fourierkomponent van vertikaal resp. horizontaal getij zijn) [2]. In figuur 1A is voor het verticale getij de versterkingsfaktor 3-dimensionaal weergegeven als functie van beide parameters. Daaruit blijkt dat voor een goot met weinig ruwheid er duidelijke resonantiepieken te zien zijn. Ze treden op bij  $L/L_r = 1, 3$  enz. Hoe groter de dempingsparameter wordt des te kleiner worden deze maxima en des te verder verschuiven ze naar kleinere  $L/L_r$ -waarden. Voor grote waarden van de dempingsparameter is het resonantieverschijnsel niet meer herkenbaar (zie als illustratie de figuren 2A en 2B, afkomstig uit [2]). In figuur 1B wordt getoond dat het faseverschil (t.o.v. bovenstrooms gooteind) in een korte, gladde goot klein is, doch dat zodra  $L/L_r \approx 1$  er in de mond een groot faseverschil optreedt. Voor een lange goot ( $L/L_r \gg 1$ ) treedt er een fasesprong bij het resonantiepoint van  $180^\circ$  op. Door vergroting van de demping verandert het faseverschil geleidelijker met de waarde van  $L/L_r$ .

In de figuren 2C en 2D (uit [2]), wordt de versterkingsfaktor van het horizontale getij getoond als functie van  $L/L_r$  voor 2 waarden van de dempingsparameter. Voor de kleine waarde volgt weer het resonantieverschijnsel en voor de grote demping is dit verdwenen.



De getijgoot is ontworpen om getijden met perioden tot 30 s te kunnen opdrukken. Voor getijgolven met korte getijperioden geldt dat  $L/L_r \gg 1$  en dat betekent i.h.a. dat resonantieverschijnselen, vooral in een gladde goot, van belang zijn. Echter ook voor een goot waar voor de hoofd getijkomponent geldt  $L/L_r \ll 1$  kan het resonantieverschijnsel belangrijk zijn:

- als er een niet sinusvormig vertikaal getij (op te vatten als een superpositie van aantal sinussen volgens fouriersplitsing) opgedrukt wordt verschillen de versterkingsfactoren voor de verschillende fouriercomponenten, zodat de vorm van het getij varieert met de plaats, Vooral als één van de hogere componenten resoneert in de goot zal er een grote vervorming van het opgedrukte getij optreden in de goot
- ook al wordt er een sinusvormig getij opgedrukt in de mond dan ontstaan er in de goot toch hogere componenten, die afhankelijk van hun parameterwaarden  $L/L_r$  en  $(g/C^2) U_0 (T/R)$  verschillende amplituden en faseverschuivingen kennen. In het analytisch model levert een sinusvormig verloop van de waterdiepte in de mond overal een sinusvormig getij, alleen de amplitude en faseverschuiving variëren met de plaats. Het 1D-model INITAK bevat de niet-lineaire termen in de bewegingsvergelijking en simuleert daardoor ook de vervorming van de opgedrukte sinusgolf.

De vervorming van de getijgolf wordt in het vervolg gekwantificeerd door de amplituden van de 2e t/m de 4e fouriercomponent te sommeren en te delen door de amplitude van de hoofdkomponent

$$V(x) = \frac{\sum_{i=2}^4 a_i(x)}{a_1(x)}$$

Bij het opdrukken van een sinusvormig getij geldt dus  $V(0) = 0$ .

Voor waarden van  $V < 0.1$  wordt de afwijking van de sinusvorm klein genoemd, voor waarden  $V > 0.5$  wordt de afwijking aanzienlijk genoemd.

In de figuren 3 t/m 5 wordt de door INITAK berekende invloed van de getijperiode  $T$  op het getij in de goot getoond via het verloop met de plaats  $x$  van

- versterkingsfaktor  $a_1(x)/a_1(0)$  van het vertikale getij
- faseverschil  $\phi(x)$  in het vertikaal getij t.o.v. de in de mond opgedrukte sinus
- vervorming  $V(x)$  van het vertikaal getij
- amplitude  $b_1(x)$  van het horizontaal getij.



In alle berekeningen (zie tabel 2) wordt in de mond ( $x = 0$ ) een sinusvormig verloop van de waterspiegel opgedrukt.

Uit figuur 3 blijkt dat als

- $L/L_r < 0.2$  een z.g. kombergingsberekening (getijberekening zonder faseverschillen) een goede benadering zal geven omdat het maximale faseverschil  $< 1^\circ$  en de versterkingsfactoren  $< 1.05$  zijn. De vervorming van de opgedrukte sinus is klein ( $< 1\%$ )
- met de toename van  $L/L_r$  nemen ook toe:
  - . de versterking van het vertikaal getij tot een maximum tussen  $360 \text{ s} < T < 420 \text{ s}$  ( $L/L_r = 1$ )
  - . het faseverschil mond/gooteinde tot  $90^\circ$  bij  $T = 360 \text{ s}$  en  $120^\circ$  bij  $T = 300 \text{ s}$  de vervorming van het vertikale getij tot een maximale waarde bij  $T = 300 \text{ s}$  groter dan  $30\%$
  - . de amplitude van het horizontale getij met maximum bij  $T = 360 \text{ s}$ .

In figuur 4 is voor 3 waarden van  $T$  (240, 180 en 120 s) de getijbeweging gekarakteriseerd:

- het vertikale getij in de goot wordt voor de eerste 2 getijperioden met  $L/L_r = 1.5$  en 2 gedempt en slingert op als  $L/L_r = 3$  (dan past  $3/4$  getijgolflengte in de goot)
- in alle 3 de berekeningen treedt een fasesprong op van  $180^\circ$ , de lokatie daarvan verschuift landinwaarts met toenemende  $T$
- uit het verloop van het getijdebiet  $b_1(x)$  is goed te zien dat de getijgolf van  $T = 180 \text{ s}$  een "knoop" in de mond heeft en dat de golf van  $T = 120 \text{ s}$  juist een "buik" in de mond heeft en daardoor opslingert
- de vervorming van het getij is maximaal t.p.v. de knoop in al; voor  $T = 240 \text{ s}$  is  $V > 1$  op de plaats  $x=50 \text{ m}$ , voor  $T = 180 \text{ s}$  verschuift het maximum met de plaats van de knoop naar  $x=65 \text{ m}$  en voor  $T = 120 \text{ s}$  treden er 2 maxima op, een nabij de mond waar  $V = 0$  opgelegd wordt en een bij de 2e knoop in het vertikale getij op 80 à 90 m.

In figuur 5 wordt de bijzondere getijbeweging weergegeven voor 3 korte getijperioden 90, 75 en 60 s met waarden van  $L/L_r = 4, 5$  en 6:

- er treden meerdere knopen en buiken op, waaruit te zien valt dat er  $1, 5/4$  en  $3/2$  golflengte in de goot passen
- het getij wordt gedempt bij  $L/L_r = 4$  en 6 en slingert op bij  $L/L_r = 4,75$
- er treden 2 bij 90 s tot 3 bij 60 s fasesprongen van  $180^\circ$  op in de goot
- de vervorming van het getij is weer maximaal in de knopen van het vertikale getij.



In het algemeen kan gezegd worden dat voor  $L/L_r > 1$  de vorm van het vertikale getij duidelijk gaat variëren in de x-richting en dat voor  $L/L_r > 4$  de vervorming van de opgedrukte sinus groot is (gemiddeld over de lengte van de goot is  $V > 0.4$ ).

In figuur 6 is de invloed van de getijamplitude  $a_1(0)$  weergegeven bij konstante waarde van  $L/L_r$  (zie tabel 2), waaruit blijkt dat de versterking van het getij, de faseverschuiving en de vervorming sterk van deze amplitude afhangen.

### 2.3 Bepaling ruwheid van de goot

Ter verkrijging van aansluiting aan het systematisch onderzoek uit de oude goot is gezocht naar een ruwheidsmiddel, dat goedkoop was en toch een zodanige additionele ruwheid verschafte dat de aansluiting aan het in de oude getijgoot uitgevoerd onderzoek plaats vond. Gekozen werd voor een ruwheidsmiddel bestaande uit betonnen afstandshouders welke industrieel vervaardigd worden. Door middel van een siliconenlijm worden deze aan de glazen gootbodem bevestigd (zie figuur 7).

De eerste 2 m van de goot was niet voorzien van additionele ruwheid. In eerste instantie is de ruwheid van de goot bepaald door de resultaten van een ijkproef te vergelijken met het door INITAK berekende verticale beweging bij verschillende waarde van de Chézy koëfficiënt.

In de ijkproef is een vrijwel sinusvormig getij ingesteld. Op een 7-tal plaatsen zijn waterstanden gemeten. De meetlokaties zijn 0 m, 0.77 m, 10 m, 32 m, 64 m, 96 m en 128 m. De ingestelde bovenafvoer was  $0 \text{ m}^3/\text{s}$ . De getijtank bovenstrooms was niet in gebruik. De lengte van de goot is 130 m. De ingestelde getijperiode is 560 s. De middenstand bedraagt 0.27 m en de getijamplitude is  $a_1(0) = 0.0125 \text{ m}$ . Bij dezelfde randkondities en gootparameters is een serie berekeningen uitgevoerd waarbij de C-waarde werd gevarieerd. Doel was een beantwoording van de vraag welke C-waarde in het INITAK-programma moet worden ingevoerd teneinde dezelfde getijbeweging te verkrijgen als gemeten in de goot. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3.

Hierin is  $\alpha$  de verhouding tussen de amplitude  $a_1(x)$  en de amplitude  $a_1(32)$  en  $\Delta\text{PHI}$  het faseverschil tussen getij op x en op 32 m. De referentiepositie x is i.v.m. de eerder genoemde 2 m goot in de mond zonder ruwheidsblokjes gekozen in  $x = 32 \text{ m}$ .



Uit deze tabel volgt dat

- de opslinging van het getij bij de ingestelde randkondities nauwelijks varieert bij wijziging van de Chézywaarde
- de  $\alpha$ -waarden gebaseerd op de meting wijken enigszins, maar systematisch af van de  $\alpha$ -waarden gebaseerd op de INITAK berekeningen
- de faseverschillen van het vertikaal getij wel wijzigen bij variatie van de C-waarde. De beste overeenstemming tussen meting en berekening wordt verkregen met een C-waarde van 24 à 25 m<sup>1/2</sup>/s.

De gevonden ruwheidswaarde lijkt ten opzichte van de afmeting van het blokje (hoogte 0.04 m) aan de hoge kant.

In een latere fase van het onderzoek is een permanente stroming met een debiet van 30 l/s en een middenstand van  $h = 21.6$  cm halverwege de goot ingesteld. Uit het verval van het wateroppervlak (met correctie voor de energiehogte) is de waarde van de bij deze stroming passende Chézywaarde berekend:

$$C = \frac{U}{\sqrt{h}} \left[ \frac{d}{dx} \left( \frac{U^2}{2g} + h \right) \right]^{-1/2}$$

In figuur 8 is deze vervallijn geschetst. Het resultaat is  $C = 27$  m<sup>1/2</sup>/s.

Op grond van het bovenstaande is bij de simulatie van uitgevoerde getijproeven (paragraaf 2.4) (en ook bij de verkennende INITAK berekeningen (paragraaf 2.2)) in het vervolg een gemiddelde (afgerond) van  $C = 25$  m<sup>1/2</sup>/s gebruikt.



## 2.4 Gemeten getijkarakteristieken

Daar er slechts een beperkte tijd en budget voor het oriënterende onderzoek beschikbaar was, kon er ook maar een beperkt proevenprogramma uitgevoerd worden.

Voor het vastleggen van de getijkarakteristieken is uitgegaan van een andere referentie dan voor het zout/zoet-onderzoek:

- het dichtheidsverschil  $\Delta\rho = 0$
- de bovenafvoer  $Q_{riv} = 0$
- de gootlengte  $L = 130$  m, d.w.z. er is geen getijtankregeling gebruikt.

De reden van de laatste keuze was een zo eenduidig mogelijk meetresultaat te verkrijgen (slechts één getijrand).

Er is een beperkt aantal proeven uitgevoerd om de getijkarakteristieken vast te leggen, waarbij de gemeten getijbeweging steeds vergeleken is met de INITAK-simulatie. In tegenstelling tot voorgaand onderzoek naar de getijbeweging in een getijrivier met een konstante doorsnede is nu vooral het getij in een lange goot ( $L > L_r$ ) bekeken, mede in verband met de variatiemogelijkheid voor  $T$  van 30 - 1800 s.

Daarnaast zijn 2 proeven gedaan met een groot vertikaal getij in de mond om vooral de vervorming van het getij in beeld te brengen.

In tabel 4 is een overzicht van de uitgevoerde proeven gegeven.

In deze proeven is de waterstand gedurende minstens 10 getijperioden gemeten (en opgeslagen) op de volgende meetstations:

-10, 0, 16, 32, 48, 64, 80, 96, 112 en 128 m.

In de mond van de goot wordt een sinusvormig vertikaal getij opgedrukt, zodat naast de versterking en faseverschuiving ook de vervorming van het getij bepaald kan worden.

De resultaten van de gemeten getijbeweging zijn na fourieranalyse gepresenteerd als  $a_l(x)/a_l(0)$ ,  $\Delta\psi(x)$  en  $V(x)$  in de figuren 9 t/m 18. Naast de uit metingen bepaalde waarden zijn ook de uit INITAK-simulaties volgende waarden weergegeven (daarbij is steeds een vaste  $C$ -waarde van  $25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  aangenomen).

Voor de kleine  $L/L_r$ -waarden, in H5 0.2 en in H9 0.34, zijn de faseverschillen



in de goot minimaal. De versterkingsfaktor  $a_1(x)/a_1(0)$  geeft aan in hoeverre een eenvoudige kombergingsberekening een goede benadering van de getijdebieten oplevert (orde 3% resp. 10% te kleine waarden). De vervorming van het getij is klein. In figuur 18 is de INITAK-vervorming niet opgenomen omdat na 6 getijden rekenen de  $a_3$ -komponent van het getij, met een  $L/L_r = 1$ , nog niet ingespeeld is en daardoor  $V$  nog te groot is in de uitgevoerde INITAK-berekening van 6 getijden.

In de referentieproef H0 met  $L/L_r = 0.64$  (voor de  $a_1$ -komponent) is het faseverschil reeds aanzienlijk. De tendens uit de proeven H5 en H9 is ook hier aanwezig: de gemeten versterkingsfactoren zijn iets groter dan de berekende (dit was ook al bij de ijking gevonden, zie par. 2.3). De faseverschillen worden goed gesimuleerd. De vervorming van het getij is klein, het verloop ervan met  $x$  is verschillend in meting en berekening.

In figuur 13 is uit het verloop van de versterkingsfaktor te zien dat er meer dan  $1/4$  golflengte in de goot past in deze proef H4 ( $L/L_r = 1.23$ ). Dit blijkt ook uit het faseverschil in de goot,  $> 90^\circ$ . De versterking van het getij wordt goed weergegeven door de INITAK-simulatie, de faseverschillen zijn iets te klein. De vervorming wordt in de knoop van de staande golf te klein weergegeven.

In H3 (figuur 12) past een halve getijgolf in de goot, er treedt damping op en ter plaatse van de knoop een fasesprong van  $180^\circ$ . De simulatie van deze meting is goed.

Figuur 13 (proef H2) geeft weer hoe een golf waarvoor geldt  $L/L_r = 3$  resoneert in de goot. De simulatie van deze getijbeweging ziet er goed uit:

- verloop van de versterking is goed, de berekende extreme waarden liggen in de meting iets verder uiteen
- het faseverschil is systematisch over de hele goot  $10^\circ$  te klein
- de vervorming wordt goed weergegeven; in het begin van de goot en in de knoop wordt de vervorming erg groot (gemiddeld over de lengte van de goot 30%).

Uit figuur 10 (proef H1) volgt dat in deze proef  $L/L_r = 6$ , d.w.z.  $3/2$  golflengte van de  $a_1$ -komponent past in de goot. Er zijn dan 3 fasesprongen van  $180^\circ$  in de goot aanwezig. INITAK geeft deze getijbeweging redelijk weer. De vervorming van de opgedrukte sinusvorm is echter wel erg groot, gemiddelde over de



gootlengte > 50% d.w.z. behalve in de mond verloopt het getij niet sinusvormig meer in de tijd.

Vergroting van het getij (figuren 15 en 16) levert een

- verkleining van de versterking
- vergroting van de faseverschillen
- vergroting van de vervorming.

In de figuren 15 en 16 wordt getoond dat de faseverschillen goed weergegeven worden en dat evenals in de referentieproef de versterking duidelijk te klein weergegeven wordt. Het verloop van de vervorming is in figuur 15 voor meting en berekening verschillend, terwijl in figuur 16 de weergave goed is.

Voor de proef waarin de getijtank gebruikt is, is het resultaat te zien in figuur 17. In de INITAK-simulatie van deze proef is het gemeten vertikaal getij in de mond en het gemeten horizontale getij aan het bovenstroomse goot-eind ingesteld. De versterking wordt te klein en de faseverschillen te groot weergegeven. Een simulatie met  $C = 27 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  zal een betere benadering van de meting weergegeven. De gesimuleerde vervorming is redelijk.

Al met al blijkt uit de vergelijking van het gemeten en het berekende verticale getij dat het rekenmodel met een konstante C-waarde de optredende getijbeweging in de goot redelijk tot goed weergeeft voor een bereik van  $0 < L/L_r < 6$  en een ruwheid met  $C = 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ .

## 2.5 Aanvullende onderzoek zeeregeling

Naar aanleiding van de uitkomsten van het oriënterend onderzoek is begin 1987 op een tweetal punten extra onderzoek verricht:

- onderzoek naar karakter en oorzaak van de bij eerder onderzoek [6] gevonden storingsgolf met een periode van 4.5 s
- nader onderzoek naar de overdrachtsfunctie zeecylinder/stuurwavo.

Het zg. aanvullende onderzoek werd uitgevoerd in een gladde goot (zonder additionele ruwheidsmiddelen; dit in tegenstelling tot het oriënterende onderzoek waar zoals hiervoor vermeld betonblokjes toegevoegd zijn.

### 2.5.1 Onderzoek storingsgolf

In het in 1985/86 uitgevoerde onderzoek in de getijgoot was er bij het instellen van een getijbeweging steeds sprake van een storingsgolf gesuperponeerd op



de ingestelde getijgolf. Deze storingsgolf had bij een waterstand van 25 cm een periode van ongeveer 4.5 sek. en een amplitude van enkele mm. (afhankelijk van de ingestelde randkondities en gootomstandigheden).

Tijdens het onderzoek "Inregelen getijgoot" [6] werd geconstateerd dat de amplitude van de storingsgolf toe nam

- met toenemende afstand tot de cylinder
- met afnemende waterdiepte
- bij het inschakelen van tweede zeepomp.

Verder werd een variatie van de amplitude in de tijd waargenomen, soms als inspeeleffekt aangemerkt.

Bij nader onderzoek van deze storingsgolf kwam naar voren dat

- het een eigen slingering in de lengterichting van het zeebassin betrof waarbij één golflengte in het bassin past ( $\lambda$  15 m)
- deze slingering aangeslagen wordt bij het inschakelen van het cirkulatiedebiet, dat water van het zeereservoir terug voert naar het zeebassin van de goot. Het effect van de storingsgolf werd geminimaliseerd via een optimalisatie van de instelling van het cirkulatiedebiet. Een uitvoerig verslag is te vinden in een interne notitie [7].

#### 2.5.2 Onderzoek overdrachtsfunctie zeecylinder/stuurwavo

De waterstand in de zee van de goot wordt in hoofdzaak bepaald door de positie van de overstortcylinder. Deze positie wordt geregeld en gestuurd door de zg. zeeregeling (zie [6] en figuur 19)

- de regeling vindt plaats door de gerealiseerde waterstand, die de zg. regelwaterstandsvolger (wavo) meet (op 0.8 m. van de overstortrand) terug te koppelen naar de cylinderpositie, zodanig dat de opgegeven waterstand (regelwaterstand, setpoint) zo goed mogelijk gerealiseerd wordt t.p.v. de positie van de regelwavo
- de sturing van de cylinder wordt zodanig bepaald dat er t.p.v. de mond van de goot door de zg. stuurwavo een waterstand wordt gerealiseerd, die zo veel mogelijk overeenkomt aan de gewenste waterstand (wenswaterstand). Om dit te verwezenlijken wordt de overdrachtsfunctie van de positie van de cylinder naar de verticale beweging in de mond bepaald. De opgegeven regelwaterstand (setpoint) wordt zodanig aangepast via een zg. gootprocedure (in rekening



brenge van de overdrachtsfunctie) dat de wenswaterstand zo goed mogelijk in de mond van de goot benaderd wordt.

De overdrachtsfunctie cylinder/stuurwavo geeft voor de vertikale getijbeweging de amplitudeversterking en de faseverschuiving als functie van de frekwentie van de zeegolf. De faseverschuiving hangt samen met de looptijd van de getijgolf  $dt = \text{afstand}/\sqrt{gh}$  van cylinder naar stuurpunt. Voor de lange (getij)golven is de looptijd ongeveer konstant bij een waterstand, zodat de faseverschuiving in eerste beschouwing lineair toeneemt met de frekwentie. Bij nadere beschouwing blijkt dat de waterstand op zee en de overdrachtsfunctie mede bepaald worden door de geometrie van de zee en door de eigenschappen van de goot. Zoals in [6] geschetst is de invloed van de zee vooral merkbaar bij de lagere frekwenties ( $T < 50$  s), terwijl het getij in de goot zelf afhangt van 2 parameters  $L/L_r$  en  $(g/C^2) U_0 (T/R)$  en verwacht mag worden dat deze parameters ook een rol spelen bij de overdracht cylinder/mond goot.

In de bij het getijgootonderzoek gebruikelijke methode van overdrachtsbepaling wordt als regelwaterstand een sinus met een getijperiode  $T$  en een 19-tal hogere harmonische (met amplituden die een orde kleiner zijn) opgedrukt (een soort natuurgetij voor de goot). Op de gerealiseerde waterstand in het stuurpunt wordt ook een Fourieranalyse toegepast. Voor elke Fourierkomponent wordt vervolgens de amplitudeversterking en de faseverschuiving bepaald. De nieuwe regelwaterstand wordt daarna verkregen via korrektie van de oude regelwaterstand met de inverse van de overdracht.

Het nadeel van deze methode is

- dat slechts voor 20 frekwenties de overdracht bekend is. De eigen frekwenties van de goot komen door dit geringe oplossend vermogen van de methode niet voldoende te voorschijn
- er door de niet-lineaire wisselwerking in de hogere componenten een bijdrage van de hoofdkomponent merkbaar zal zijn, waardoor de overdracht bepaald uit de hogere componenten minder betrouwbaar is.

Een andere methode is aan de cylinder een ruisachtig signaal, waarin alle laagfrekwente bewegingen nagenoeg even sterk aangeslagen worden, aan te bieden. De overdracht kan dan met een signaalanalysator bepaald worden als een continue functie van de frekwentie.

Het doel van het onderzoek was meer informatie over de overdrachtsfunctie



cylinder/stuurwavo te verzamelen door beide methoden toe te passen.

Het onderzoek is uitgevoerd bij 2 waterdiepten ( $h = 21.5$  en  $30$  cm). Ten behoeve van de gebruikelijke methode is een sinus met 19 hogere harmonische opgedrukt voor de volgende varianten

	getijperiode T (s)	amplitude $a_1$ (cm)
1120	1.25	
560	1.25	
280	1.25	
560	2.5	

De andere randkondities waren: gootlengte =  $130$  m  
gladde bodem/wand.

De proefnummers van deze metingen in een goot zonder ruwheidselementen zijn vermeld in tabel 5, bij een waterdiepte van  $0.216$  m is een extra meting voor  $T = 420$  s uitgevoerd en voor  $0.30$  m een bij  $360$  s.

Het resultaat wordt getoond in de figuren 20 ( $h = 0.216$ ) en 21 ( $h = 0.3$  m) en in tabel 6. De signaalanalysator geeft bij de resonantiefrekwenties

- een dip in de faseverschuiving
- een diskontinuiteit in de amplitudeversterking.

Dit laatste betekent dat de overdracht rond de resonantiepunten van de staande golfbeweging in de goot erg gevoelig voor de waarde van de frekwentie is. In de figuren zijn ook de resultaten van de gebruikelijke methode uitgezet, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de overdracht voor de hoofdkomponenten en die voor de hogere componenten. Het resultaat van deze hogere componenten vertoont een grote onderlinge spreiding en wijkt veelal behoorlijk af van het resultaat van de signaalanalysator (zie ook tabel 6).

In proef P044 met  $T = 1120$  s geldt voor de derde komponent dat  $L/L_r = 1$ . De amplitude van de derde komponent is slechts 7% van die van  $A_1$  in de mond, aan het bovenstroomse eind zijn ze gelijkwaardig. Dit illustreert hoe sterk een opgedrukt "natuur"getij vervormd kan worden als een van de hogere componenten dicht bij een resonantiepunt ligt. (Wordt er een sinus opgedrukt in de mond dan is aan het bovenstroomse eind de vervorming  $< 10\%$ ).

Konklusies:

- de resultaten van de signaalanalyse geven voor 2 waterdiepten, bij een



- gootlengte van 130 m, een gladde goot en een beperkt getij ( $\alpha(0) = 1.25 - 2.5$  cm) de overdracht voor de hoofdkomponent. Rond de resonantiepunten van de goot is de overdracht bijzonder gevoelig voor de frekwentie. Uit de vergelijking van beide funkties is te zien dat de overdracht variëert met de waterdiepte. De vorm van de overdrachtsfunctie als functie van de frekwentie hangt af van  $L/L_r$  en waarschijnlijk ook van  $g/C^2 \frac{U_0}{R}$
- om de overdracht voor een soort "natuur"getij te bepalen is het nodig met de gebruikelijke methode voor elke komponent de overdracht te bepalen, alleen de hoofdkomponent volgt uit de analyse van de analysator
  - momenteel moet i.h.a. steeds voorafgaand aan een proef de bij de gekozen rand- en gootinstelling behorende overdrachtsfunctie bepaald worden (tenzij deze kondities reeds in voorgaand onderzoek ingesteld zijn).

## 2.6 Aanvullend onderzoek getijtankregeling

Het programma van eisen voor de getijgoot is opgesteld door de toekomstige gebruikers van deze faciliteit (vanuit het gewenste toekomstige gootonderzoek). Aan de bovenstroomse debietrand, die via een getijtankregeling gerealiseerd wordt, zijn als eisen gesteld:

variabele getijperiode	30 - 1800 s
bereik getijdebieten	(-300) - (300) l/s
nauwkeurigheid	1% van gemeten waarde ( $>+ 0.5$ l/s)
getijgemiddeld debiet	$< 0.1$ l/s.

Het principe van de gekozen getijtankregeling is in het volgende geschetst (zie figuur 22). Een pomp zuigt nagenoeg een konstant debiet uit de goot naar de tank. Door vrij verval stroomt het water uit de tank door de regelklep in de goot. Bij een dichte klep wordt er dus netto het maximale debiet uit de goot gezogen en bij een volledig open regelklep stroomt het maximale debiet de goot in. Men kan het gewenste getijdebet realiseren door op de waterstand of de druk in de tank (waterstandsregeling) of door direkt op het gerealiseerde debiet (debietregeling) terug te koppelen.

In het geval van de waterstandsregeling (in het vervolg aangeduid met WR) wordt de regelklep gestuurd op basis van de gerealiseerde en gewenste waterstand in de tank, terwijl in het geval van de debietregeling (DR in het vervolg) gestuurd wordt op basis van de gerealiseerde en gewenste debieten. Het



voordeel voor de WR is dat de getijgemiddelde waterstand in de tank niet verloopt, zodat het getijgemiddelde debiet ook erg klein is. Dit geldt niet voor de DR: t.g.v. een zekere nulpuntsdrift in de debietmeter treedt er een veel te groot getijgemiddeld debiet op, waarvoor moeilijk te corrigeren is omdat de nulpuntsdrift niet reproduceerbaar is. Het nadeel van de WR is dat op een afgeleide grootheid (waterstand i.p.v. debiet) geregeld wordt; dit betekent dat kleine verschillen of variaties in waterstand grote variaties in debiet  $Q = A \cdot (dh/dt)$  geven ( $A$  = oppervlak van dwarsdoorsnede).

In het verslag "Inregelen getijgoot" [6] is de ervaring opgedaan tijdens het inregelen van de getijtank beschreven. Het resultaat van dit onderzoek was een voorlopige keuze voor de WR, voornamelijk op grond van de harde eis dat de getijgemiddelde debieten naar nul moeten naderen. Aangegeven wordt daarin wel dat een (nog niet ingeregelde) gekombineerde debiet/waterstandsregeling waarschijnlijk een betere realisatie van het gewenste getijdebiet als ook van een minimaal getijgemiddeld debiet zal opleveren. In de getijproef uit het slibonderzoek (R049/P089, waar met getijdebieten groter dan 100 l/s werd gestroomd) waren de momentane afwijkingen tussen het gewenste en het gerealiseerde debietverloop bij toepassing van de waterstandsregeling aanzienlijk (zie fig. 23a). Dit was ook de hoofdoorzaak van de grillige waterstandskurve in de goot (zie fig. 23b). Deze resultaten maakten duidelijk dat zeker voor sterk van de referentie-gootinstelling afwijkende omstandigheden (zoals in de slibproef) een betere getijtankregeling noodzakelijk was.

Doel van het begin'87 uitgevoerde onderzoek was een nieuwe, gekombineerde debiet/waterstandsregeling te ontwerpen en in te regelen. In deze nieuwe regeling wordt de regelklep geregeld door:

- een direkte terugkoppeling met het gemeten debiet om de momentane afwijkingen te minimaliseren
- een trage terugkoppeling met de gemeten waterstand in de tank om de getijgemiddelde debieten klein te houden.

In appendix D is de nieuwe regeling, ontworpen door P.C. Koree, in detail beschreven.

Met deze nieuwe regeling is de gewenste debietrand van de slibproef zo goed mogelijk gerealiseerd. Ter voorkoming van luchtbellensproblemen bleek het nodig de regeling te optimaliseren (instelling van middenstandsnivo en van de handafsluiters).



Het resultaat van deze instelling wordt getoond in figuur 24 (de overdracht klep/debietmeter is nog niet toegepast, zodat er nog een faseverschuiving in zit. De momentane afwijkingen bij toepassing van deze overdrachtsfunctie (zg. autoprocedure) zijn orde 1 l/s. De getijgemiddelde debieten blijken  $\ll$  0.1 l/s te zijn.

In de appendix is aangegeven dat een optimalisatie van de bovenstroomse randvoorziening een minder gebruiksvriendelijk systeem oplevert dan de WR: per gewenste instelling moeten meer parameters veranderd worden.



### 3 Zout/zoetkarakteristieken van de goot

#### 3.1 Opzet van het onderzoek

Bij de samenstelling van het proevenprogramma van het oriënterend onderzoek naar de zout/zoetkarakteristieken van de goot is uitgegaan van een referentieproef met kondities die zo veel mogelijk passen bij de referentieproef uit de oude goot. Op deze manier is er een referentiekader aanwezig om de resultaten te beoordelen; dit laatste zal echter maar tot op zekere hoogte mogelijk zijn omdat de nieuwe referentieproef toch op een aantal punten afwijkt van de oude referentie:

- toegepaste ruwheidsmiddel: in de oude goot is een systematisch onderzoek uitgevoerd waarbij staafjes over de hele vertikaal weerstand opleverden. Daarnaast is een beperkt aantal proeven uitgevoerd met bodemplaatjes (2 bij 2 cm en 4 bij 4 cm) en met wandstrips. In de nieuwe goot zijn zoals omschreven in par. 2.3 betonblokjes gebruikt
- de totale ruwheid in de goot met betonblokjes is kleiner dan in de oude goot referentie nl.  $C = 25 - 27 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  tegen  $19 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ .

Voor de oriëntatie is een beperkt proevenprogramma opgesteld. Bovendien was het meetprogramma per uitgevoerde proef veel beperkter en werd er per proef maximaal 30 getijden gemeten

- het vertikaal getij is wel uitgebreid gemeten: om de 12 m goot mat een waterstandsvolger (WAVO) kontinu; per proef werden in het algemeen 20 getijcycli opgeslagen ter controle van de stabiliteit van de ingestelde getijbeweging
- zoutvertikalen zijn in de meetstations 0 en 12 m kontinu gemeten met een tweetal geleidbaarheidsmeters, die gelijktijdig in maximaal 12 equidistante posities in de vertikaal (VEZO's) de geleidbaarheid maten; samen met de op 2 plaatsen in de vertikaal gemeten temperatuur worden deze meetgegevens opgeslagen en omgezet in dichtheidsverschillen. Met deze continue bemonstering kan het inspeelgedrag van de zoutverdeling beoordeeld worden. Daarnaast maten 3 geleidbaarheidsmeters (VAZO's) op 3 plaatsen verder stroomopwaarts (48, 60 en 72 m) en alleen bij de bodem kontinu de geleidbaarheid, die via het verwerkingssysteem met toegevoegde temperatuursinformatie in dichtheden omgezet werd. In de ingespeelde toestand (er is steeds een cyclisch getij met periode T ingesteld) is achtereenvolgens in diverse stations (24 m, 36 m



enz., afhankelijk van de zoutindringing, met de meetwagen in de vertikaal de geleidendheid met VAZO's en de temperatuur gemeten

- snelheidsvertikalen zijn met WSM's gemeten vanaf de meetwagen in dezelfde posities als de VAZO's
- visueel werd de top van de zouttong waargenomen en de plaats op de stroomkenteringen vastgelegd.

Uitgaande van de referentieproef (in tabel 1, hoofdstuk 1 zijn de randkondities en gootparameters gegeven) zijn enkele andere proeven gedefinieerd door een of meer van de randkondities of gootparameters een andere waarde te geven. In tabel 7 is een overzicht van de uitgevoerde proeven gegeven, waarbij 3 soorten onderscheiden kunnen worden:

- inregelproeven, die bedoeld zijn om de overdrachtsfuncties te bepalen van
  - . zeecylinder -- > WAVO-mond (t.b.v. opdrukken van een gewenst vertikaal getij in de mond)
  - . getijtankregelklep -- > debiet in goot (t.b.v. opdrukken van het gewenste debiet aan de bovenrand)

Het uitvoeren van inregelproeven hoort bij de voorbereiding van een meetproef: met het resultaat van deze proeven is het mogelijk om de gewenste randkondities nauwkeurig in te stellen. De bij deze voorbereiding horende INITAK berekening, die de gewenste debietrand levert, geeft bovendien een simulatie van de in de goot optredende getijbeweging. In tabel 7 zijn deze proeven niet afzonderlijk vermeld

- skimmerproeven om te onderzoeken in hoeverre via het afzuigen van oppervlaktewater door de skimmerbak de dichtheidsvertikaal in de mond van de goot beïnvloed kan worden (proeven  $I_2$  t/m  $I_6$ )
- gevoeligheidsonderzoek, vooral bedoeld om de gevoeligheid van de zoutverdeling (en in mindere mate van de getijbeweging) voor de getijslag, de verhouding  $L/L_r$ , de waterdiepte en de rivierafvoer af te tasten (proeven  $I_0$ ,  $I_1$ ,  $I_4$  en  $I_7$  t/m  $I_{11}$ ).

In tabel 7 is een overzicht van de uitgevoerde inhomogene proeven gegeven, waarbij  $I_0$  de referentieproef is.

In paragraaf 3.2 zal de invloed van de zoutverdeling op de getijbeweging aan de orde komen. In paragraaf 3.3 wordt de invloed van de skimmerbak op de zout/zoetverdeling beschreven, terwijl in paragraaf 3.4 de gevoeligheid van de



zout/zoetverdeling voor gootparameters en randkondities globaal geschetst wordt. In paragraaf 3.5 wordt het aanvullende onderzoek naar de invloed van temperatuureffekten gerapporteerd.

### 3.2 De inhomogene getijbeweging

In de figuren 25 t/m 32 is de in de getijgoot in de verschillende proeven gerealiseerde, vertikale getijbeweging weergegeven via het verloop met de longitudinale positie van

- middenstand
- amplitude        } van de hoofdkomponent
- faseverschil
- vervorming.

In deze proeven is steeds een sinusvormig getij opgedrukt en zijn zowel zeegetij als bovenstrooms horizontaal getij ingeregeld. Dit betekent dat de bijbehorende INITAK berekening (homogeen en met konstante ruwheidswaarde  $C = 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ ) goed bruikbaar is bij de interpretatie van het resultaat.

In de proeven met  $L/L_r < 1$  blijkt dat steeds de gemeten amplitudeversterking  $a_1(x)/a_1(0)$  veel groter en het faseverschil  $\Delta\psi(x)$  veel kleiner is dan de homogene INITAK-simulaties geven. Dit verschil kan verkleind worden door een inhomogene INITAK-simulatie uit te voeren. Daartoe moeten echter extra parameters, die de zoutverdeling karakteriseren, opgegeven worden:

- het maximale dichtheidsverschil  $\Delta\rho$ , dat als randkonditie voor elke proef bekend is
- de waarde van de longitudinale dispersiecoëfficiënt  $E$
- een maat voor de verandering van het minimale dichtheidsverschil in de mond op laagwaterkentering naar het maximale verschil  $\Delta\rho$  (via duur van de overgangsperiode of via een gradiënt  $dp/dt$ ).

In tabel 8 wordt het resultaat getoond van een aantal INITAK berekeningen bij de omstandigheden van proef  $I_0$ . In al deze berekeningen is ter plaatse van  $x = 130 \text{ m}$  de in de proef gerealiseerde debietrand opgedrukt (volgend uit een homogene INITAK berekening). Toevoegen van de dichtheidsterm in de bewegingsvergelijking (B62 t.o.v. B60, tabel 8) geeft een vergroting van middenstandsverval en van de amplitudeversterking en een geringe verkleining van het faseverschil, zoals in figuur 26 getoond wordt. In vergelijking met de meting is de



bereikte verbetering nog onvoldoende.

Vergroting van de zoutindringing via een vergroting van de dispersiecoëfficiënt met faktor 5 (B63 t.o.v. B62) levert slechts een geringe verbetering (zie tabel 8). Wel een duidelijke verbetering geeft een vergroting van de Chézywaarde. In tabel 8 wordt dit getoond, zie B61. Daarnaast is een inhomogene berekening uitgevoerd, waarin op de eerste 50m  $C = 30\text{m}^{1/2}/\text{s}$  en in de rest van de goot  $C = 25\text{m}^{1/2}/\text{s}$  genomen is (B64). Deze variatie in C-waarde wordt ingegeven doordat in een gelaagde getijgootproef de verticale impulsuitwisseling sterk verkleind wordt door de aanwezige gelaagdheid. Dit betekent ééndimensionaal dat de weerstand van de stroming kleiner wordt: de amplitudeversterking neemt toe en het faseverschil wordt kleiner. Dit effect wordt ook wel beschreven als het afdekken van de bodemruwheidselementen door de onderlaag, waardoor de bovenlaag minder weerstand ondervindt. In INITAK is dit te simuleren door in het zoutindringingsgebied de Chézywaarde te vergroten. Het resultaat wordt getoond in tabel 8 en in figuur 25. Het faseverschil is op de eerste 25 m te klein in vergelijking met de meting doch over de hele goot gezien wordt het goed gesimuleerd. De amplitudeversterking blijkt echter 5 à 6% te klein.

Dezelfde verschillen tussen meting en homogene berekening worden gevonden bij proef  $I_1$  met gootlengte van 130 m, zie figuur 26. In de figuur 27 blijkt dat dezelfde tendens aanwezig is in de zg. skimmerproeven. In de proef met  $Q_{sk} = 0$  ( $I_2$ ) is het verschil in amplitudeversterking nog orde 7%, met de toename van  $Q_{sk}$  neemt de zoutindringing toe en wordt het verschil in de amplitudeversterking orde 15%, terwijl het faseverschil weinig verandert. Het verschil in getijbeweging tussen beide proeven is geheel toe te schrijven aan het verschil in zoutindringing.

In de proeven  $I_7$ ,  $I_8$  en  $I_{11}$  (figuren 28, 29 en 32) is de tendens hetzelfde, verdere interpretatie vraagt echter om extra INITAK berekeningen met  $\Delta p \neq 0$  en  $C = 30$  in het zoutindringingsgebied!

In proef  $I_{10}$  is de tendens verschillend (zie figuur 31):

de berekende amplitudeversterking is te klein doch het berekende faseverschil is ook te klein.

Dit laatste is echter wel te verklaren met het afdekeffect dat een grotere C-waarde geeft. Voor een proef als  $I_{10}$  met  $L/L_r = 1$  betekent het dat de fase-sprong in de knoop van het verticale getij over een kortere afstand  $x$  plaats vindt als  $C$  groter wordt, zodat het totale faseverschil groter is met toenemende C-waarde (zie figuur 1).



In figuur 30 is de invloed van de rivierafvoer op het getij weergegeven via enkele INITAK simulaties: de fase wordt slechts gering beïnvloed, de middenstand sterk en ook de versterkingsfaktor varieert duidelijk met  $Q_{riv}$ .

### Konklusie

De simulatie van de getijbeweging van een gelaagde zout-zoetproef met een homogene INITAK-berekening met een in homogene omstandigheden bepaalde Chézy-waarde is duidelijk onvoldoende. De amplitudeversterking is te klein en het faseverschil i.h.a. te groot (behalve voor proeven met  $L/L_r = 1$ ).

De simulatie van het getij kan verbeterd worden door de dichtheidsterm in de bewegingsvergelijking op te nemen en een inhomogene getij/zoutberekening uit te voeren. De parameter  $\Delta p$  is de belangrijkste bij de beschrijving van dit effect. Daarnaast blijkt het nodig om de Chézywaarde in het zoutindringingsgebied te vergroten (afdekeffect).

Om een inhomogene getijproef in de goot uit te voeren is het i.h.a. nodig een bijbehorende INITAK berekening uit te voeren, om aan de bovenstroomse rand van de goot een gewenst debiet te definiëren. Een homogene berekening wordt bepaald door de parameters  $h$ ,  $L$ ,  $a_1(0)$ ,  $T$ ,  $C$  en  $Q_{riv}$ , die vooraf goed bekend zijn. Voor het uitvoeren van een inhomogene berekening moeten bovendien nog  $\Delta p$ , de dispersiecoëfficiënt  $E$  en de vergroting  $\Delta C$  van de Chézywaarde als functie van zoutindringing en gelaagdheid bekend zijn. Vooral deze laatste relatie is van belang en nog onvoldoende bekend.

Zolang de relatie, volgens welke de extra parameters voor een inhomogene berekening bepaald moeten worden, onvoldoende bekend is blijft het homogene INITAK-programma de bovenstroomse randvoorwaarde leveren voor uit te voeren getijgootproeven. Dit betekent echter wel dat de werkelijk in de goot optredende getijbeweging afwijkt van de INITAK-simulatie, waarmee afhankelijk van het doel van het onderzoek al dan niet tegenvalt.

### 3.3 Skimmeronderzoek

In de zee van de oude goot was dichtbij de overstort/regelrand een duikschot aanwezig dat een aanwezige brakke tot zoete bovenlaag tegenhield. In de overal even diepe zeebak zelf waren op de bodem sproeibuizen aanwezig, die zout water van de gewenste dichtheid in zee spoten. Via drijvende afzuigers (skimmers) werd water uit de zoete bovenlaag in zee onttrokken.



De nieuwe gootfaciliteit heeft een vanaf de mond van de goot tot aan de skimmerbak toenemende diepte (zie figuur 19). Pas voorbij de skimmerbak begint het diepe deel waarin ook de sproeibuizen aangebracht zijn. Dit betekent dat de menging t.g.v. de waterstralen uit deze buizen alleen aan de cylinderzijde van de skimmerbak plaats vindt en het tweelagensysteem aan de gootzijde van de bak niet verstoort. De werking van de skimmerbak, te weten het tegenhouden en wegzuigen van de zoete bovenlaag, kan aldus optimaal zijn.

In de nieuwe gootfaciliteit, bestaande uit goot, zeebassin, zee- en getijtank en zeereservoir moet over een langere tijd de waterbalans (en voor ingespeelde zoutproef ook de zoutbalans) kloppen: het toegevoerde water afkomstig van de zoete bovenafvoer en van de pekelinjectie moet ook weer afgevoerd worden. Bij het onderzoek in de oude goot werd via de skimmers  $2 \cdot Q_{riv}$  brak water afgezogen, waarvan ongeveer de helft naar het zeereservoir gevoerd werd en de andere helft als afvalwater afgevoerd werd. In de nieuwe goot wordt eenzelfde procedure gevolgd. Dit betekent verlies aan water ( $Q_{riv}$ ) en zout.

Belangrijk is de vraag in hoeverre de dichtheidsvertikaal in de mond van de goot via de skimmerwerking te beïnvloeden is. Daarom is het onderzoek uitgevoerd bij gelaagde getijomstandigheden, waarbij de skimmer zo effectief mogelijk selektief water uit de bovenlaag kan onttrekken. In plaats van de referentie-omstandigheden is er een rivierafvoer van 10 l/s gebruikt en is de skimmerafvoer gevarieerd van 0 tot de maximale 60 l/s.

De invloed van de variatie van de skimmerafvoer is onderzocht via het meten van:

- de dichtheidsvertikaal in de mond (VEZO+TEMP.)
- de dichtheidsvertikaal op zee op 0.5 m voor de skimmer
- visueel vastleggen van de minimale en maximale zoutindringingslengte
- zoutgehalte van de skimmerafvoer (VAZO)
- snelheid op 3 plaatsen in de goot op 6 m van de mond.

In de proeven I2 t/m I6 is alleen het skimmerdebiet gevarieerd. In I2 met  $Q_{sk} = 0$  vormt zich op zee voor de skimmerbak een bovenlaag, waaruit onder de skimmer door zoet water onttrokken wordt en via de overstortrand van de regeltank naar het zeereservoir verdwijnt. In dit geval wordt om de waterbalans te handhaven nagenoeg zout water uit het zeereservoir gepompt en aan het gootsysteem onttrokken: de effectiviteit van de skimmer (= percentage P zoet water in het afvalwater  $Q_{riv}$ ) is hier uiteraard nagenoeg nul. In onderstaande tabel is voor de verschillende proeven dit percentage gegeven:



proef	c(VAZO)/cmax	Qsk 1/s	Qsk(zoet) 1/s	P %
I2	-	0	0	~0
I3	0.23	10	7.7	77
I4	0.505	20	9.9	49.5
I5	0.75	40	10	25
I6	0.83	60	10	16.7

Uit bovenstaande volgt dat het minste zout verloren gaat (en  $Q_{\text{pek}}$  minimaal is) als  $Q_{\text{sk}} = Q_{\text{riv}}$ .

De skimmerbak beïnvloedt de zoutverdeling op de zee aan de gootzijde van de bak op 2 manieren. In de eerste plaats werkt de drijvende bak als een duikschot, dat in een gelaagd systeem de bovenlaag vasthoudt. In proef I2 ( $Q_{\text{sk}} = 0$ ) is alleen deze werking van de skimmer in bedrijf. Getijgemiddeld wordt er onder de skimmerbak door de rivierafvoer afgevoerd naar het zeereservoir via de cylinder overstort. In figuur 33 blijkt dat er aldus op het eind van de ebperiode geen zout meer in de goot aanwezig is, terwijl rond de hoogwaterkentering er een onderlaag van ongeveer 10 cm aanwezig is.

In de tweede plaats wordt er via de skimmerbak selektief water uit de bovenlaag afgezogen, de grootte van het afzuigdebiet bepaalt de omvang van de bovenlaag. Als het afzuigdebiet  $> Q_{\text{riv}}$  is wordt er getijgemiddeld geen water meer onder de bak door afgevoerd naar cylinderzeerand doch juist aangevoerd naar de goot toe. In figuur 34 wordt voor de mond en voor een positie op -7,4 m van de goot (voor de skimmer) de getijgemiddelde dichtheidsvertikalen vergeleken voor de 5 instellingen van het skimmerdebiet. Met de toename van het skimmerdebiet neemt de hoogte van het grensvlak tussen zoete bovenlaag en zoute onderlaag toe. In de mond is deze toename ongeveer 12 cm als het skimmerdebiet van 0 naar 60 l/s gaat. Ruim de helft wordt reeds bij 10 l/s bereikt, als het debiet 20 l/s wordt is de verhoging al 85 à 90%. Dit betekent dat de hoge skimmerdebieten in deze proef met  $Q_r = 10$  l/s niet erg effectief ( $> 20$  l/s) meer zijn.

Uit de in de figuren 33 gepresenteerde dichtheids tijdcurven blijkt dat

- deze kurve voor een punt in de grenslaag vrij grillig kan verlopen, waarbij interne golven van 30-60 s onderscheiden kunnen worden. Om de  $1/100 T \approx 5,6$  s wordt een gemiddelde waarde opgeslagen. Uit de resultaten blijkt dat om een gladdere kurve te krijgen een verdergaande filtering nodig is (zoals ook



in oude getijgoot en de Rijnmond gegevensverwerking plaats vond)

- er een schijnbaar instabiele gelaagdheid optreedt volgens figuur 33b waar  $[\rho(11) - \rho(8)] > 1 \text{ kg/m}^3$ . De oorzaak hiervan is dat voor de onderste 5 meetelementen van de VEZO m.b.v. een temperatuursmeting bij de bodem de dichtheid bepaald wordt en voor de bovenste 4 met de temperatuur aan het oppervlak de dichtheid bepaald wordt. Dit betekent vanwege het temperatuursverschil tussen zout zeewater en zoet (kouder) water dat voor het punt  $z = 0.08$  de lokale temperatuur lager was en voor  $z = 0.11$  juist hoger dan de toegeleverde temperatuur. Zoals in paragraaf 3.5 nader uitgewerkt kan dit  $\Delta\rho > 1 \text{ kg/m}^3$  veroorzaken.

In figuur 35 is voor de 5 instellingen van het skimmerdebiet de top van de zouttong gegeven op tijdstippen van LWK en HWK. De maximale zoutindringing neemt met toename van het skimmerdebiet toe van 20 naar 42,5 m, 30% hiervan is bij 10 l/s bereikt, 65% bij 20 l/s en ruim 90% bij 40 l/s. Voor de minimale zoutindringing gelden ongeveer dezelfde percentages van 30% van de toename bij 10 l/s, 65% bij 20 l/s en 90% bij 40 l/s.

Het bovenstaande betekent dat de skimmerafvoer een extra parameter is die de zoutindringing bepaalt.  $Q_{sk}/Q_{riv}$  lijkt een goede dimensieloze parameter om zouttrand en zoutindringing te karakteriseren.

### 3.4 Zout-zoet gevoeligheidsonderzoek

Bij de opzet van dit proevenprogramma ter bestudering van de zoutverdeling in de nieuwe goot is zoveel mogelijk aangesloten bij het systematisch onderzoek naar de invloed van randkondities en gootparameters zoals dit in de oude getijgoot uitgevoerd is [3]. Uitgaande van een overeenkomstige referentieproef ( $I_0$ ) zijn andere proeven gedefinieerd door een of meer parameters een andere waarde te geven (zie tabel 8). In deze paragraaf worden de resultaten van de proeven  $I_0$ ,  $I_1$  en  $I_8$  t/m  $I_{11}$  besproken ( $I_2$  t/m  $I_6$  zijn in paragraaf 3.3 reeds aan de orde geweest). Van alle meetgegevens is in dit verslag een selectie weergegeven in de figuren 35 t/m 41: voor één getij en voor één x-positie ( $x = 12,5 \text{ m}$ ) zijn de tijdscurven van de dichtheid op diverse afstanden t.o.v. de bodem gegeven. De positie  $x = 12,5 \text{ m}$  is gekozen omdat dit een zg. VEZO meting betreft waarbij alle meetpunten gelijktijdig bemonsterd zijn; de andere VEZO meting in de mond ( $x = 0$ ) laat nog te veel invloed van de mondinstroming zien. In appendix C is de in de figuren gebruikte sleutel bij de meetplaatsaanduiding toegelicht.



In figuur 36 valt op dat er iets van het kop-hals-romp karakter van een dichtheidsstroming (vanaf de top van de zouttong neemt de dikte van de zoute onderlaag monotoon toe, doch op enige afstand van de top tussen kop en romp, neemt de dikte lokaal af (hals)) zichtbaar is op enkele nivo's: aan het begin van de vloedperiode treedt er een relatief maximum op enkele nivo's ( $z = 0.12$  en  $0.15$  m) op voorafgaand aan de grote stijging van de "romp" van het zoute zeewater. Ook in de ebfase is er weer een relatief maximum te zien. Hetzelfde verschijnsel is, minder sterk weliswaar, ook in proef I, te zien (fig. 37). In de proef I<sub>7</sub> met een groot getij is te zien dat de verticale dichtheidsverschillen in deze proef klein zijn voor het binnenstromende water, in de ebfase is er sprake van gelaagdheid nabij het oppervlak.

Ook in de andere proeven is in min of meerdere mate het kop-hals-romp karakter uit de tijdskurven te zien.

De visueel waargenomen zoutindringingslengten van deze proeven zijn gebruikt om tesamen met dezelfde grootheden uit de oude goot [3] het karakter van de zoutindringing te schetsen. In figuur 43 worden de maximale zoutindringingslengten als functie van een viertal parameters getoond

- voor staafjesruwheid (oude goot)
- voor bodemplaatjes (oude goot)
- voor betonelementen (nieuwe goot).

De tendens hierbij is dat de nieuwe gegevens liggen tussen die van staafjes en plaatjes. In figuur 44 zijn zowel de minimale als de maximale zoutindringingslengten getoond tesamen met die van de staafjesruwheid. In figuur 45 zijn de minimale zoutindringingslengten tegen dezelfde dimensieloze grootheid uitgezet als in het systematische onderzoek [4] gebeurd is. De konklusie uit deze oriëntatie is dat om de zoutindringingslengte te berekenen van een gootproef met betonelementen ( $C \approx 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ ) waarvoor geldt  $L/LR \approx 1$  ( $0.75 - 1.25$ ) eenzelfde, iets verschoven korrelatie als getoond in figuur 45 is te gebruiken zolang  $F_0 F_r > 0.05$ . Voor kleine waarden van  $F_0 F_r$  was de zoutindringing dermate groot dat er een lange inspeeltijd nodig was voor de zoutindringing en bovendien de negatieve bodemhelling (zie appendix B) mee een rol is gaan spelen.



### 3.5 Onderzoek temperatuurseffekten

Bij het gebruik van de goot voor het instellen van een getijstroming kunnen er in de goot ongewenst grote temperatuursverschillen optreden. In een homogene getijstroming kan dit leiden tot een variatie met de plaats van fysische eigenschappen als dichtheid en viscositeit, mogelijk zelfs tot ongewenste gelaagdheidseffekten en dichtheidsstromen. In een zout/zoet stroming betekent het optreden van grote temperatuursverschillen bovendien dat alleen de geleidendheid meten niet voldoende is voor een nauwkeurige bepaling van de dichtheid doch dat ook de temperatuur op de meetlokatie bekend moet zijn. Daarom is het van belang om het optreden van temperatuurseffekten nader te onderzoeken. In paragraaf 3.5.1 is de drift in de temperatuur nader geïnventariseerd, terwijl in paragraaf 3.5.2 onderzoek naar de relatie temperatuurs-/geleidendheidsverdeling beschreven is.

#### 3.5.1 Onderzoek temperatuurdraft

Bij het onderzoek naar de temperatuursverdeling en drift is het van belang om het water in het gootsysteem te onderscheiden in 4 soorten:

- . het zoute water in zee, zeereservoir en zeetanks, dat via het grote circulatiedebiet (300 à 600 l/s) en via de zeetankdebieten (-450 tot 450 l/s) goed opgemengd wordt
- . het water uit de getijtank. Bij gebruik van de tank wordt er kontinu water naar de tank gepompt (50 l/s bij kleine regeling en 300 l/s bij grote regeling) en via een regelklep wordt een deel daarvan weer terug naar de goot gebracht
- . het water van de bovenafvoer komt uit een groot zoet water reservoir, dat in het algemeen kouder is dan het water uit de zee, goot of getijtank
- . het water in de goot, dat uitwisselt met de getijtank en met de zee en "ververst" wordt via de bovenafvoer.

Voor het zeewater en het getijtankwater geldt dat dit water opgewarmd wordt doordat een deel van de energie van de in bedrijf zijnde pompen omgezet wordt in warmte. Voor elke soort water geldt dat er een warmte-uitwisseling met de omgeving plaats vindt via het vrije wateroppervlak en via de wanden. In het algemeen zal tijdens een onderzoeksperiode het water in de goot, zee en getijtank warmer zijn dan de omgevingstemperatuur (t.g.v. opwarming door pompen)



zodat de opwarming van de pompen enigszins gekompenseerd wordt door de afkoeling met de omgeving. Bij warm zomerweer zal het zo zijn dat beide effecten opwarming van het water geven.

Het water van de bovenafvoer wordt voortdurend ververscht door water uit het grote zoet water reservoir onder de vloer dat slechts langzaam verïëert in temperatuur ( $\Delta T < 0.1^{\circ}\text{C}$  per dag).

De drift in de temperatuur van het zeewater ligt bij gebruik van 1 zeepomp en 1 zeetankpomp in de orde van  $0.1^{\circ}\text{C}$  temperatuursstijging per uur (bij afwezigheid van extreme weersomstandigheden zoals strenge vorst of hittegolf). De temperatuursdrift in de getijtank is via enkele bijzondere proeven bepaald. In eerste instantie is een debiet van 300 l/s rondgepompt in een gesloten circuit (zonder onttrekking uit of lozing naar de goot) met inschakeling van de tankroerder (15 kW). De grootste temperatuursstijging in de tank vond plaats aan het begin van de meting (temperatuursverschil water/lucht klein):  $2^{\circ}\text{C}$  per uur. Gemiddeld over een periode van 15 uur was dat  $1.6^{\circ}\text{C}$  per uur. Dit betekent dat 60 à 50% van het elektrisch vermogen van de pomp en roerder in verwarming van het water omgezet is. De roerder alleen geeft slechts een drift van  $0.2^{\circ}\text{C}$  per uur.

Bij uitwisseling van getijtankwater met gootwater (zonder roerder) daalt deze drift tot  $1.35^{\circ}\text{C}$  (beginfase) per uur.

Deze drift is voor het bedrijven van zout/zoet en slibonderzoek, waarbij grote tankdebieten ( $> 50$  l/s) nodig zijn, veel te groot. Een bijkomend aspect is dat een eenmaal opgewarmde getijtank zijn warmte zeer langzaam afstaat aan de omgeving: bij  $10^{\circ}\text{C}$  temperatuursverschil water/lucht is dit  $0.1$  à  $0.15^{\circ}\text{C}$  per uur. In de goot zelf wordt de temperatuur drift bepaald door de drift in de temperatuur aan de randen (zee, getijtank) en door de uitwisseling met de omgeving. Bij een waterstand van 21,6 cm en een temperatuursverschil tussen water en lucht van  $2^{\circ}\text{C}$  is orde 5 uur nodig om dit temperatuursverschil tot de helft terug te brengen.

### 3.5.2 Onderzoek naar de relatie temperatuursverdeling/zoutverdeling

Om uit gemeten geleidendheden dichtheden en/of zoutconcentraties te kunnen bepalen moet de temperatuur bekend zijn. Het oorspronkelijke meetsysteem in de goot berust op veronderstelling dat via het beperkt meten van de temperatuur op vaste lokaties voor de gehele goot de temperatuursverdeling afgeleid kan worden uit de geleidendheidsverdeling:



$$\frac{\Delta T_e}{\Delta T_{e,max}} (x, z, t) = \frac{\Delta \kappa}{\Delta \kappa_{max}} (x, z, t)$$

$\Delta T_e$  : temperatuursverschil t.o.v. koud, zoet water

$\Delta \kappa$  : geleidendheidsverschil t.o.v. koud, zoet water.

Tijdens het oriënterend onderzoek in de goot bleek dat op een lokatie het temperatuursverloop in de tijd veelal afweek van het dichtheidsverloop in de tijd (en ook van het geleidendheidsverloop). Vooral ter plaatse van het grensvlak waren de relatieve horizontale en verticale zoutgradiënten groter dan de overeenkomstige relatieve temperatuursgradiënten.

Het belang van het lokaal goed meten van de temperatuur bij een gemeten geleidendheid  $\kappa$  wordt duidelijk uit figuur 46. Wordt b.v. een geleidendheid van 35 mS gemeten dan is de dichtheid bij 0°C 1035.0 en bij 5°C is dat 1029.25, kg/m<sup>3</sup> d.w.z. per graad Celsius scheelt het ruim 1 kg/m<sup>3</sup>.

Voor een getijstrooming waarin behalve een dichtheidsverschil van  $\Delta \rho = 22,5$  kg/m<sup>3</sup> ook een initieel temperatuurverschil van  $\Delta T_e = 4.5^\circ\text{C}$  kunstmatig ingesteld is (door zeewater te verwarmen) is het verband tussen geleidendheids- en temperatuurverdeling in de goot nader onderzocht. Als voorbeeld ter illustratie van het resultaat geeft figuur 47 op een zestal nivo's in station 48 m de temperatuur- en geleidenheidsverdeling. Daaruit blijkt dat

. op elk nivo de overgang zout/zoet steiler is dan de temperatuursovergang

$$\frac{\partial \kappa / \kappa_{max}}{\partial t} > \frac{\partial \Delta T / \Delta T_{e,max}}{\partial t}$$

. op HWK ( $t/T = 1,3$ ) de relatieve maxima -  $\Delta T_e / \Delta T_{e,max}$  lager zijn dan  $\kappa / \kappa_{max}$

Het verband tussen  $\kappa$  en  $T$  is uitgezet in figuur 48. De getrokken rechte verbindt de gemeten waarde op zee en aan het bovenstroomse eind van de goot,

$\Delta T_e / \Delta T_{e,max} \sim \kappa / \kappa_{max}$  Daarnaast is ook de lijn die  $\frac{\Delta T_e}{\Delta T_{e,max}} \sim \frac{S}{S_{max}}$  weergegeven.

De meetpunten wijken duidelijk af van deze kurven. In de bovenlaag waar de  $\kappa$ -waarden laag zijn is de tendens aanwezig dat t.o.v. de theoretische kurven de temperatuur te hoog is. In de onderlaag daarentegen is de temperatuur veel te laag in vergelijking met de theoretische kurven: uitgaande van zeewater met maximale  $\kappa$  en  $T$  waarde neemt met toenemende afstand tot de mond van de goot de  $\Delta T$  sneller af tot de evenwichtstemperatuur (luchttemperatuur) van  $15.5^\circ\text{C}$



dan de geleidendheid afneemt. Daarnaast is er een aantal punten waarvan een benadering  $\Delta T / \Delta T_{\max} \sim \kappa / \kappa_{\max}$  beter past, deze meetpunten horen bij de overgangslaag tussen zoute onderlaag en zoete bovenlaag.

De oorzaken van de afwijkende vorm van deze K, T relatie moet gezocht worden in de invloed van de afkoeling van het warme zoute water via de goot wanden en via de moleculaire diffusie van warmte die faktor 100 groter is dan de zoutdiffusie.

Uit figuur 48 blijkt dat als de experimentele kurve aangehouden zou worden om via de geleidendheidsmeting een bijbehorende temperatuur te bepalen en vervolgens de dichtheid, er momentaan en lokaal afwijkingen tot 1°C optreden. In een proef waarbij het temperatuursverschil niet kunstmatig vergroot is, is dit verschil kleiner doch wel van orde 0.5°C. Dit kan leiden afhankelijk van de grootte van temperatuur en geleidendheid tot afwijkingen van 0.5 kg/m<sup>3</sup>. Dit verschil is te groot zodat de konklusie is dat er lokaal zowel temperatuur als geleidendheid gemeten moet worden.



#### 4 Samenvatting, konklusies en aanbevelingen

##### 4.1 Samenvatting

De nieuwe getijgootfaciliteit is zodanig ontworpen dat de randkondities aan zeezijde (vertikaal getij, dichtheidsverschil, skimmerafvoer) en rivierzijde (getijdebiet, rivierafvoer) en de gootparameters (waterdiepte, ruwheid) afzonderlijk over een ruim bereik ingesteld kunnen worden. In principe lijkt het op grond hiervan mogelijk om een grote variatie van in de goot te realiseren getijbewegingen en zoutverdelingen te verkrijgen. In werkelijkheid spelen, naast de randkondities, de eigenschappen van de goot zelf een belangrijke rol bij het bepalen, welke getijbeweging en zoutverdeling in de goot zinvol te realiseren zijn. Zo komt uit het onderzoek naar voren dat er voor korte getijperioden een staande getijbeweging met knopen en buiken in de goot optreedt (resonantieverschijnsel) d.w.z. met een grote variatie in lengterichting; i.h.a. is een dergelijke getijbeweging niet gewenst voor onderzoek. Combinaties van kleine waterdiepten/grote verticale getijslagen/korte getijperioden zijn zelfs vanwege de z.g. "bore" verschijnselen niet goed in te regelen. Wordt er gestroomd met de getijtank in gebruik dan volgt als eis voor de instelling van een cyclische zoutbeweging dat de zoutindringing altijd kleiner dan de fysieke gootlengte moet blijven (in de tank wordt zout volledig opgemengd). Deze laatste eis betekent dat het variatiebereik aan randkondities en gootparameters sterk beperkt wordt. Het in dit verslag beschreven onderzoek is bedoeld als een oriëntatie ten aanzien van de mogelijkheden en beperkingen van de faciliteit getijgoot.

In het oriënterende onderzoek zijn de karakteristieken van de getijbeweging en van de zoutverdeling nader onderzocht. Daarbij is uitgegaan van een gootinstelling (met betonelementen als extra ruwheid op de gootbodem) die zoveel mogelijk aansluit bij de referentie-gootinstelling uit het systematisch onderzoek in de oude getijgoot. Op deze manier kan de bestaande ervaring t.a.v. de zoutbeweging zo goed mogelijk voor toetsing gebruikt worden. Bij de oriëntatie t.a.v. de getijkarakteristieken van de goot zijn als hulpmiddelen een analytisch getijmodel en het numerieke model INITAK gebruikt. Deze modellen blijken in staat te zijn de in de goot gemeten getijkarakteristieken goed te simuleren als er geen dichtheidsverschillen aanwezig zijn. Zijn deze verschillen er wel dan wordt de simulatie van de getijbeweging duidelijk van



minder kwaliteit.

De ijking van de Chezywaarde van de goot met ruwheidselementen m.b.v. een INITAK simulatie leverde nagenoeg dezelfde waarde ( $C = 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ ) op als volgt uit een vervalmeting in een permanente stroming.

Via een tweetal deelonderzoeken is extra aandacht besteed aan de zee-getij-regeling en aan de bovenstroomse getijregeling. De regeling van de waterstand in de mond van de goot blijkt mede afhankelijk te zijn van het gebeuren in de goot zelf. Vooral als de getijfrekwentie ongeveer gelijk is aan een van de eigenfrekwenties van de goot is deze invloed aanzienlijk. De overdracht van regelpunt bij de zeecylinder naar stuurpunt in de gootmond is voor een tweetal waterdiepten als een continue funktie van de getijfrekwentie bepaald.

Een redelijke benadering van de gewenste getijdebieten op de bovenstroomse rand vraagt als deze debieten groot zijn om een zogenaamde debietregeling van de getijtank i.p.v. de in eerste instantie gekozen waterstandsregeling.

Uit de oriëntatie volgt dat de zoutbeweging er kwalitatief hetzelfde uitziet als de zoutbeweging uit de oude goot, het gevonden verschil kan toegeschreven worden aan het verschil in ruwheid en in toegepast ruwheidsmiddel. Via de instelling van de skimmerafvoer kan de gelaagdheid op zee en in de gootmond beïnvloed worden en daarmee wordt ook de zoutindringing beïnvloed.

In een aanvullend onderzoek is nader aandacht besteed aan mogelijke temperatuureffekten in de goot en in de getijtank. Daarbij bleek de temperatuurooploop in de getijtank bij instelling van grote getijdebieten onaanvaardbaar groot te zijn. Daarnaast is het nodig om lokaal zowel de temperatuur als het zoutgehalte te meten om nauwkeurig dichtheden te bepalen.

#### 4.2 Konklusies

1. Bij het opdrukken van een willekeurig getij via getijrandkondities die aan de getijgoot-specificaties voldoen dreigt het gevaar van het optreden van
  - a "bore"-verschijnselen in het geval dat een grote getijslag, een kleine waterdiepte ( $a_1/h > 0.2$ ), een korte getijperiode ( $T/T_r \ll 1$ , met  $T_r = 4L/\sqrt{gh}$ ) en een gladde goot gekombineerd worden. De optredende korte (t.o.v. getijgolf lengte) golven zijn te vermijden door kleinere getij-



amplituden, langere getijperioden en/of grotere weerstand in de goot te nemen

- b resonantieverschijnselen, in de vorm van knopen en buiken, in het geval dat een korte getijperiode ( $T/T_r \ll 1$ ) en een gladde goot gekombineerd worden. Getijden met perioden tot 60 s blijken goed instelbaar te zijn doch bij de korte perioden varieert het getij sterk in de lengterichting van de goot en wordt een in de mond opgedrukte sinusgolf sterk vervormd. Deze verschijnselen worden verzwakt door vergroting van de weerstand, vergroting van de getijperiode en door een sinus-getijgolf op te drukken.

2. Het numerieke 1D-programma INITAK blijkt goed in staat om de in de goot met ruwheidselementen gemeten getijbeweging te simuleren (onderzocht van  $60 < T < 1800$  s) als er geen dichtheidsverschillen aanwezig zijn en een konstante Chezywaarde van  $25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  gehanteerd wordt.
3. De getijbeweging in een gelaagde getijstroming wordt minder goed gesimuleerd als er met de konstante ruwheidswaarde gerekend wordt. Variatie van de C-waarde als functie van de zoutindringingslengte geeft een verbeterde simulatie van de getijbeweging.
4. Er treedt in de goot bij referentie-omstandigheden van het oude getijgoot-onderzoek een gelaagde getijstroming op. De variatie van de zoutindringingslengte als functie van randkondities en gootparameters ziet er kwalitatief hetzelfde uit als in de oude goot: de gemeten lengten liggen in tussen die van oude goot met bodemplaatjes en staafjes.
5. De skimmerfaciliteit maakt het mogelijk om bij het uitvoeren van gelaagde zout/zoetproeven het verlies aan zout te verkleinen en de dikte van de zoete bovenlaag op zee en in de mond van de goot te beïnvloeden. De zoutindringing blijkt bij deze skimmerkonstruktie flink te variëren met het skimmerdebiet.
6. De overdrachtsfunctie regelcylinder/waterstand in gootmond is mede afhankelijk van de resonantieverschijnselen in de goot. Voor 2 waterdiepten in de goot met gladde bodem is deze functie bepaald als een continue functie van de frekwentie, in de buurt van de resonantiefrekwenties blijkt de functie



sterk te variëren. De beschikbare informatie over deze overdrachtsfunctie is momenteel nog niet voldoende om een willekeurig, nog niet ingeregeld getij direkt in te stellen (vooral niet een getij met frekwenties in de buurt van de resonantiefrekwenties). Dit betekent dat voor een dergelijk getij in een "inregelproof" deze functie experimenteel bepaald moet worden.

7. De getijtankregeling kan verbeterd worden door i.p.v. op de waterstand in de tank direkt te regelen op het gemeten debiet in combinatie met een korrektieregeling op de waterstand. Vooral als er grote getijdebieten ( $Q > 25 \text{ l/s}$ ) op de bovenrand ingesteld moeten worden is deze nieuwe regeling nodig voor een nauwkeurige instelling van de gewenste getijdebieten.
8. Voor het bepalen van de dichtheid met een nauwkeurigheid kleiner dan  $0.25 \text{ kg/m}$  is het noodzakelijk om lokaal gelijktijdig geleidendheid als ook temperatuur te bepalen.
9. De temperatuurverhoging in de getijtank bij het draaien van grote getijdebieten is te groot ( $1 \text{ à } 1,5^\circ$  per uur). In het zeegedeelte moet met een drift van  $1^\circ\text{C}$  per meetdag rekening gehouden worden.

#### 4.3 Aanbevelingen

1. De overdrachtsfunctie zeecylinder/stuurwavo is nog slechts voor een beperkt bereik bekend (2 waterdiepten en gladde goot + diskreet aantal gegevens in goot met bodenruwheid) en geldt daarbij slechts voor de hoofdkomponent van het getij. Voor de inregeling van willekeurige getijden wordt onderzoek aanbevolen naar de vorm van de overdracht als functie van de randkondities en gootparameters.
2. Ter voorkoming van het optreden van "bore" verschijnselen in een gladde goot moeten getijden met een niet te grote getijslag t.o.v. de waterdiepte en een niet te kleine getijperiode gekozen worden. Voor het beter aangeven van de grens is nader onderzoek nodig.



3. Vooral als er onderzoek in een gladde goot voorbereid wordt is het sterk aan te bevelen om vooraf te bekijken of resonantieverschijnselen belangrijk kunnen zijn bij de gekozen gootinstelling. Het numerieke getijmodel INITAK kan deze informatie in detail leveren.
4. Voor een goede benadering van de gewenste bovenstroomse debietrand wordt aanbevolen om een debietregeling in de getijtank te installeren (in combinatie met een compenserende waterstandsregeling).
5. In de getijtank is koeling van het water nodig, vooral als de grootste getijtankdebieten ingesteld zijn. Aanbevolen wordt om een koelinstallatie aan te schaffen.
6. Vanwege de optredende temperatuursverschillen in de goot wordt aanbevolen om lokaal zowel geleidenheid als temperatuur te kunnen meten om een goede benadering van het zoutgehalte en de dichtheid te kunnen berekenen.



## Referenties

1. Ippen, A.T. en Harleman, D.R.F. "Tidal dynamics in estuaries". In "Estuarine and Coastal Hydrodynamics", pp. 493-545, 1968
2. Voogt, L., "Verslag van een onderzoek naar de getijbeweging in het Parachique estuarium", Rijkswaterstaat, nota DDWT-83-012, 1984.
3. Waterloopkundig Laboratorium, "Systematisch onderzoek variatie randvoorwaarden en stromingskondities", M896-X, 1970.
4. Waterloopkundig Laboratorium, "Dimensie analyse zoutindringing systematisch onderzoek", M896-XV, 1971.
5. Waterloopkundig Laboratorium "Eéndimensionale waterbeweging met diffusie, in een rivier met hoogstens één vertakking", verslag M896-43b, jan. '82.
6. Waterloopkundig Laboratorium, "Inregelen getijgoot", verslag Z0017, 1986.



Tabel 1 Referentie-omstandigheden oude/nieuwe goot

Omschrijving	symbool	grootte		dimensie
		oude goot	nieuwe goot	
getijperiode	T	558.75	560	s
getijamplitude mond sinusvorm	$a_1(0)$	0.0125	0.0125	m
waterdiepte	h	0.216	0.216	m
gootlengte	L	179	180	m
Chézykoefficiënt	C	19	25	$m^{1/2}/s$
dichtheidsverschil	$\Delta\rho$	22.5	22.5	$kg/m^3$
rivierafvoer	$Q_{riv}/B$	$4.3 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$	$m^2/s$
skimmerafvoer	$Q_{sk}/B$	$8.6 \cdot 10^{-3}$	$8.8 \cdot 10^{-3}$	$m^2/s$



Nr	T [s]	$a_1(0)$ [m]	L/LR -	$D^*$ -	$D^{**}$ -
0	560	0.0125	0.65	3.45	5.0
1	1800		0.20	3.45	3.6
2	1120		0.32	3.45	
3	480		0.75	3.45	5.6
4	420		0.85	3.45	5.6
5	360		1.00	3.45	5.0
6	300		1.20	3.45	3.3
7	240		1.50	3.45	1.5
8	180		2.00	3.45	0.2
9	120		3.00	3.45	1.7
10	90		4.0	3.45	0.1
11	75		4.75	3.45	0.8
12	60		6.0	3.45	0.05
13	560	0.025	0.65	6.85	-
14	560	0.0375	0.65	10.3	12.4
15	560	0.075	0.65	20.6	19.2

Referentie-omstandigheden:

$h = 0,216 \text{ m}$

$L = 130 \text{ m}$

$C = 25 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

\* D met  $U_0$  uit kombergingsberekening

\*\* D met  $U_0$  uit INITAK berekening,  $b_1(0)/Bh$

Tabel 2 Overzicht INITAK berekeningen



locatie	meting		C = 20 m <sup>1/2</sup> /s,		C = 25 m <sup>1/2</sup> /s,		C = 30 m <sup>1/2</sup> /s,		C = 35 m <sup>1/2</sup> /s,	
m	$\alpha$	$\Delta\text{PHI}$	$\alpha$	$\Delta\text{PHI}$	$\alpha$	$\Delta\text{PHI}$	$\alpha$	$\Delta\text{PHI}$	$\alpha$	$\Delta\text{PHI}$
32	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
64	1.17	2.61	1.15	3.9	1.15	2.5	1.15	1.7	1.15	1.3
96	1.27	3.61	1.25	5.2	1.25	3.4	1.25	2.3	1.25	1.7
128	1.31	3.77	1.28	5.4	1.28	3.5	1.28	2.4	1.28	1.8

Tabel 3: Getijvoortplanting meting en berekening (middenstand 0.27 m).



Tabel 4 Proefoverzicht homogeen deel

proefnummer	T	$a_1$	h	L	C	L/Lr	$a_1/h$	n	Opmerkingen	
verslag meting	s	cm	m	m	$m^{1/2}/s$	-	-	-		
H0	P006	560	1.25	0.216	130	25	0.64	0.058	10	ref.hom.deel
H1	P007	60	1.25	0.216	130	25	6.0	0.058	20	variatie T
H2	P010	120	1.25	0.216	130	25	3.0	0.058	20	variatie T
H3	P009	180	1.25	0.216	130	25	2.0	0.058	20	variatie T
H4	P008	300	1.25	0.216	130	25	1.2	0.058	20	variatie T
H5	P011	1800	1.25	0.216	130	25	0.2	0.058	10	variatie T
H6	P012	560	3.75	0.216	130	25	0.64	0.174	10	variatie $a_1/h$
H7	P013	560	7.5	0.216	130	25	0.64	0.347	10	variatie $a_1/h$
H8	P014	560	1.25	0.216	180	25	0.88	0.058	20	variatie L
H9	P015	560	1.25	0.75	130 (25)	0.34	0.058	0.058	10	variatie h

n: aantal meetcycli



Tabel 5 Proefoverzicht aanvullend homogeen deel

Proefnummer

verslag	meting	zeerand	h m	T (s)	$a_1(0)$ (m)	C (m <sup>1/2</sup> /s)
H10	P091	ruis	0.216	-	-	70
H11	P092	natuurgetij	0.216	560	0.0125	70
H12	P093	sinusgetij	0.216	560	0.0125	70
H13	P094	natuurgetij	0.216	1120	0.0125	70
H14	P095	natuurgetij	0.216	280	0.0125	70
H15	P096	natuurgetij	0.216	560	0.025	70
H17	P097	sinusgetij	0.216	420	0.025	70
H18	P091'	ruis	0.30	-	-	70
H19	P098	natuurgetij	0.30	560	0.0125	70
H20	P099	natuurgetij	0.30	1120	0.0125	70
H21	P100	natuurgetij	0.30	280	0.0125	70
H22	P101	natuurgetij	0.30	560	0.025	70
H23	P102	sinusgetij	0.30	360	0.0125	70



Tabel 6a Overdracht cylinder/stuurwavo (h = 0.216 m)  
volgens Fourier methode

a<sub>1</sub>(stuur)

a<sub>1</sub>(setp.)

T(s)	L/Lr	H13 (1120s)	H11 (560s)	H12 (560s)	H14 (280s)	H15 (560s)	H17 (420s)
1120	0.32	0.99					
560	0.64	1.01	1.05	1.045		1.04	
420	0.85						0.93
280	1.28	0.93	1.11		0.93	1.28	
187	1.92	1.14	0.96			0.93	
140	2.56	1.10	1.18		1.57	1.17	
93	3.84		1.11		0.92	1.07	
70	5.1		0.91		0.81	1.18	

Δψ(°)

1120	0.32	3.37					
560	0.64	10.62	8.16	8.46		9.29	
420	0.85						23.2
280	1.28	19.41	11.66		7.49	18.54	
187	1.92	27.13	13.04			22.63	
140	2.56	31.58	29.73		29.36	28.65	
93	3.84		34.16		6.77	40.66	
70	5.1		45.03		52.35	53.60	



Tabel 6b Overdracht cylinder (stuurwavo  $h = 0.30$  m)  
volgens Fourier methode

$a_1(\text{stuur})$						
$a_1(\text{setp.})$						
T(s)	L/Lr	H20 (1120s)	H19 (560s)	H21 (280s)	H22 (560s)	H23 (360s)
1120	0.27	1.00				
560	0.54	1.08	1.06		1.05	
360	0.84					1.05
280	1.08	0.79	0.81	0.72	0.89	
187	1.62	0.89	0.98		0.92	
140	2.16	0.58	1.07	1.67	1.03	
93	3.24		0.93	0.63	0.93	
70	4.32		1.26	1.87	1.15	
$\Delta\psi(^{\circ})$						
1120	0.27	+ 0.27				
560	0.54	+ 1.05	6.10		6.44	
360	0.84					27.06
280	1.08	+ 13.33	5.66	5.68	10.93	
187	1.62	- 9.48	0.96		- 7.74	
140	2.16	+ 2.92	25.22	6.73	27.80	
93	3.24		27.95	12.54	29.24	
70	4.32		64.80	59.93	68.1	



Tabel 7 Proefoverzicht inhomogene proeven

Proefnummer	T s	$a_1(0)$ cm	h m	L m	$Q_{riv}$ l/s	$Q_{sk}$ l/s	$\Delta p$	$Q_1^*(0)$ l/s	$F_{O_F}$	L/LR	$Q_{sk}/Q_{riv}$	$Li_{min}$ m	$Li_{max}$ m	$\frac{Li_{min}}{h} \frac{g}{C^2}$
I <sub>0</sub> P020	560	1.25	0.216	181	4.4	8.8	22.5	34.5	0.0685	0.89	2	24	44	1.74
I <sub>1</sub> P023	"	"	"	131	4.4	"		26.75	0.0531	0.64	2	65	75	4.72
I <sub>2</sub> P024	"	"	"	181	10	0			0.143	0.89	0	0	20	0
I <sub>3</sub> P027	"	"	"	"	10	10			0.143	0.89	1	6	27	0.44
I <sub>4</sub> P025	"	"	"	"	10	20		31.75	0.143	0.89	2	14	35	1.02
I <sub>5</sub> P026	"	"	"	"	10	40			0.143	0.89	4	20.5	40.5	1.49
I <sub>6</sub> P026	"	"	"	"	10	60			0.143	0.89	6	22	43	1.60
I <sub>7</sub> P028	3.75	"	"	"	4.4	8.8		63.1	0.125	0.89	2	17	63	1.23
I <sub>8</sub> P031	0.625	"	"	"	"	"		23.1	0.0458	0.89	"	79	91	5.75
I <sub>9</sub> P032	1.25	"	"	"	2.2	4.4		35.5	0.035	0.89	"	50-55	70-75	3.6-40
I <sub>10</sub> P033	360	"	"	131	4.4	8.8		41.0	0.0813	1.00	"	26	46	1.89
I <sub>11</sub> P034			0.30	181	4.4	"		44.6	0.033	0.75	"	>>100		>>5.2

\* bepaald met INITAK/Homogeen

$$(q_{eb} - q_{riv}) B = Q_1(0)$$

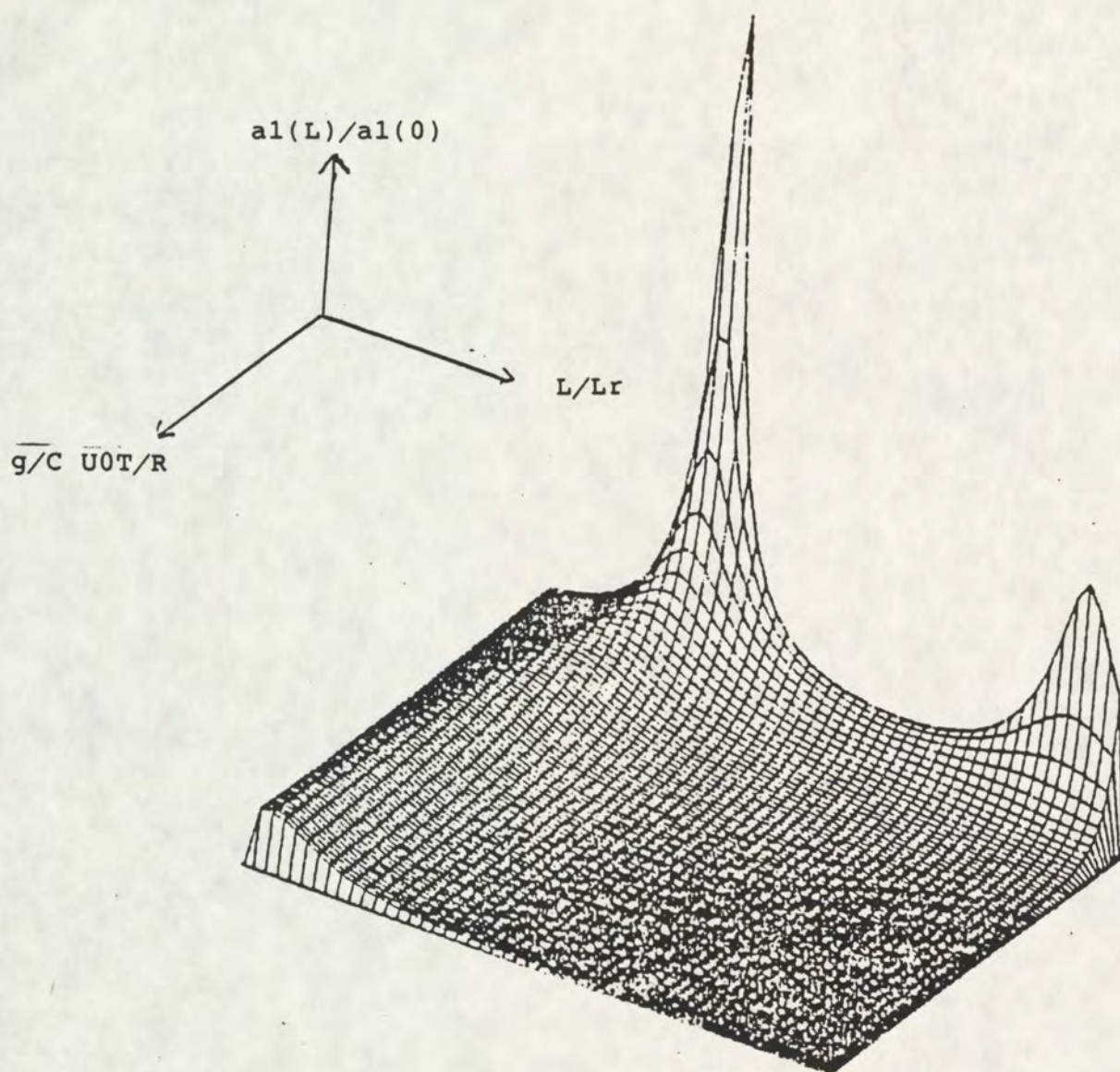


Tabel 8 Vergelijking berekeningen ter simulatie van IO

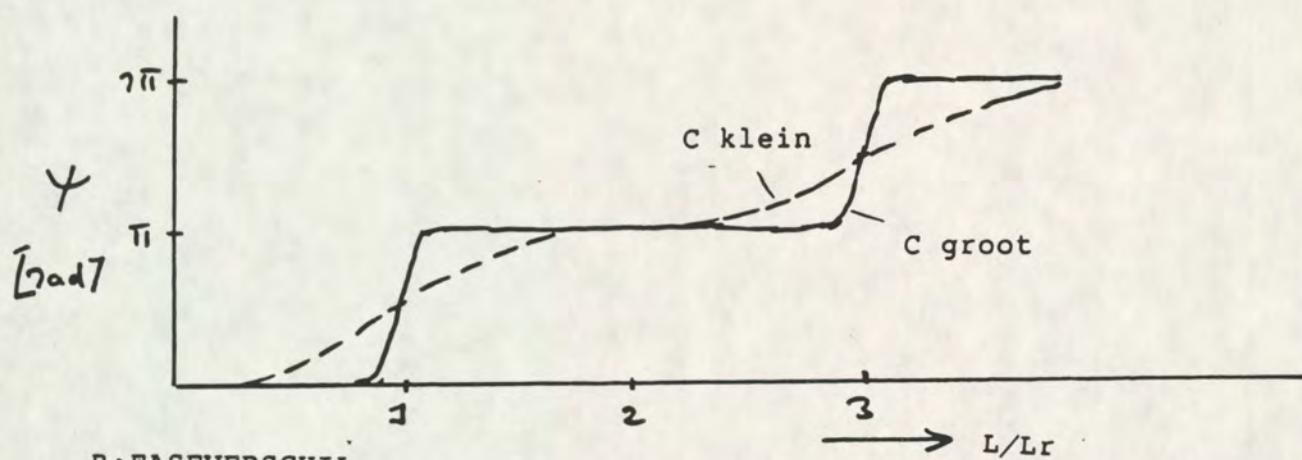
Omschrijving				$\Delta a_o(128)$ [cm]	$\frac{a_1(128)}{a_1(0)}$ -	$\Delta\psi(128)$ (°)	$V(128)$ %
meting IO				0.475	2.050	68.5	5.0
	C [m <sup>1/2</sup> /s]	$\Delta\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	E [m <sup>2</sup> /s]				
B60	25	0	0	0.378	1.770	77.1	4.8
B61	30	0	0	0.312	1.918	64.5	3.7
B62	25	22.5	0.1	0.523	1.835	76.2	7.5
B63	25	22.5	0.5	0.535	1.812	76.0	6.7
B64	30 <sup>*</sup> /25	22.5	0.2	0.505	1.910	68.5	5.8

\* C = 30 m<sup>1/2</sup>/s voor 0 < x < 50 m / voor x > 50 m C = 25 m<sup>1/2</sup>/s





A: VERSTERKINGSFAKTOR  $a_1(L)/a_1(0)$  [VOOGT, 2]



B: FASEVERSCHIL

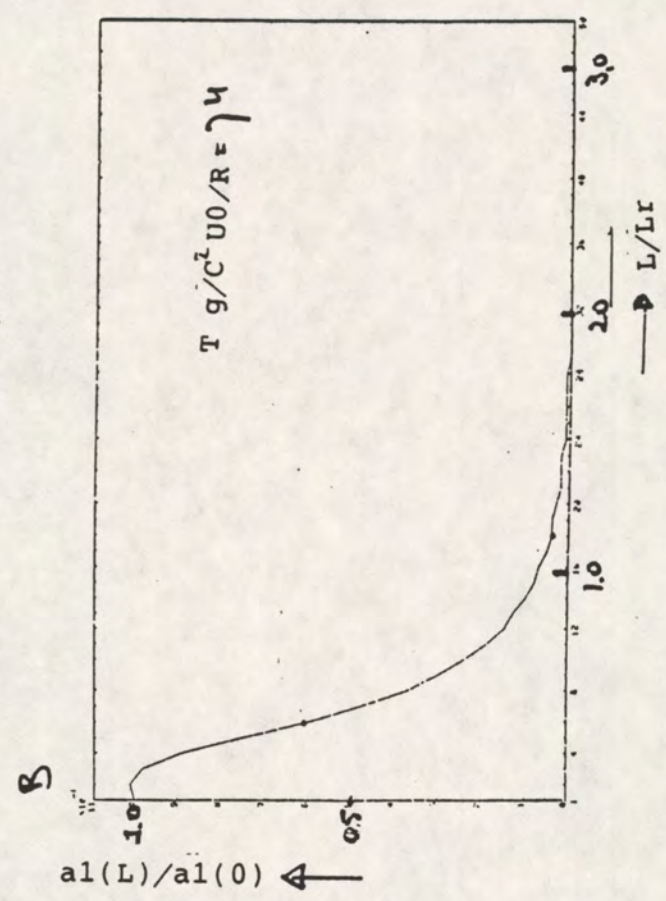
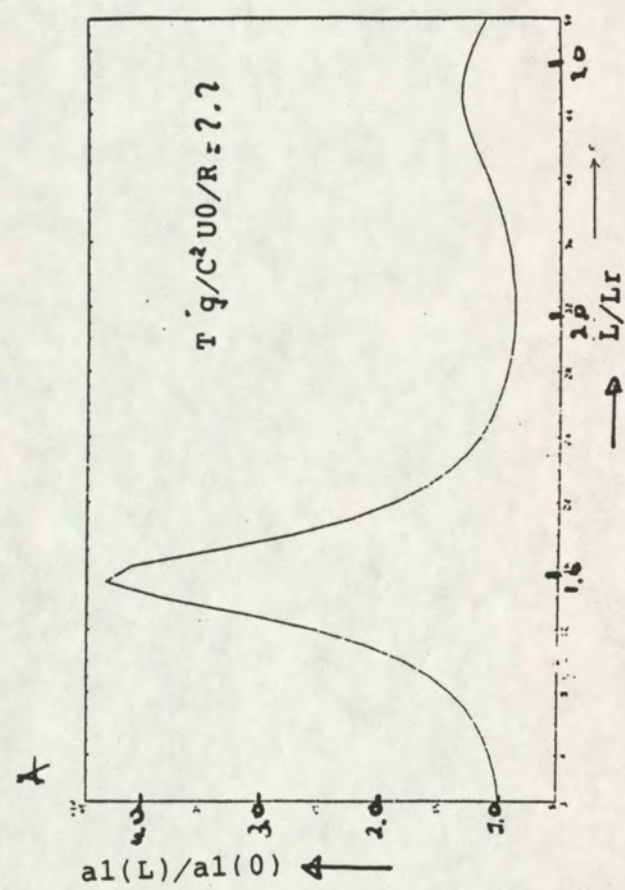
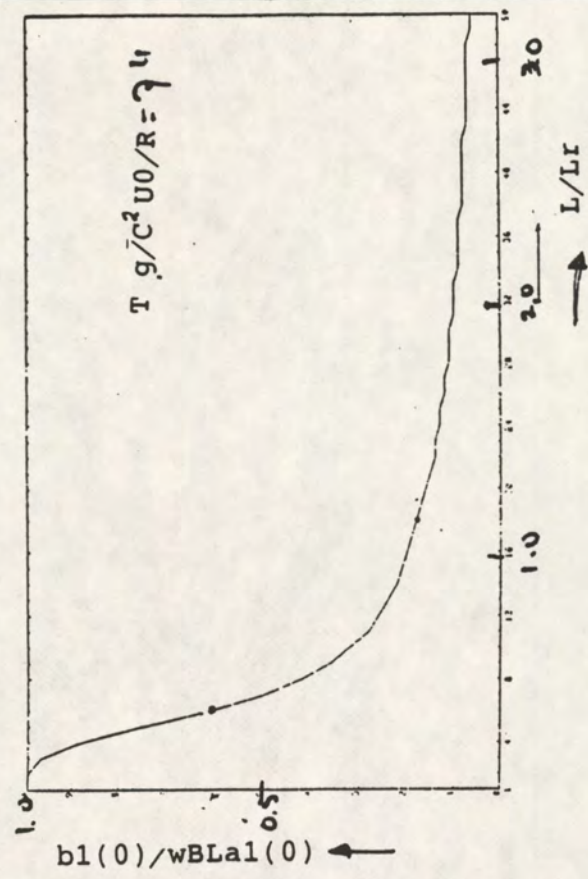
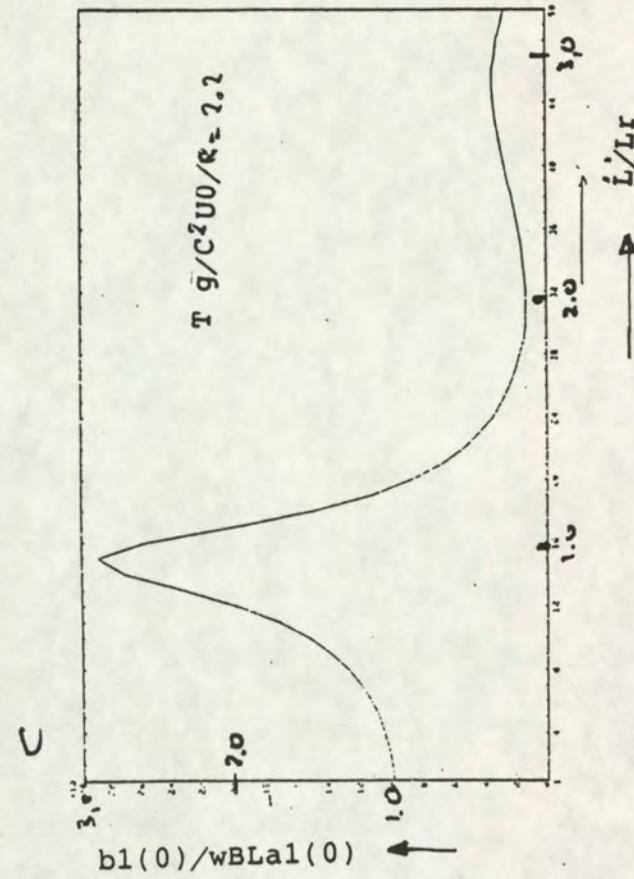
VERSTERKINGSFAKTOR EN FASEVERSCHIL VERTIKAAL  
GETIJ VOLGENS ANALYTISCH MODEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

A4

FIG 1

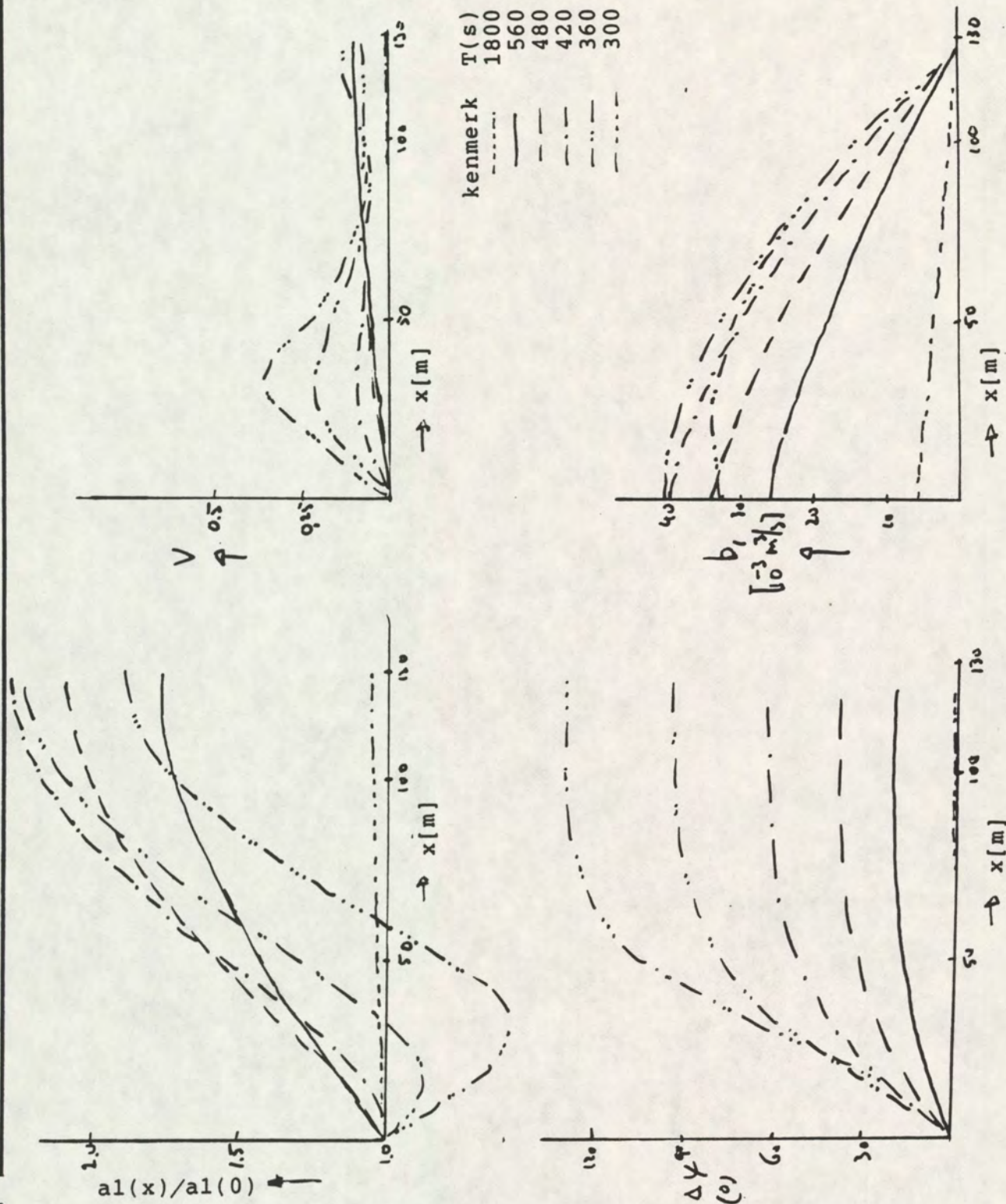




VERSTERKINGSFAKTOREN VERTIKAAL (A en B) EN  
HORIZONTAAL GETIJ (C en D) bij 2 DEMPINGSWAARDEN



kenmerk	T(s)	L/Lr
—	1800	0.2
---	560	0.64
- - -	480	0.75
· · ·	420	0.85
· · ·	360	1.0
· · ·	300	1.2



VARIATIE GETIJBEWEGING MET GETIJPRIODE  
INITAK

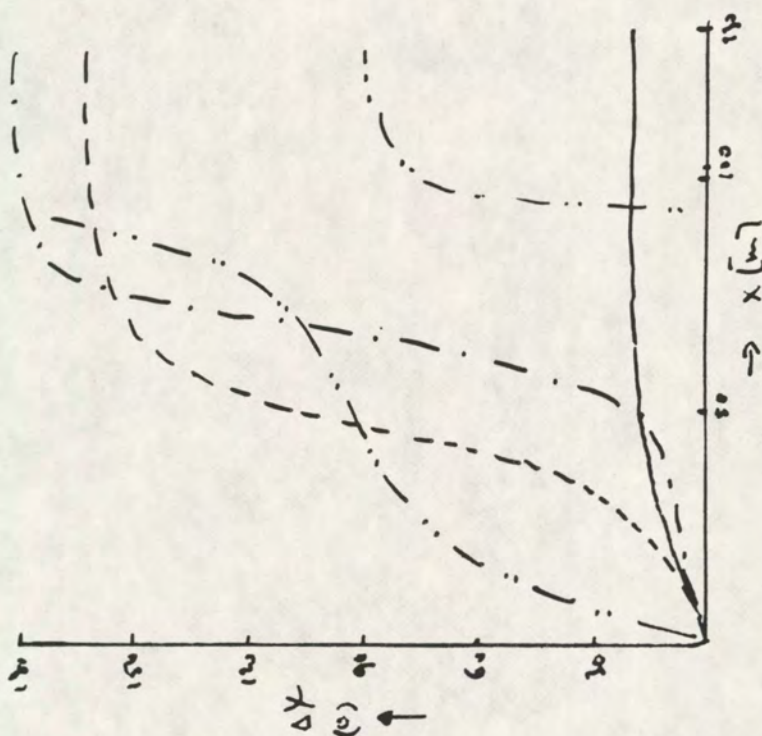
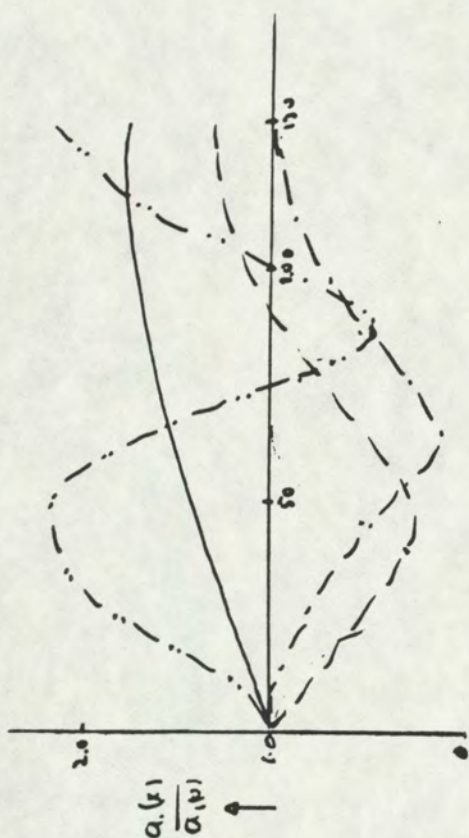
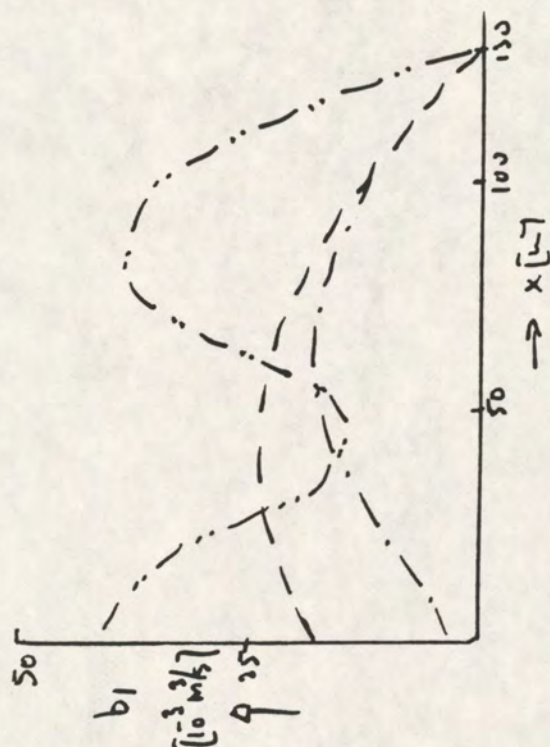
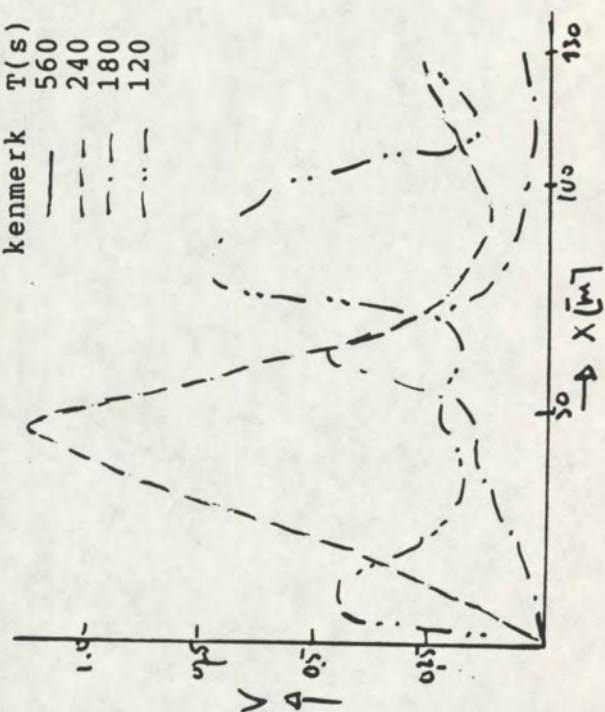
DELFT HYDRAULICS LABORATORY

A<sub>4</sub>

FIG 3



kenmerk T(s) L/Lr  
 — 560 0.64  
 - - 240 1.5  
 · · 180 2.0  
 - · - 120 3.0



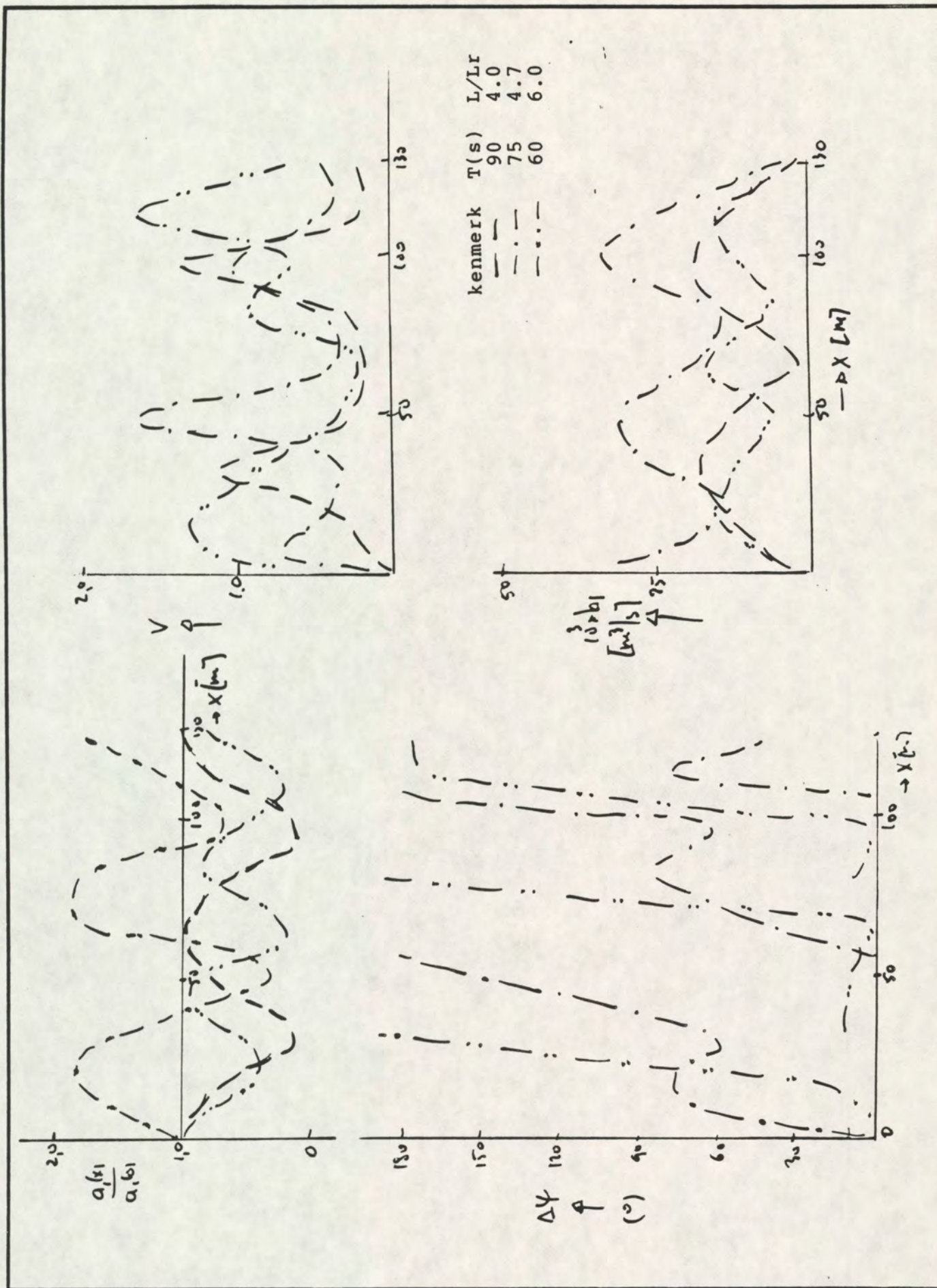
VARIATIE GETIJBEWEGING MET GETIJPERIODE  
 INITAK

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

A<sub>4</sub>

FIG 4





VARIATIE GETIJBEWEGING MET GETIJAMPLITUDE  
INITAK

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

A<sub>4</sub>

FIG 5

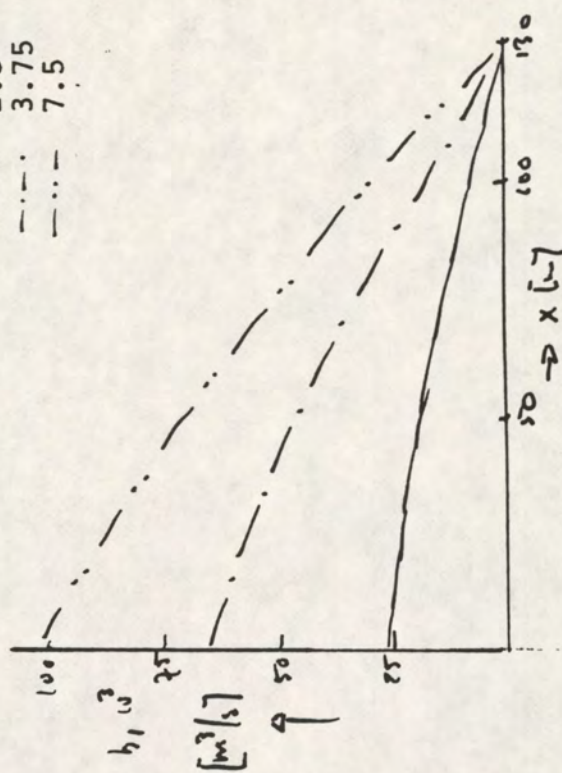
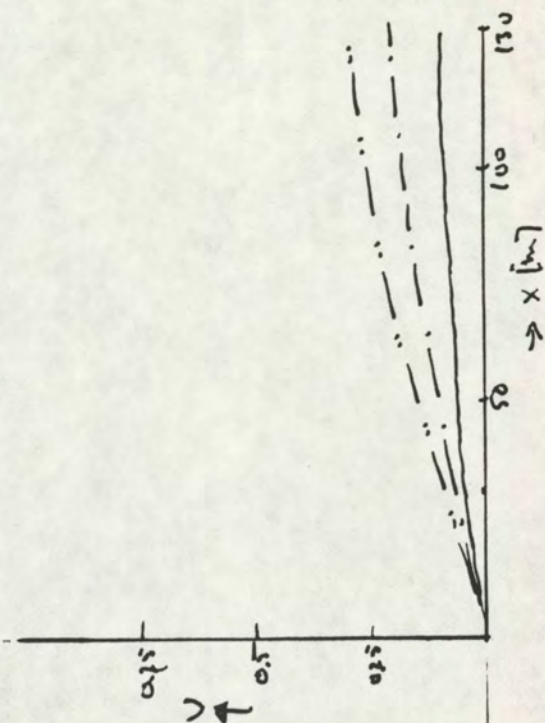
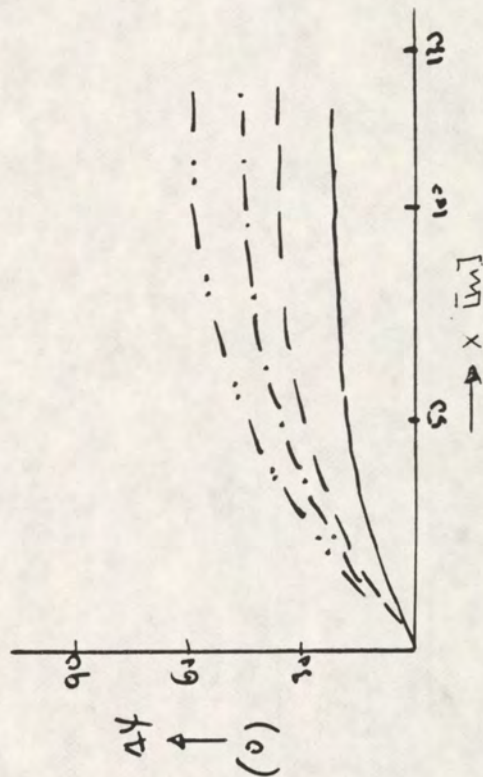
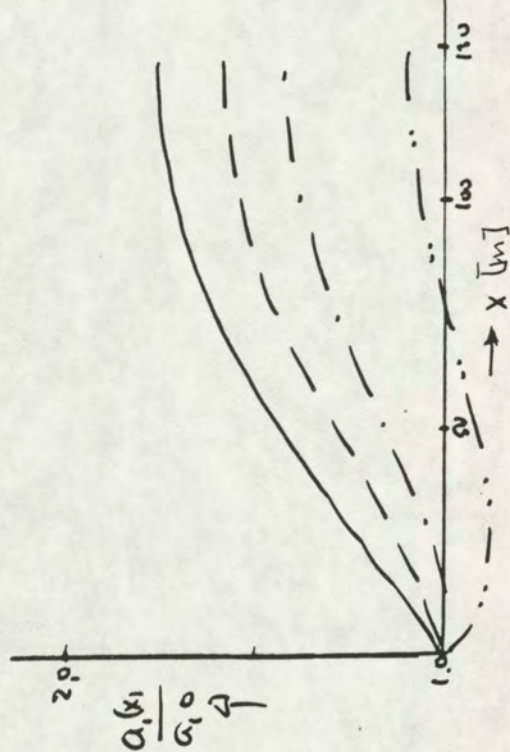


VARIATIE GETIJBEWEGING MET GETIJPERIODE  
INITAK

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

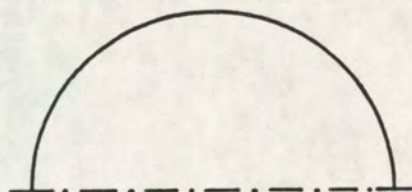
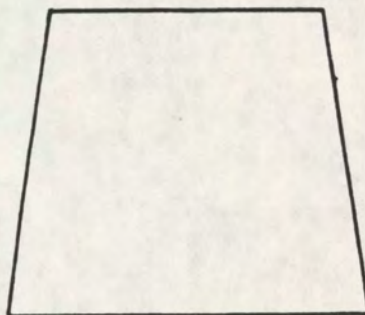
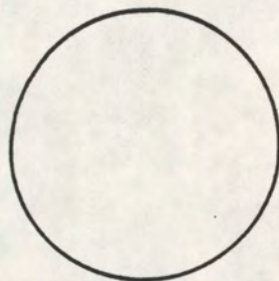
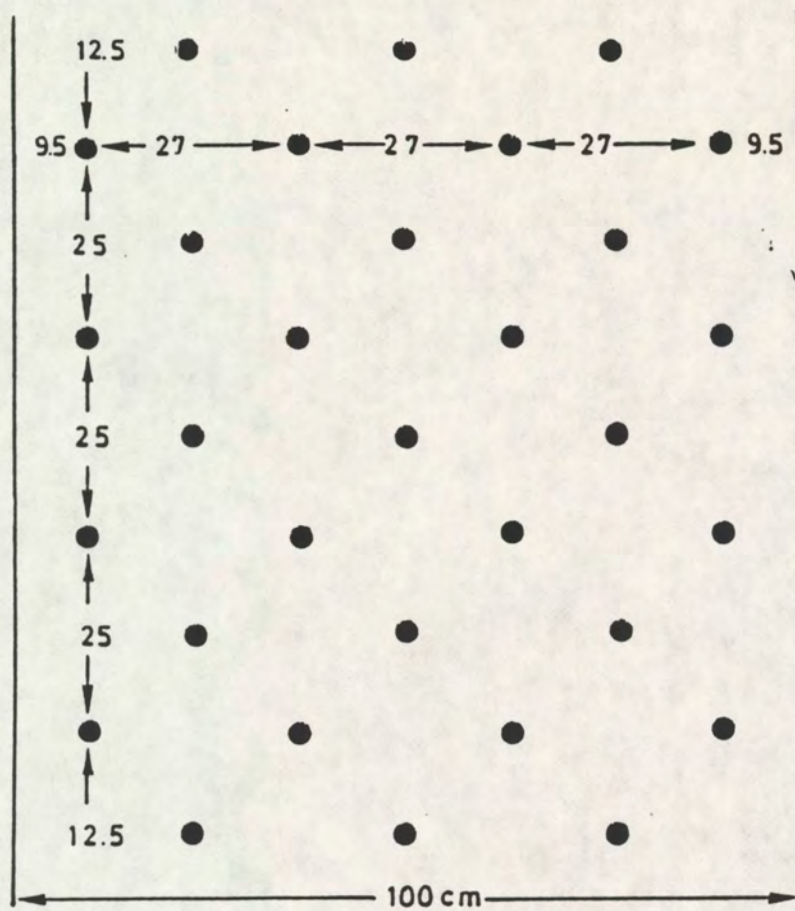
A<sub>4</sub>

FIG 6



kenmerk  $a_1(0)$  in cm  
 ——— 1.25  
 - - - 2.5  
 - · - 3.75  
 · · · 7.5

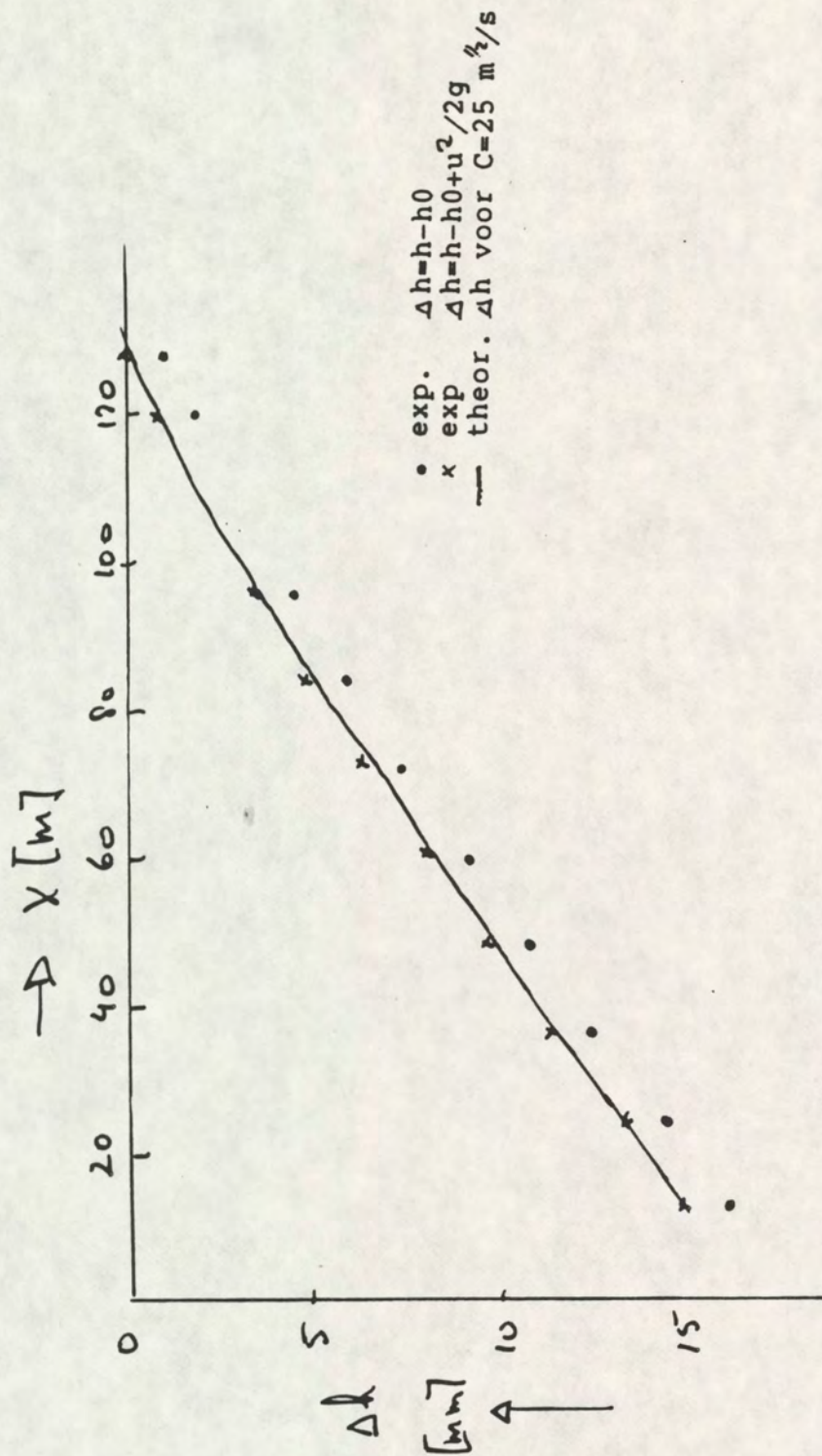




BOVEN-.VOOR-ZIJAANZICHT RUWHEIDSBLOKJE  
( WARE GROOTTE )

RUWHEIDSPATROON GETIJGOOT DETAILS RUWHEIDSBLOKJE	maten in cm.	
		A <sub>4</sub>
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	Z 15-3	FIG 7,





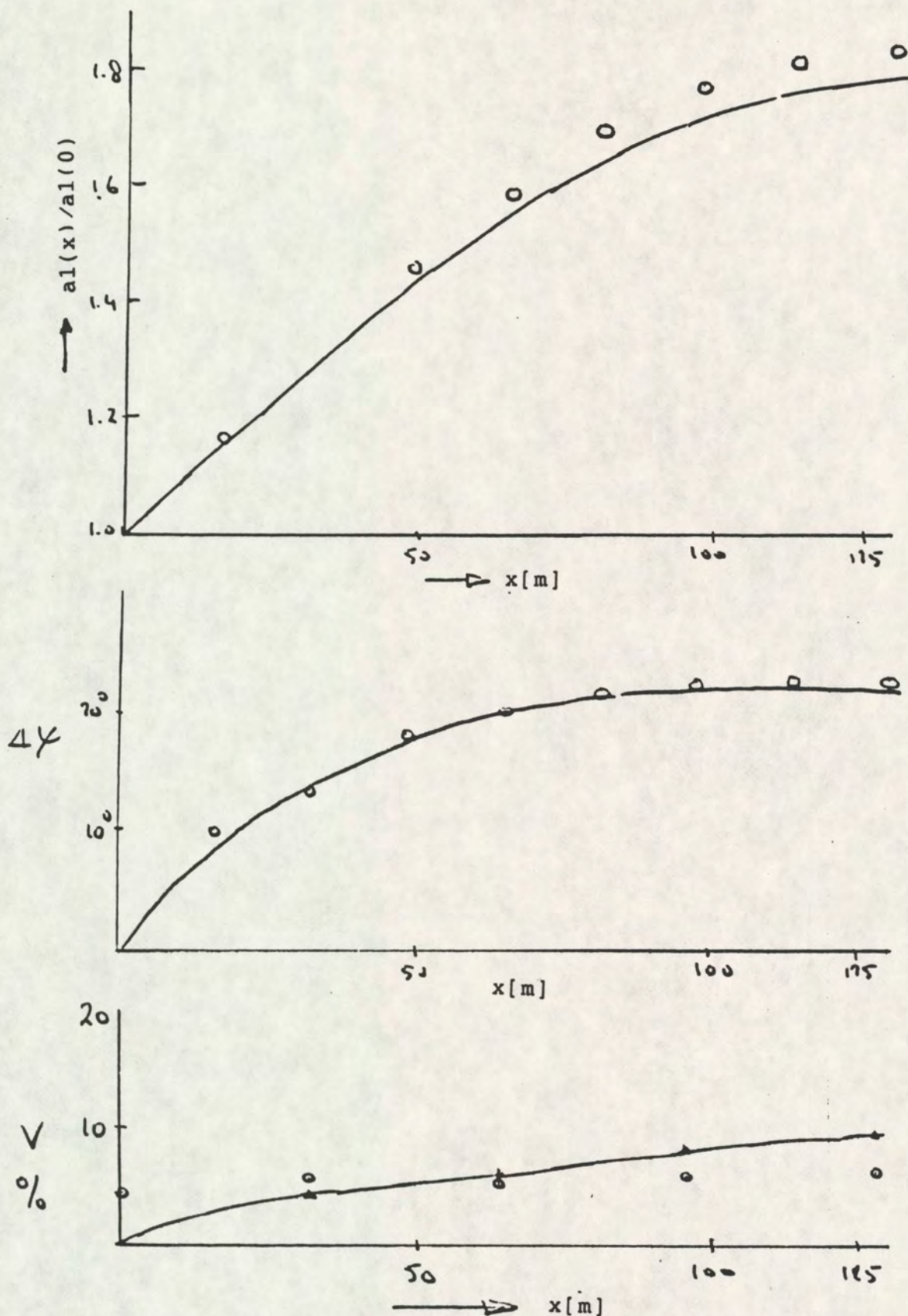
VERVALMETING IN GOOT MET RUWHEIDSBLOKJES

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

A<sub>4</sub>

FIG 8





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H0

P006, T=560 s

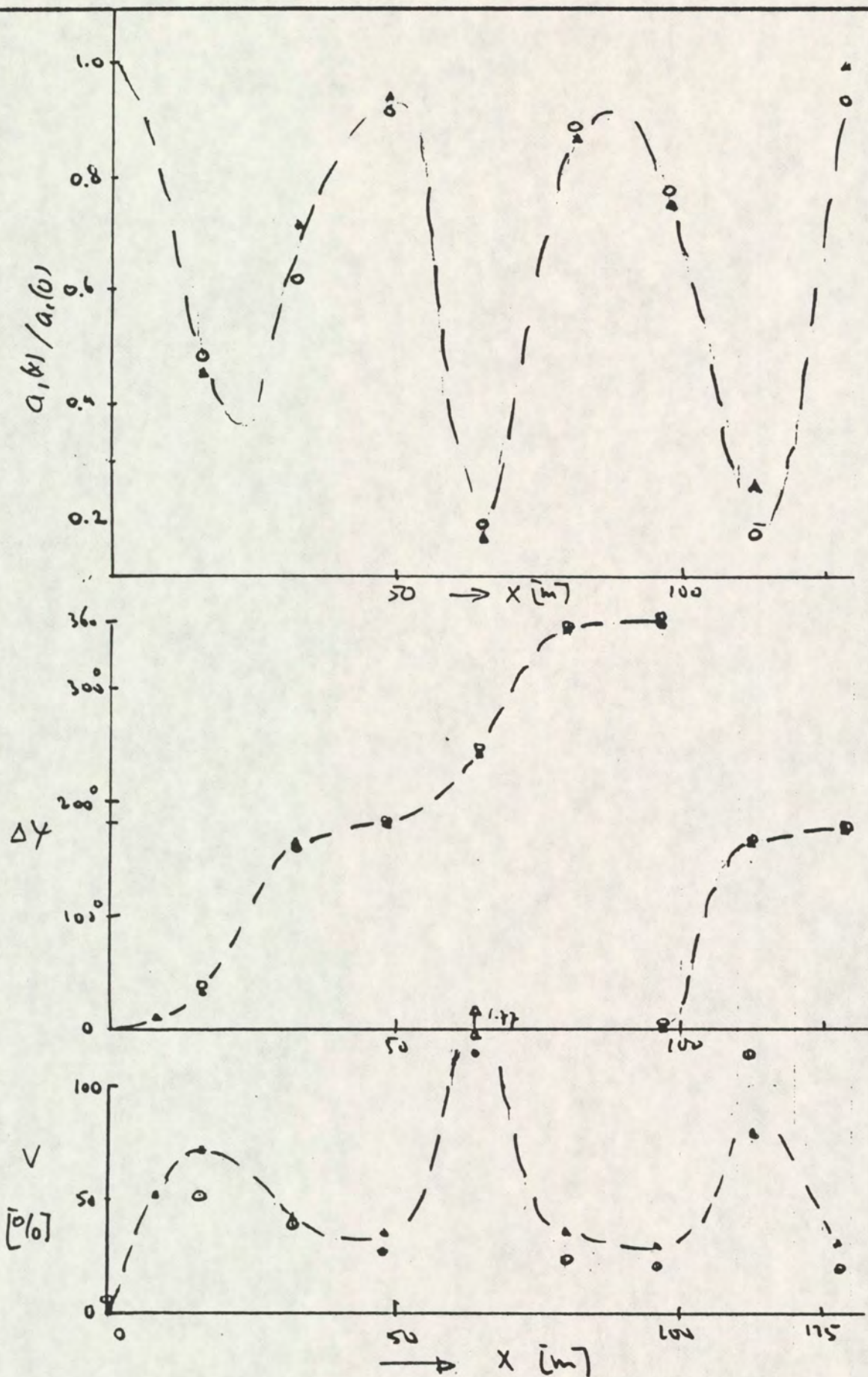
○ METING  
—●— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 9





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H1

P007 T=60 s

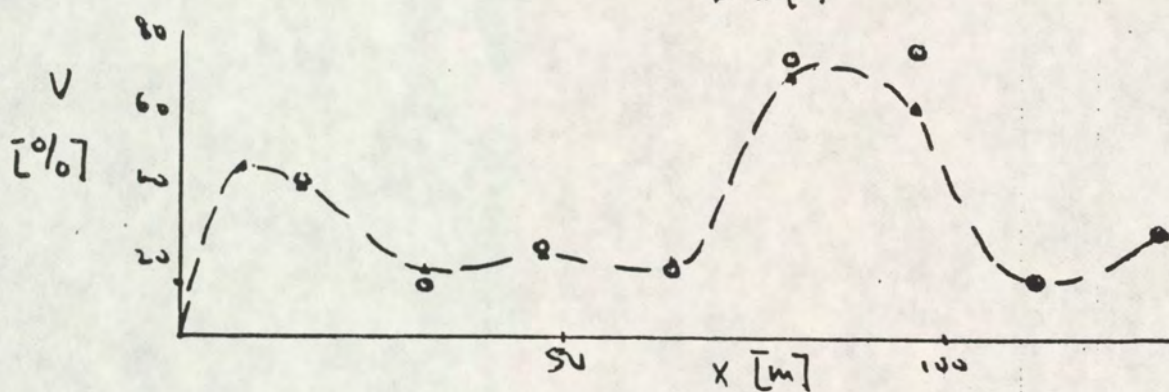
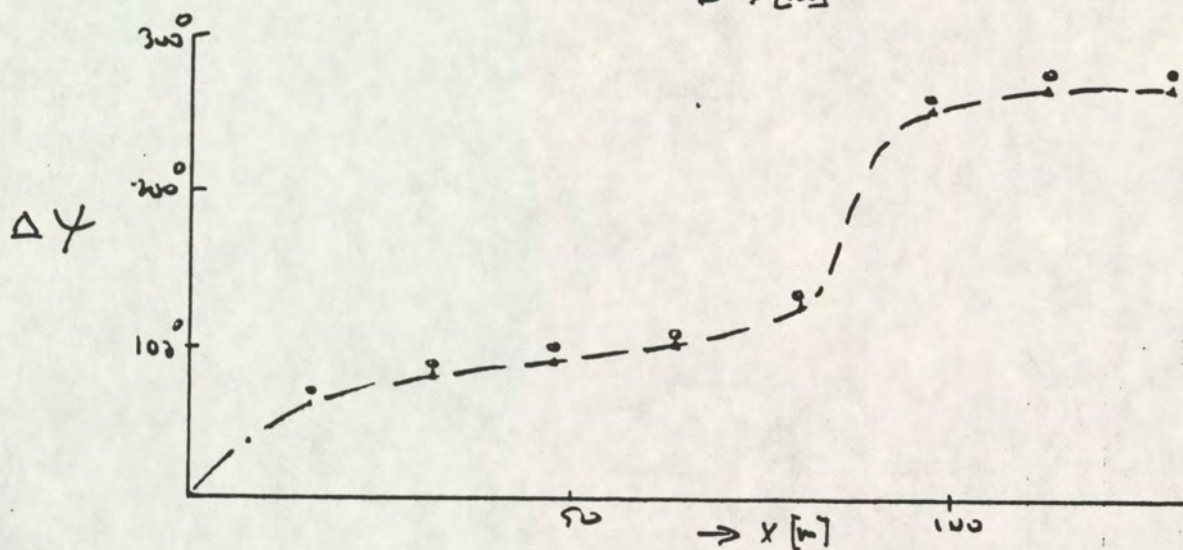
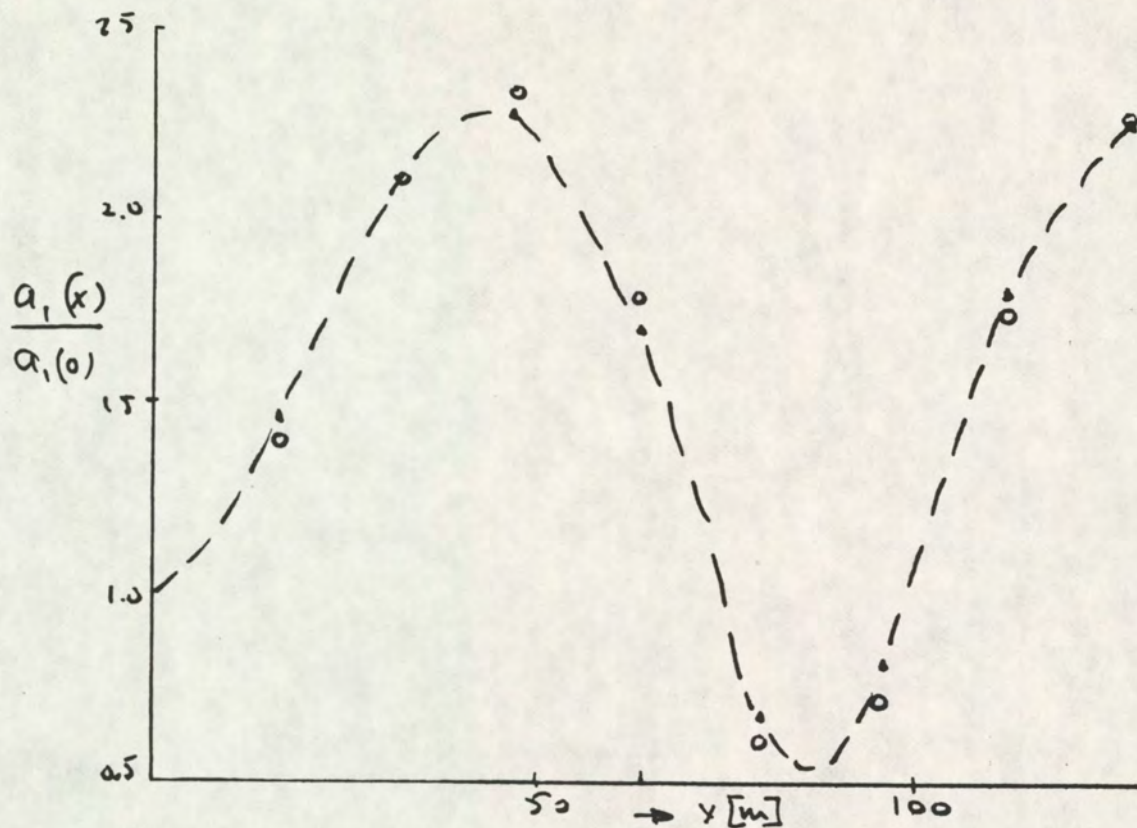
○ METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 10





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H2

P010 T=120 s

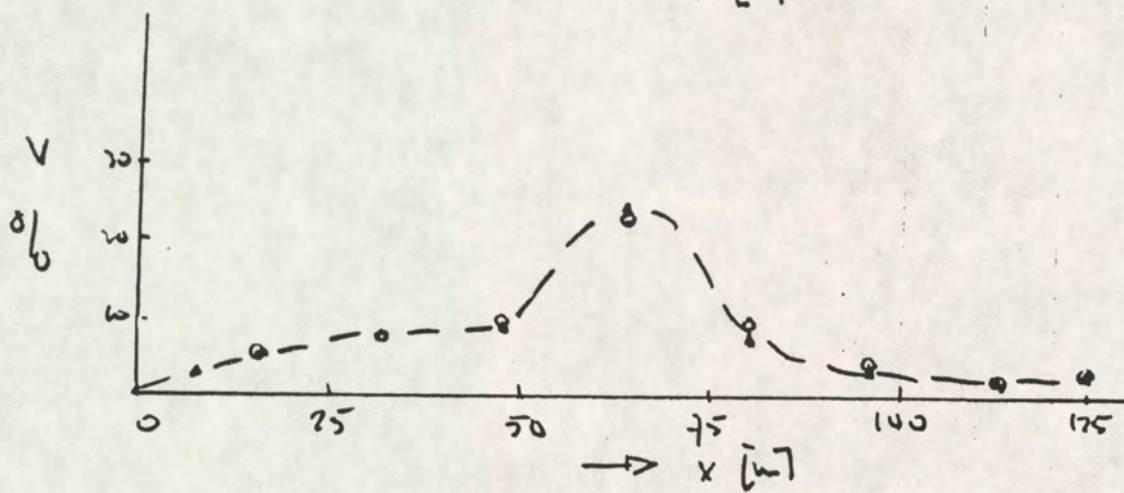
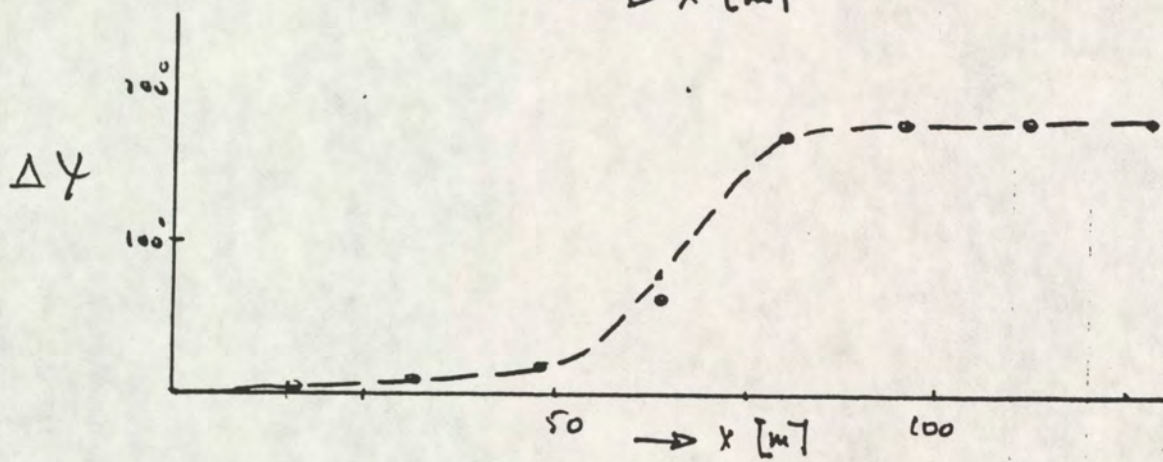
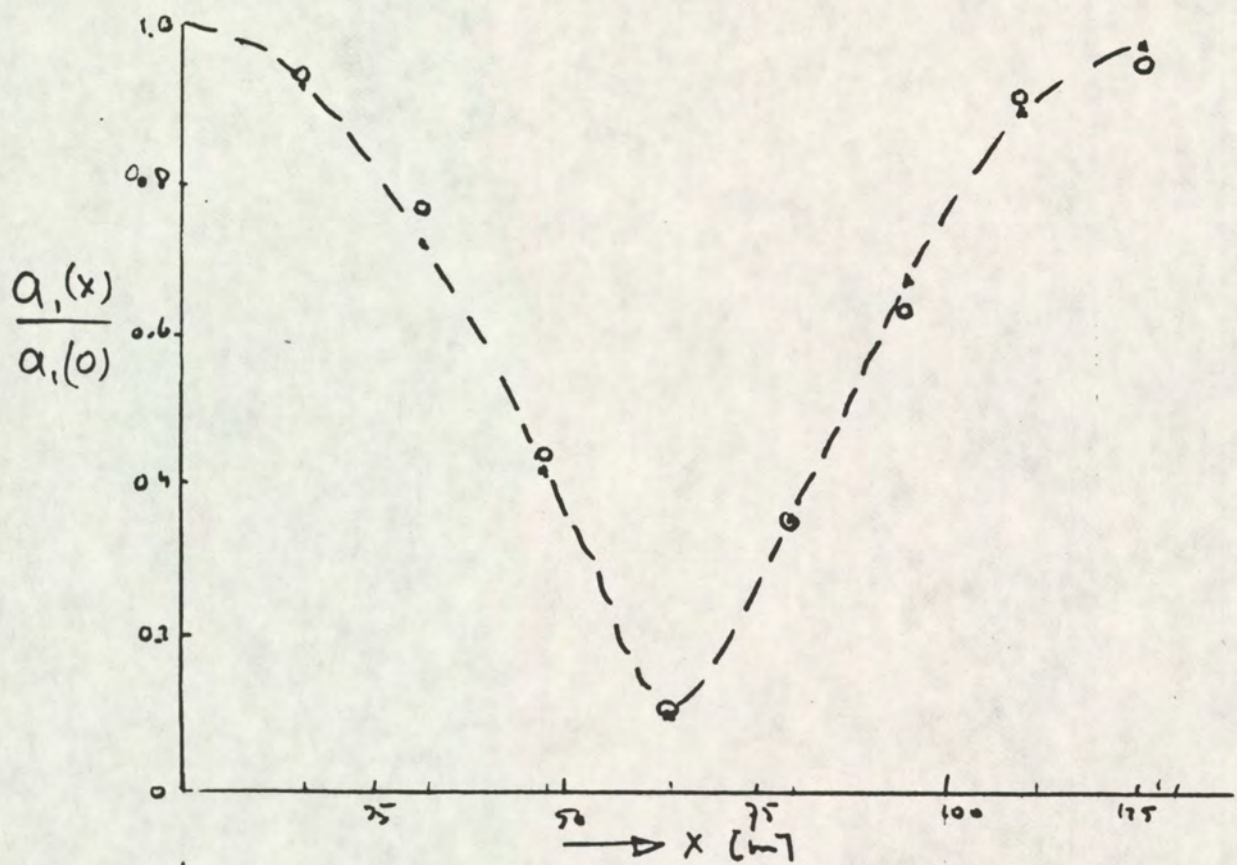
• METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 11





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H3

P009 T=180 s

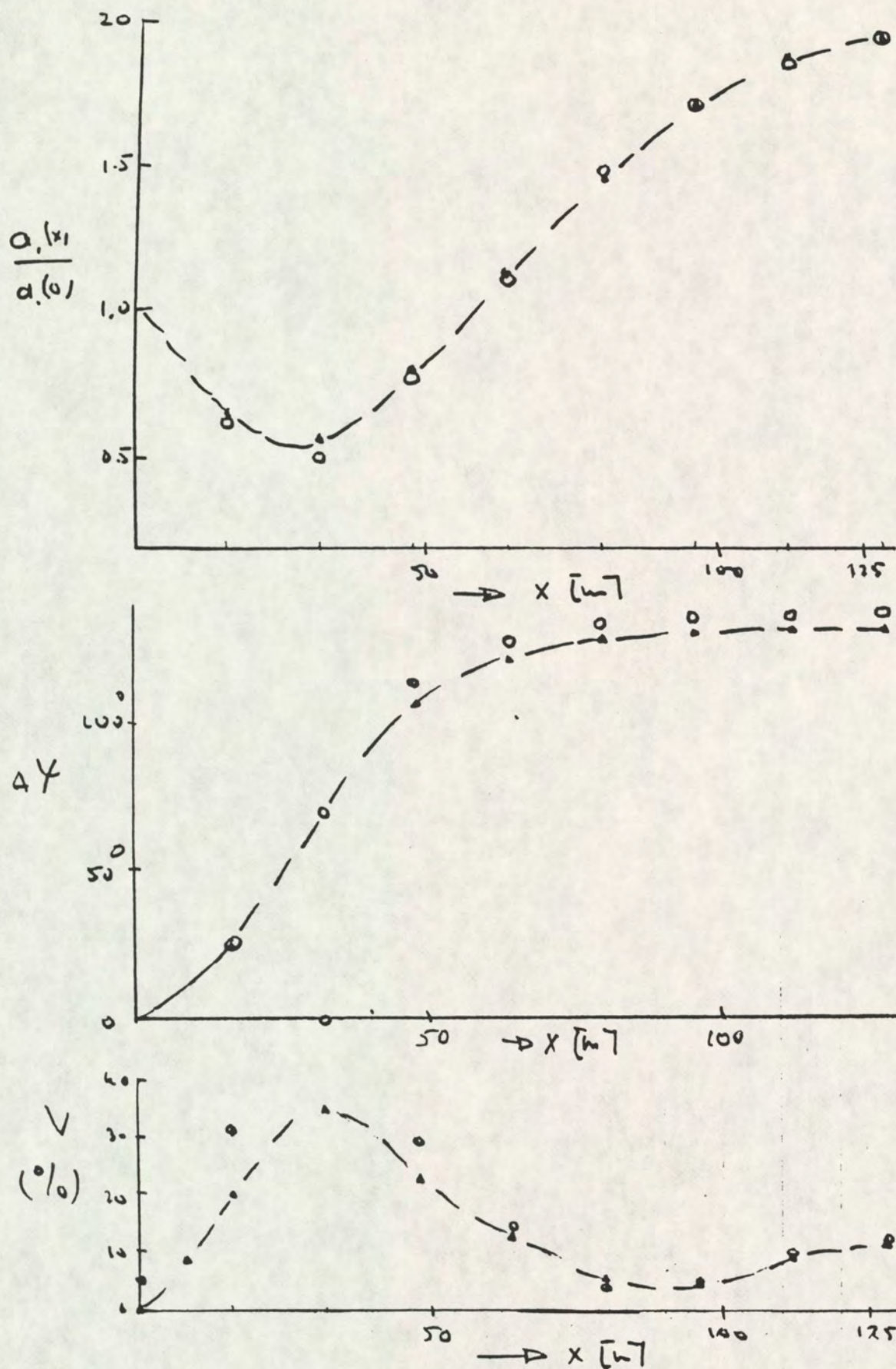
○ METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 12





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H4

P008 T=300 s

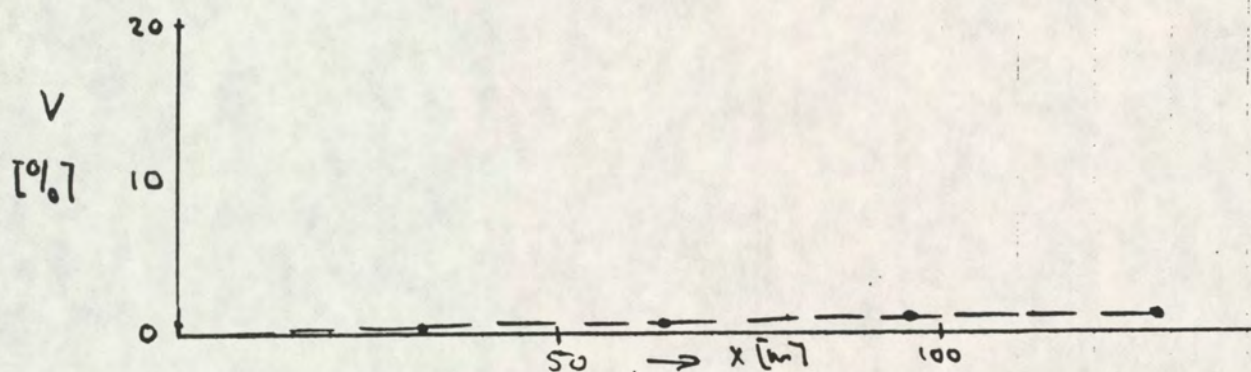
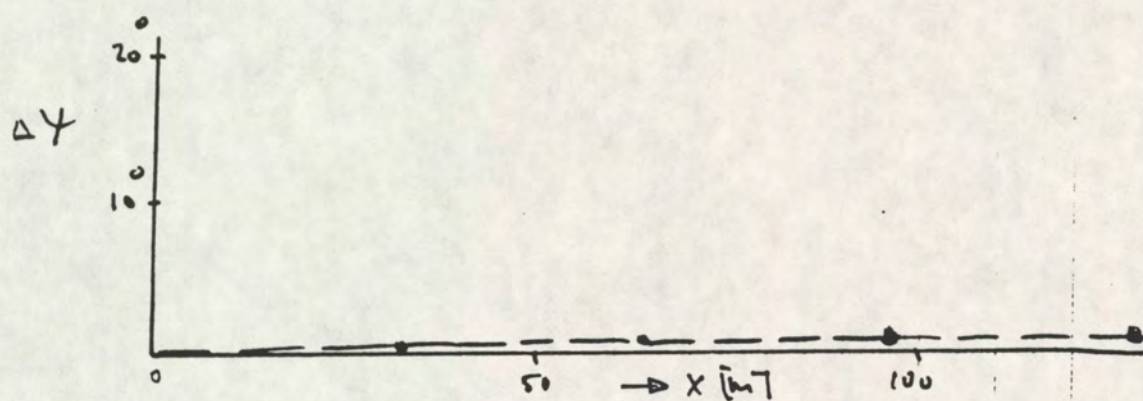
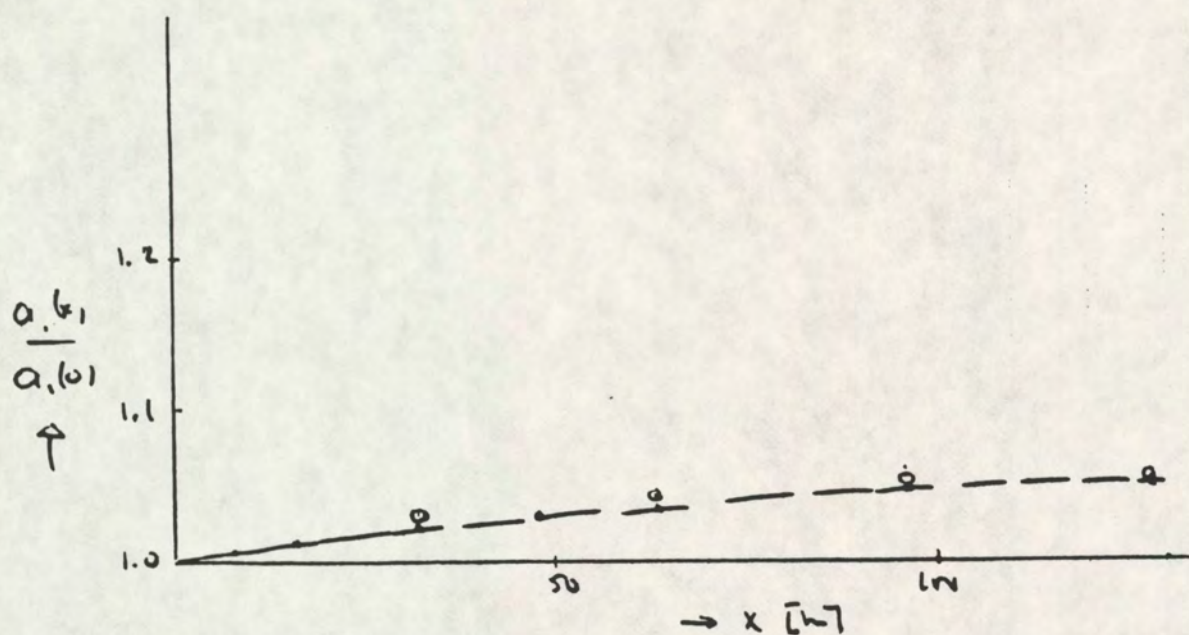
○ METING  
△ INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 13





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H5

P011 T=1800 s

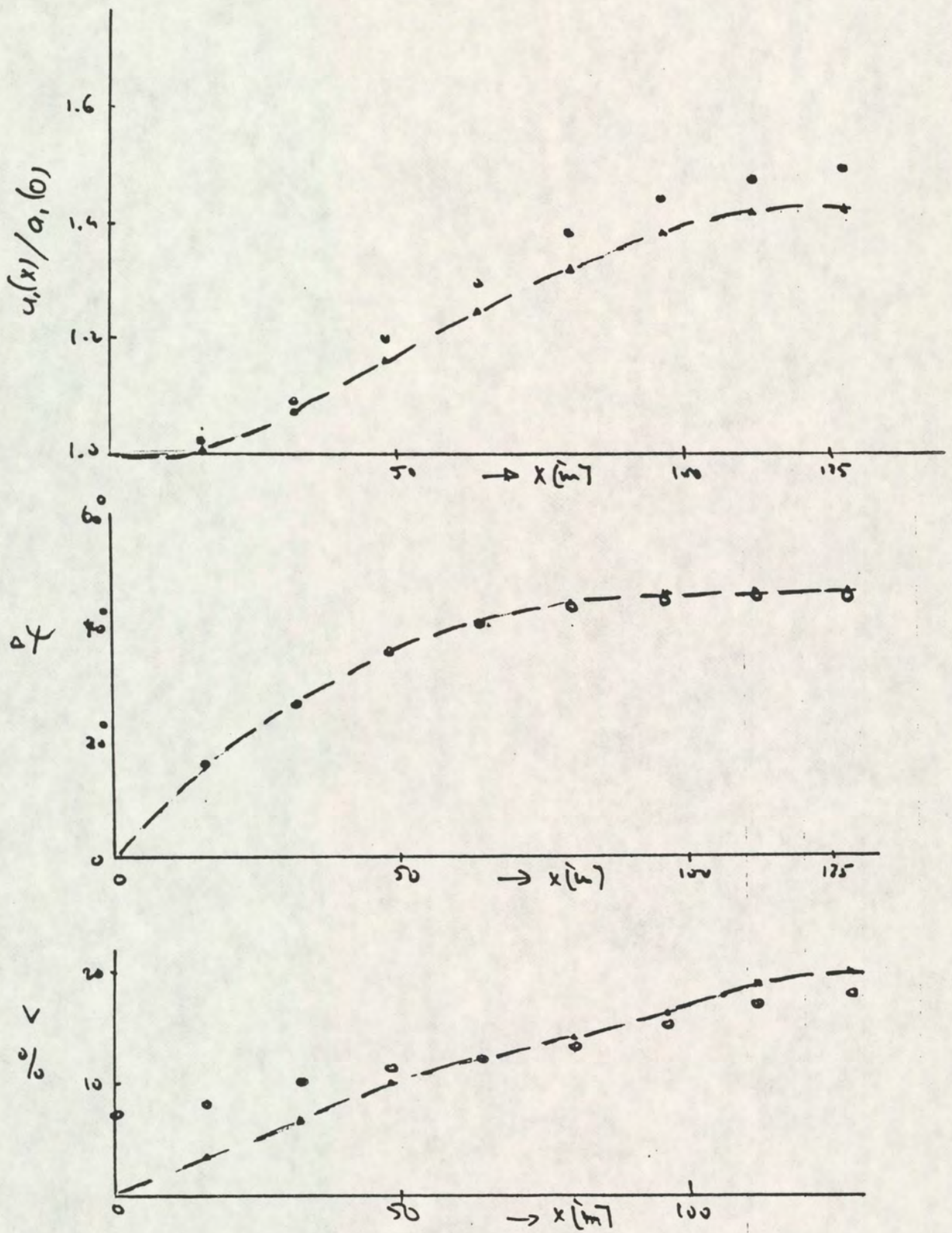
○ METING  
—•— INITIAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 14





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H6

P012  
a1(0)=3.75 cm

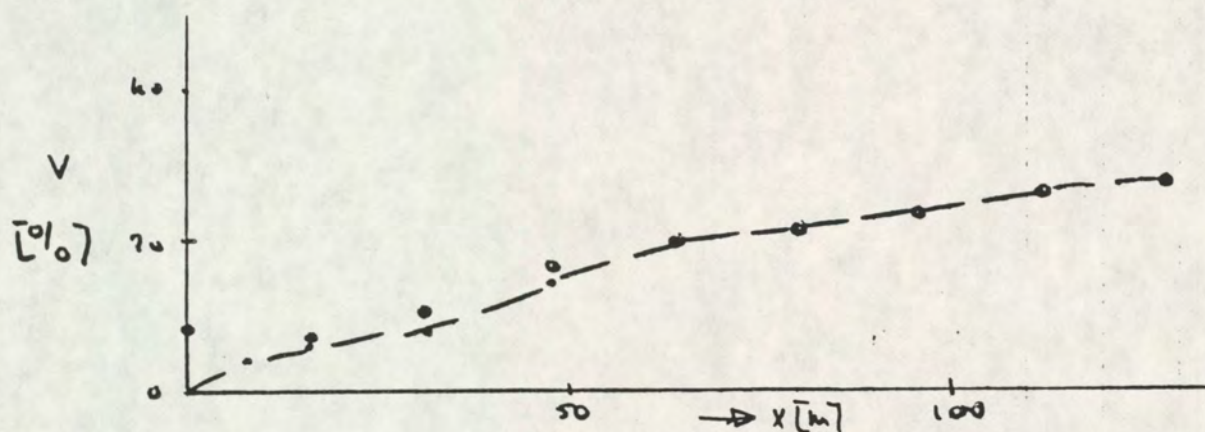
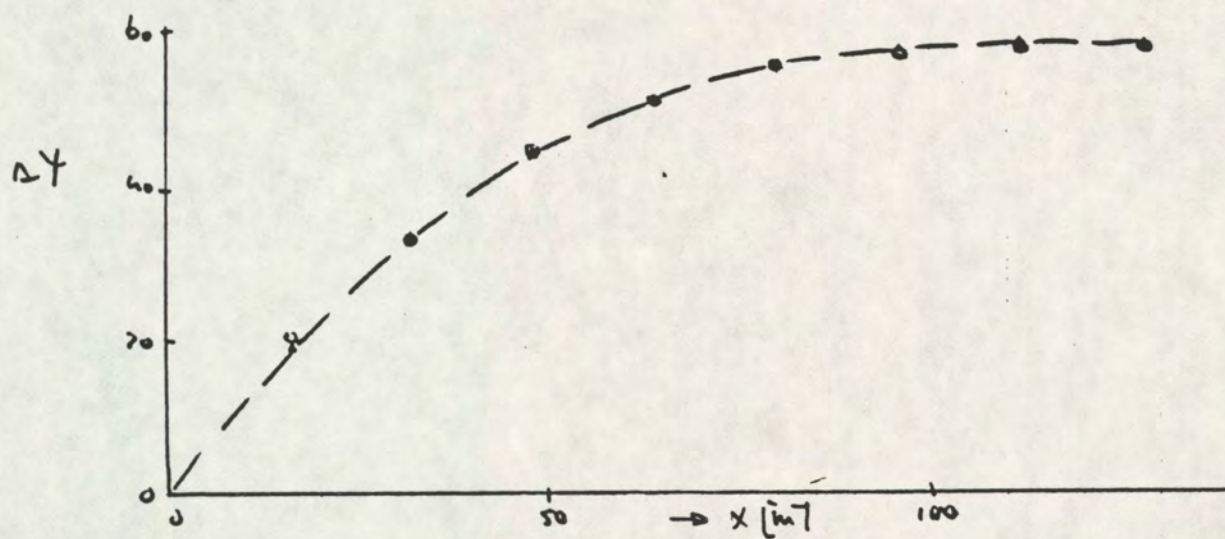
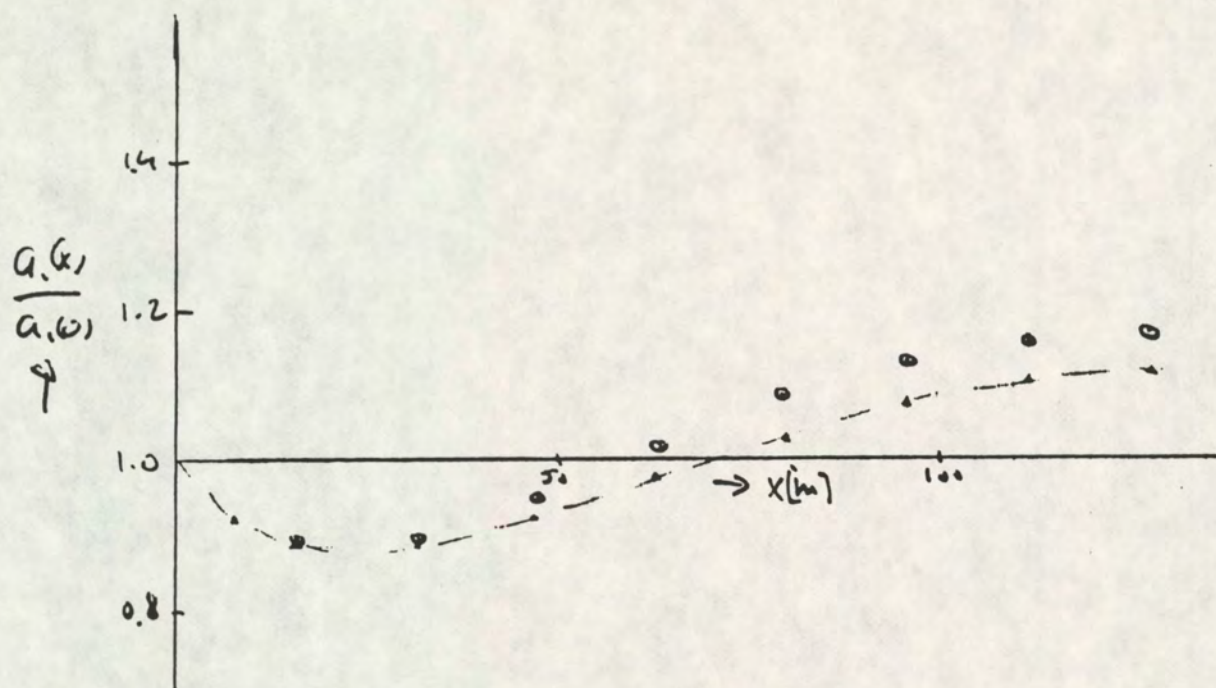
○ METING  
—△ INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 15





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H7

P013  
 $a_1(0) = 7.5 \text{ cm}$

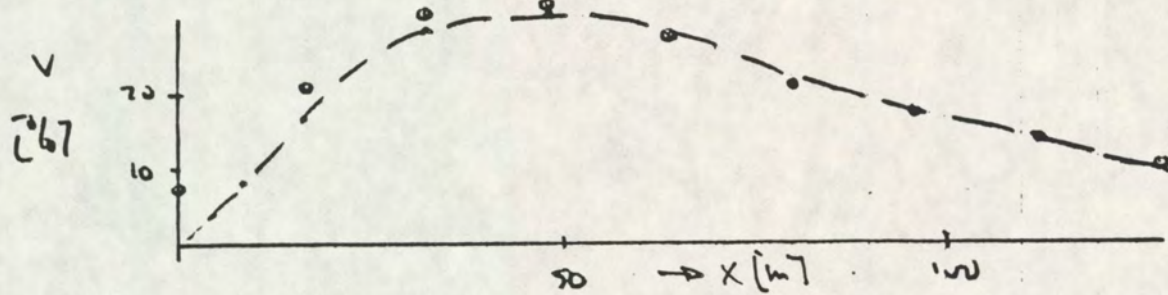
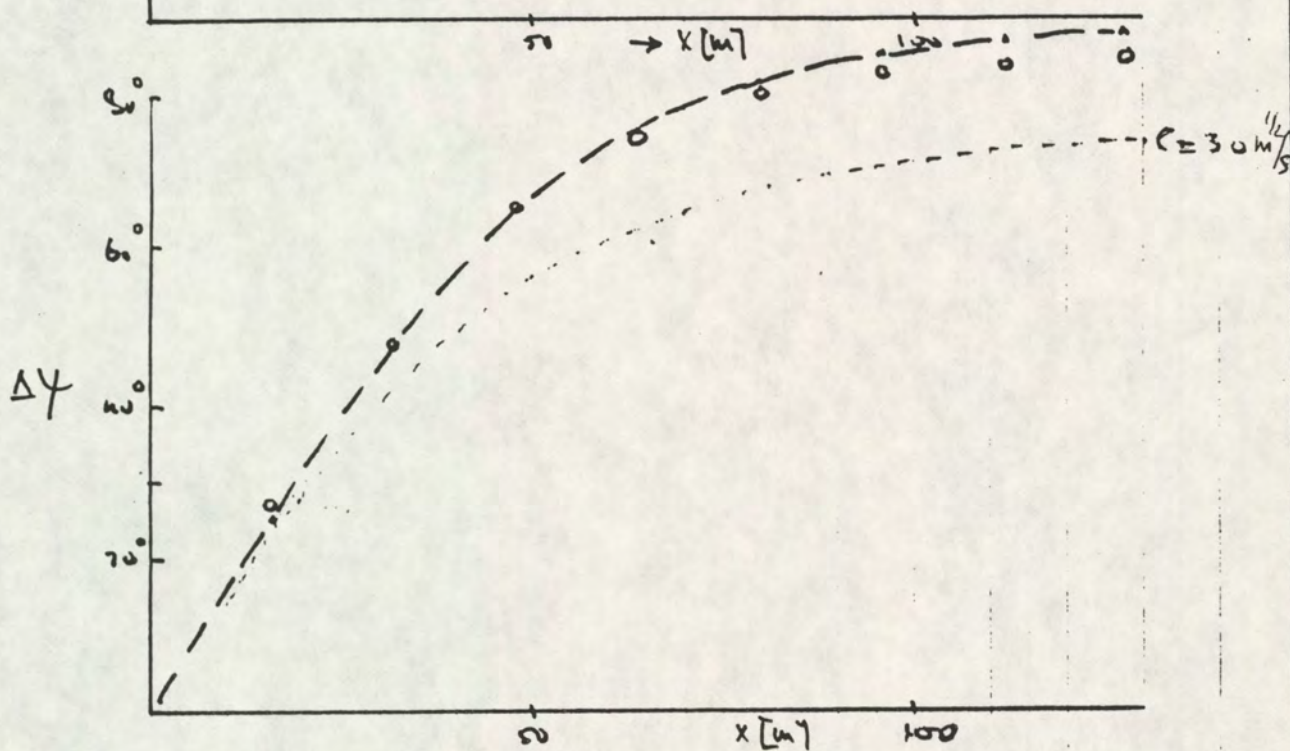
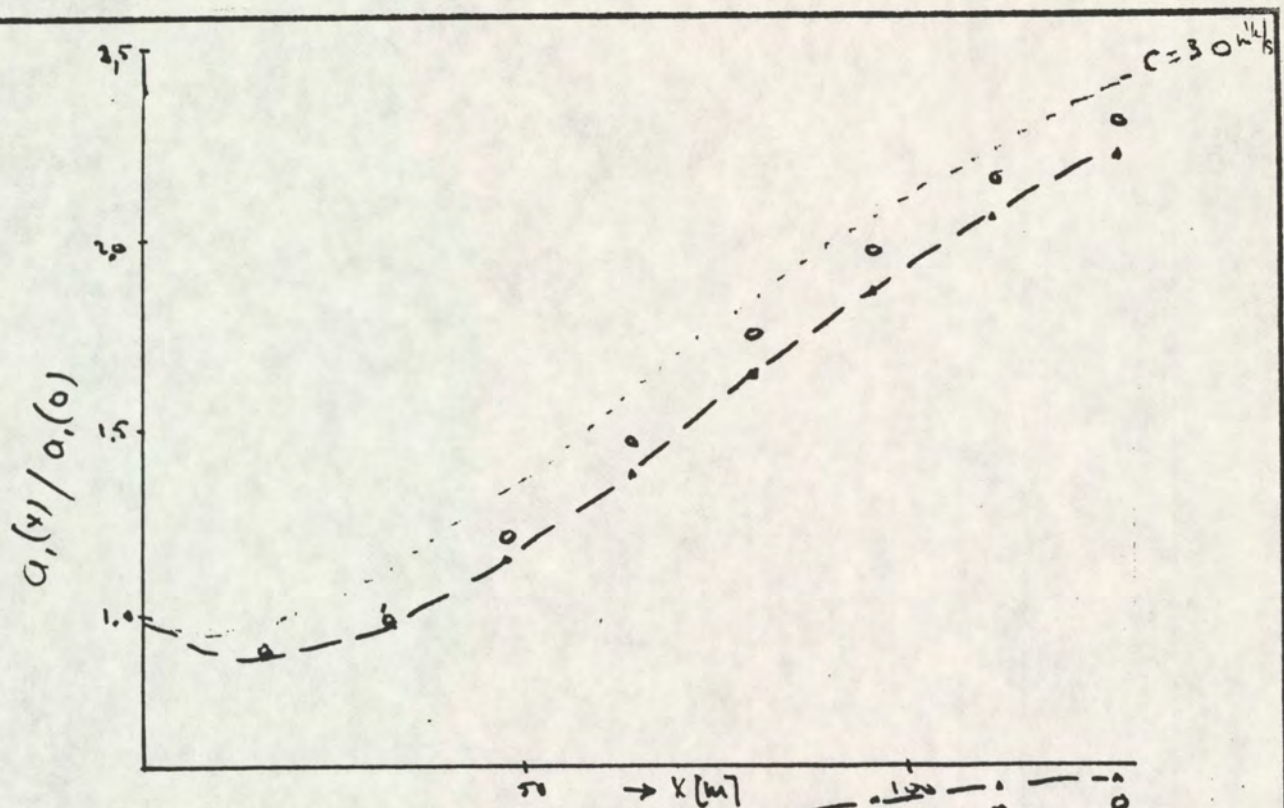
$\circ$  METING  
 $- \Delta$  INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 16





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H8

P014 L=180 m

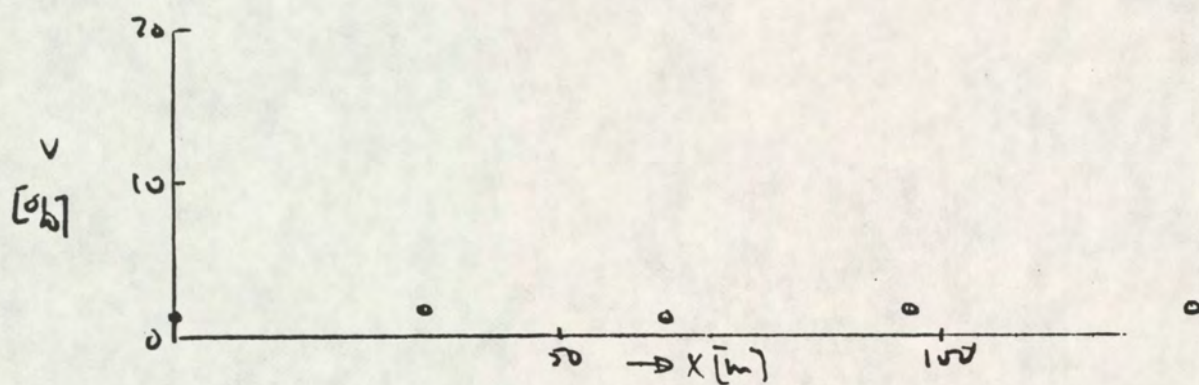
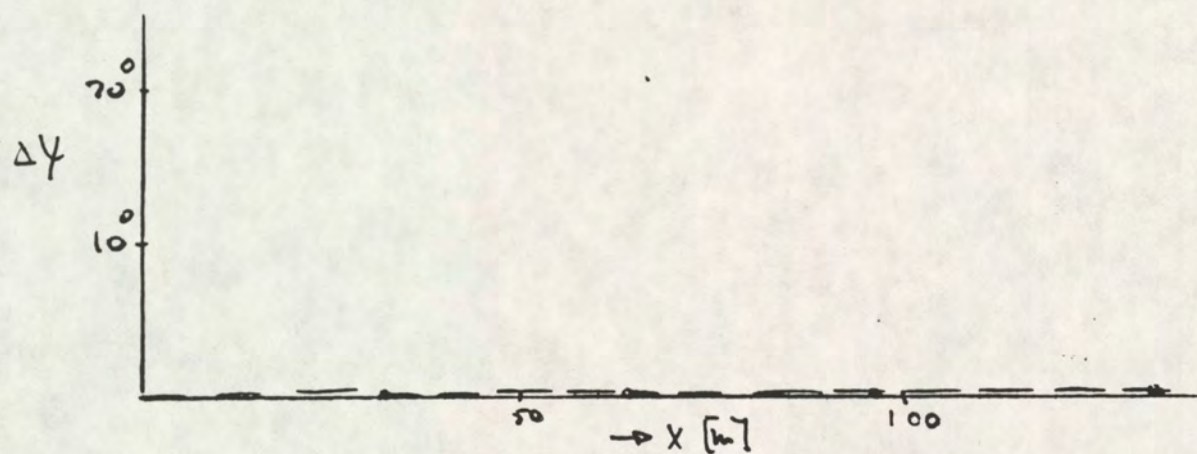
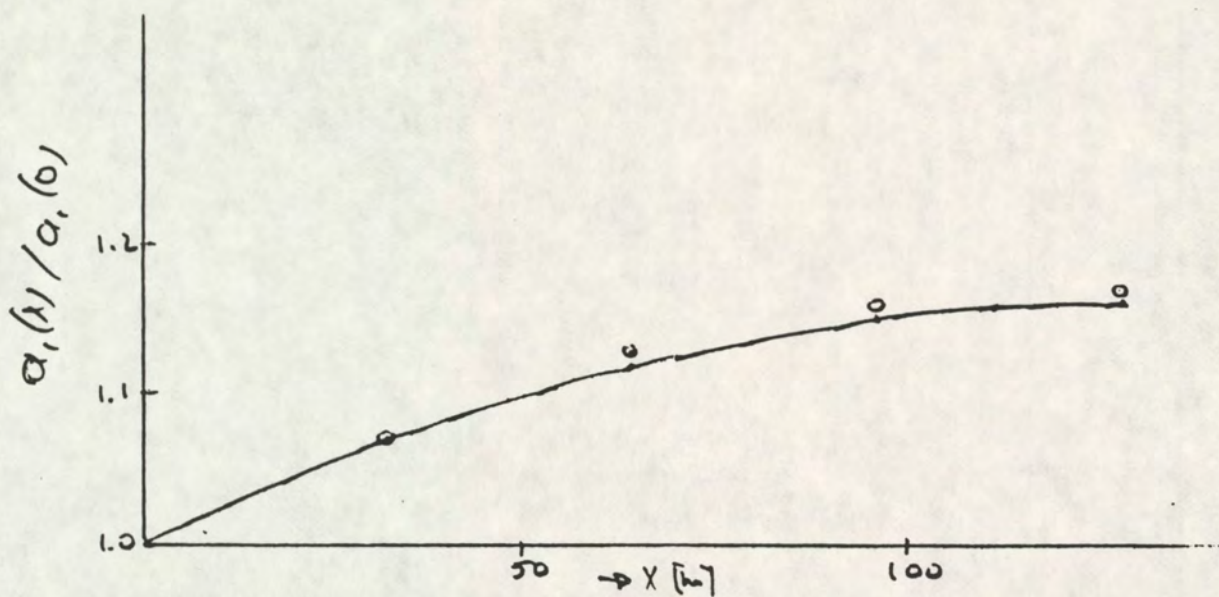
○ METING  
—△ INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 17





VERGELIJKING GEMETEN/BEREKEND GETIJ H9

P015  $h=0.75$  m

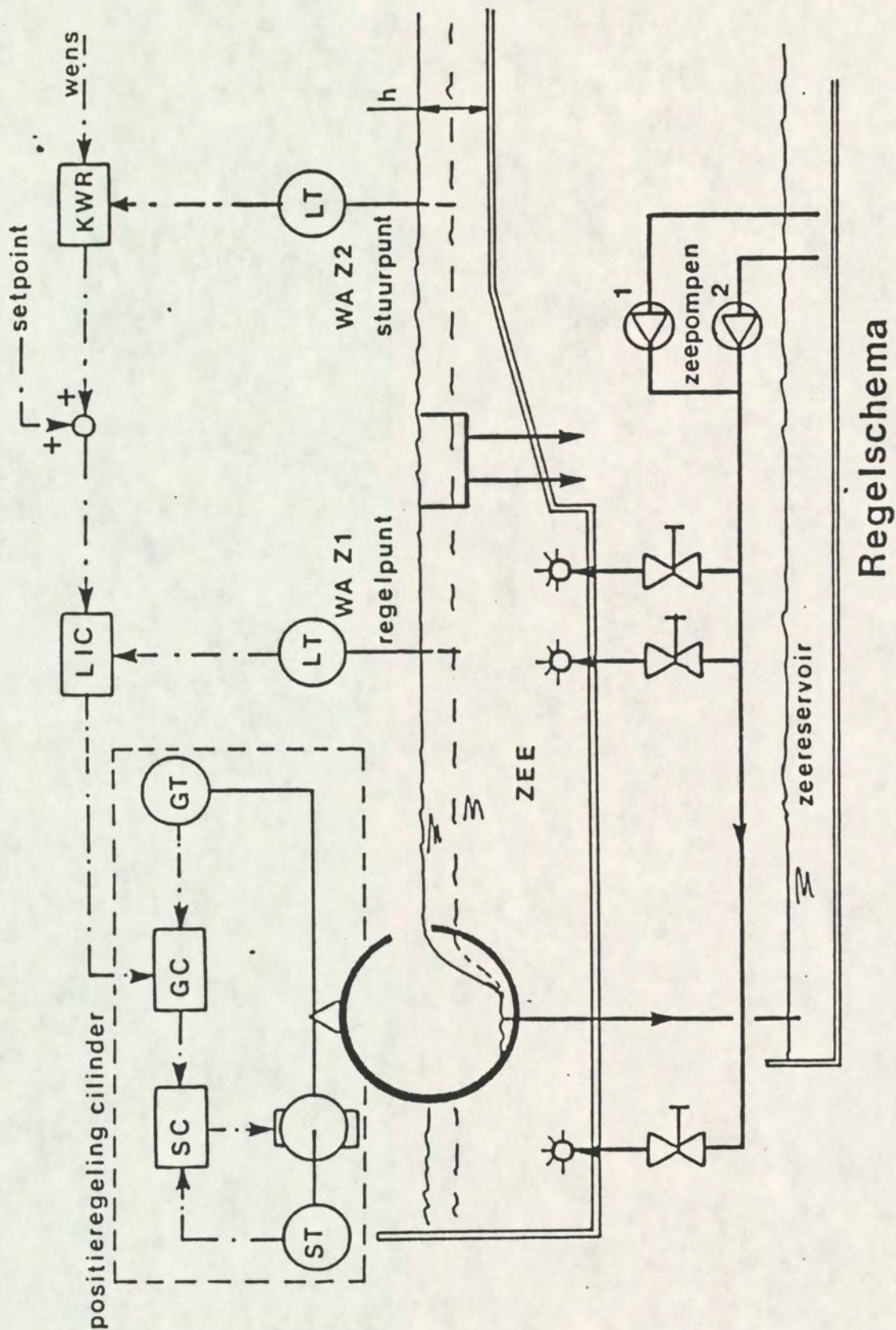
○ METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

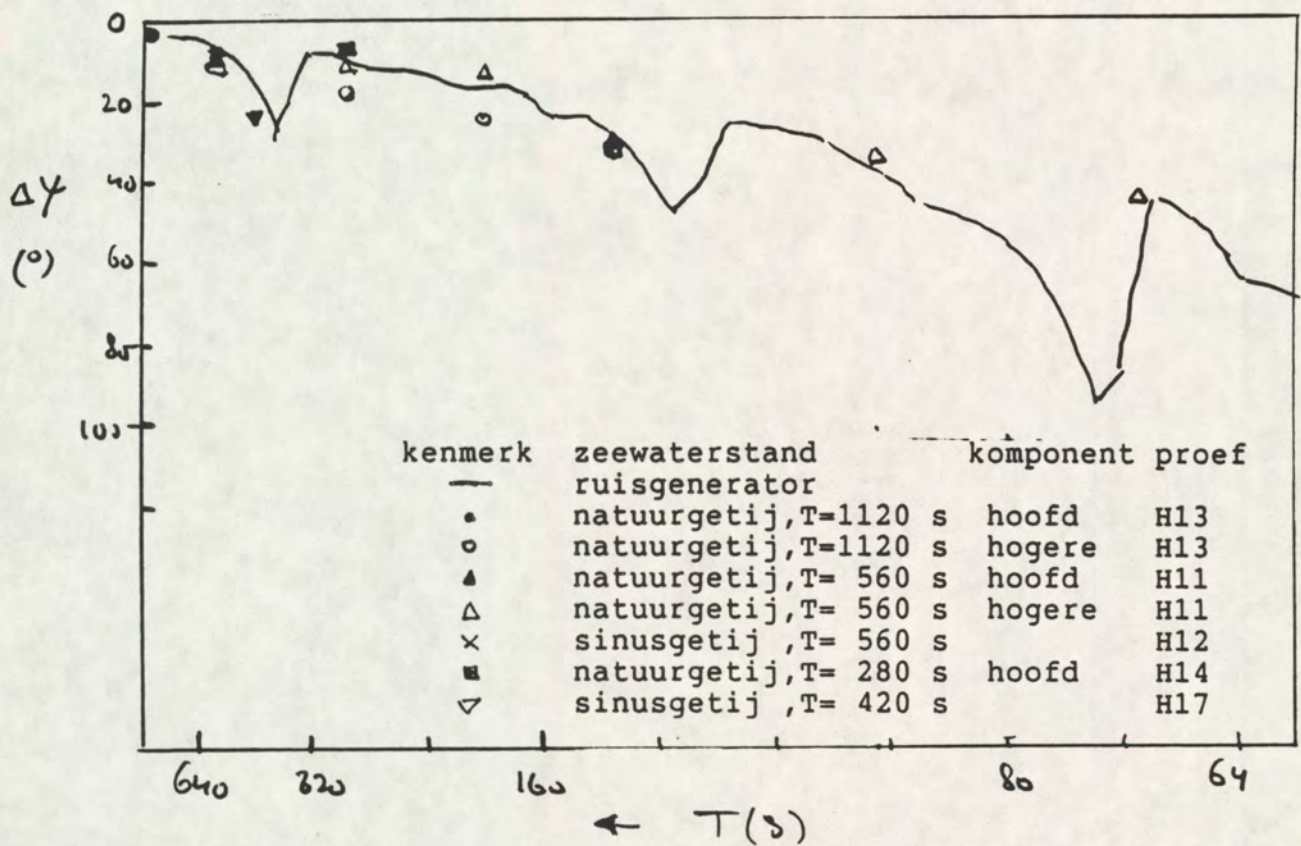
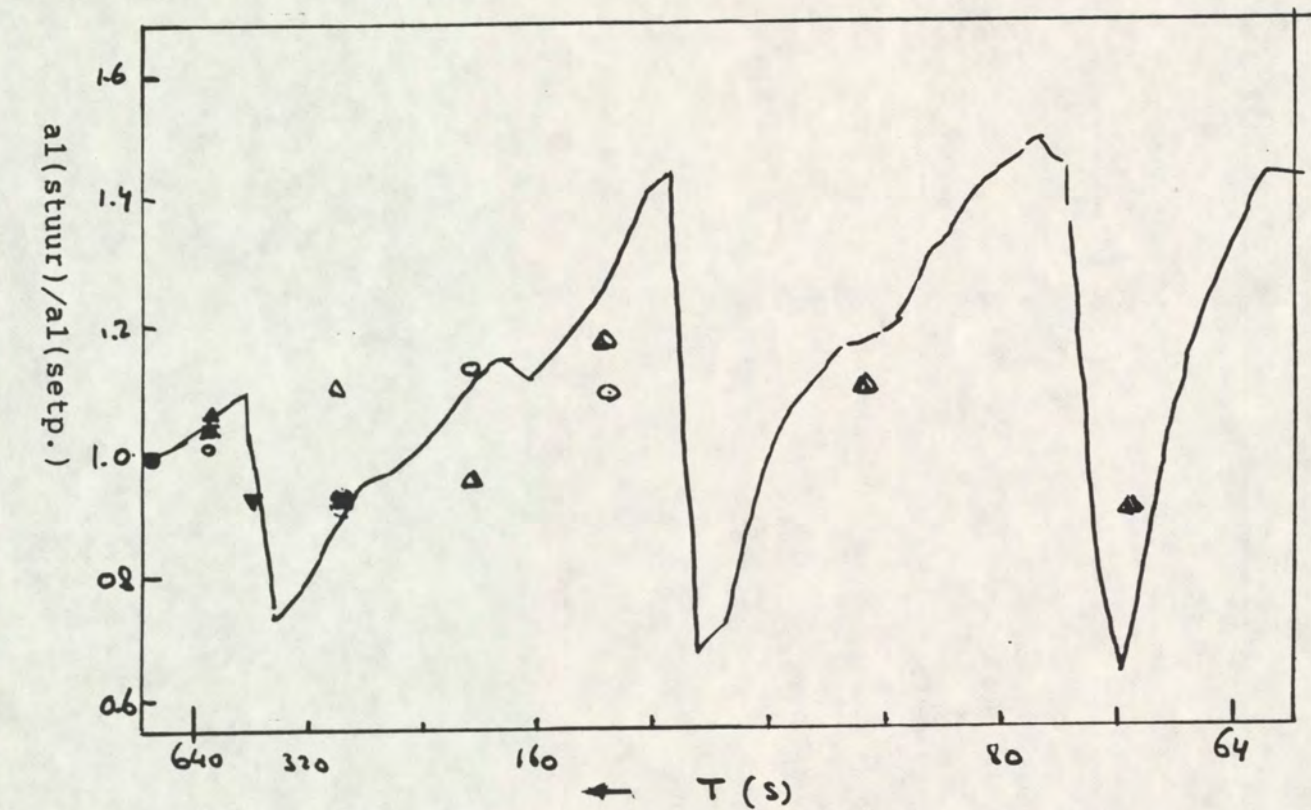
FIG 18





SCHEMA ZEEREGELING





OVERDRACHT CYLINDER/STUURWAVO

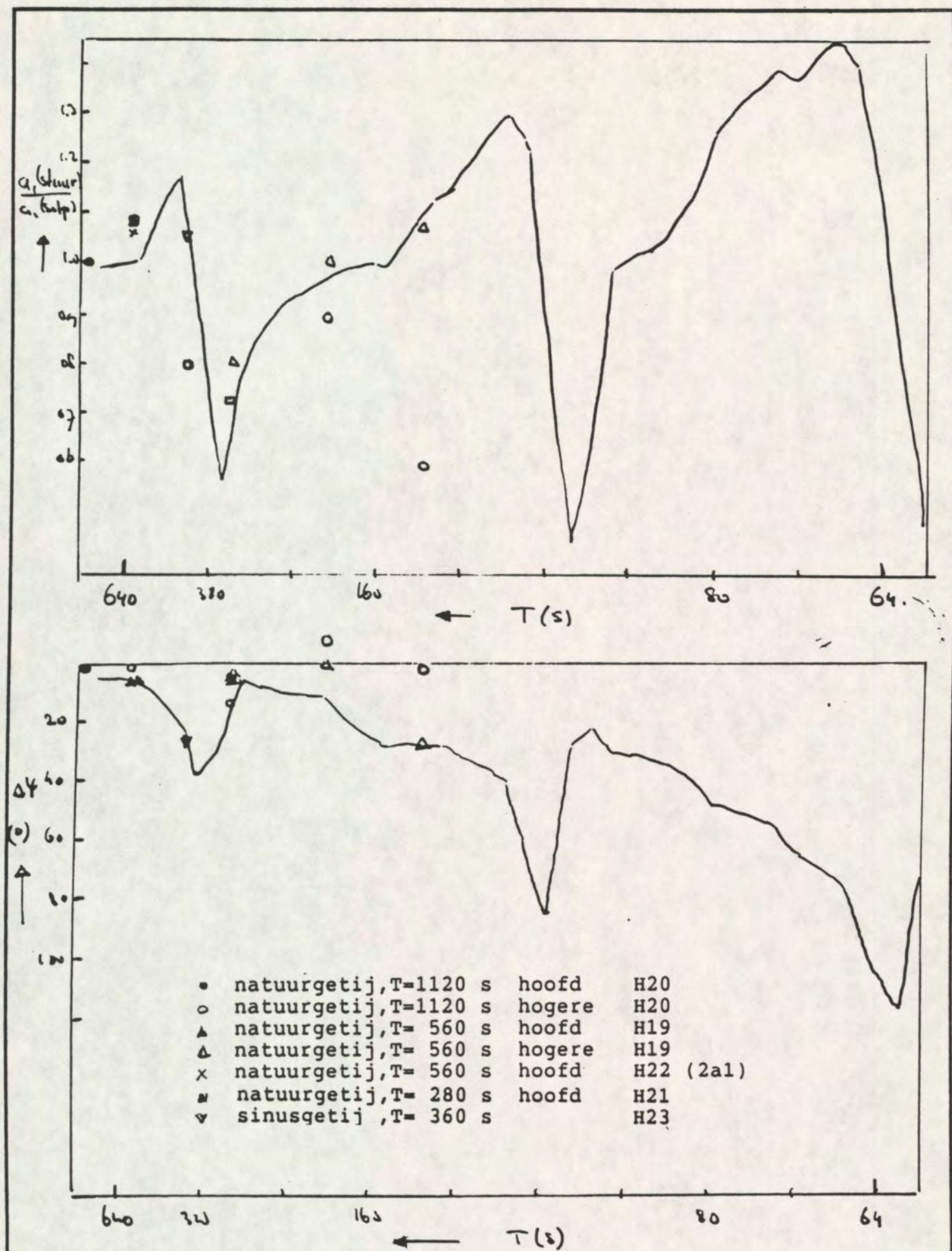
$h=0.216$  m

A<sub>4</sub>

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

FIG 20





OVERDRACHT CYLINDER/STUURWAVO-

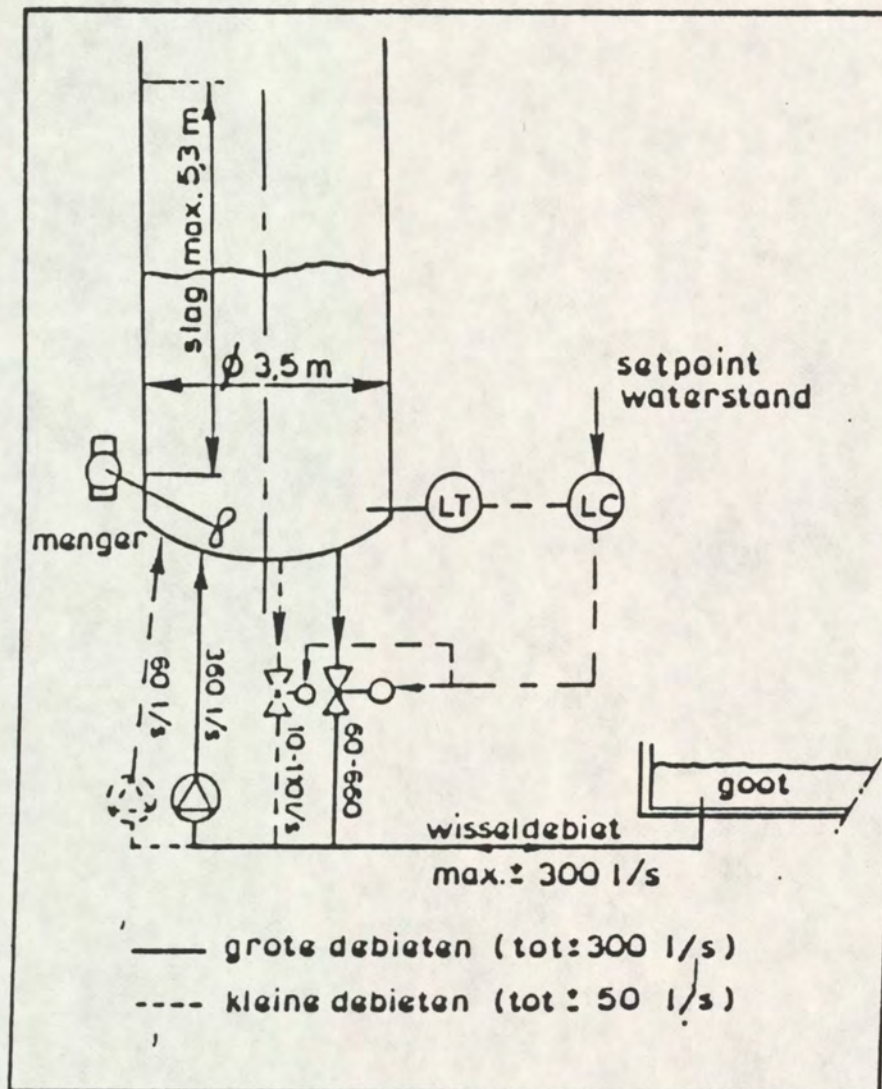
$h = 0.30 \text{ m}$

A<sub>4</sub>

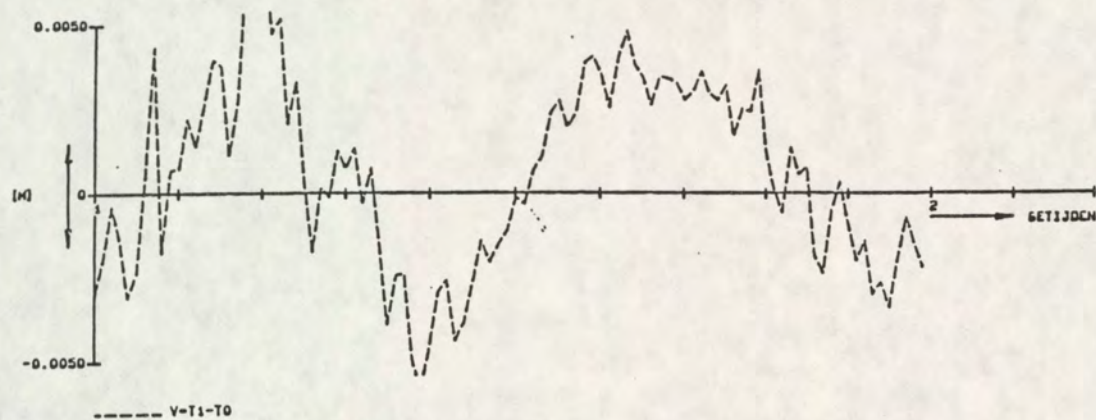
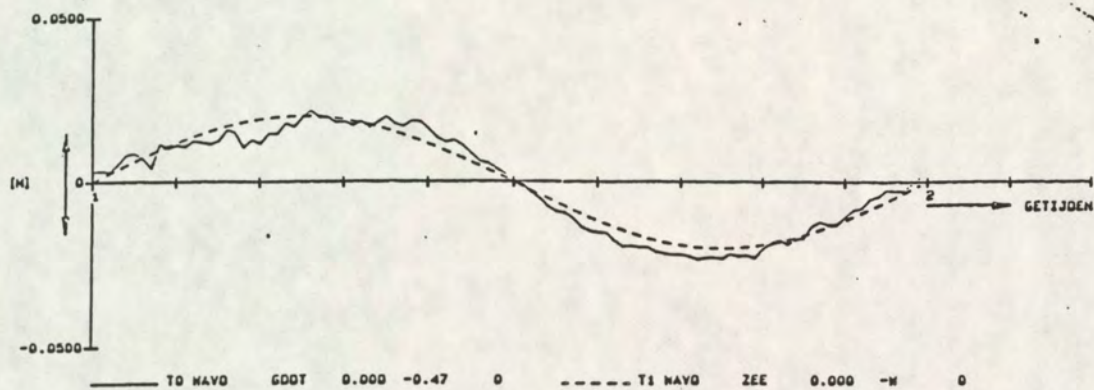
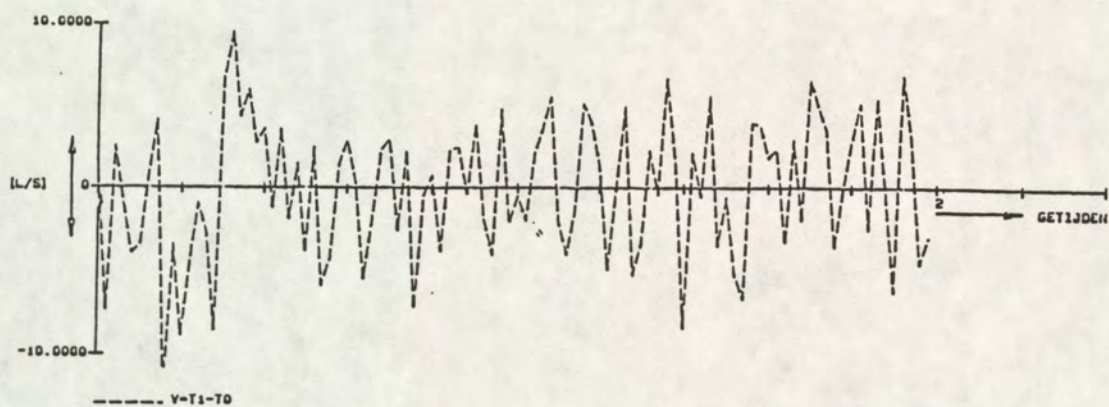
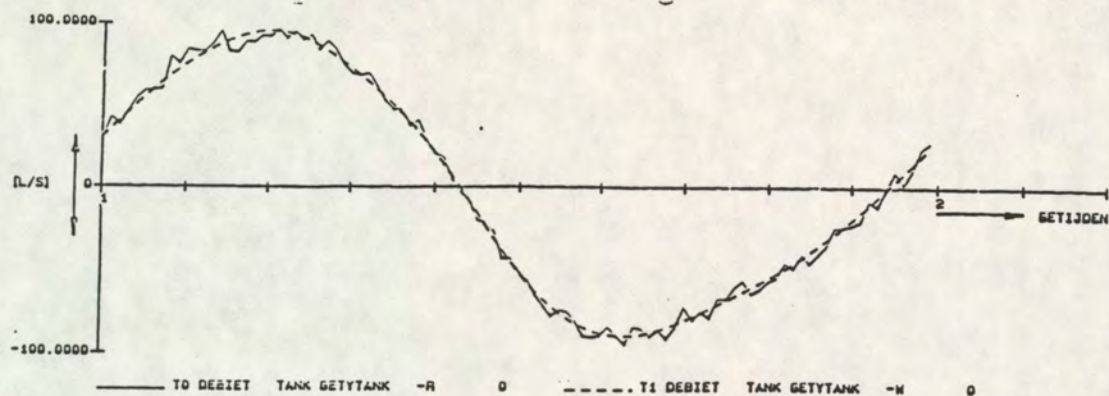
DELFT HYDRAULICS LABORATORY

FIG 21









VERGELIJKING GEWENST(W) EN GEREALISEERD GETIJTANKDEBIET  
GEWENSTE(W) EN GEREALISEERDE WATERSTAND

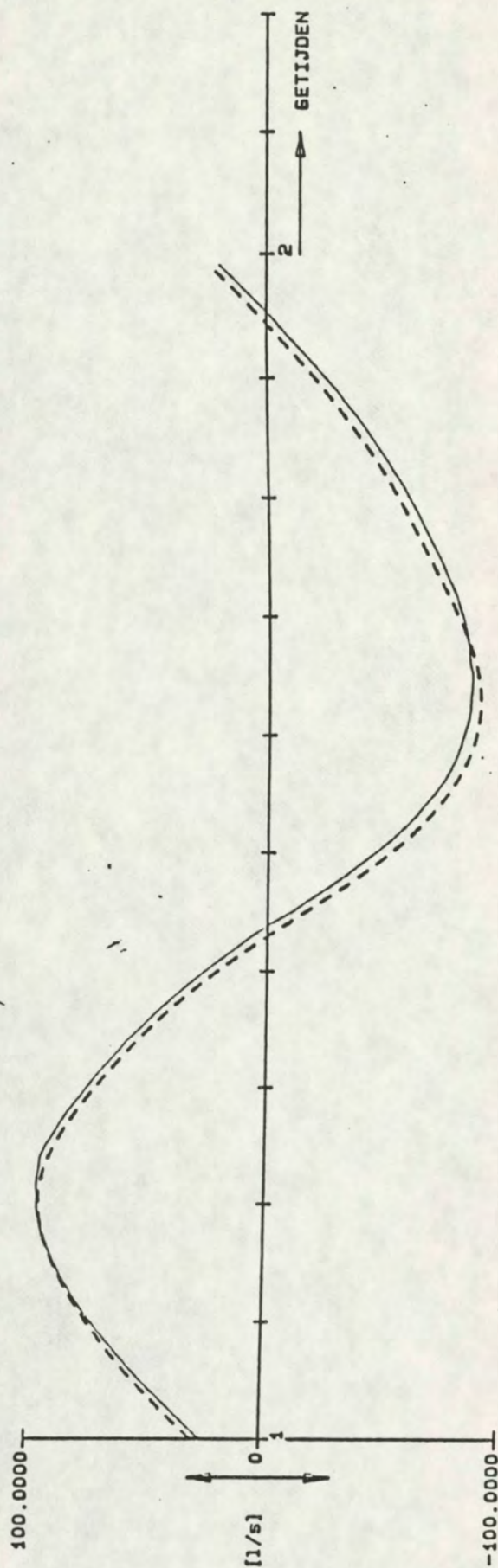
T0: Z0159P089  
T1: R049

A4

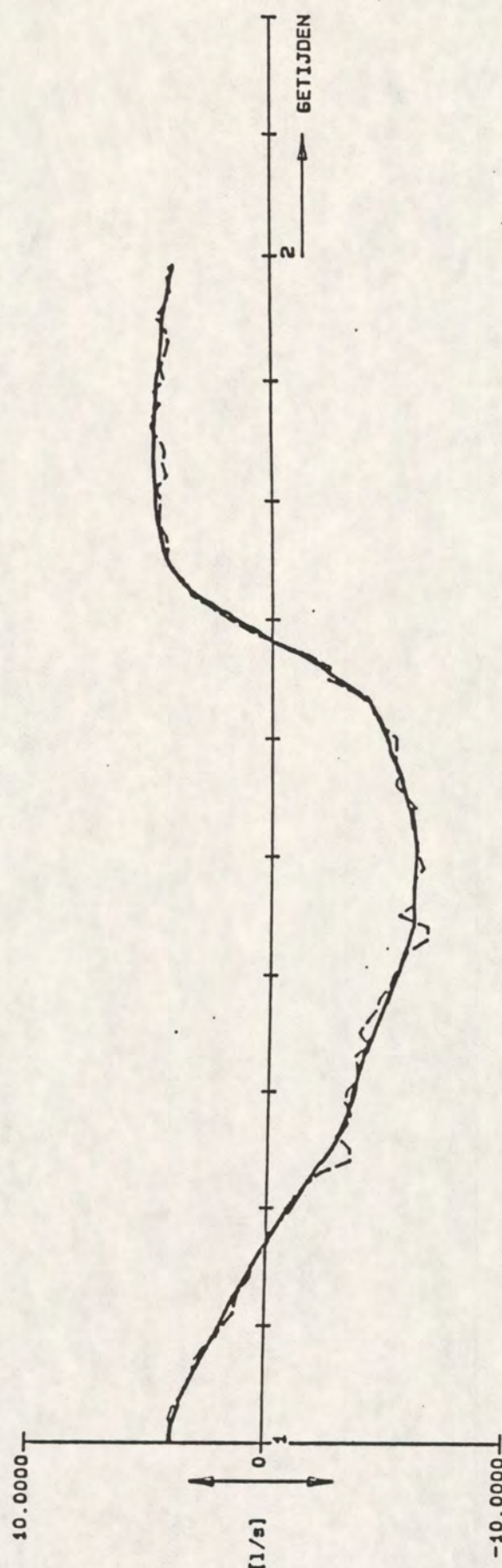
DELFT HYDRAULICS LABORATORY

FIG 23





— TO DEBIET TANK GETYTANK -R 0 - - - - T1 DEBIET TANK GETYTANK -M 0



— V-T1-T0

VERGELIJKING GEWENST(W) EN M.B.V. DEBIET/WATERSTANDS-  
REGLING GEREALISEERDE GETIJTANKDEBIETEN

BEGINGETIJ 1

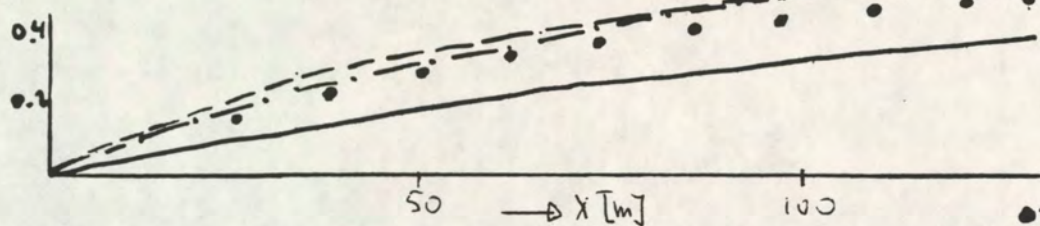
EINDGETIJ 1

TO: Z0159P107

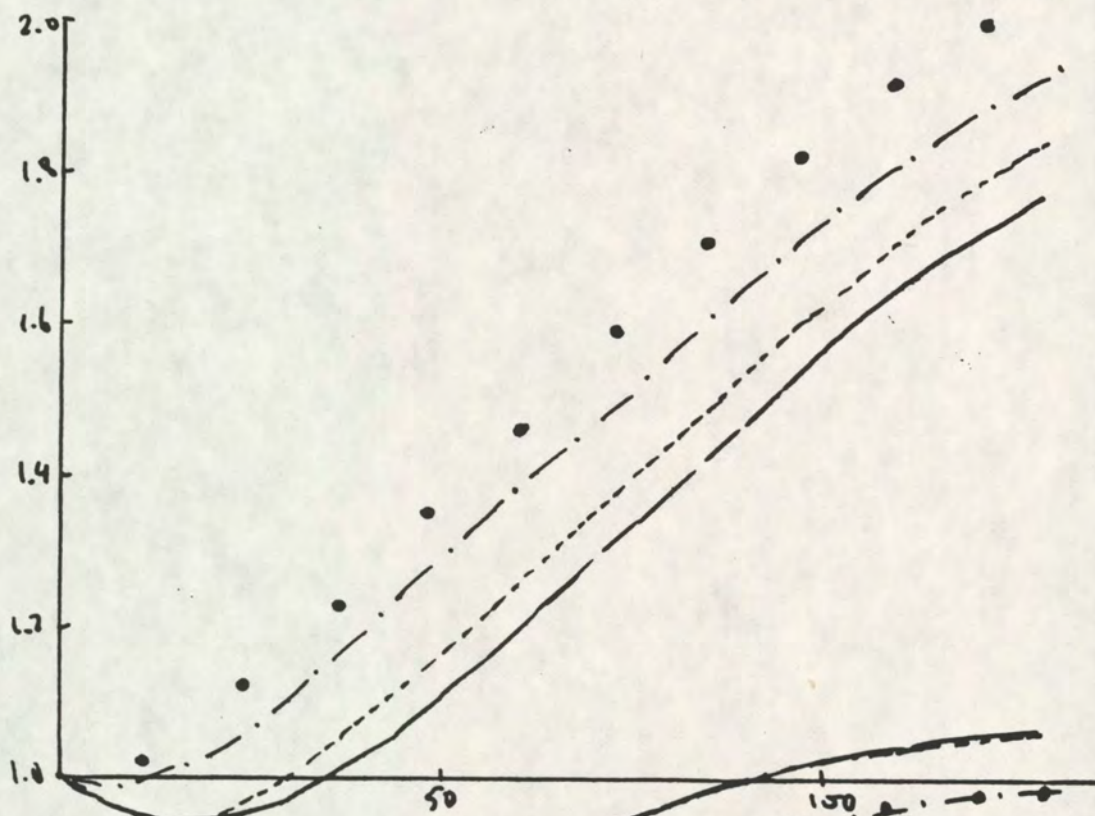
T1: R057



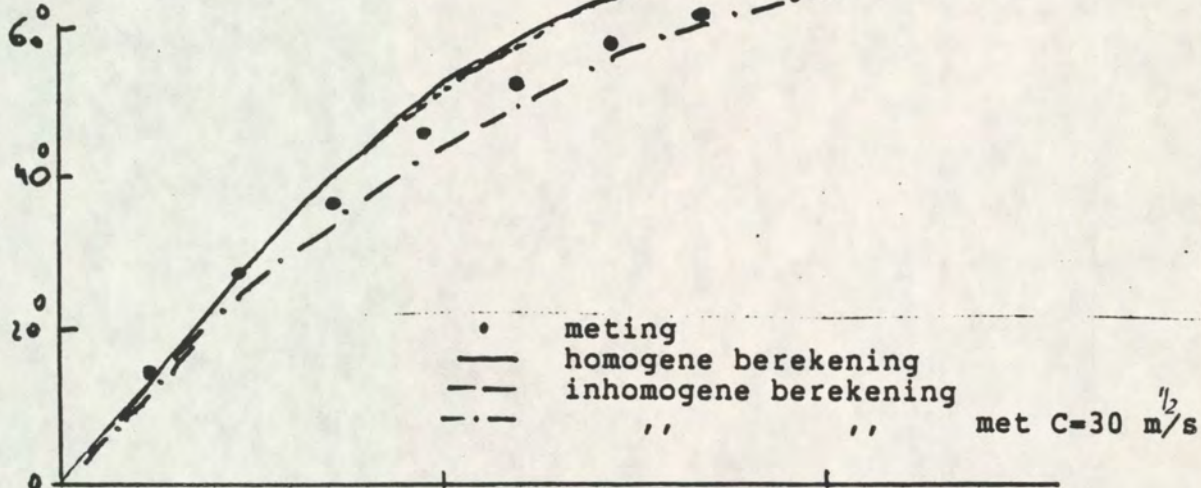
$\Delta \eta_0$   
↑  
[cm]



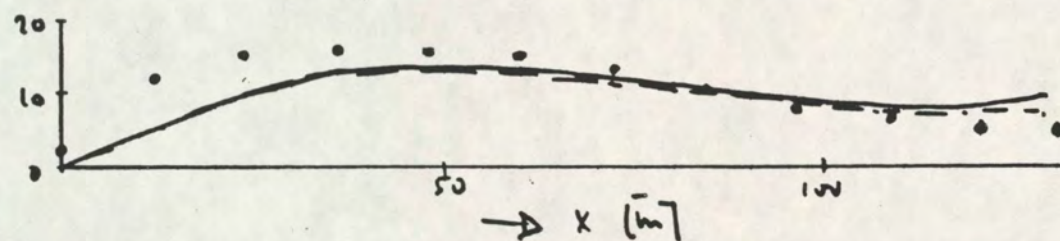
$a_1(x)/a_1(0)$   
↑



$\Delta \gamma(x)$   
↑



$U$   
[%]



VERTIKAAL GETIJ IN ZOUT/ZOET-PROEF 10

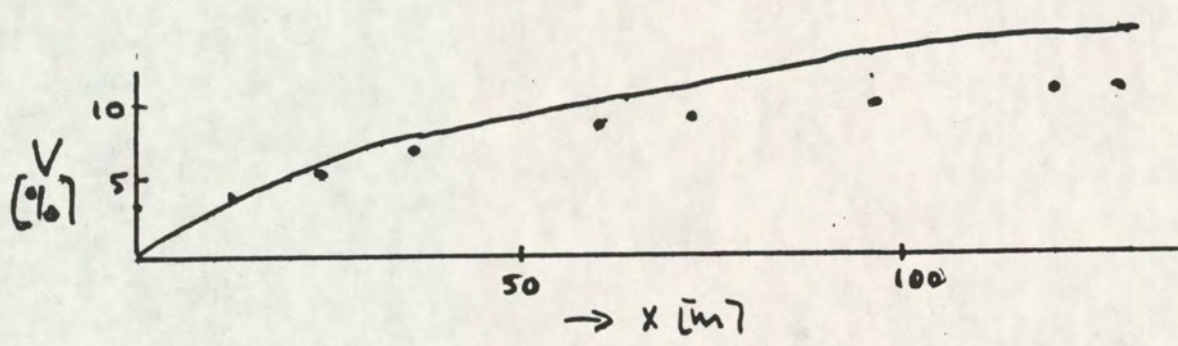
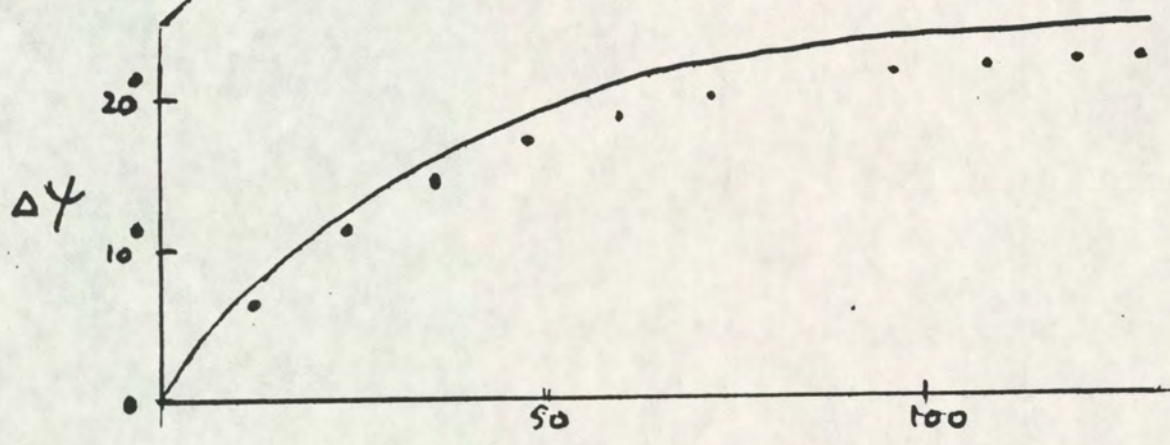
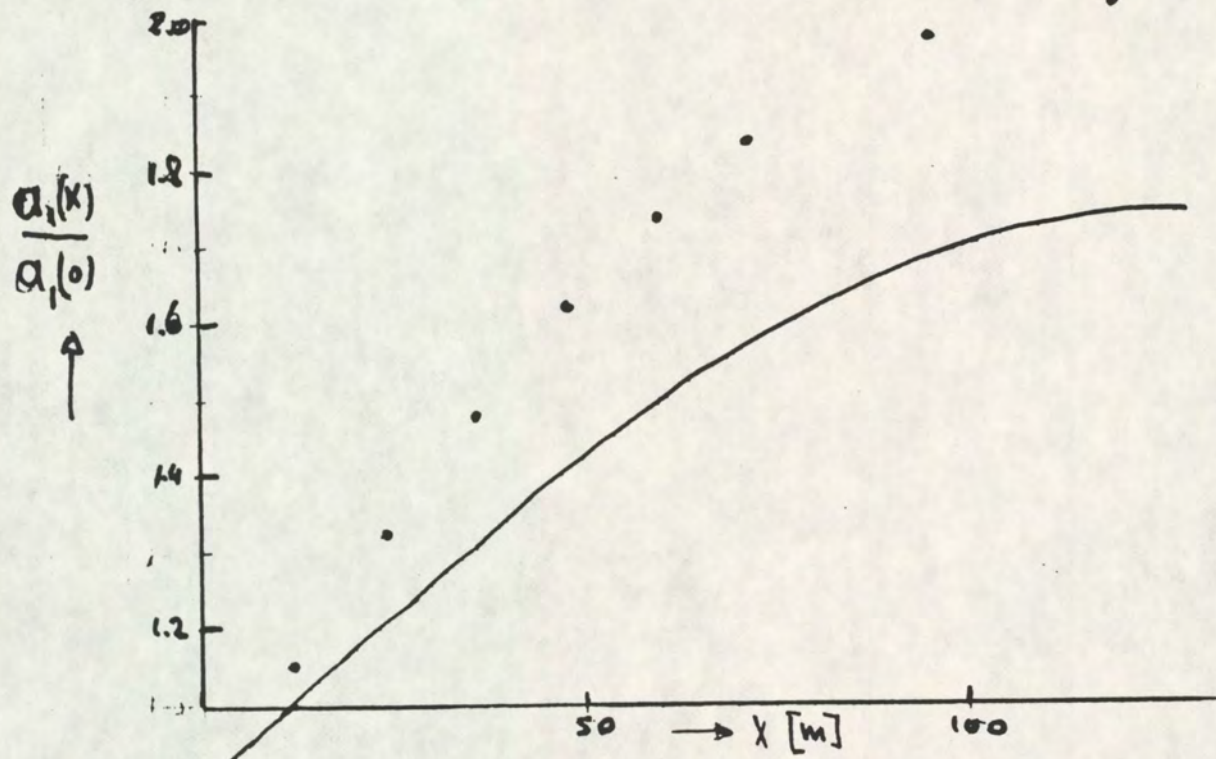
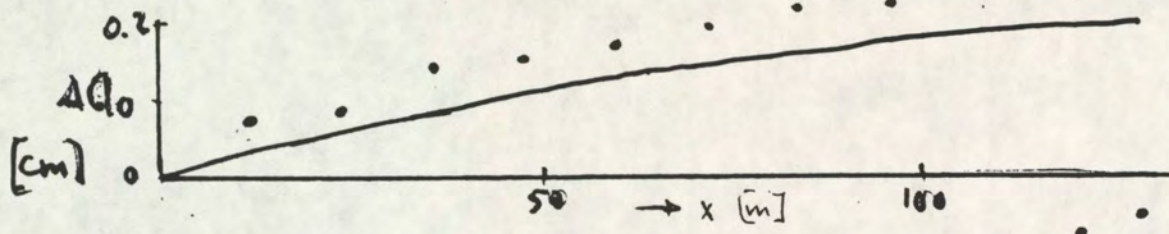
P020

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 25





VERTIKAAL GETIJ IN ZOUT/ZOET-PROEF I1 P023

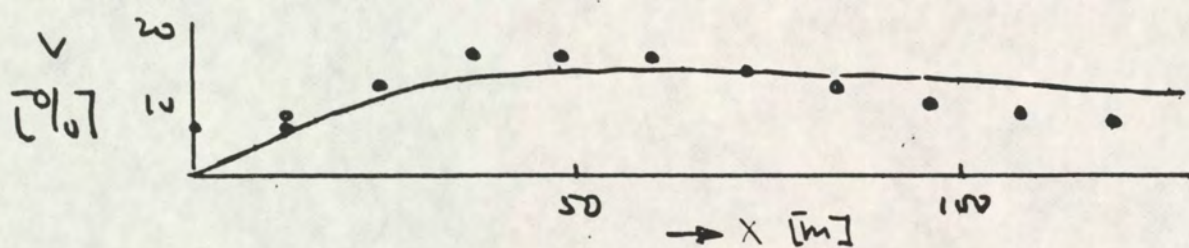
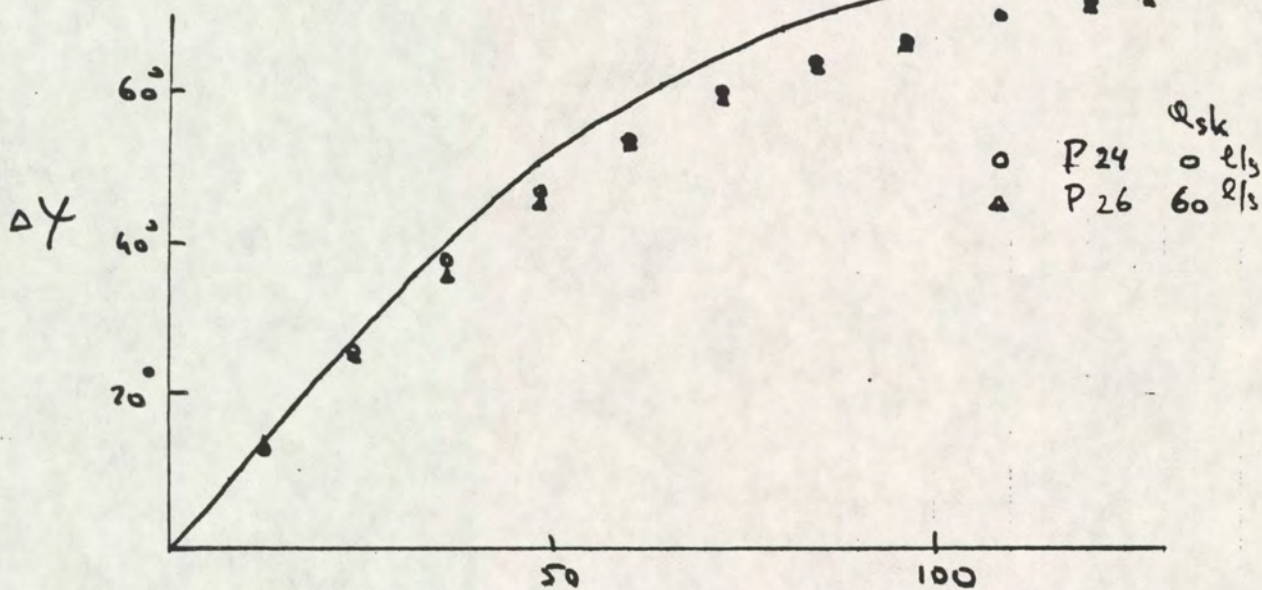
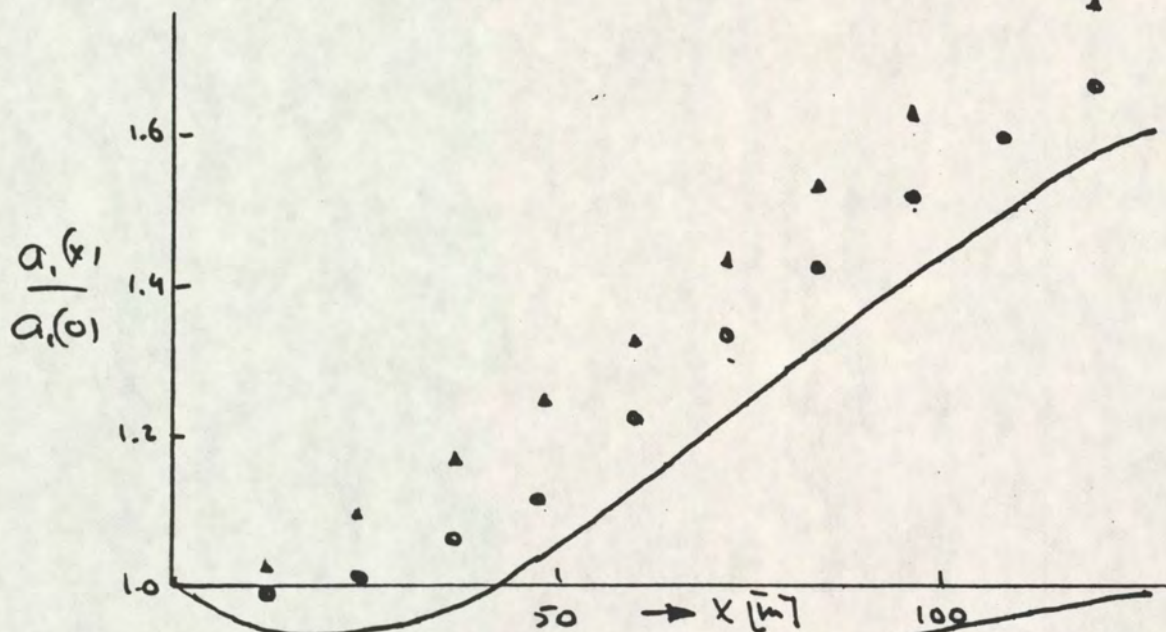
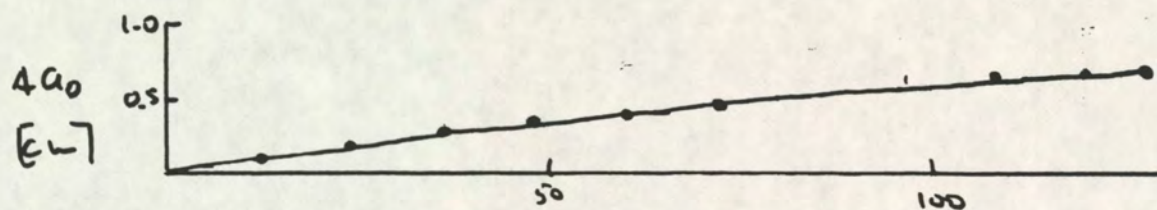
• METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 26





VERTIKAAL GETIJ IN ZOUT/ZOET-PROEF I2 P024

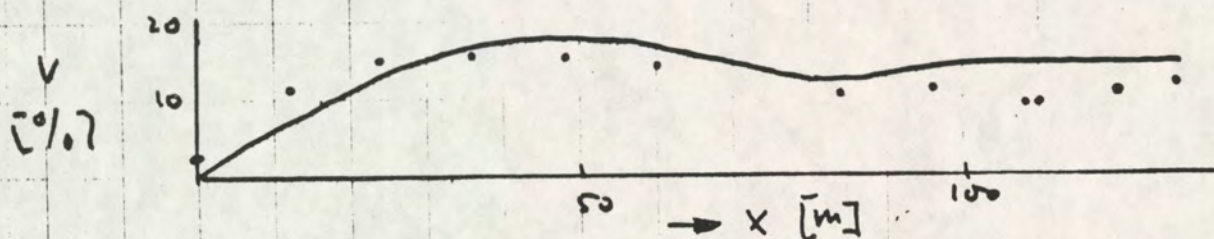
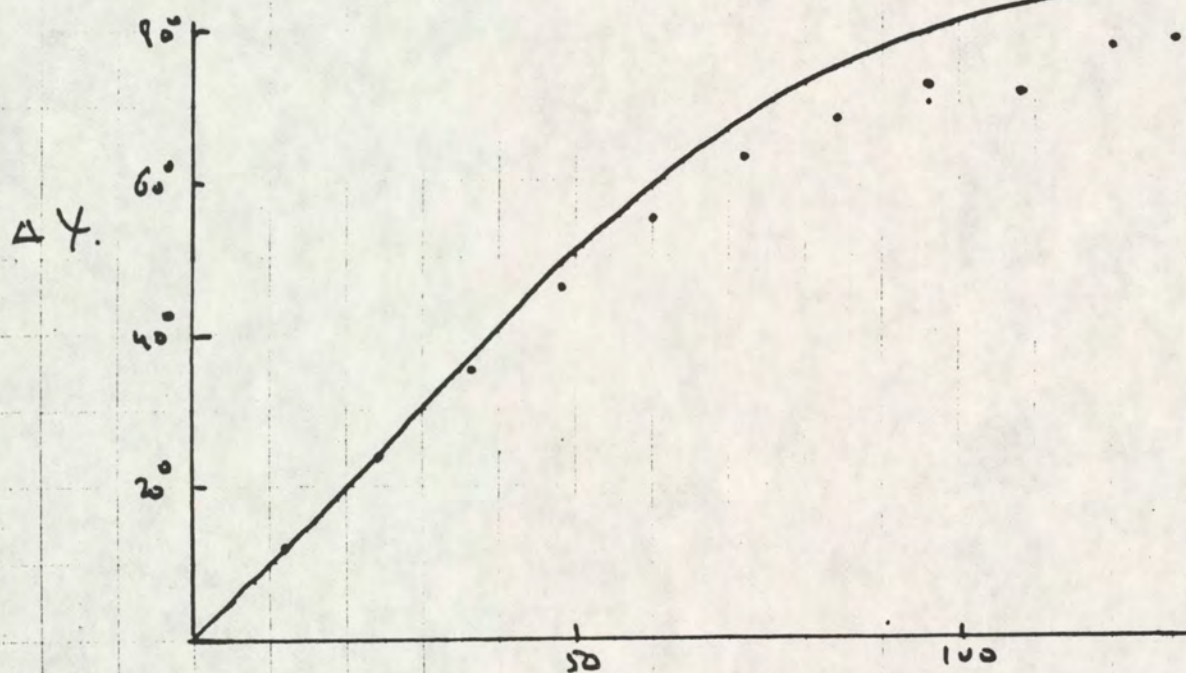
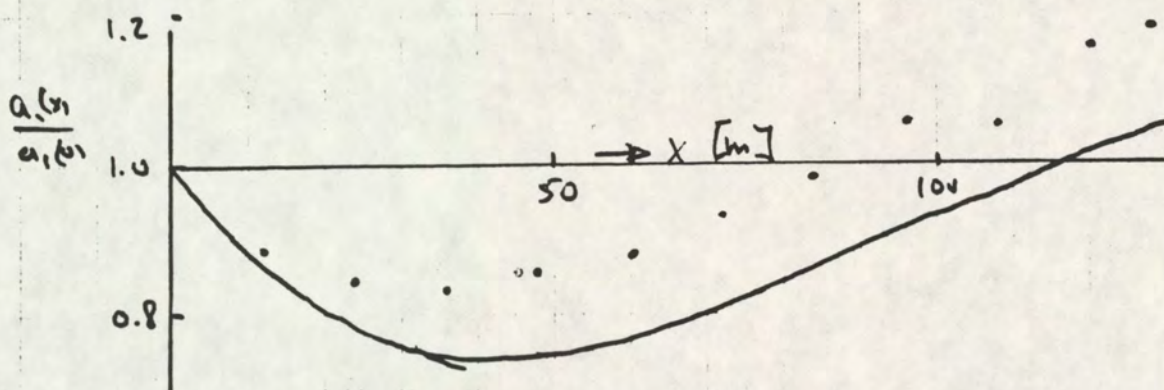
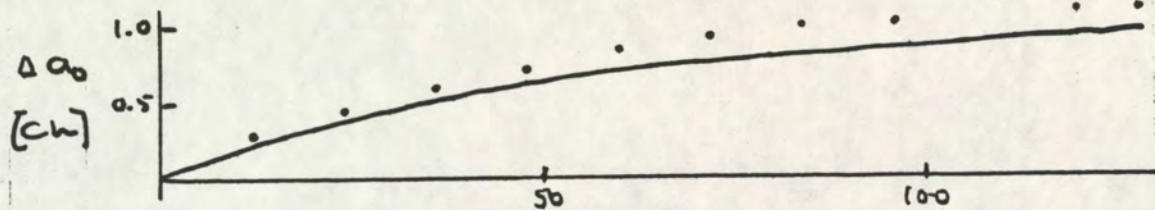
○ △ METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 27





VĚRTIKAAL GETIJ IN ZOUT/ZOET-PROEF 17

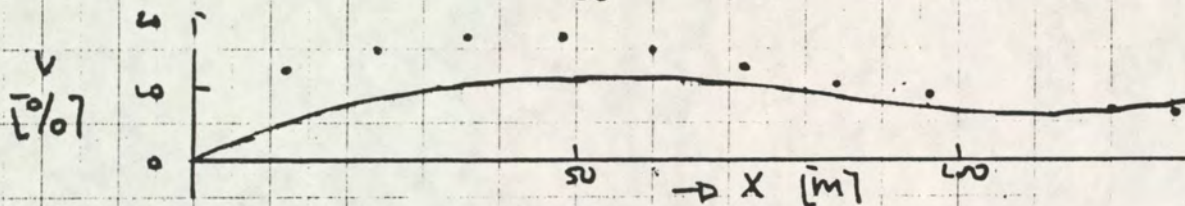
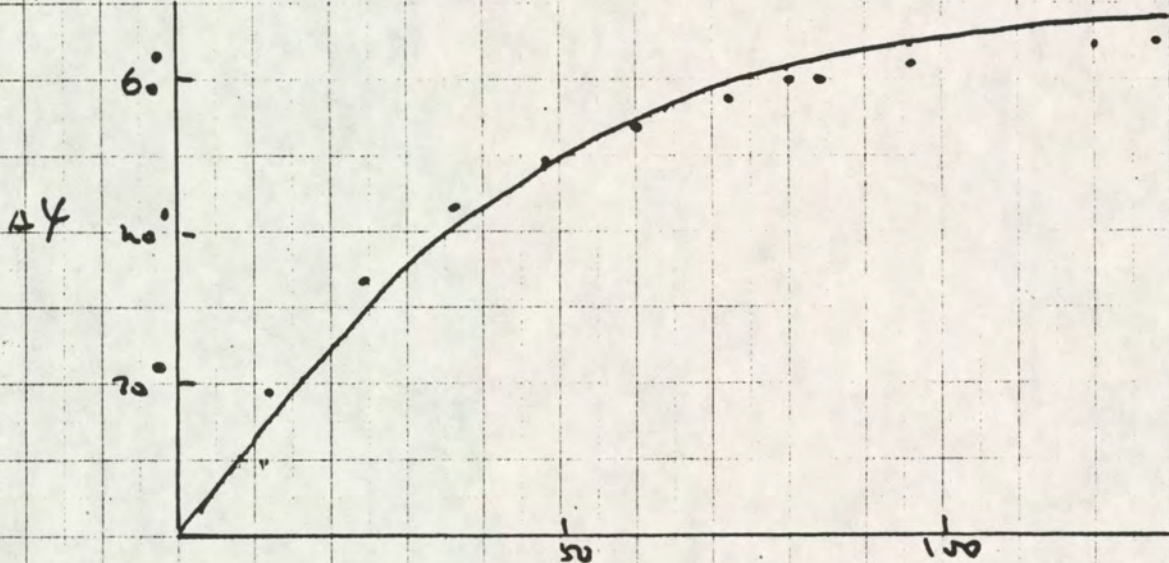
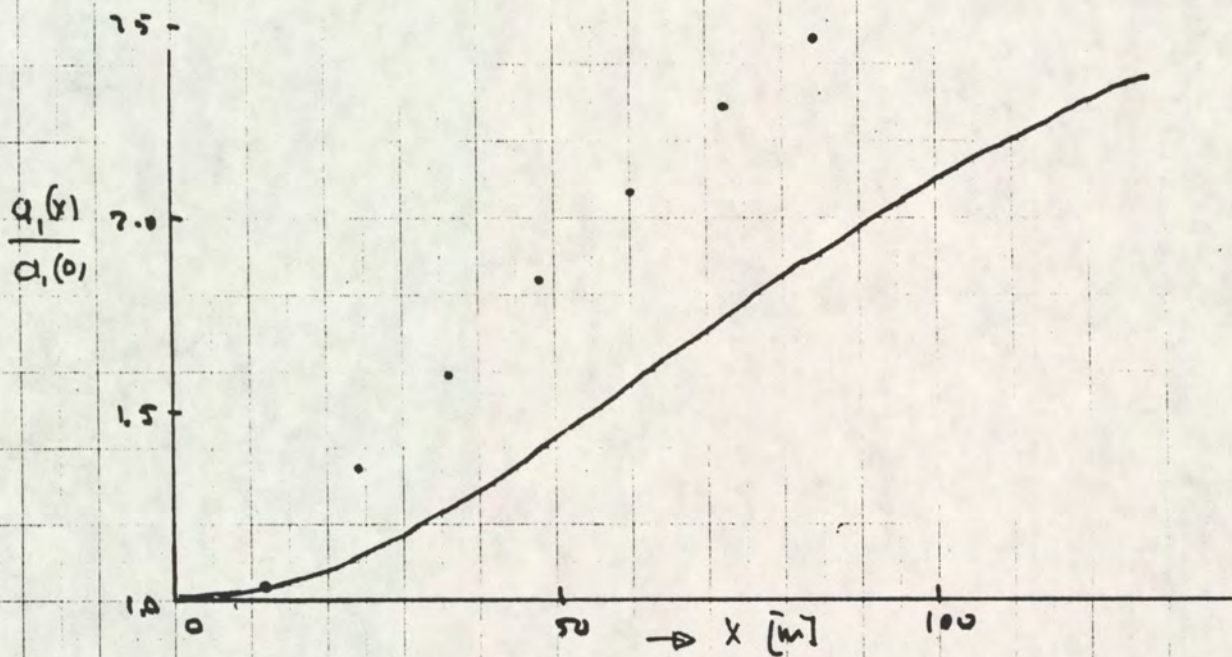
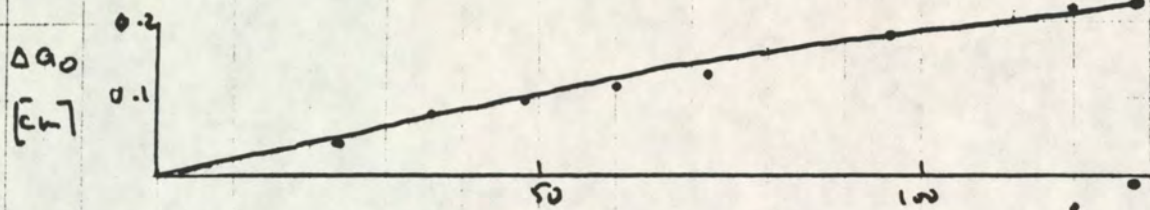
• METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 28





VERTIKAAL GETIJ IN ZOUT/ZOET-PROEF 18

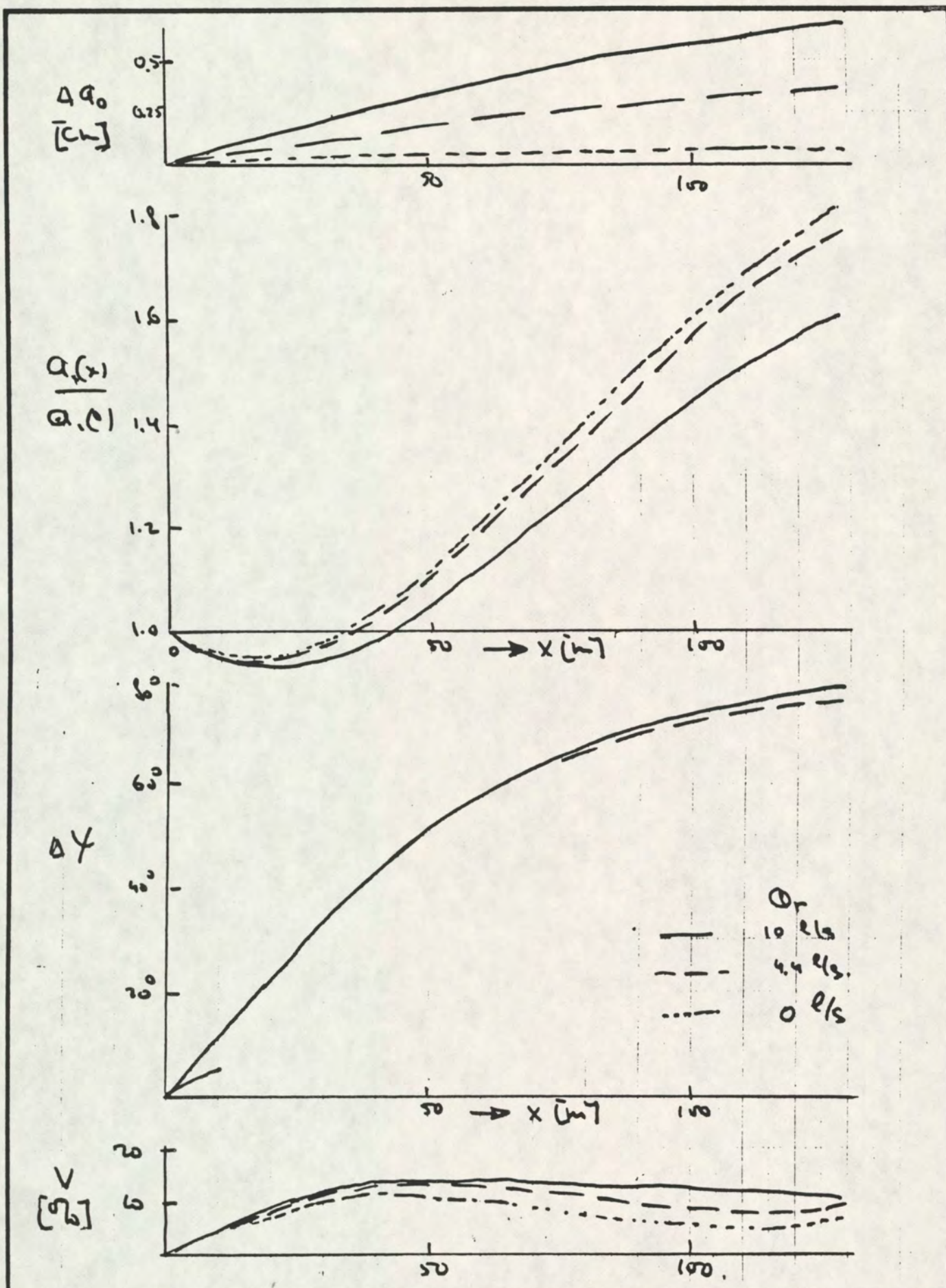
• METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 29





VARIATIE VERTIKAAL GETIJ MET RIVIERAFVOER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

A4

FIG 30



$a_0$   
[cm]

0.4  
0.2

50

100

$\frac{a_x(x)}{a_0}$

2.0  
1.0

50

100

$\rightarrow x$  [m]

$\Delta\varphi$   
[°]

50°  
40°  
30°  
20°

50

100

$\rightarrow x$  [m]

$V$  [m/s]

20  
0

50

100

$\rightarrow x$  [m]

VERTIKAAL GETIJ I10

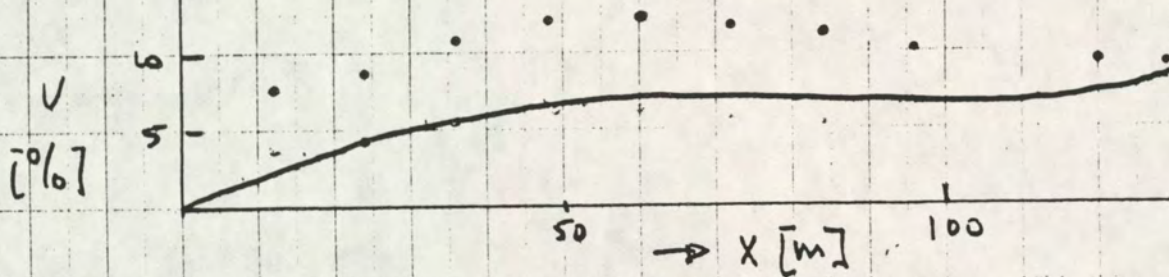
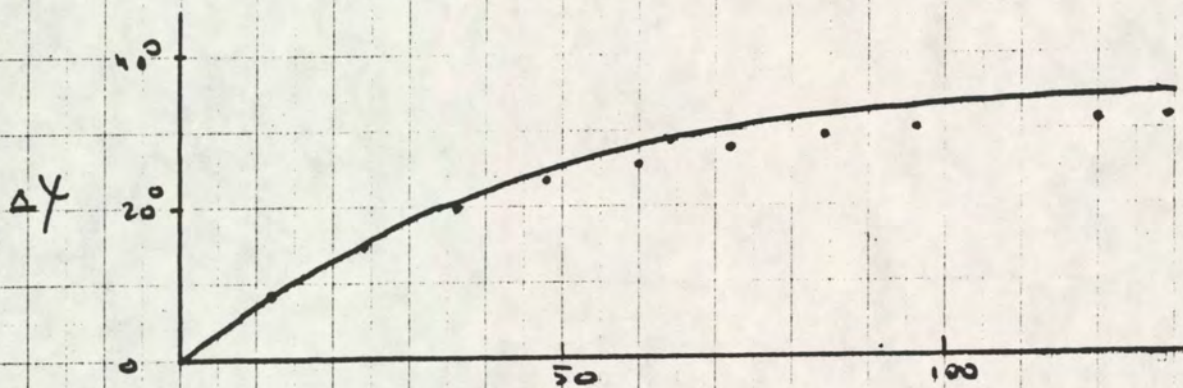
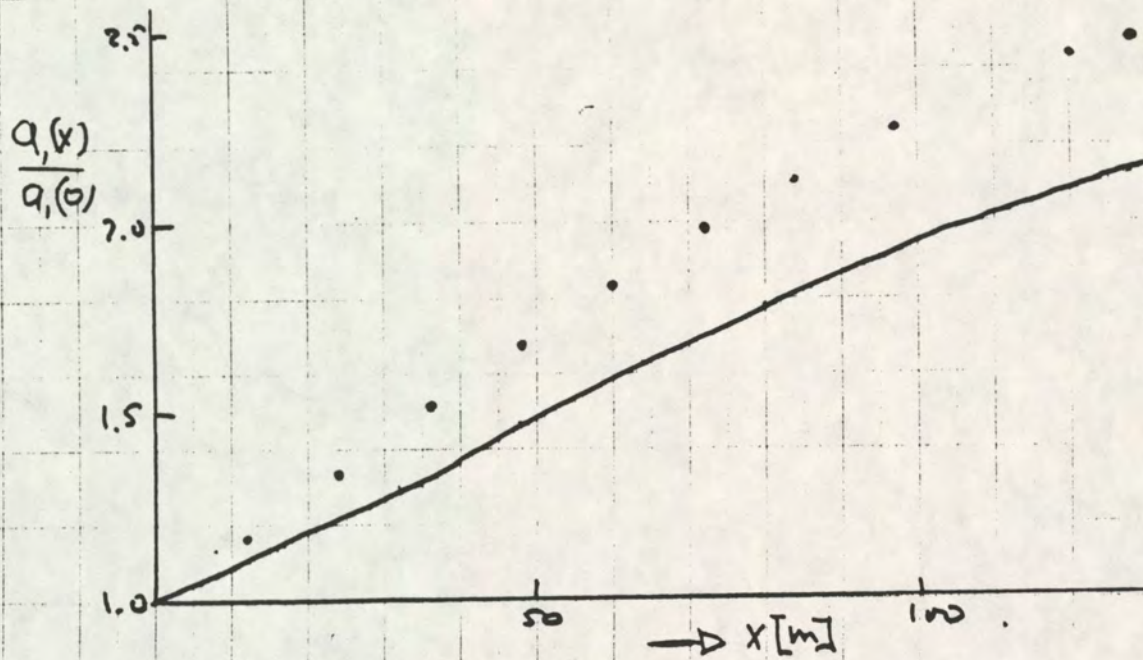
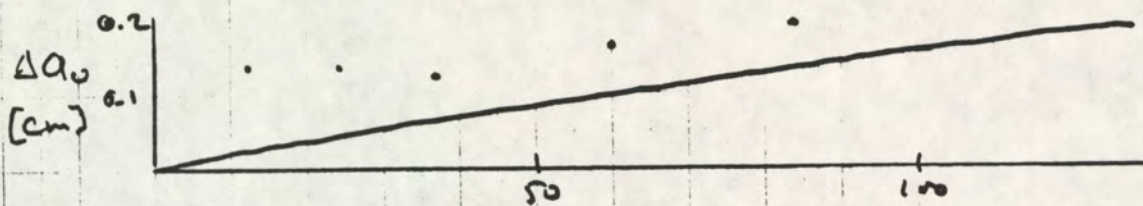
• METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 31





VERTIKAAL GETIJ I11

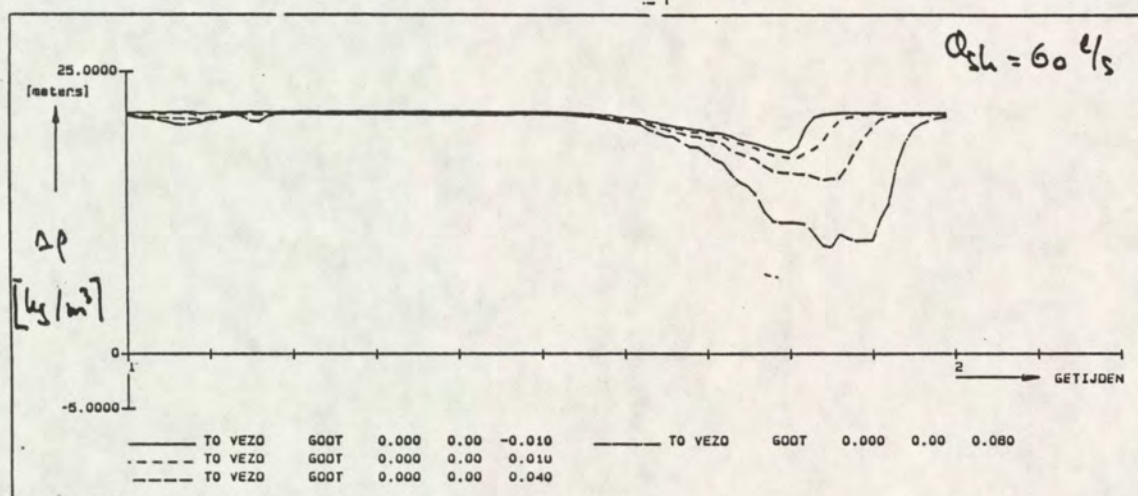
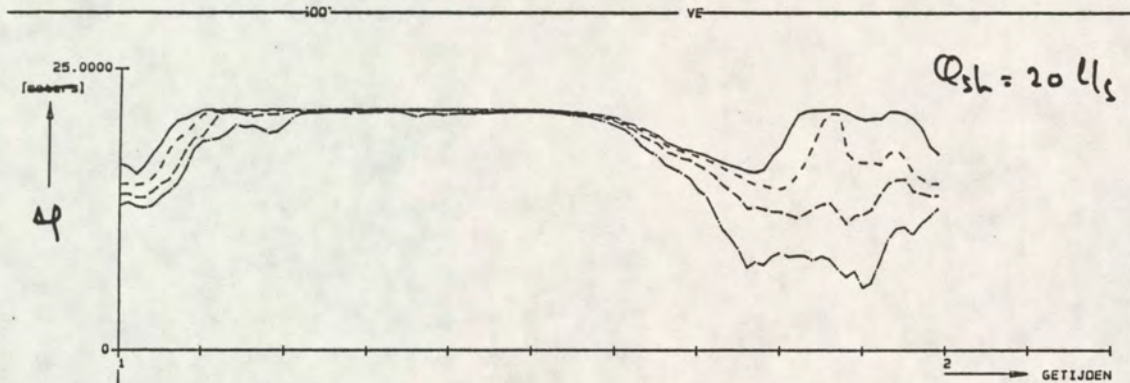
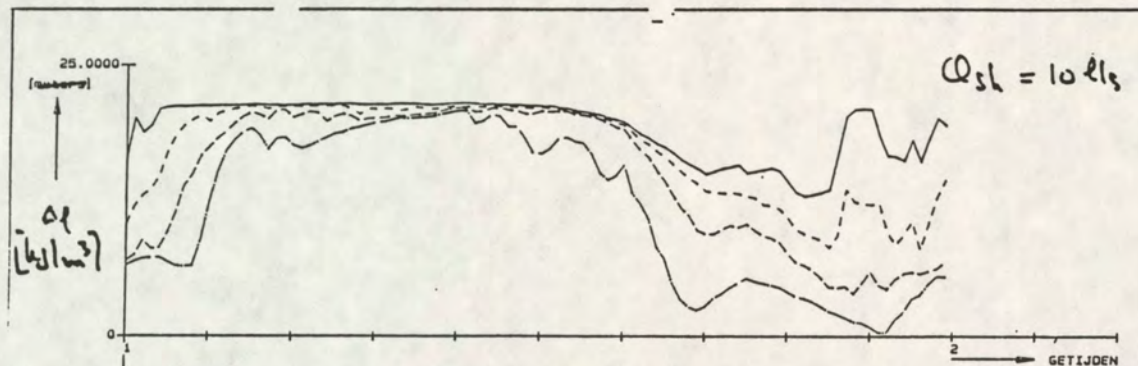
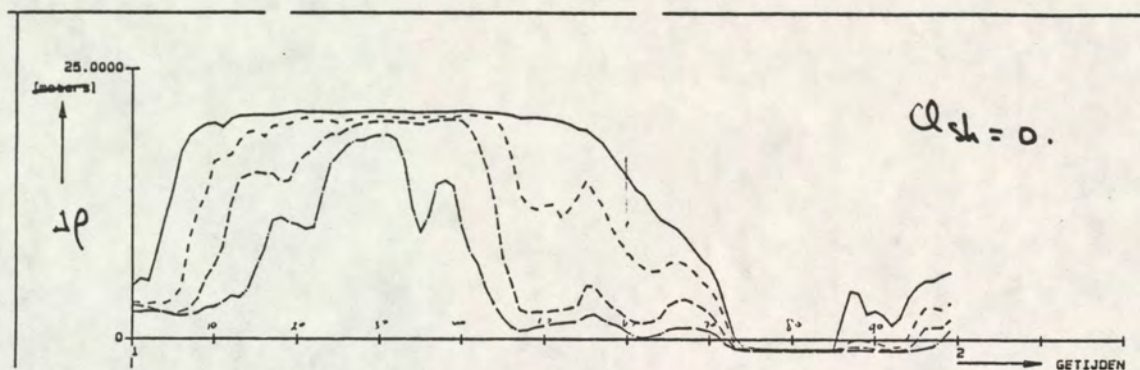
• METING  
— INITAK

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

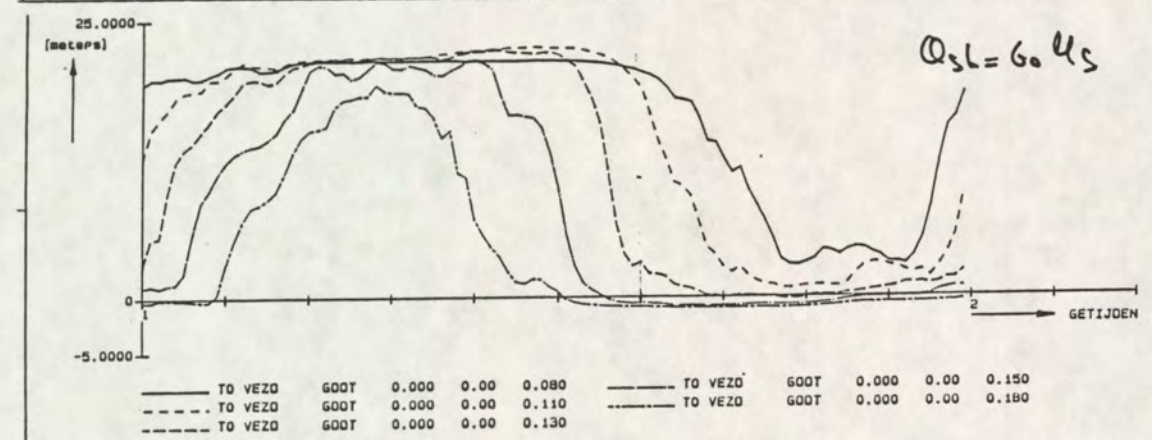
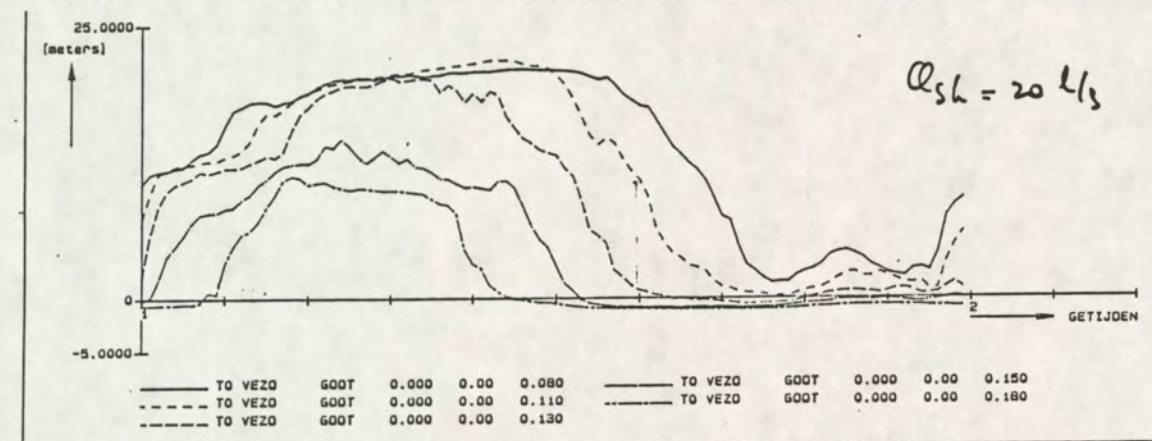
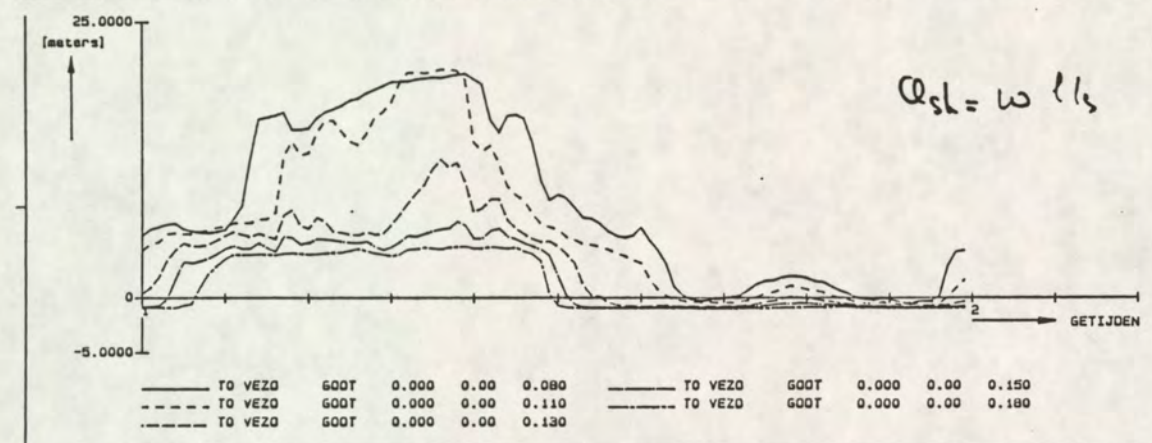
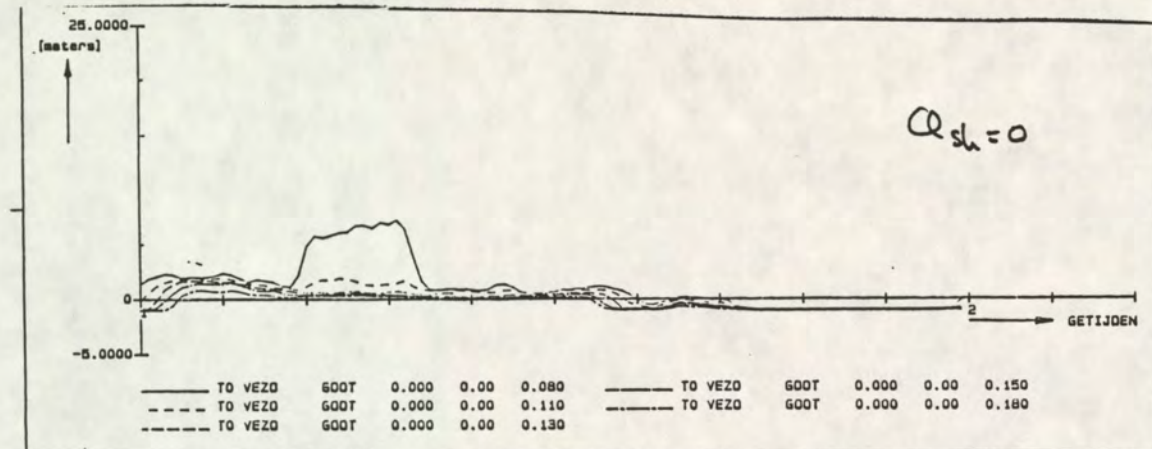
FIG 32





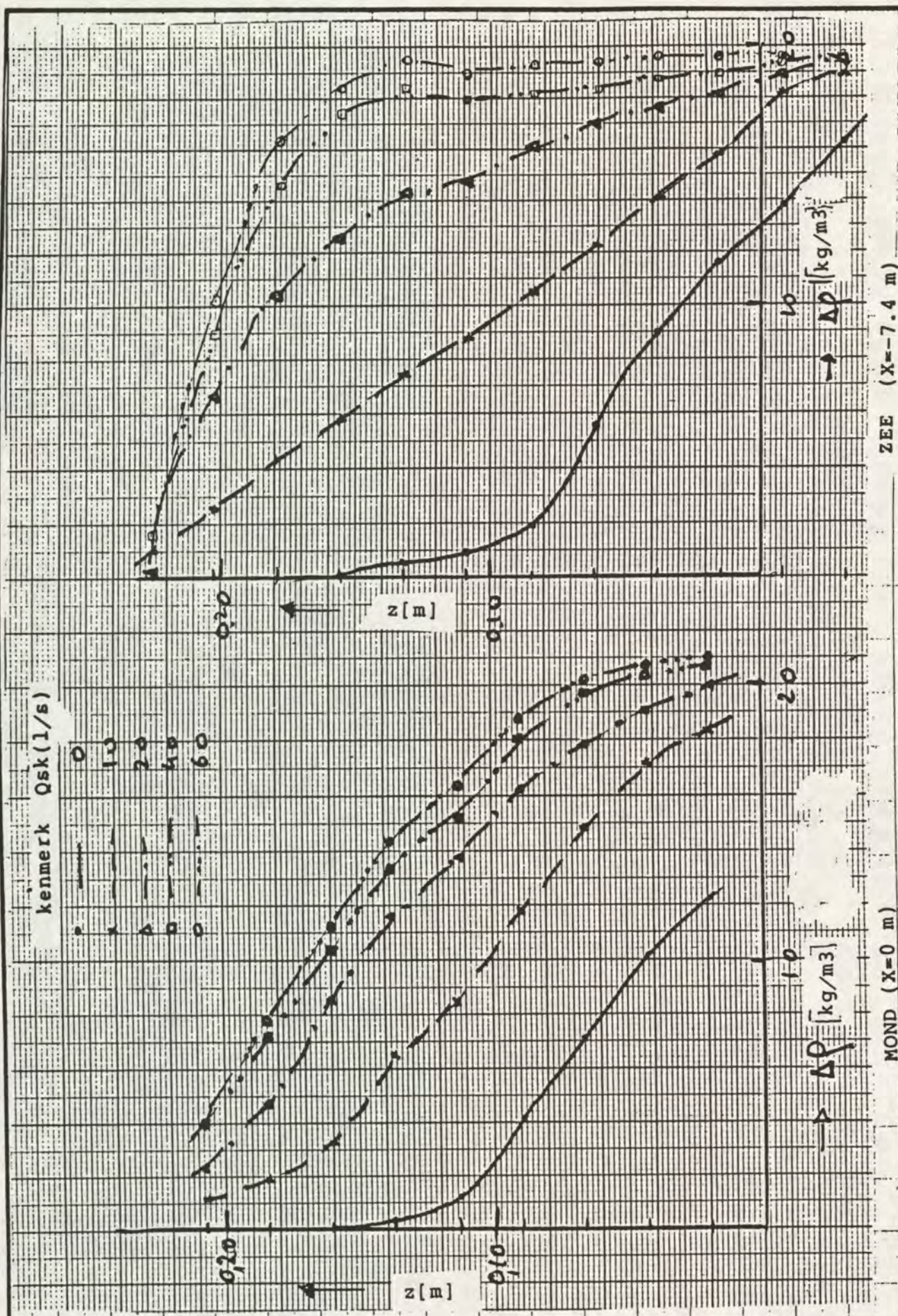
DICHTHEIDSVERLOOP OP DIVERSE NIVO'S  
ALS FUNKTIE VAN SKIMMERAFFVOER





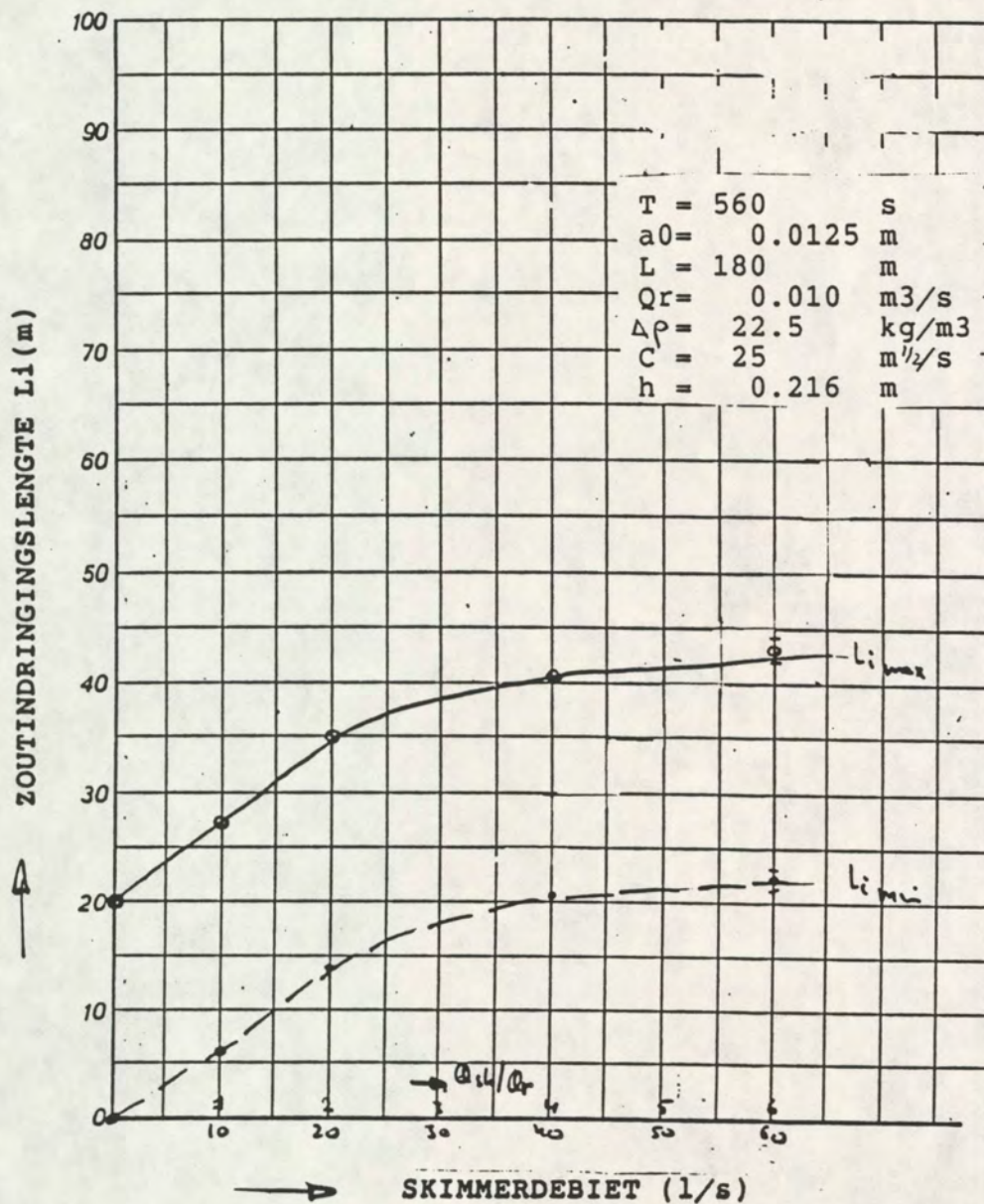
DICHTHEIDSVERLOOP OP DIVERSE NIVO'S  
ALS FUNKTIE VAN SKIMMERAFVOER





GETIJGEMIDDELDE DICHTHEIDSVERTIKAAL  
IN MOND GOOT EN OP ZEE





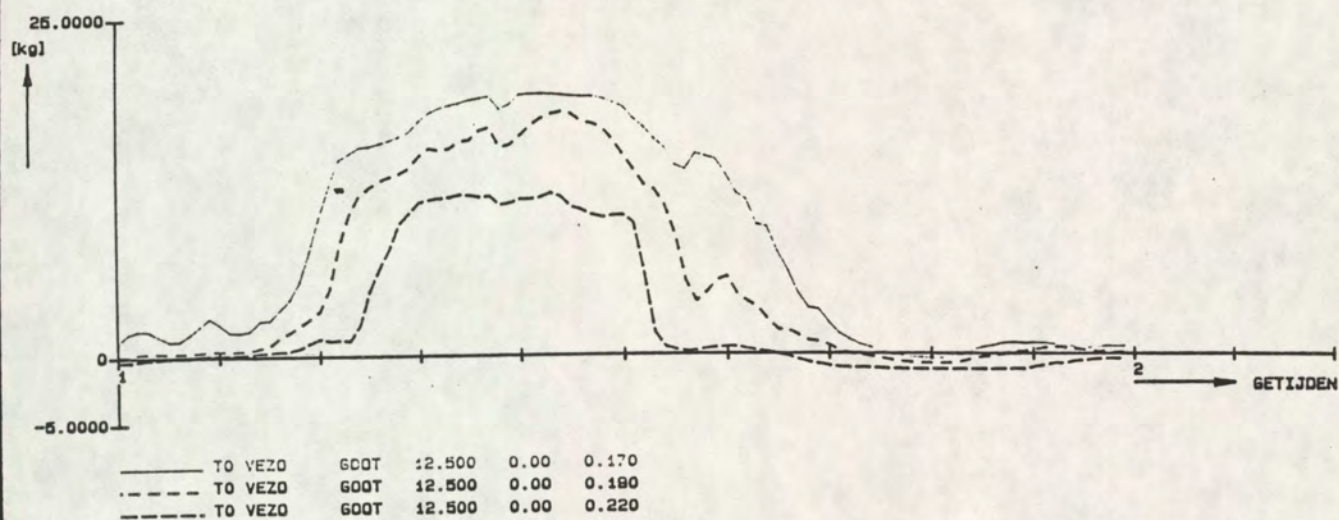
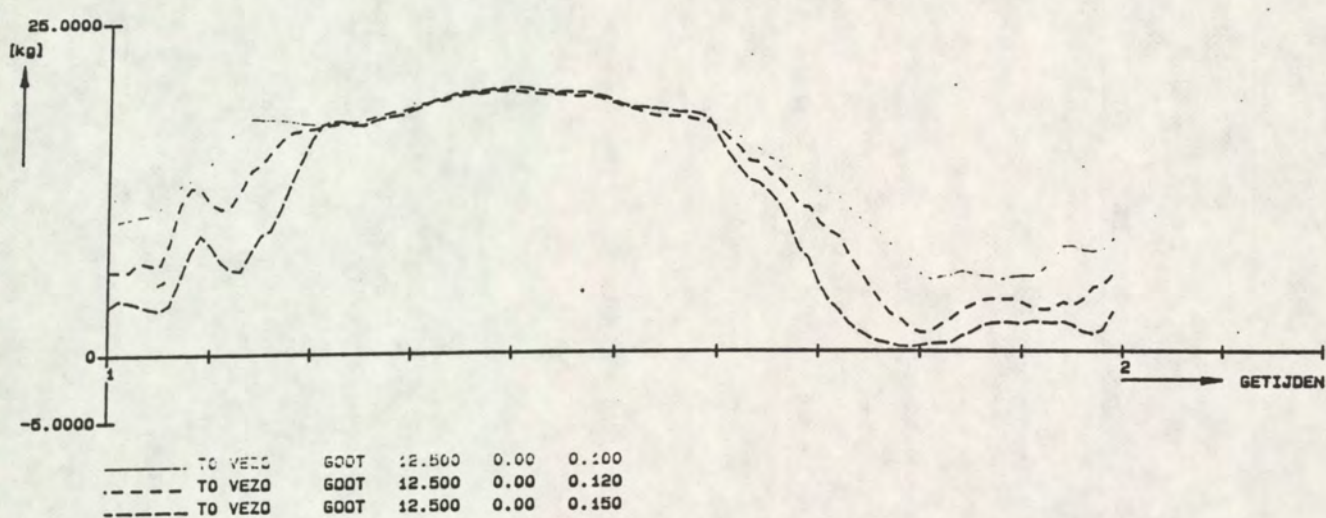
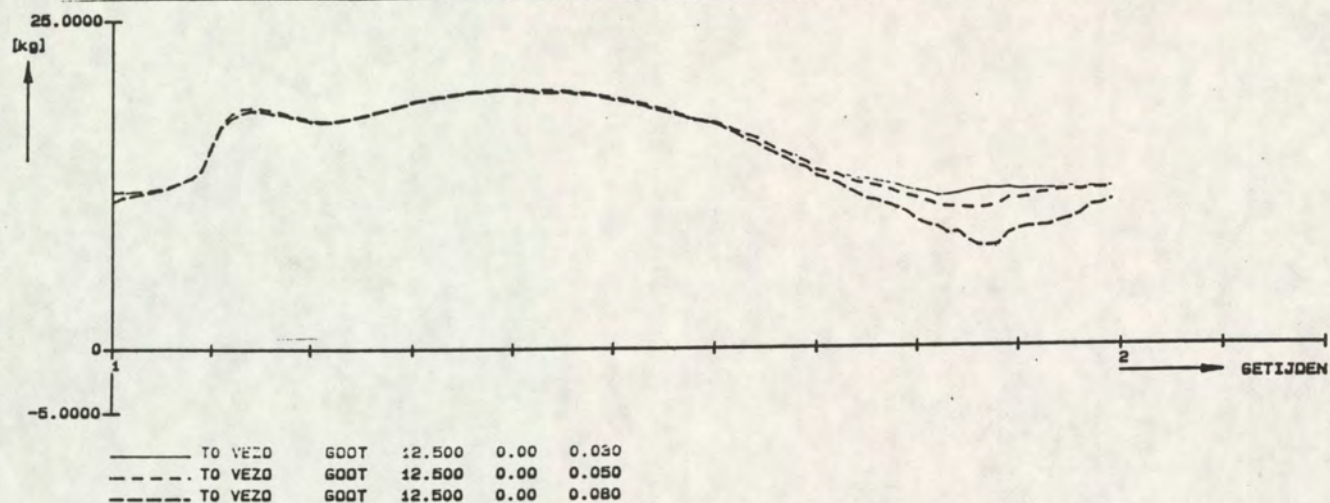
ZOUTINDRINGING ALS FUNKTIE VAN  
SKIMMERAUFVOER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

A4

FIG 35





DICHTHEIDSTIJDKURVEN 10

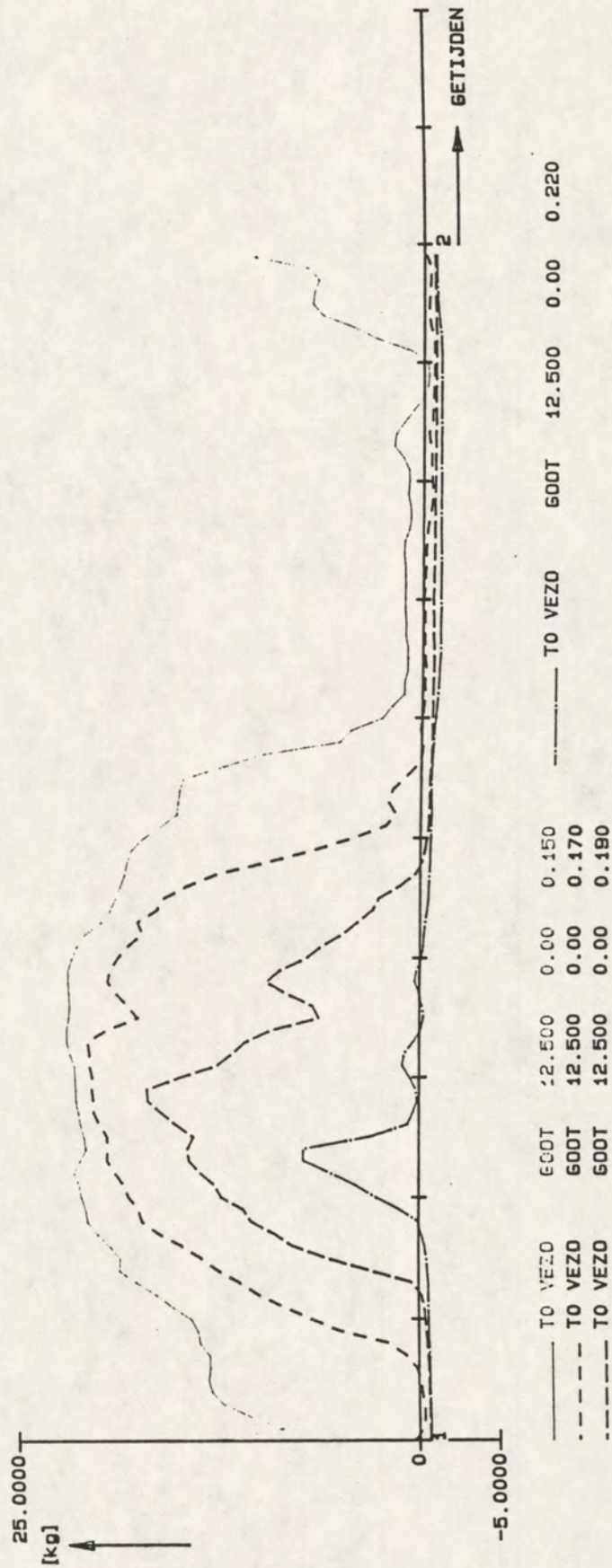
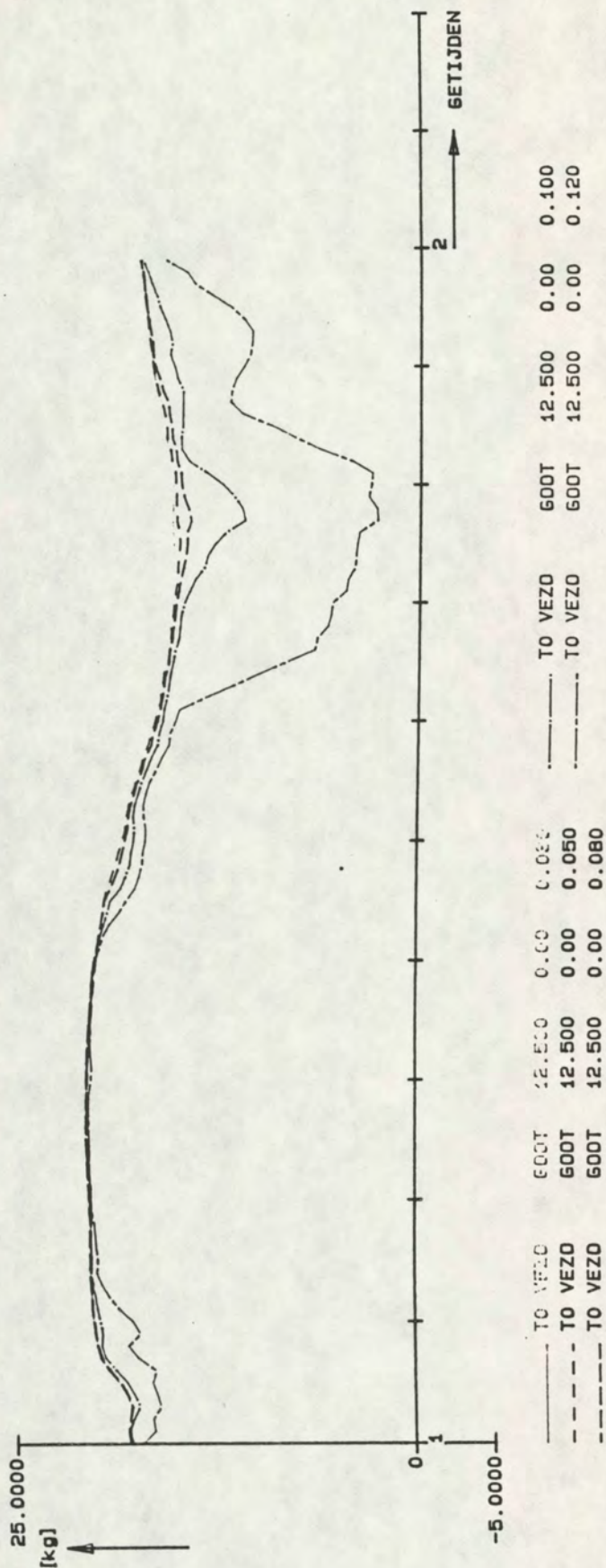
X=12.5 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

A4

FIG 36





CYCLUS-20  
BER.

DICHTHEIDSTIJDKURVEN I1

TO: Z0159P023

BEGINGETIJ 1

EINDGETIJ 1

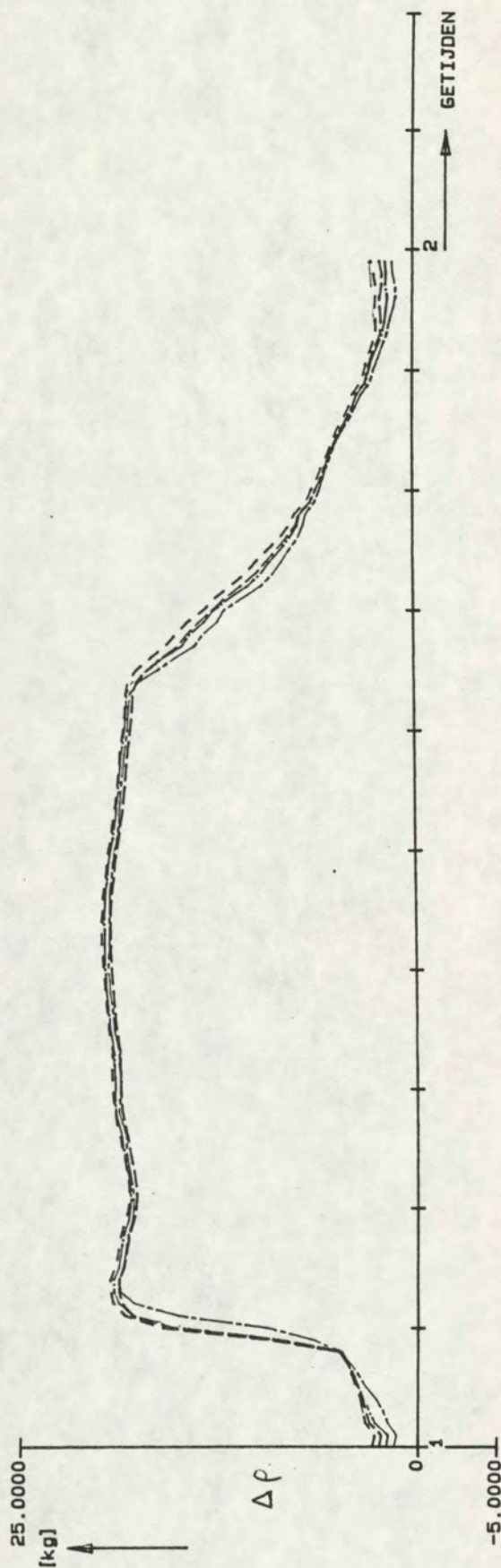
X=12.5 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

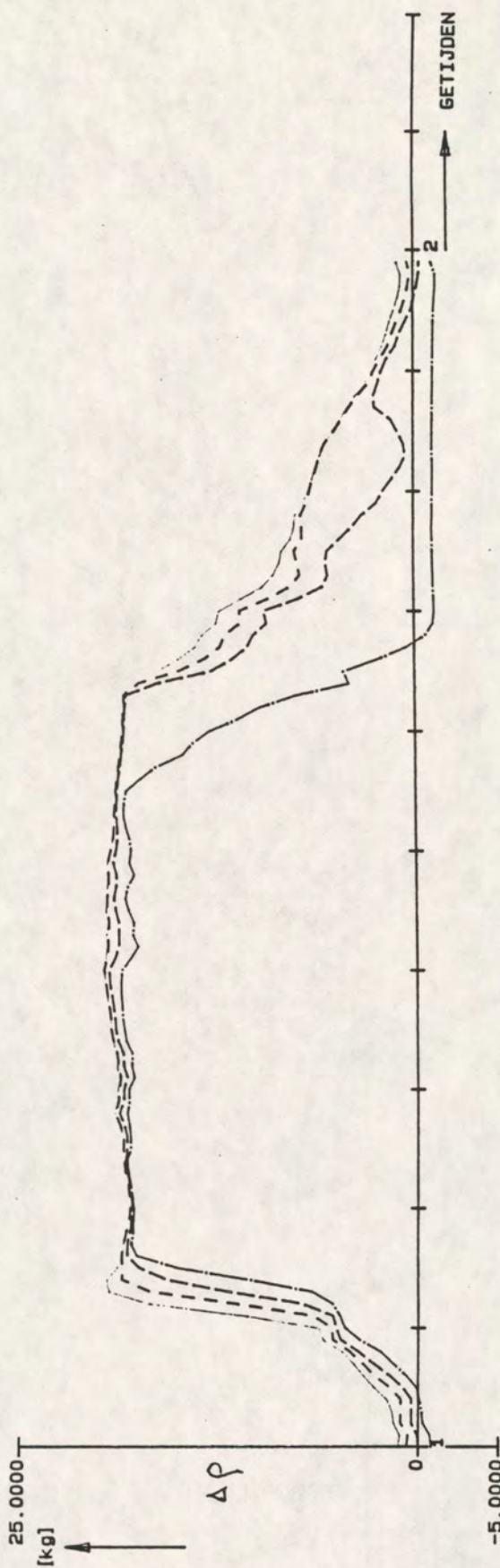
VEZO

FIG 37





TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.000	TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.100
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.050	TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.120
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.080					



TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.150	TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.220
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.170					
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.190					

CYCLUS-18  
BER.

BEGINGETIJ 1

EINDGETIJ 1

DICHTHEIDSTIJDKURVEN I7

X=12.5 m

TO: Z0159P028

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

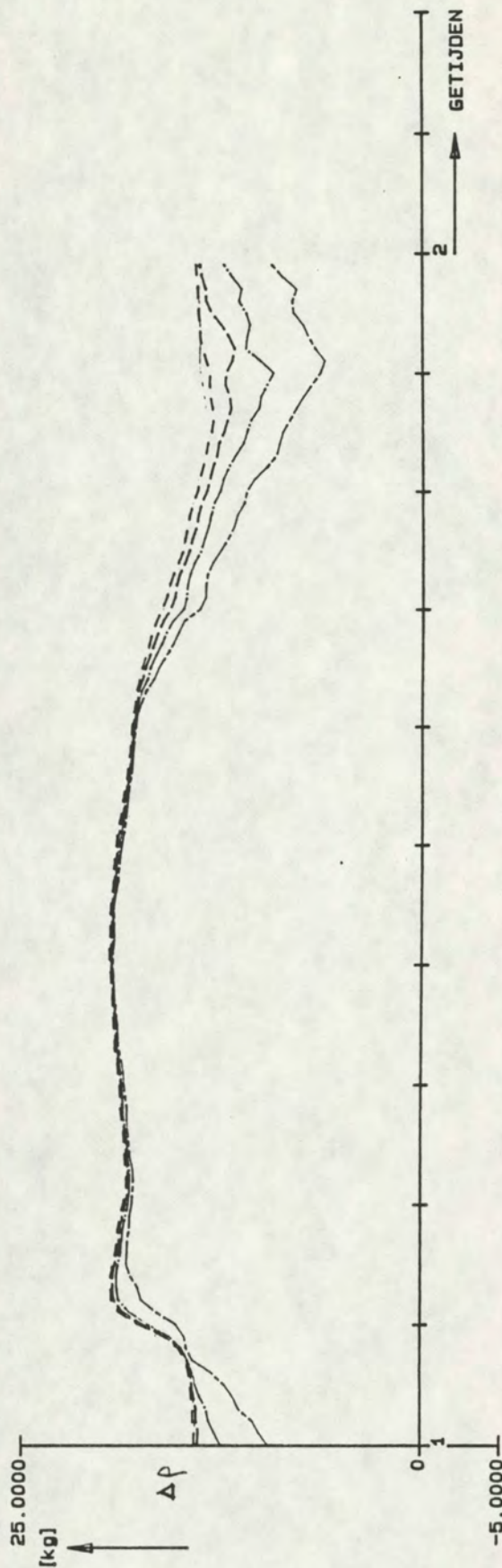
VEZO

FIG 38

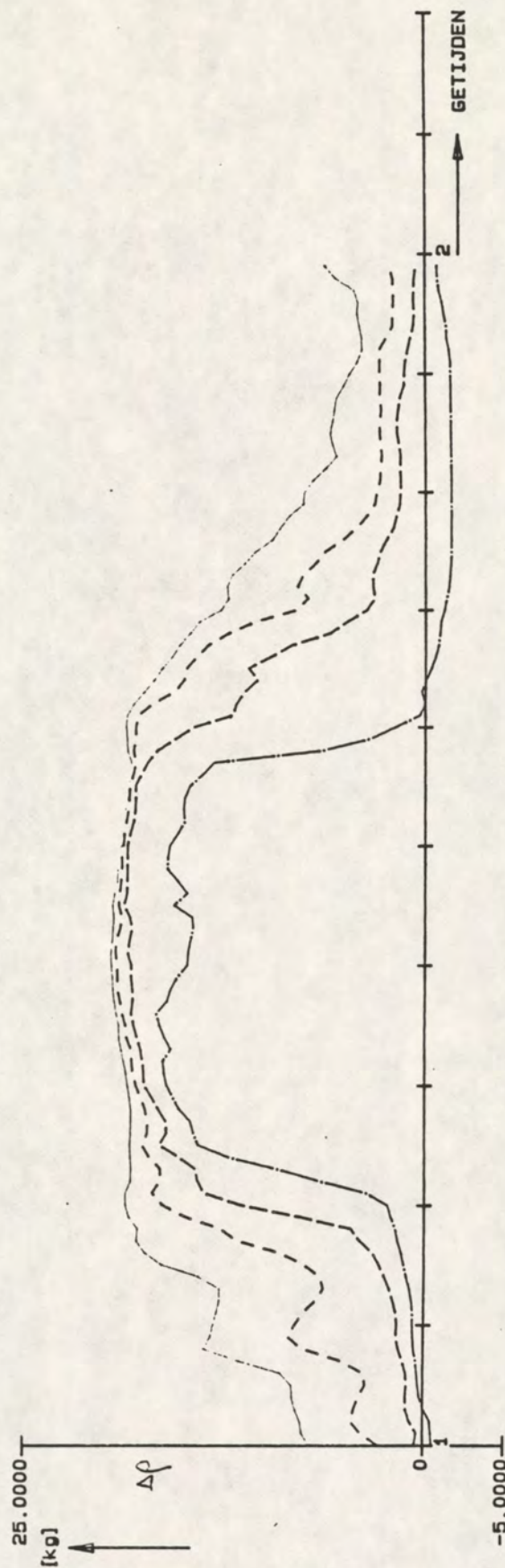








TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.080	TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.100
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.050	TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.120
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.080					



TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.150	TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.220
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.170					
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.190					

CYCLUS-15  
BER.

DICHTHEIDSTIJDKURVEN I9

TO: ZO159P032

BEGINGETIJ 1

EINDGETIJ 1

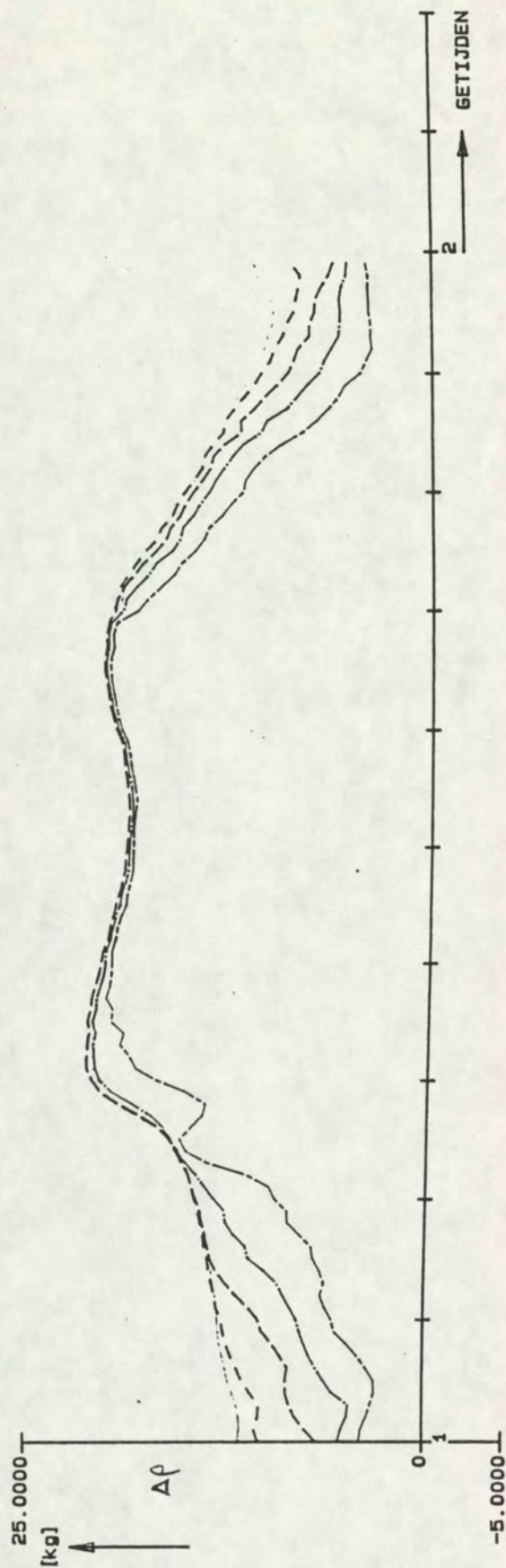
X=12.5 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

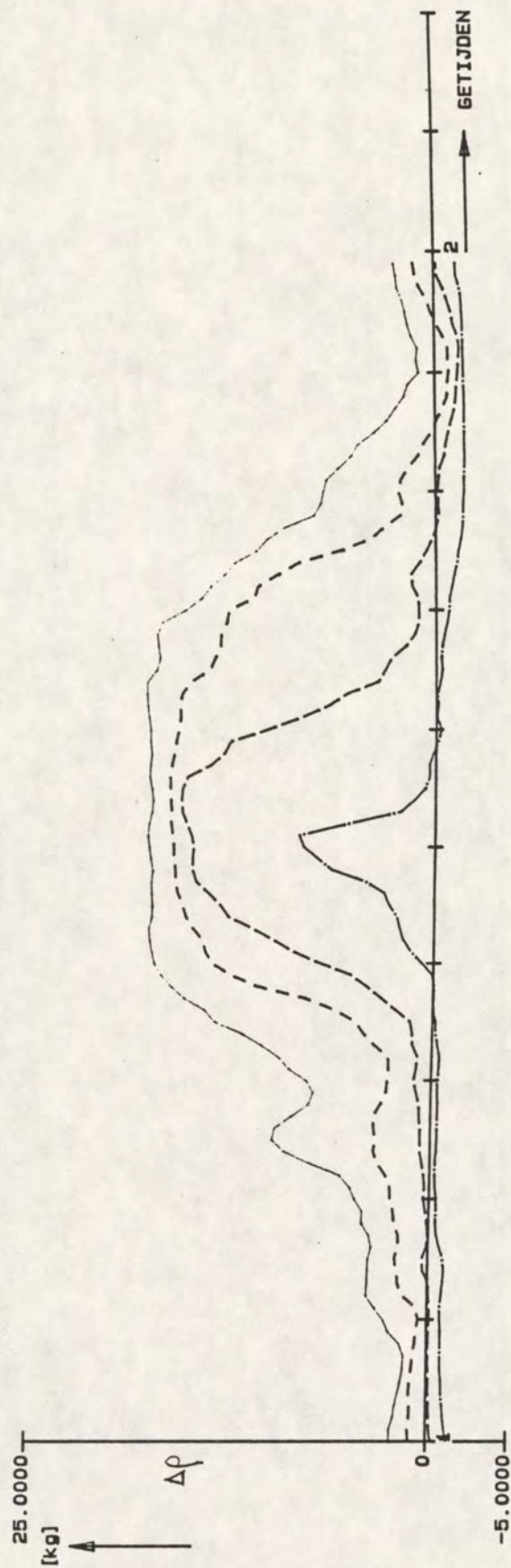
VEZO

FIG 40.





TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.050	600T	12.500	0.00	0.100
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.050	600T	12.500	0.00	0.120
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.080	600T	12.500	0.00	0.120



TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.150	600T	12.500	0.00	0.220
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.170	600T	12.500	0.00	0.170
TO VEZO	600T	12.500	0.00	0.180	600T	12.500	0.00	0.180

CYCLUS-21

BER.

BEGINGETIJ 1

EINDGETIJ 1

DICHTHEIDSTIJDKURVEN I10

X=12.5 m

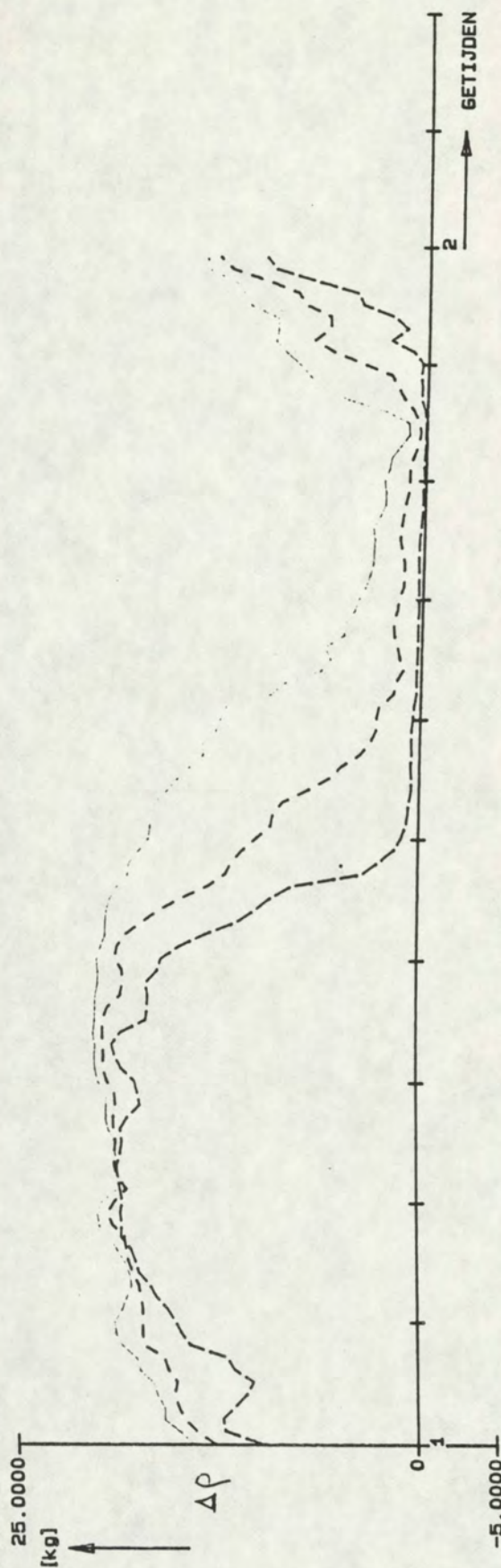
TO: Z0159P033

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

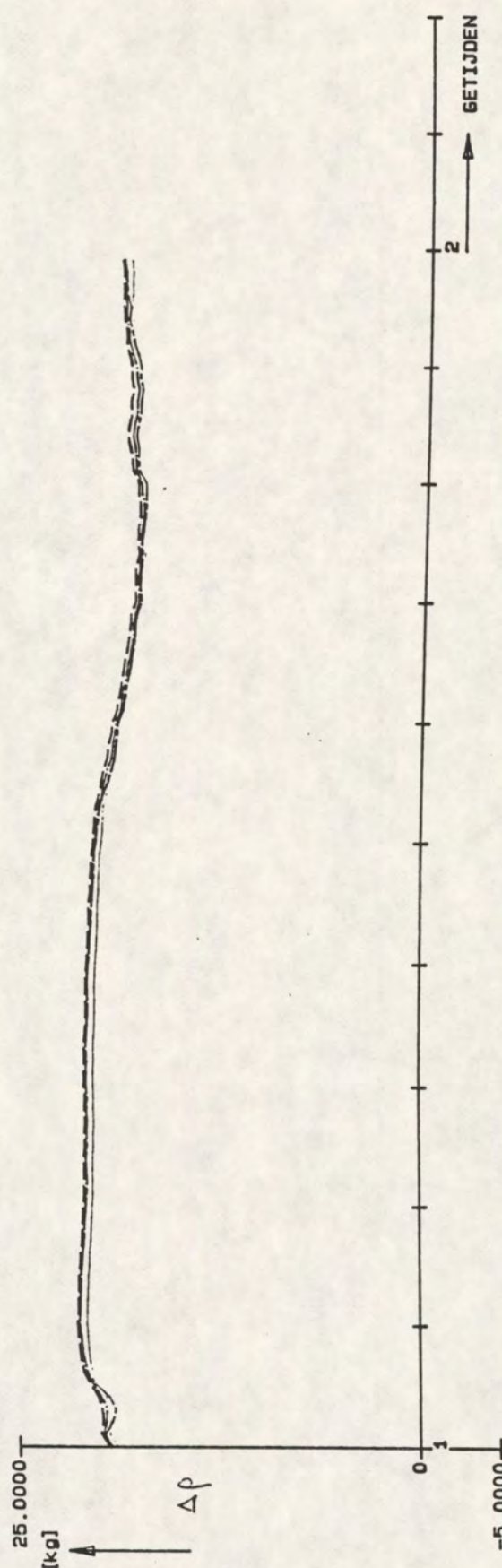
VEZO

FIG 41





	TO VEZO	TO VEZO	TO VEZO
600T	0.000	0.000	0.240
600T	0.000	0.000	0.260
600T	0.000	0.000	0.280



	TO VEZO	TO VEZO	TO VEZO
600T	0.000	0.000	0.080
600T	0.000	0.000	0.050
600T	0.000	0.000	0.080

CYCLUS-20  
BER.

DICHTHEIDSTIJDKURVEN I11

TO: Z0159P034

BEGINGETIJ 1

EINDGETIJ 1

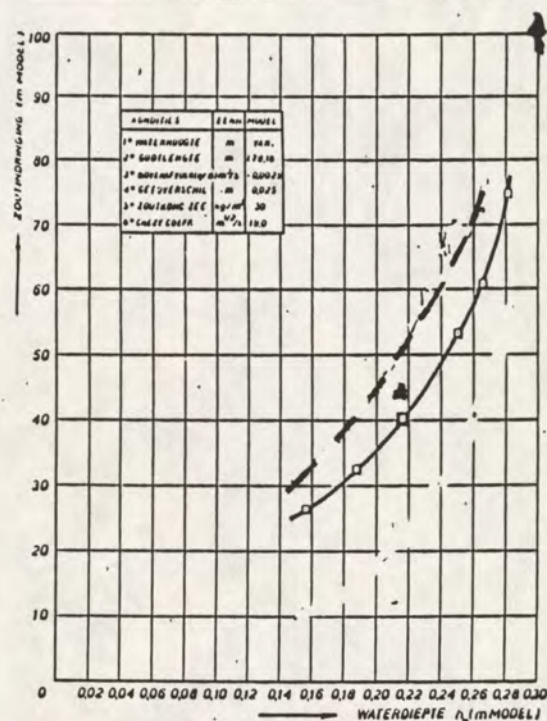
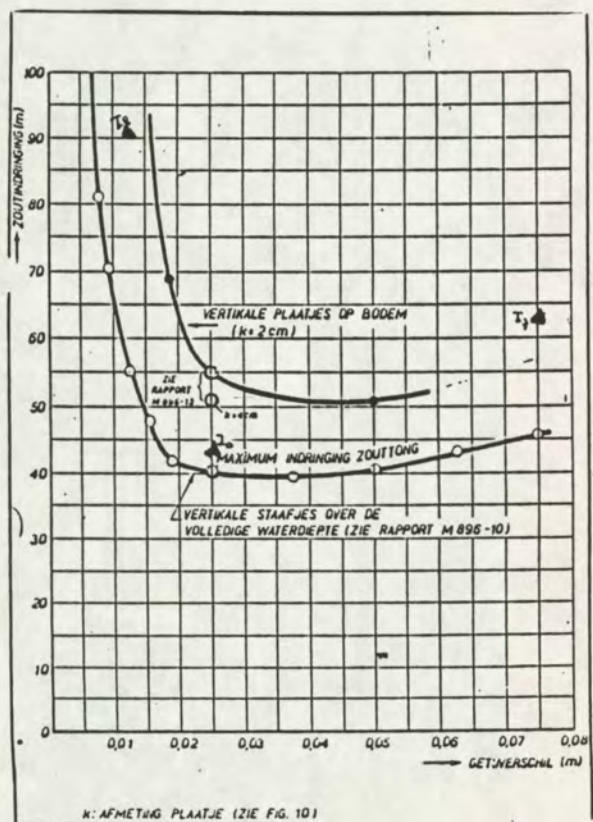
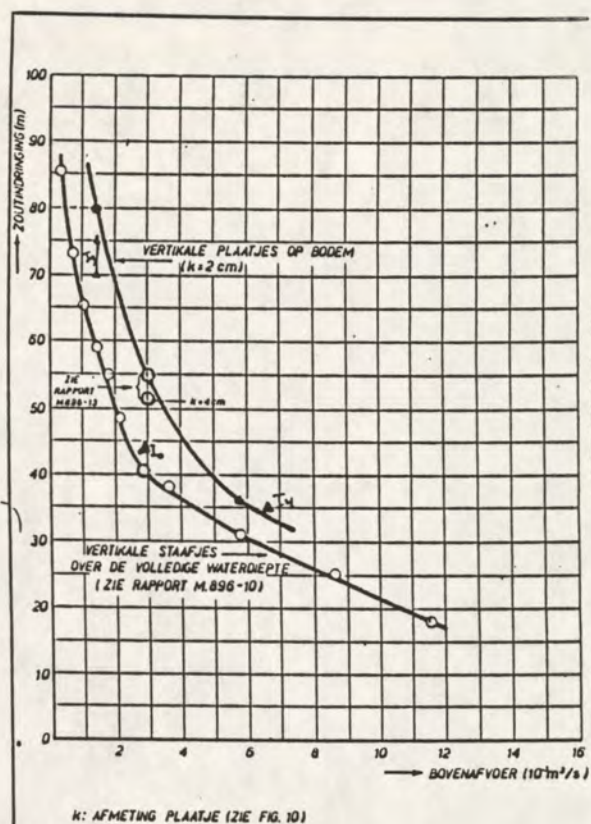
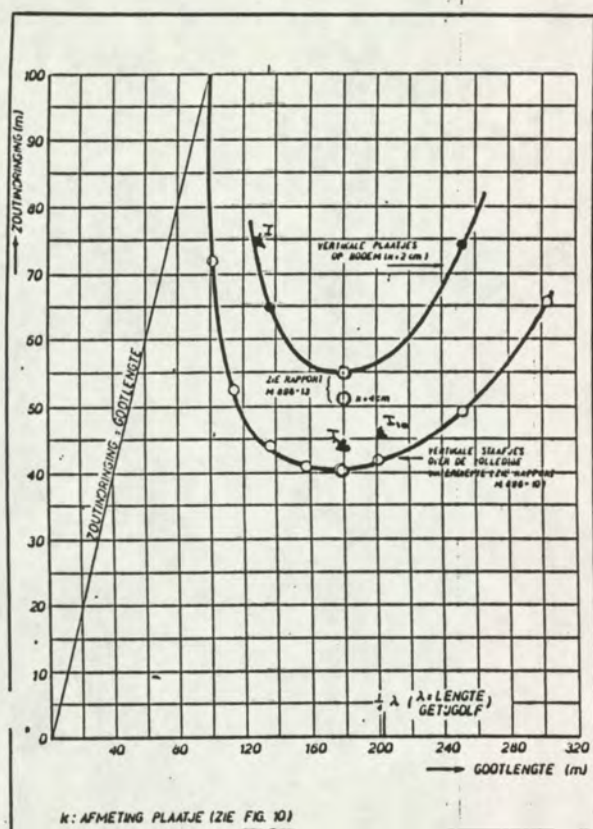
X=12.5 m

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

VEZO

FIG 42





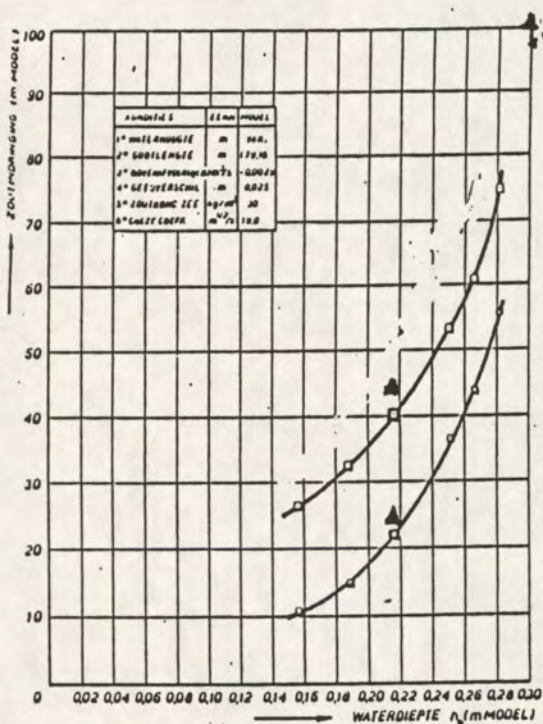
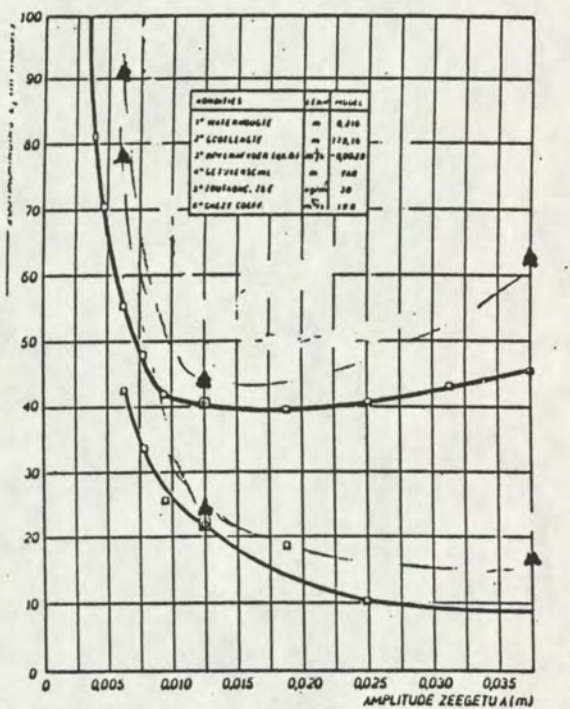
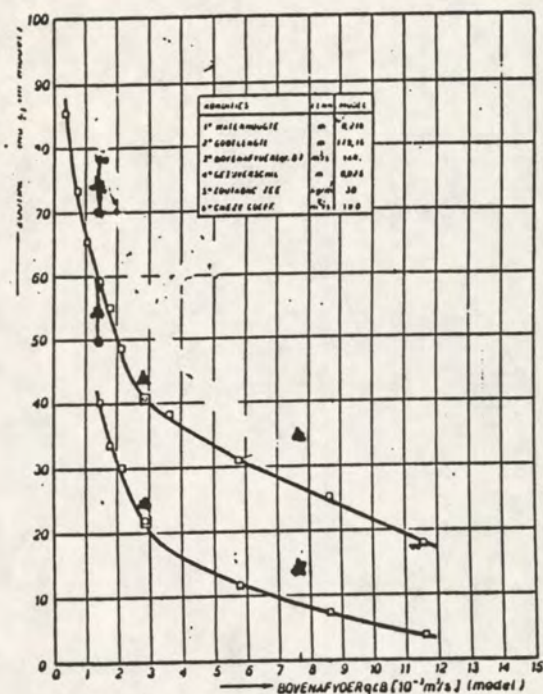
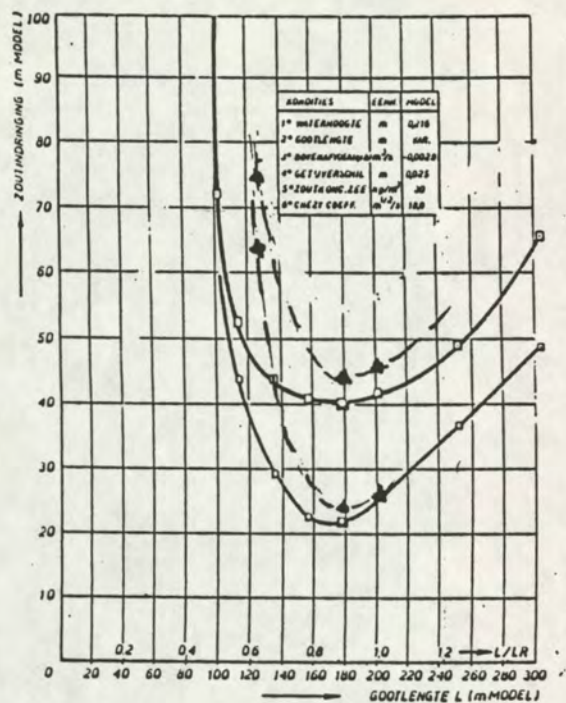
## MAXIMALE ZOUTINDRINGING VOOR STAAFJES, BODEMPLAATJES EN BETONBLOKJES

**WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM**

A4

FIG 43

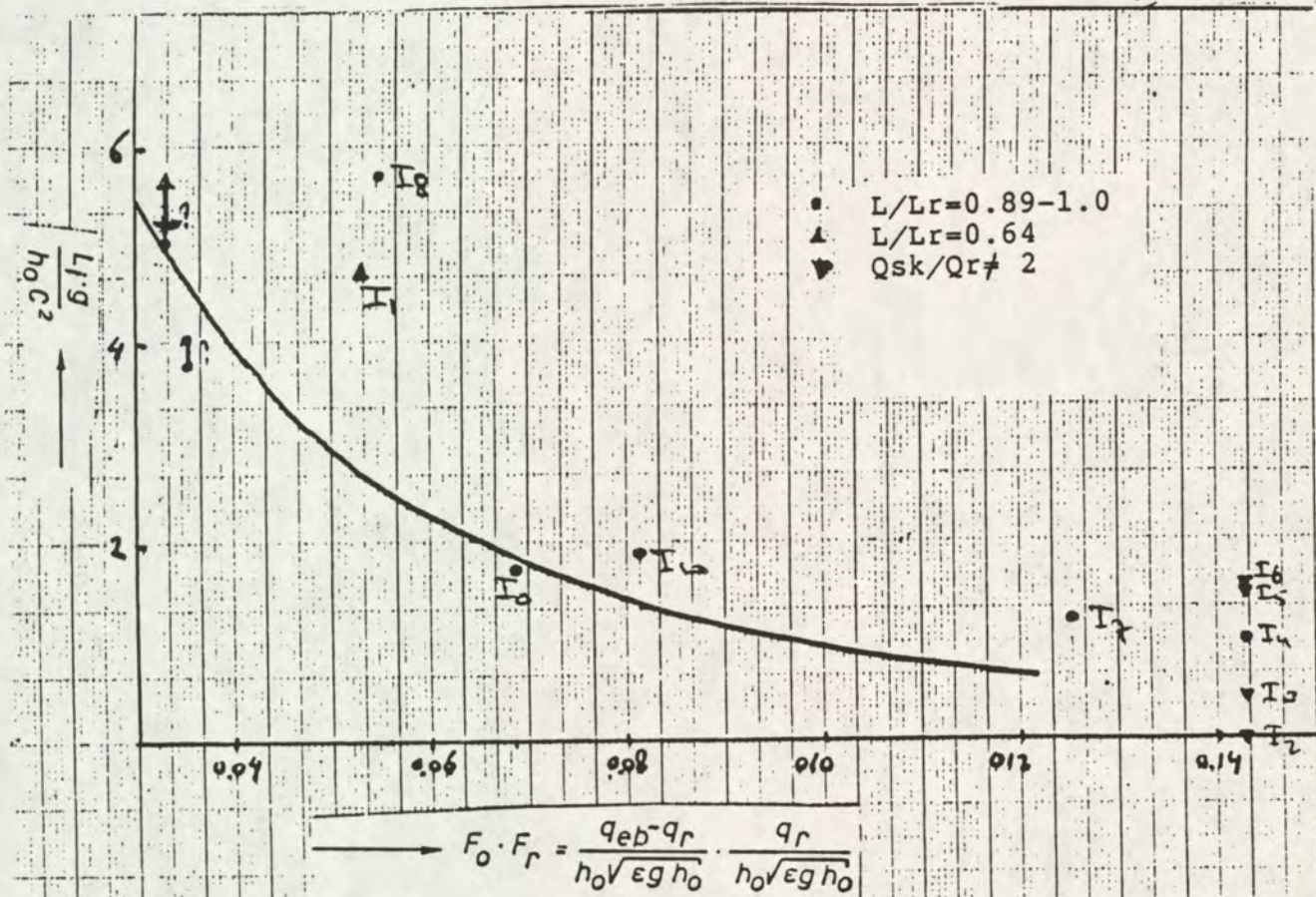
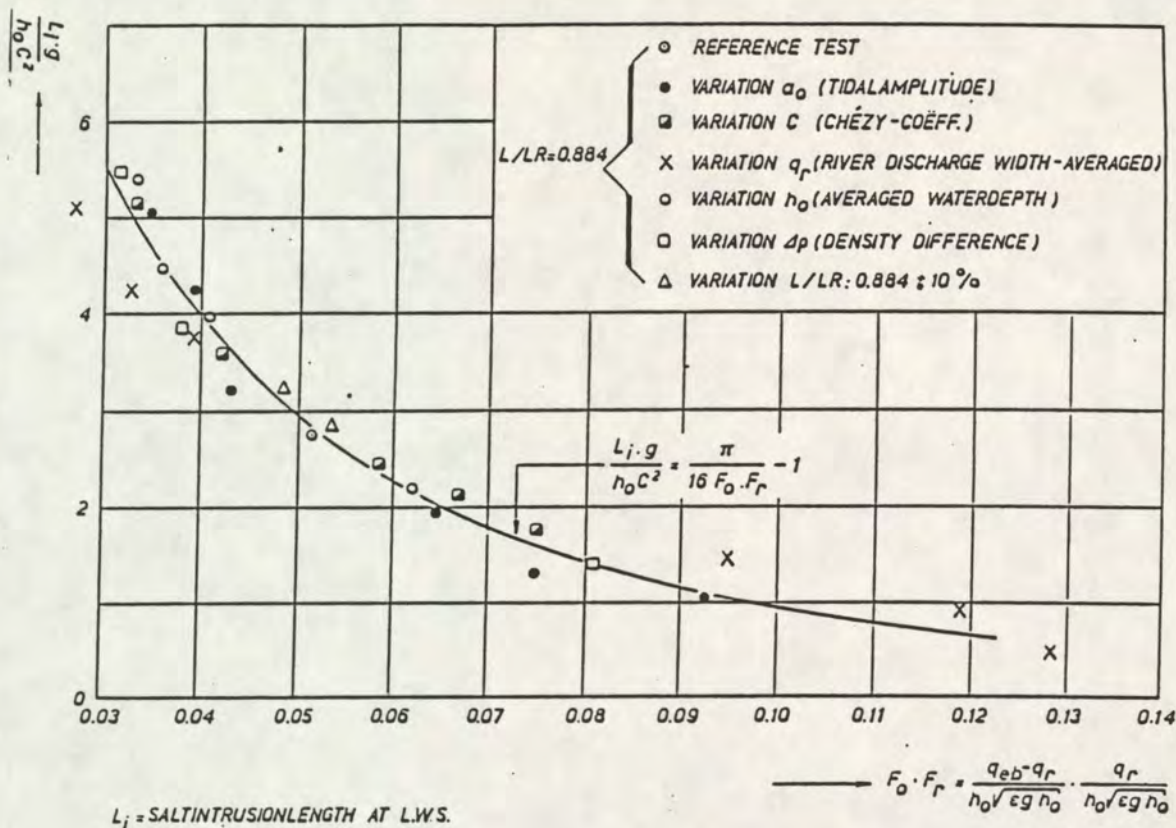




#### ▲ RESULTATEN ORIENTEREND ONDERZOEK

MAXIMALE EN MINIMALE ZOUTINDRINGING  
VOOR STAAPJES EN BETONBLOKJES





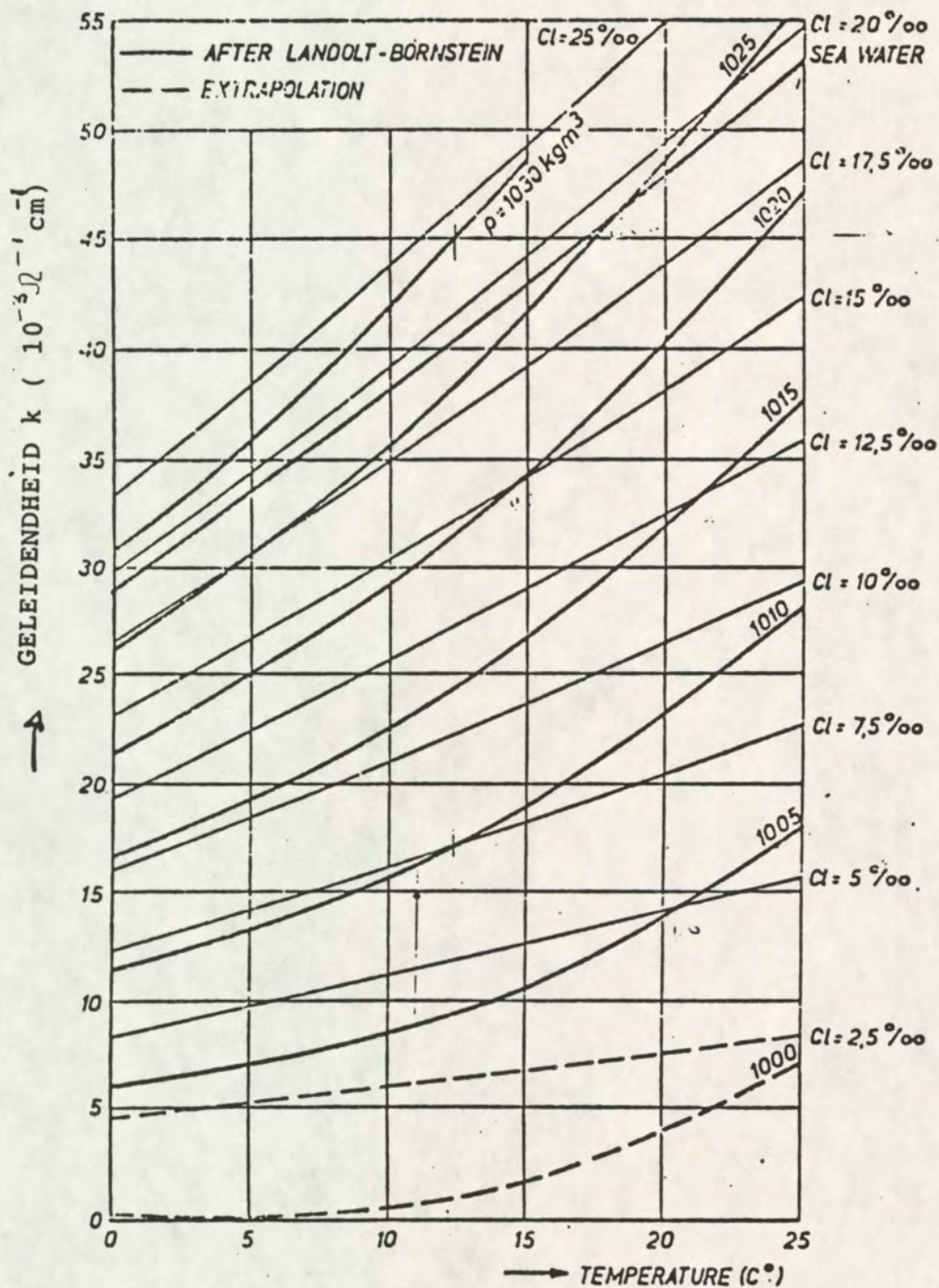
DIMENSIE-ANALYSE MINIMALE ZOUTINDRINGING

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

A4

FIG 45





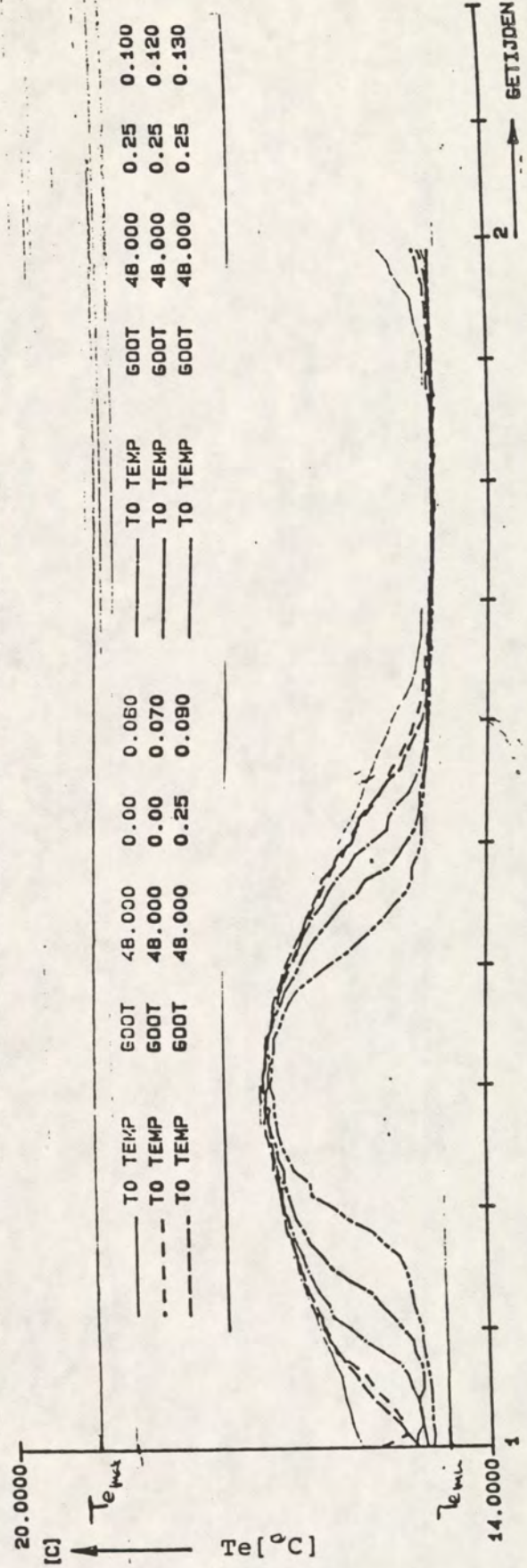
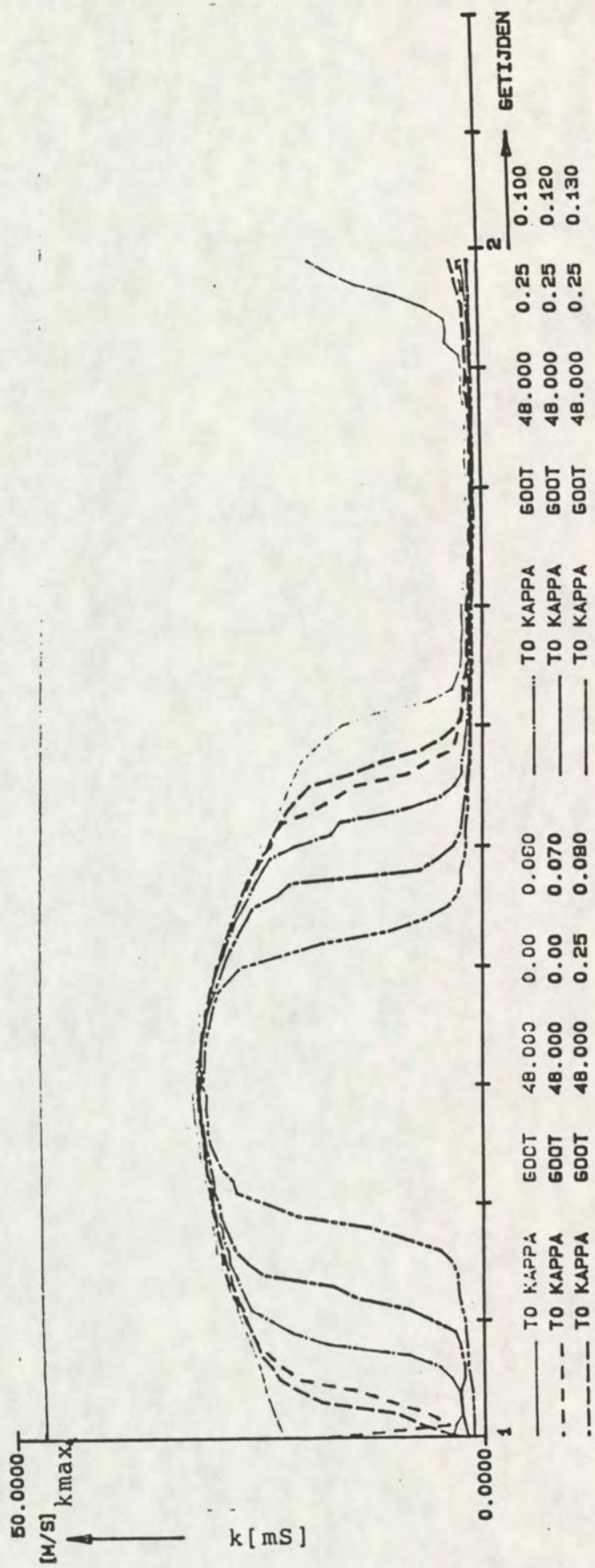
GELEIDENDHEID ALS FUNKTIE VAN TEMPERATUUR  
EN CHLORINITEIT/DICHTHEID

DELFT HYDRAULICS LABORATORY

A<sub>4</sub>

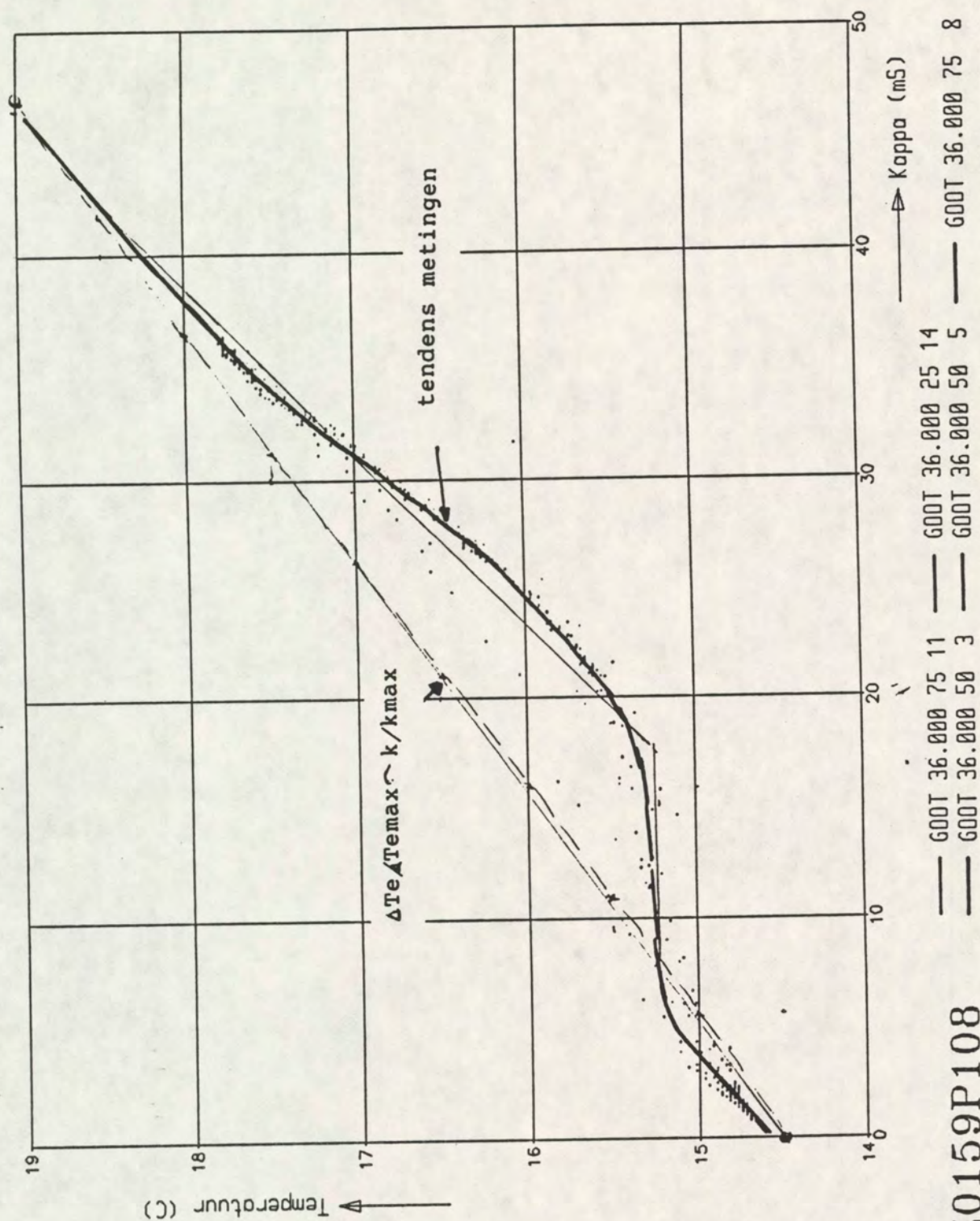
FIG 46





KAPPA- EN TEMPERATUUR-TIJDKURVEN OP EEN 6-TAL NIVO'S





Z0159P108

TEMPERATUUR/GELEIDENDHEIDS RELATIE

PROEF P108

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

FIG 48



## Appendix A.      Beschrijving van de getijgoot

### Al. Algemene beschrijving

De nieuwe Delftse getijgoot kan beschouwd worden als een geschematiseerd, recht estuarium met rechthoekige dwarsdoorsnede. Getij, waterdiepte, zoutgehalte en slibconcentratie kunnen over een groot bereik ingesteld worden aan de zeerland, terwijl zoetwatertoevoer en slibconcentratie aan de rivierrand ingesteld kunnen worden. Het onderzoek in de goot betreft de inhomogene waterbeweging en in het bijzonder de turbulentie en menging daarin. Anderzijds is onderzoek van de slibprocessen onder invloed van stroming een tweede hoofdpoot.

De nieuwe goot is niet alleen een "getij"goot maar kan ook gebruikt worden als stroomgoot en als een permanentiegoot voor een 2-lagenstroming. De lengte van de goot van de rivierrand tot aan de mond is 130 m, zijn breedte is 1 m en de maximaal in te stellen waterdiepte is eveneens 1 m. De zee van de goot is 14,8 m lang met een breedte van 6-8 m en een diepte van maximaal 2 m (zie tekening A).

De beschrijving van de goot zal zich verder beperken tot het gebruik als getijgoot. Aan de zeerland wordt m.b.v. een cylinder met overstortrand de middenstand (gemiddelde waterstand) en de verticale getijvariatie opgelegd. De middenstand kan variëren tussen 0,1 en 0,9 m en het verticale getijbereik is maximaal 0,15 m, terwijl de getijperiode ingesteld kan worden tussen 30 - 1800 s. In figuur A is de vormgeving van de zeerland schematisch weergegeven.

Vanuit de cylinder stroomt het water naar een onder de Zout/Zoethalvloer gelegen reservoir. Om het slib/watermengsel in homogene suspensie te houden, is dit reservoir bewust zo klein mogelijk gehouden en vindt opslag van het slib/watermengsel plaats in een tweetal naast de zee staande zeetanks met een gezamenlijke netto inhoud van ca. 100 m<sup>3</sup>. Door middel van een gestuurde klep in de leiding tussen de zeetanks en het zeereservoir wordt het reservoirniveau op een konstante waarde gehouden.



Het debiet uit de regelcylinder kan over een getijperiode variëren van 20 - 1020 l/s. Een drietal zogenaamde zeepompen zorgen er voor dat er een debiet van 500 l/s terug naar zee stroomt via injectiebuizen aan de bodem in het diepste deel van de goot. Met de slib- en pekelinjecties bij deze pompen wordt de gewenste slib- en zoutconcentratie in de zee geregeld. De dichtheid van het zeewater kan geregeld worden tussen 1000 - 1030 kg/m<sup>3</sup> en de slibconcentratie kan maximaal 3 kg/m<sup>3</sup> worden.

In de zee kan de drijvende skimmerbak voor de selectieve afvoer van het zoete water nabij het wateroppervlak zorgen. Maximaal kan de skimmerbak 60 l/s afzuigen. Het afgezogen skimmerdebiet wordt gedeeltelijk naar het zeereservoir gevoerd, terwijl het resterend deel uit het gootsysteem verdwijnt (afvalwater). De dichtheidsregeling en de skimmerbak samen moeten zorgen dat in de mond van de goot de juiste dichtheidsvertikaal geleverd wordt.

Aan de rivierrand van de goot bevindt zich de invoermogelijkheid van een "konstante rivierafvoer"  $Q_{riv}$  en van een variabel rivierdebiet  $Q(t)$ .  $Q_{riv}$  wordt gerealiseerd door middel van een konstant niveau toren, waarvan het waterniveau ligt op ca. 9 m boven de vloer van de zout/zoethal. Het debiet wordt geregeld via een in de leiding opgenomen gestuurde klep tot aan 30 l/s. Via een slibinjectiesysteem bezit  $Q_{riv}$  de gewenste slibconcentratie (tot 1 kg/m<sup>3</sup>).  $Q_{riv}$  is altijd volledig zoet. Met  $Q(t)$  is het mogelijk langere gootlengten te realiseren dan de beschikbare lengte van 130 m. Om de gewenste debieten te kunnen instellen is de bovenrand voorzien van een getijtank, die getijdebieten tot aan 300 l/s kan realiseren. De sturing geschiedt via een dp-cel. In het leidingwerk is een elektro-magnetische debietmeter ingebouwd. De getijtank kan zowel zoet, zout als slibhoudend water bevatten.

## A2. Getij- en zoutregeling

De getijbeweging in de getijgoot wordt sterk bepaald door de randkondities. In de mond wordt het gewenste vertikaal getij opgedrukt via de z.g. zeerandregeling [6]. De positie van de regelcylinder wordt geregeld via een regelwaterstandsmeter op ca. 1 m van de overstortrand en gestuurd via een stuurwaterstandsmeter in de mond van de goot. Per gootinstelling moet de overdrachtsfunctie tussen stuur- en regelwavo bekend zijn om te zorgen dat het in de mond van de goot gewenste getij zo goed mogelijk gerealiseerd kan worden.



Aan de bovenstroomse zijde wordt een horizontaal getij opgedrukt via

- de getijtankregeling, die een wisseldebiet verzorgt
- de bovenafvoerregeling, die een konstante rivierafvoer verzorgt.

Beide regeling zijn beschreven in het verslag "Inregelen getijgoot" [6], dat tevens de methode beschrijft volgens welke de instelling en de realisatie van de getijrandkondities van de goot geoptimaliseerd zijn.

Het gewenste getijdebiet aan de bovenstroomse rand van de goot wordt verkregen door met het eendimensionale programma INITAK [5] de getijbeweging in een lange goot met een lengte  $L$  groter dan de fysieke gootlengte ( $= 130$  m) te simuleren. Daarbij wordt aangenomen dat de getijgolf aan de bovenstroomse rand  $x = L$  terug gekeerd wordt d.w.z. er een staande getijgolf in de goot ontstaat. Om de getijbeweging in een rechte goot met een konstante rechthoekige doorsnede te kunnen berekenen heeft het programma als invoer nodig:

- het verticale getij in de mond ( $x = 0$ ); voor onderzoek wordt veelal een sinusvormig getij gebruikt dat via de amplitude  $a_1(0)$  en de getijperiode  $T$  vastgelegd wordt
- de gemiddelde waterdiepte  $h$  in de mond
- de fiktieve gootlengte  $L$
- de rivierafvoer  $Q_{riv}$
- de ruwheid van de goot, uitgedrukt in Chézywaarden (ev. als functie van  $x$ ).

INITAK levert de verticale en horizontale waterbeweging in de lange goot; de berekende getijdebieten t.p.v. de fysieke bovenstroomse gootrand worden als wens voor de instelling van de getijtankregeling gebruikt. Dit is de belangrijkste functie van INITAK in het getijgootonderzoek. Daarnaast kan het programma gebruikt worden als interpretatiemiddel voor de in de goot gemeten waterbeweging (via vergelijking berekende en gemeten waterbeweging).

De getijtankregeling wordt zodanig ingesteld dat de door de debietmeter gemeten getijdebieten zo goed mogelijk overeenkomen met de volgens INITAK gewenste debieten.

De zoutrandkonditie in de mond van de goot wordt bepaald door:

- het ingestelde dichtheidsverschil  $\Delta\rho$  tussen zeewater, dat vanuit het zeereservoir het zeebassin van de goot ingepompt wordt, en het bovenafvoerwater



- de aanwezigheid van een skimmerbak, die twee functies heeft, te weten als duikschot dat de zoetere bovenlaag afschermt van de zee-overstortrand en als bak die deze zoetere bovenlaag selektief wegzuigt
- de bovenafvoer
- de in de goot aanwezige getijbeweging, die weer een functie is van het vertikale getij in de mond, het bovenstroomse getijtankdebiet, de waterdiepte  $h$  en de Chézywaarde  $C$ .

Het bovenstaande betekent dat de variatie van de dichtheidsvertikaal in de mond van de goot slechts globaal te regelen is bij een gegeven getijbeweging en bovenafvoer: het maximum dichtheidsverschil is in te stellen en de gelaagtheid is globaal via skimmerafvoer bij te regelen.

In [6] zijn behalve de getijregelingen van de goot ook de regeling van de bovenafvoer en de regeling van het dichtheidsverschil, alsmede enkele testmetingen beschreven; de werking van de skimmer is tijdens het "inregel" onderzoek niet aan de orde geweest.

Een speciaal goot-informatiesysteem (GIS) is ontwikkeld om de zee- en rivier-randkondities te regelen en om de meetgegevens te bemonsteren, op te slaan en te bewerken. Daarbij wordt de VAX730 computer als centrale faciliteit gebruikt. Regelwaarden (setpoints) voor de randkontrole worden 10 maal per sek. geleverd.

Zodra de goot zijn gewenste experimentele kondities bereikt heeft start de meting in de goot. Een groot aantal gegevens kan gemeten worden via

- 15 waterstandsvolgers die op vaste positie in de goot geplaatst zijn (om de 6 m.)
- meetwagen waarop zoutopnemers (VAZO's); snelheidsmeters (WSM) en slibkonditietiemeters geplaatst kunnen worden om lokaal de vertikale verdeling van de betreffende grootheden te meten. Het type en de positie van het meetinstrument en alle testkondities worden in het logboek van GIS opgenomen. Gedurende de proeven controleert GIS de randkondities en corrigeert eventueel de regelwaarden.

De gebruiker selekteert tenslotte die gegevens van de proef die bewaard moeten worden voor verdere bewerking via een VAX750 computer.



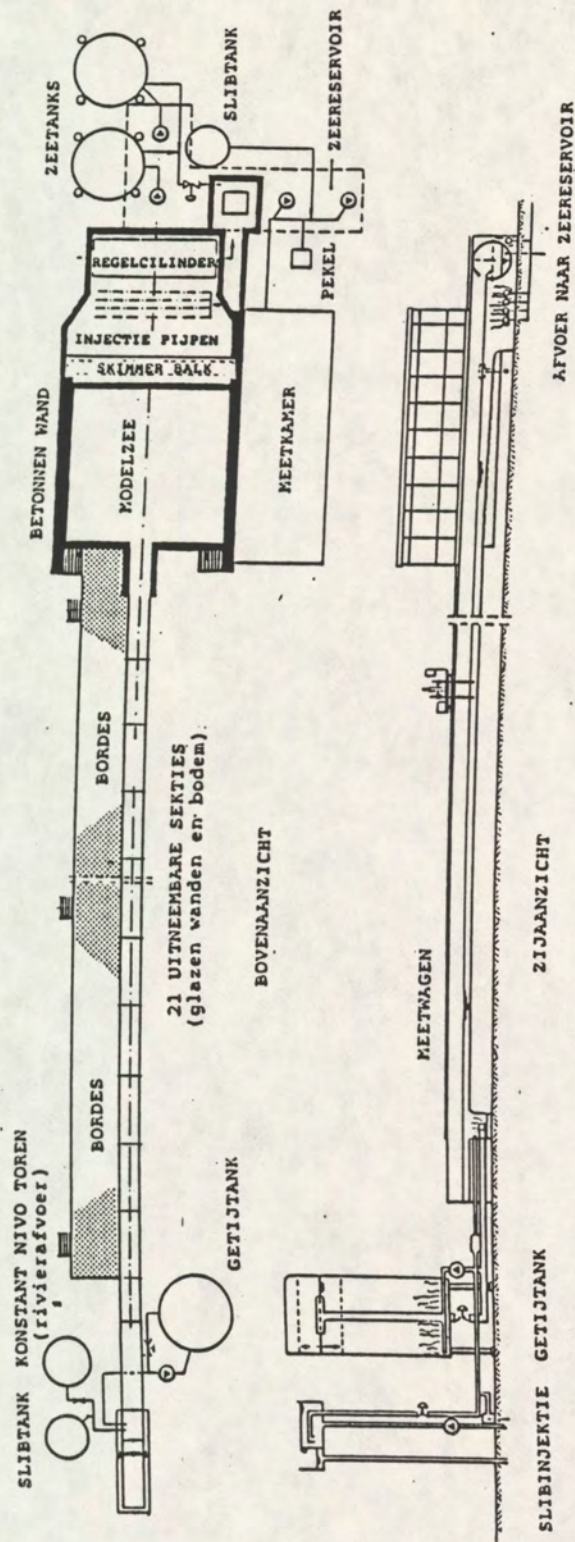


FIG A



Appendix B.      Systematisch onderzoek in oude getijgoot.

In de oude getijgoot [3] is een systematisch onderzoek uitgevoerd naar de invloed van gootparameters en randkondities op de getijbeweging en in het bijzonder op de zoutverdeling. In deze goot is de getijbeweging en de zoutverdeling op het traject 0-60 m gemeten. Uitgangspunt was een proef bij zg. referentie-omstandigheden, die uit een vertaling via schaalregels uit de Rotterdamse Waterweg omstandigheden volgen (zie tabel 1). In het systematisch onderzoek [3] is uitgaande van de referentie steeds een van de volgende parameters afzonderlijk gevarieerd:

de getijamplitude al van het sinusvormig zeegetij van	0.625 - 3.75	cm
de gootlengte L	113 - 303	m
de waterdiepte h	0.156 - 0.281	m
de bovenafvoer $Q_{riv}$	1.45 - 11.59	l/s
de Chézywaarde C (staafjesruwheid)	12.7 - 28.1	$m^{1/2}/s$
het dichtheidsverschil	3.75 - 37.5	$kg/m^3$

De getijperiode T was in de oude goot konstant:  $T = 558.75$  s.

De referentie-omstandigheden waren zodanig gekozen dat  $L/L_r = 0.88$  ( $L_r$ : resonantielengte) d.w.z. dat de lengte van de goot ongeveer gelijk was aan de resonantielengte van de staande golfbeweging in de goot, waarbij de horizontale getijbeweging bij de gekozen waterdiepte en getijperiode zo groot mogelijk is. Het merendeel van de proeven is uitgevoerd bij  $L/L_r < 1$ : korte gootproeven. Voor slechts enkele was  $L/L_r > 1$ . In nagenoeg alle proeven is de getij-tankregeling gebruikt  $L \gg L_f$  (de fysieke gootlengte van 100 m.)

Uit dit onderzoek zijn voor de onderzochte reikwijdte van de randkondities en gootparameters de getij- en zout/zoetkarakteristieken van de goot bepaald.



## Appendix C. Koördinatenstelsel getijgoot.

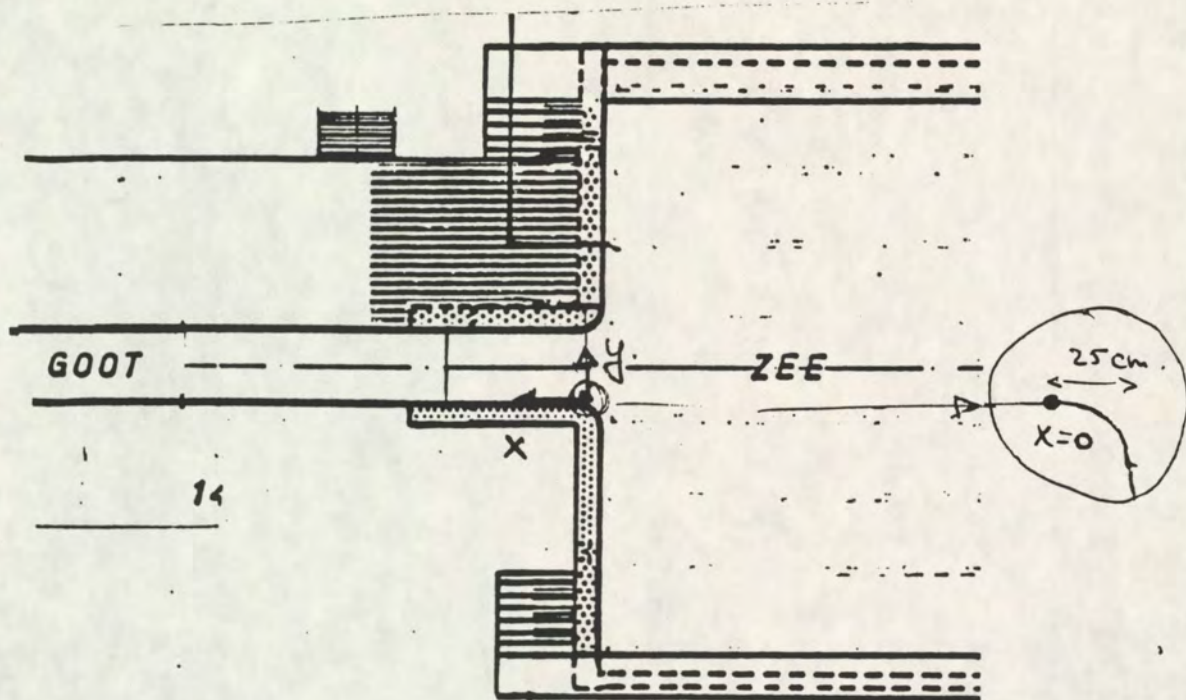
Het nulpunt van de getijgoot-koördinatenstelsel is gesitueerd (zie figuur C):

- . in de mond van de goot (25 cm vanaf zeerland) voor de x-koördinaat
- . aan de rechterwand (vanuit de goot gezien) voor de y-koördinaat
- . op de gootbodem voor de z-koördinaat.

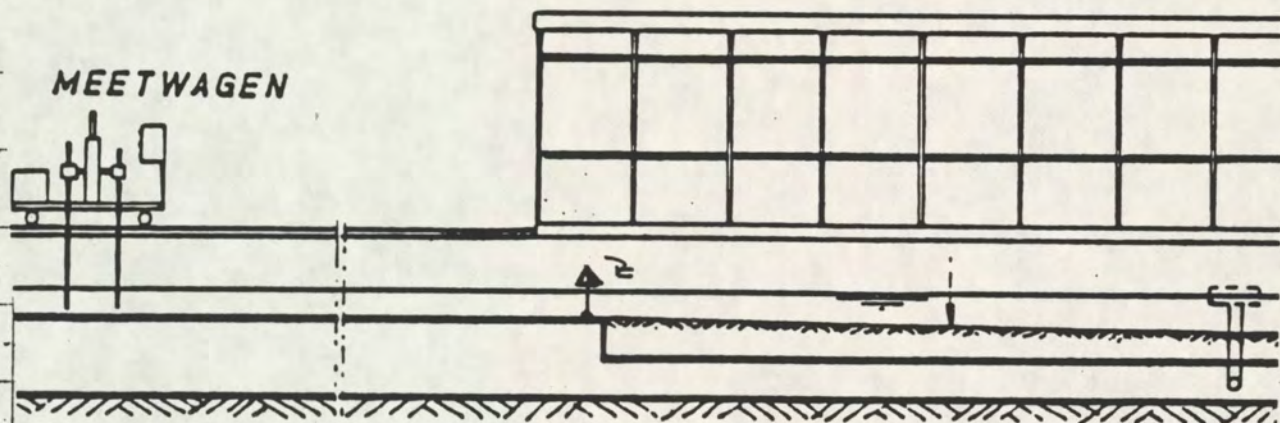
De positieve richting is

- . voor x de stroomopwaartse richting (gootposities positief, zeeposities negatief)
- . voor y links: gootposities positief  
in zee positieve en negatieve posities mogelijk
- . voor z omhoog: de gootposities zijn positief, in de zee zijn positieve en negatieve posities mogelijk.





A BOVENAANZICHT



B ZIJAANZICHT

GOOT-KOORDINATENSTELSEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

A4

FIG C