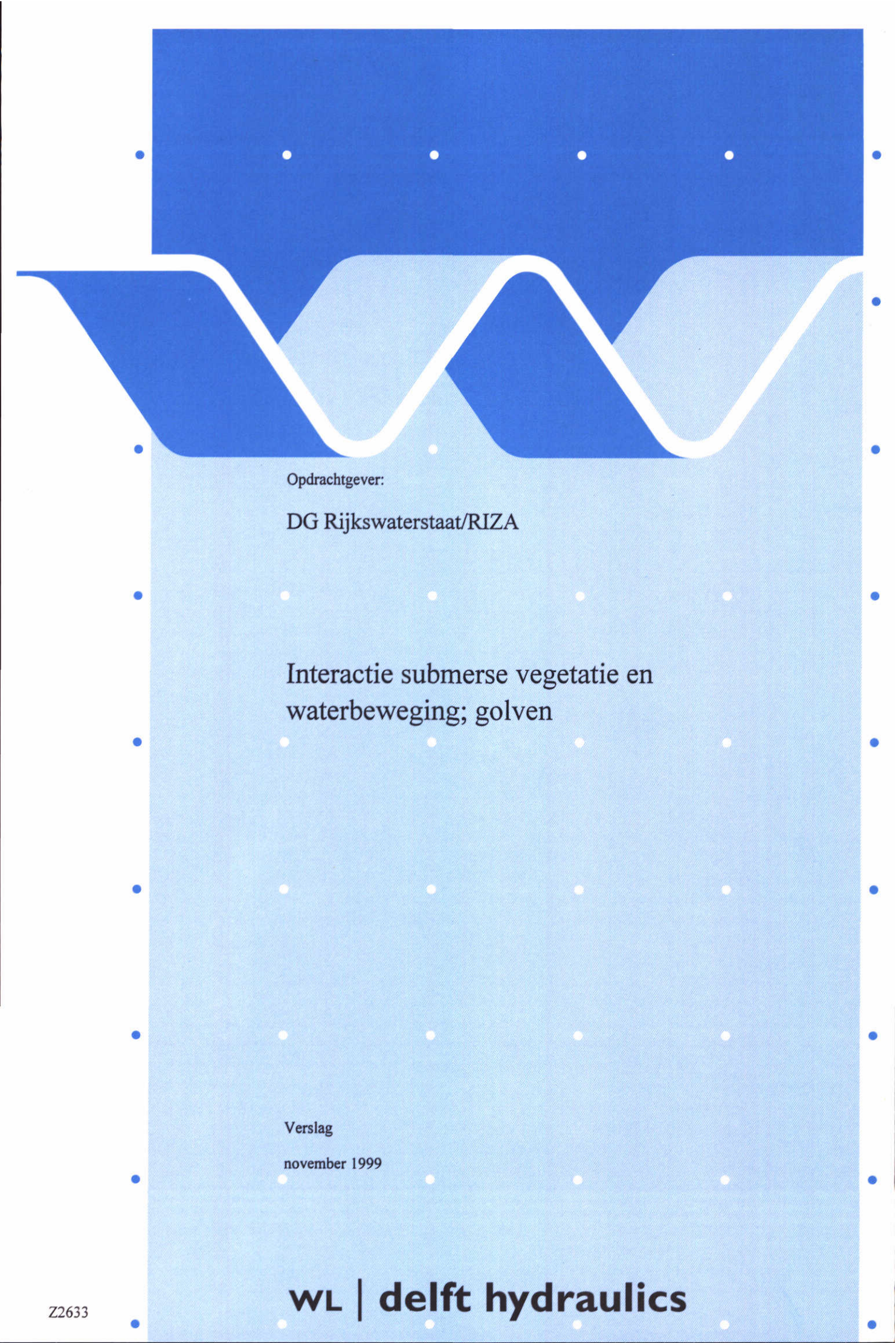




Opdrachtgever:

DG Rijkswaterstaat/RIZA

Interactie submerse vegetatie en waterbeweging; golven

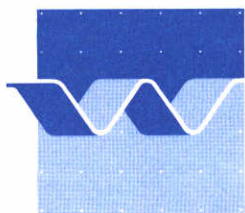
Verslag

november 1999

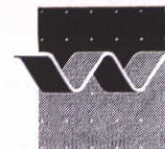
Interactie submerse vegetatie en waterbeweging; golven

I.C. Tanczos
J.M. Cornelisse

Verslag
november 1999



wL | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: DG Rijkswaterstaat/RIZA

TITEL: Interactie submerse vegetatie en waterbeweging; golven

SAMENVATTING:

In Nederlandse meren wordt waargenomen dat water boven locaties met waterplanten helder is, terwijl water daarbuiten erg troebel kan zijn. In voorafgaande experimenten is aangetoond dat een verhoogde sedimentatie door reductie van stroming het verschijnsel niet kan verklaren. In dit experiment is de hypothese nader uitgewerkt dat beïnvloeding van de golfwerking in een plantenveld van belang is voor het fenomeen van helder water. In dit kader is een aantal golfproeven uitgevoerd in de getijgoot waarbij zowel echte als kunstmatige vegetaties zijn gebruikt.

Belangrijke conclusies uit de metingen zijn:

Er is een evident effect op golfwerking van submerse vegetaties. Het gaat hierbij om viscueze demping (bij flexibele en zachte planten) en om energie dissipatie door productie van turbulentie (stijve vegetatie).

Golfopzet door verhoogde weerstand speelt een rol, waardoor een retour stroom in het plantenveld ontstaat die slibrijk water als het ware het veld uit duwt.

Op grond van de resultaten van de studie wordt voorgesteld om de kennis in te bouwen in een geschikte slibmodel zodat hypothesen kunnen worden getest en een gevoeligheidsanalyse kan worden uitgevoerd.

Kennis vergaard in deze en voorgaande experimenten kan worden gebruikt bij het beheren van plantenvelden in meren, zodanig dat het voorkomen van helder water kan worden gecombineerd met andere gebruiksfuncties van het water (zoals recreatie).

REFERENTIES:

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
	I.C. Tanczos	2 december 1999		C. Kuiper	T. Schilperoort
	J.M. Cornelisse	2 / 12 / 1999			
PROJECTNUMMER:		Z 2633			
TREFWOORDEN:					
INHOUD:	TEKST	17	TABELLEN	FIGUREN	APPENDICES
STATUS:	☐ VOORLOPIG		☐ CONCEPT		☒ DEFINITIEF

Inhoud

Lijst van Figuren

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond.....	1
1.2	Golfdemping door onderwater vegetatie.....	1
1.3	Doelstellingen	2
1.4	Uitvoering	2
2	Opzet experimenten	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Opstelling en gebruikte instrumenten	3
2.3	Planten.....	5
2.4	Meetcondities en meetprogramma	7
3	Resultaten.....	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Bewerking en weergeven van de data	8
3.3	Proef I, echte planten.....	9
3.4	Kunstplanten	11
	3.4.1 Proef 2, lange kunstplanten.....	12
	3.4.2 Proef 3, korte kunstplanten	12
4	Vergelijking tussen de proeven	13
4.1	Demping en filtering	13
4.2	Snelheid en turbulentie.....	15
5	Conclusies en aanbevelingen	16
5.1	Conclusies	16

5.2	Aanbevelingen.....	16
6	Referenties	17

Lijst van Figuren

- Figuur 3.1 Voorbeeld van golf histogram
- Figuur 3.2 V als functie van de waterdiepte
- Figuur 3.3 U als functie van de waterdiepte
- Figuur 3.4 H als functie van de waterdiepte
- Figuur 3.5 Vergelijking orbitaalsnelheden meting en berekend op basis van lineaire golftheorie
- Figuur 3.6 Menging onder golven 1 m voor het plantenveld
- Figuur 3.7 Histogram van de momentane waterhoogte t.o.v. h -gemiddelde over de lengte van goot en planten
- Figuur 3.8 Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheidsvariaties op 1 m
- Figuur 3.9 Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheidsvariaties op 1.8 m
- Figuur 3.10 Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheidsvariaties op 4.5 m
- Figuur 3.11 Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheidsvariaties op 1.8 m (proef 1)
- Figuur 3.12 Histogram van de momentane waterhoogte t.o.v. h -gemiddelde over de lengte van goot en planten
- Figuur 3.13 Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheidsvariaties op 1.8 m (proef 2)
- Figuur 3.14 Histogram van de momentane waterhoogte t.o.v. h -gemiddelde over de lengte van goot en planten (proef 3)
- Figuur 3.15 Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheidsvariaties op 1.8 (proef 3)
- Figuur 4.1 Damping over goot en plantjes voor proef 1-3
- Figuur 4.2 Damping op basis van kwadratisch amplitude spectrum

I Inleiding

I.1 Achtergrond

In de Nederlandse randmeren kan worden waargenomen dat het water boven locaties met waterplanten glashelder is terwijl het water daarbuiten een grote troebelheid vertoont. Het overgangsgebied van troebel naar helder water kan in de orde van enkele tientallen tot honderd meter lang zijn. De processen die dit veroorzaken zijn nog niet goed bekend. Daarom is gedurende de periode juni-september 1998 in de Getijgoot van WL een aantal experimenten uitgevoerd om de invloed van onderwatervegetatie op slibconcentratie profielen in een stationaire, uniforme stroming te onderzoeken (WL | Delft Hydraulics, 1999). De nadruk lag hierbij op het effect van de turbulentie met de achterliggende gedachte dat deze door de vegetatie gedempt zou worden, waardoor het slib gemakkelijker zou sedimenteren binnen het plantenveld.

Het belangrijkste resultaat van de experimenten met stroming is dat een verhoogde sedimentatie de reductie in de vertroebeling van het water door onderwatervegetatie niet afdoende kan verklaren. De snelheid en de turbulente menging nemen inderdaad sterk af in het plantenveld, echter door de sterke snelheidsgradiënt op het grensvlak met de planten ontstaat er net boven de vegetatie een verhoogde mengcapaciteit. Uitgaande van een uniforme verdeling van het slib over de waterdiepte sedimenteert het slib op de planten wat vervolgens weer resuspendeert door de verhoogde menging bij de plantentoppen. Dit kan leiden tot juist een verhoging i.p.v. een verlaging in de slibconcentraties.

Verondersteld wordt dan ook dat het fenomeen van helder water boven vegetatievelden een gevolg is van beïnvloeding van de vegetatie op de golfwerking en dientengevolge op de door de golven geïnitieerde erosieprocessen. Deze erosieprocessen hebben waarschijnlijk betrekking op de bovenste sliblaag welke gekenmerkt wordt door een hoog watergehalte en een geringe sterkte ('fluffy layer').

Een ander mogelijk effect betreft de turbulentie, die door wind aan het oppervlak wordt gegenereerd en welke van invloed kan zijn op de erosie c.q. resuspensie van slib op de bodem. De aanwezige vegetatie kan de wind-geïnduceerde turbulentie dempen en aldus de erosie/resuspensie reduceren. Dit effect wordt niet als onderdeel van het voorgestelde onderzoek beschouwd.

I.2 Golfdemping door onderwater vegetatie

Golven die over een plantenveld heen gaan zullen worden gedempt. Dit wordt veroorzaakt door twee processen:

1. Als de planten erg flexibel zijn zal er een klein snelheidsverschil tussen de stroming en de stengels zijn. Hierdoor is er extra wrijving waardoor er energieverlies is. De vloeistof (water) wordt als het ware meer visceus. Deze 'schijn viscositeit' zorgt voor demping.

2. Aan de plantjes zal energie worden gedissipeerd in de vorm van turbulentie. Hoe hoger de relatieve snelheid van het water t.o.v. de planten hoe meer energie er wordt gedissipeerd.

Welk proces het belangrijkste is hangt af van het type vegetatie; flexibele plantje zullen de stroming volgen waardoor de relatieve snelheid van het water t.o.v. de plantjes laag is. Damping zal dan voornamelijk optreden door de hogere 'schijn viscositeit'. Hoe stijver de plantjes hoe belangrijker het tweede proces wordt en hoe hoger de damping.

1.3 Doelstellingen

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

- a. te bepalen of er golfdamping t.g.v. submerse vegetatie optreedt, en
- b. het meten van turbulentiekenmerken in en buiten het vegetatieveld om aldus de mengingscapaciteit in verticale richting vast te stellen.

Een eventueel geringere erosie van een slibbodem in een vegetatieveld door een verlaging van de orbitaalsnelheden kan dan de reductie in vertroebeling van water boven een vegetatieveld verklaren, zoals dat wordt waargenomen in de natuur.

1.4 Uitvoering

De proeven zijn uitgevoerd door C.P. Koree (instrumentatie en data acquisitie), F.M. de Vreede (instrumentatie), J.J.F. Coolegem (model operator), W. Lustig (model operator) en W.J. Taal (data acquisitie).

De uitwerking is gedaan door J.M. Cornelisse en de rapportage door I.C. Tanczos.

Het project management was in handen van C. Kuijper en M. de Vries.

2 Opzet experimenten

2.1 Inleiding

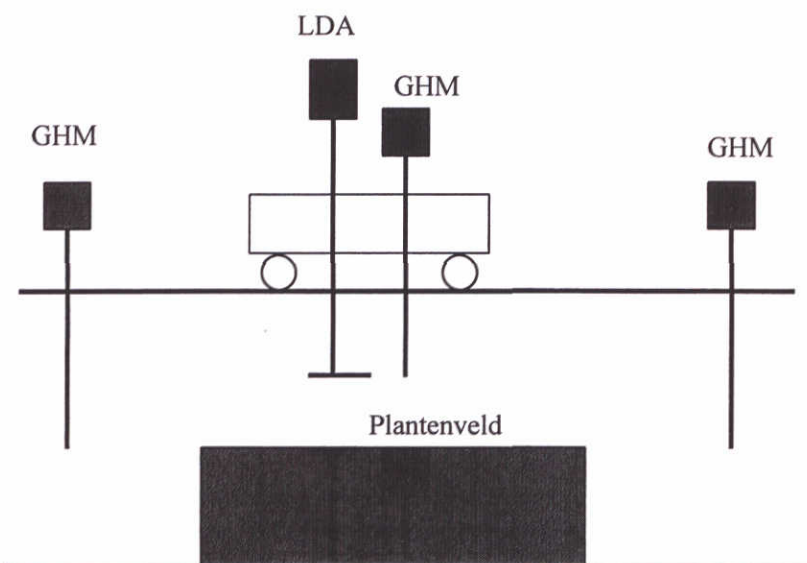
Het oorspronkelijke idee was om het gehele experiment met echte plantjes uit te voeren. De werkelijkheid zou dan zo goed als mogelijk worden benaderd. In de loop van het experiment is dit idee echter aangepast. Door de grote flexibiliteit van de vegetatie is de golfdemping veel kleiner dan verwacht. Kunstplanten zijn minder flexibel waardoor meer turbulentie zal worden gegenereerd aan de plantjes met meer golfdemping tot gevolg. Uiteindelijk is er één proef met echte vegetatie gedaan waarna er is overgestapt op kunstmatige vegetatie (zie Hfdst 3). Hiermee zijn vervolgens nog twee proeven gedaan.

In dit hoofdstuk zullen de in de opstelling gebruikte instrumenten worden besproken. Het gevolgde meetprogramma zal vervolgens kort uiteen worden gezet.

2.2 Opstelling en gebruikte instrumenten

Opstelling

In figuur 2.1 staat een geschematiseerde tekening van de opstelling. In de getijgoot is een plantenveld aangebracht. Voor en achter het veld wordt de golfhoogte met twee vaste golfhoogte opnemers (GHM) gemeten. Op een beweegbare meetwagen is naast nog een GHM een indompelbare Laser Doppler Snelheidsmeter (LDA) bevestigd. Hiermee kan op verschillende locaties en hoogtes de gemiddelde snelheid en turbulente snelheidsfluctuaties in de x- en z-richting (horizontaal en verticaal) worden bepaald.



Figuur 2.1 Geschematiseerde tekening van de opstelling

Getijgoot

De experimenten zijn uitgevoerd in de Getijgoot van WL | Delft Hydraulics. De Getijgoot is sinds 1985 in gebruik en bestaat uit een 130 m lange riviersectie welke uitmondt in een basin, de modelzee, met een oppervlakte van 120 m². Getijomstandigheden kunnen worden gesimuleerd met perioden van 30 tot 1800 s en een getijslag van maximaal 0,15 m. Door gebruik te maken van circulatieleidingen kan tevens een permanente, uniforme stroming worden ingesteld met een maximaal circulatiedebiet van 250 liter/s.

De breedte en hoogte van de goot bedragen 1 m, wat resulteert in een minimale en maximale waterdiepte van resp. 0,1 en 0,9 m. Visuele observatie van de zijanten is mogelijk, omdat de wanden uit glas bestaan.

In de zomer van 1999 is de Getijgoot voorzien van een golfschot, zodat ook korte golven met perioden van 1 tot 5 s en een maximale golfhoogte van 0,5 m kunnen worden opgewekt. T.p.v. de uitmonding van de goot in de modelzee is een golfdempend talud geplaatst, om reflecties t.g.v. de verwijding te onderdrukken.

Golfhoogtemeters

Voor het vaststellen van de golfhoogtes is gebruik gemaakt van Golfhoogte Opnemers (GHM) ontwikkeld door WL. De GHM bestaat uit twee parallelle roestvrij stalen elektrodes. De waterhoogte wordt gemeten door de veranderingen in de geleiding als gevolg de mate van indompeling in water te meten.

Laser Doppler

Met de Laser Doppler Snelheidsmeter (LDA) zijn twee onderling loodrechte snelheidscomponenten van de totale snelheid van een stromend fluïdum te meten. Het grote voordeel van deze methode van snelheidsbepaling is, dat er contactloos wordt gemeten zodat de stroming niet wordt verstoord. Verder kan in de stroming gedetailleerd gemeten worden. Het is dan mogelijk de meting zeer plaatselijk uit te voeren. De LDA bepaalt de lokale momentane snelheid van een vloeistofstroom door de frequentieverandering te meten van laserlicht.

Het laserlicht wordt verstrooid door kleine stofdeeltjes die altijd aanwezig zijn in het fluïdum en meegenomen worden door de stroming. Wanneer een stofdeeltje beweegt door het meetvolume, dat gevormd wordt door het snijpunt van de laserbundels, dan is de frequentie van het verstrooide licht niet meer gelijk aan die van het opvallende licht. Van het verstrooide licht is de frequentie f_s verschoven ten opzichte van de frequentie f_i van het opvallende licht. Het verschil tussen f_s en f_i is de frekwentieverschuiving en wordt de Dopplerverschuiving c.q. Dopplerfrequentie f_d genoemd.

Voor dit experiment is gebruik gemaakt van een indompelbare LDA. Hierdoor is het mogelijk om ook in het plantenveld ongestoord te kunnen meten.

GHM versus LDA

Zoals boven genoemd is de werking van de LDA afhankelijk van deeltjes die in het water zweven. Hoe schoner het water hoe minder goed de werking zal zijn. Daarom is er tijdens de proeven melk aan het water toegevoegd. De aanwezige vetdeeltjes zorgen voor een goed signaal.

De golfhoogte opnemers daarentegen werken optimaal in zo schoon mogelijk water. Het vervuilen van de electrodes kan leiden tot het verschuiven van het signaal. Desondanks is er toch voor gekozen om melk te gebruiken en wel om de volgende redenen:

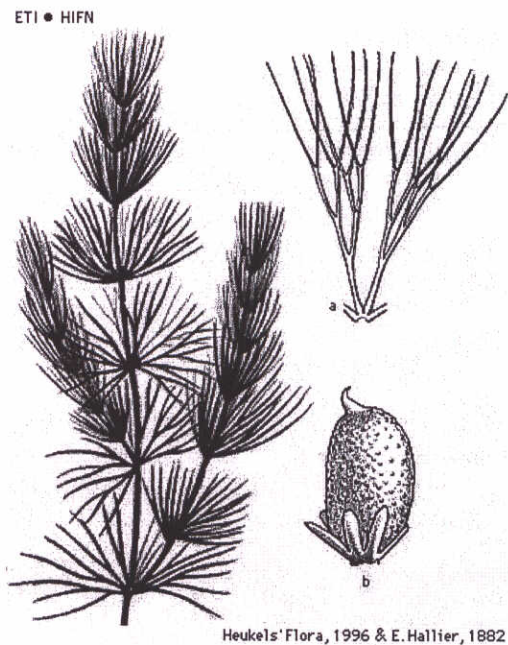
1. Een belangrijk doel van het experiment is het meten van de turbulentie.
2. De data bewerking zorgt ervoor dat een geleidelijke verschuiving van het signaal van de GHM door middel van een filterprocedure uit de resultaten wordt gehaald (zie Hfdst 3).

2.3 Planten

Echte planten

Zoals boven genoemd is een gedeelte van de proeven uitgevoerd met echte waterplanten. Op deze wijze wordt de natuurlijke situatie zo goed mogelijk gemodelleerd. De gebruikte plantensoort komt uit de Rotterdamse Schie en heet Fijn hoornblad, *Ceratophyllum demersum* (zie figuur 2.2). Dit is een type kranswieren. De lengte van de plantjes was ongeveer 40 á 50 cm. Omdat de dichtheid van de planten lager is dan de dichtheid van water zweven de plantjes als het ware in het water.

Om de plantjes aan de bodem te kunnen vastmaken zijn CEMPANEL-platen (geperste houtvezel platen verzaagd met cement) met kippengaas eromheen in de goot aangebracht. Met touwtjes zijn de plantjes in bosjes aan het gaas vast gemaakt. Om de plantjes zo lang mogelijk in leven te houden zijn boven de goot TL-buizen aangebracht.



Figuur 2.2 Fijn hoornblad, *Ceratophyllum demersum*. Uit: Heukels' interactieve flora van Nederland.

Kunstplanten

De kunstmatige vegetatie is ook gebruikt in de experimenten om de invloed van onderwatervegetatie op stroming te onderzoeken (WL | Delft Hydraulics, 1999). Zij is van het merk AQUASCAPERS en afkomstig van het AB-DLO te Wageningen. De 'plantjes' zijn van het type *Anacharis* (*Egeria densa*), een op waterpest lijkende submerse plant. Door middel van gaatjes in de CEMPANEL platen zijn de plantjes aan de bodem van de goot bevestigd. De plantjes bestaan uit segmenten van 10 cm waardoor de lengte kan worden aangepast. De proeven zijn gedaan met een lengte van 50 en 10 cm

2.4 Meetcondities en meetprogramma

Typische golven zoals waargenomen in de Nederlandse randmeren hebben een golfperiode van 1 á 2 s en een hoogte van ongeveer 0.2 m. Voor de keuze van de golfperiode geldt verder de restrictie dat de resulterende golflengte niet groter mag worden dan de lengte van het plantenveld; bij een golflengte die groter is dan de lengte van het plantenveld zal namelijk onvoldoende damping optreden. Op basis hiervan is gekozen voor de volgende meetcondities: waterdiepte = 0,40 m, golfperiode = 1 s en een golfhoogte (top-top) = 0,055 m. Dit resulteert in een golflengte van ongeveer 1,5 m.

Bij de echte planten was het vegetatie bed 5,7 m lang, de plantlengte 40 cm en de afstand tussen planten 20 cm in beide richtingen. Voor de kunstplanten is gewerkt met een bed van ongeveer de zelfde lengte en twee plantlengtes, 50 en 10 cm. De afstand tussen de plantjes was in de breedte 10 cm terwijl er in de lengte afwisselend 10 en 20 cm tussenruimte was.

De snelheid is met behulp van de LDA op 3 plaatsen in de goot gemeten: 1.0 m voor het plantenveld en op locaties ter hoogte van 1.80 en 4.50 in het plantenbed. Op deze locaties is de snelheid gemeten op 2,5, 7,5, 15, 22,5 en 30 cm boven de bodem. Op elk van deze posities is 10 min gemeten met een bemonsteringsfrequentie van 300 Hz. Dit geeft voldoende datapunten om de turbulentie goed te kunnen vast stellen. Voor lage frequenties ($f < 1$ Hz) is het aantal datapunten echter te laag.

De golfhoogtes zijn op twee vaste posities voor en achter het plantenveld gemeten. Tevens was een golfhoogtemeter naast de LDA geplaatst.

De meetcondities zijn samengevat in tabel 2.1

Tabel 2.1 Meetcondities

Waterdiepte:	0,40 m
Golfperiode:	1 s
Golfhoogte (top-top):	0,055 m
Lengte plantenveld	
Echte planten:	5,7 m (van 96,5 - 102,2 m)
Kunstplanten:	5,7 m (van 97,2 - 102,9 m)
Plantlengte	
Echte planten:	± 0,50 m
Kunstplanten:	0,50 en 0,10 m
Meetlocaties van de LDA:	voor plantenveld, op 1/3 en 2/3 van het plantenveld
Meethoogtes:	2,5 cm
	7,5 cm
	15 cm
	22,5 cm
	30 cm
Meetduur:	10 min
Locaties GHM:	voor en achter het plantenveld en naast de LDA

3 Resultaten

3.1 Inleiding

Zoals besproken in hoofdstuk 2 zijn er 3 proeven gedaan; één proef met echte planten en twee met kunstplanten van verschillende lengtes. In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van deze drie proeven getoond en besproken. Dit zal gedaan worden aan de hand van een aantal typische resultaten. Eerst zal de methode kort worden uitgelegd die gebruikt is om de data te bewerken en weer te geven.

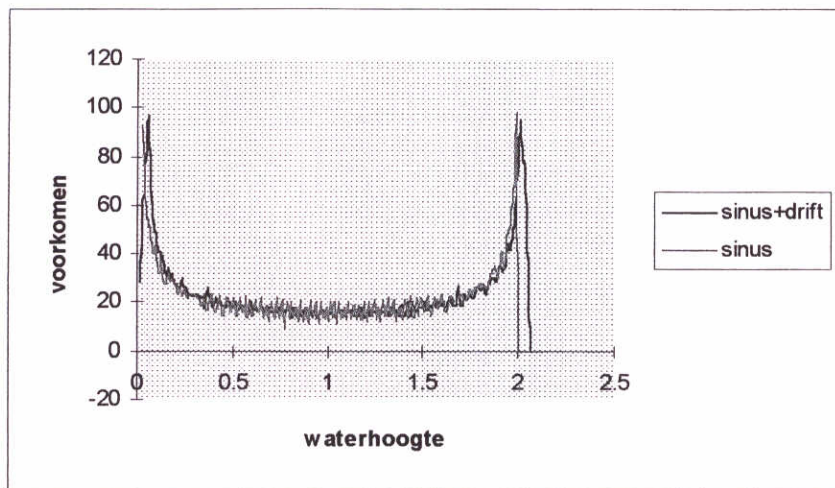
3.2 Bewerking en weergeven van de data

Golfhoogte

Zoals gezegd bestaat er een risico dat de data van de GHM 'vervuild' is door de aanwezigheid van melk in het water. Daarom zal een Fourier Transformatie op het signaal worden uitgevoerd. In de verkregen spectra zal eventuele drift voorkomen als een lage frequentie (<1 Hz). De verschillen tussen de spectra voor en achter het plantenveld geven informatie over het effect van de planten op de golfbeweging van het water.

Om het verloop van de golfhoogtes over het plantenveld te laten zien is er van elke proef een histogram van de momentane waterhoogtes op verschillende locaties in de goot gemaakt. In deze figuren staat de gemeten waterhoogte op de x-as en het aantal keren dat een bepaalde hoogte is waargenomen op de y-as. In figuur 3.1 staat een voorbeeld van een op deze wijze verkregen histogram voor een zuiver sinusvormige golf (roze lijn). De pieken bij de golf-amplitude ontstaan doordat er bemonstert wordt op vaste tijdstippen en niet op vaste hoogtes.

Een verloop in de GHM's zal zorgen voor een verschuiving en een lichte verbreding van de pieken. Dit wordt geïllustreerd door de blauwe lijn in figuur 3.1. Dit is dezelfde sinusvormige golf met daarbij een lineaire drift opgeteld.



Figuur 3.1 Voorbeeld van golf histogram.

Snelheid

Bij uniforme stroming is het effect van de vegetatie relatief eenvoudig weer te geven door middel van de gemiddelde snelheid en de standaard deviatie. Hierbij geeft deze tweede grootheid informatie over de mate van turbulentie. Beide waarden kunnen direct uit de data worden berekend. Voor een golf beweging is dit minder eenvoudig omdat we te maken hebben met een steeds veranderende snelheid. De gemiddelde snelheid is nu geen zinvolle parameter meer want deze zal ongeveer gelijk zijn aan nul. Om iets over de turbulentie te kunnen zeggen zal de golfbeweging eerst uit het signaal moeten worden gehaald. Dit is voor het doel van deze proeven weinig zinvol. De extra informatie in de snelheidsmetingen zit in de hogere frequentie componenten (turbulentie) welke niet met de GHM kunnen worden gemeten. Deze zullen door frequentie spectra zichtbaar worden gemaakt.

Evenals de golfhoogte data zullen de snelheidsmetingen worden omgezet in een frequentie spectra (hoewel het principe gelijk is gebeurt dit met andere software dan bij de golfhoogtedata. Dit omdat turbulentie zich in een ander frequentie bereik afspeelt en omdat deze software ook andere grootheden uitrekent die voor turbulentie belangrijk zijn. Deze zullen in dit data rapport echter buiten beschouwing worden gelaten). Op grond van de GHM-data is bekend welke componenten in het snelheidsspectrum worden veroorzaakt door de golfbeweging. Aanwezige hoger frequente componenten die niet in het golfhoogte spectrum voorkomen kunnen dan worden toegeschreven aan turbulentie veroorzaakt door wrijving aan de plantjes.

3.3 Proef I, echte planten

Wat bij deze proef opviel was de grote flexibiliteit van de plantjes. Hierdoor konden zij volledig meegaan met de orbitaalbeweging van het water zoals optreedt onder golven. Dit betekent ook dat de dempende werking slechts gering was. De relatieve snelheid van het water t.o.v. de plantjes is laag waardoor er dus weinig energiedissipatie in de vorm van

turbulentie was (zie Hfdst 1). Omdat er ook demping is als gevolg van de gootwanden was de demping gedurende de proef toch goed zichtbaar.

Snelheid

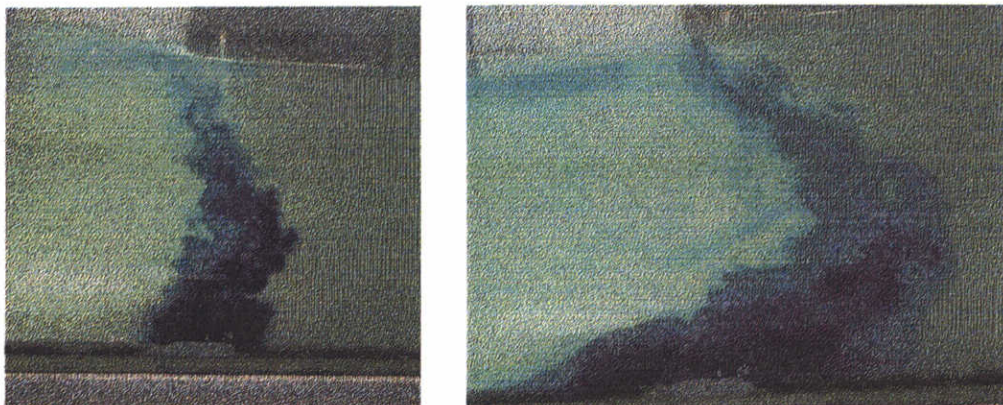
Figuren 3.2 en 3.3 laten de gemeten snelheden op verschillende hoogtes in het plantenveld in respectievelijk de x - en y -richting zien (u en v). De bijbehorende golfhoogtes staan in figuur 3.4 weergegeven. Alle drie de figuren laten één golfperiode zien. De figuren laten de fase verschillen tussen de golfhoogte en de snelheid zien.

In figuur 3.5 worden de gemeten snelheden in het plantenveld op verschillende hoogtes vergeleken met berekende waarden met lineaire golftheorie. Deze figuur laat zien dat de vorm van de berekende curves die van de gemeten goed beschrijven. Dit duidt erop dat de aanwezigheid van de plantjes de orbitaal beweging niet verstoort.

Menging

Om de menging in het water onder invloed van het plantenveld zichtbaar te maken is er kleurstof in het water aangebracht op ongeveer 1 m voor het plantenveld. De linker foto in figuur 3.6 laat de beginsituatie zien; de inkt is in een verticale lijn in het water gespoten. De rechter foto is korte tijd later genomen¹. Uit de foto's blijkt het volgende:

- Er is weinig menging in opwaartse verticale richting, de inkt zakt naar de bodem.
- Net onder het wateroppervlak is de netto verplaatsing in de golfrichting
- In het grootste gedeelte van de waterkolom verplaatst de inkt zich tegen de golfrichting in. Dit wordt veroorzaakt door een retourstroming ten gevolge van golfopzet over het plantenveld.



Figuur 3.6 Menging onder golven 1 m voor het plantenveld. In de plaatjes is de golfrichting is van rechts naar links.

Golfdemping

In figuur 3.7 zijn histogrammen van de momentane golfhoogtes te zien op verschillende locaties in de goot. De gegeven posities zijn t.o.v het begin van het plantenveld. Over het

¹ Het 'mengpatroon' is nagenoeg onafhankelijk van de fase van de golf.

histogram achter het plantenveld iets smaller zijn dan ervoor blijft de vorm van de curve grotendeels gelijk.

Deze geringe demping komt doordat er slechts weinig energie gedissipeerd wordt aan de plantjes in de vorm van turbulentie. Zij gaan mee met de orbitaalbeweging van het water. De demping wordt dus voornamelijk veroorzaakt door een verhoogde schijnviscositeit.

Turbulentie

De figuren 3.8 - 3.10 laten de spectra zien van de horizontale (doorgetrokken lijnen) en verticale snelheid (onderbroken lijnen) op verschillende hoogtes. De 3 figuren komen overeen met 3 locaties in de goot; 1 m voor het planten veld en op 1.8 en 5.5 m in het bed, respectievelijk. De spectra hebben een duidelijke piek bij 1 Hz, de frequentie van de ongestoorde golf. Omdat de golf geen perfecte sinus is, is nog een aantal duidelijke pieken zichtbaar bij frequenties tussen 1-10 Hz.

Zoals verwacht is de verticale snelheid aan de bodem bijna 0 en neemt naar boven toe. Bij het oppervlak zijn de horizontale en verticale snelheid ongeveer aan elkaar gelijk. Volgens de metingen voor het veld, figuur 3.8) wordt de horizontale snelheid dicht bij het oppervlak opeens lager. Dit is waarschijnlijk het gevolg van afwijkingen in het meetinstrument. De spectra laten echter duidelijk zien dat de vorm gelijk blijft over de hele waterkolom. Ook de geringe mate van demping is goed zichtbaar, de energie inhoud van de spectra blijft nagenoeg gelijk.

Hogere frequenties komen niet in het signaal voor. De relatieve snelheid t.o.v. de plantjes is immers praktisch nul en er zal dus niet of nauwelijks turbulentie worden gegenereerd. Om dit te laten zien zijn in figuur 3.11 van de spectra zo als gemeten op 1/3 (1.80 m) van het plantenveld ook de hogere frequenties zichtbaar gemaakt (tot 100 Hz).

Conclusies

Het beoogde effect van golfdemping in het plantenveld treedt op. Echter, door de grote flexibiliteit van de vegetatie is deze veel kleiner dan verwacht. Om de energiedissipatie door middel van turbulentie te vergroten is besloten de volgende proeven met kunstmatige vegetatie te doen. Deze zijn minder flexibel waardoor meer turbulentie zal worden gegenereerd aan de plantjes. Dit heeft meer golfdemping tot gevolg.

3.4 Kunstplanten

Met de kunstmatige vegetatie zijn twee proeven gedaan: één met een plantlengte van 50 cm en één met plantlengte van 10 cm. In beide gevallen was de waterdiepte 40 cm en de lengte van het vegetatieveld 6,0 m. Door de flexibiliteit van de plantjes staken zij nauwelijks boven het wateroppervlak uit.

3.4.1 Proef 2, lange kunstplanten

Opvallend was de grotere stijfheid van de plantjes t.o.v. de echte vegetatie. De planten wiegden weliswaar mee met de golfbeweging maar volgden deze niet volledig. Hierdoor was de dempende werking veel groter.

Golfhoogte

Figuur 3.12 toont het golfhoogte histogram van proef 2. De demping is duidelijk zichtbaar. De golfhoogte is over het plantenveld heen met meer dan 50 % gedaald. Bovendien is de filterende werking goed te zien; voor de planten zijn pieken breed en uitgesmeerd terwijl achter de planten sprake is van een smalle piek met een duidelijk maximum. Dit effect treedt al gelijk op bij het binnenkomen van het veld (vergelijk de roze en de blauwe lijn). Kortere golven worden meer gedempt.

Snelheid en turbulentie

In figuur 3.13 staan de spectra van de horizontale en verticale snelheid zoals gemeten in het plantenveld. Er komt een aantal belangrijke punten uit deze figuur naar voren. We vergelijken daarvoor deze spectra met die van de golf in het natuurlijke plantenveld zoals weergegeven in figuur 3.11. Het is hierbij belangrijk goed te realiseren dat de spectra op een logaritmische schaal zijn weergegeven. Dit betekent dat verschillen van een factor 2 nauwelijks opvallen.

Zoals verwacht is de energie dichtheid in het algemeen lager dan bij de echte planten. Voor de hogere frequenties is dichtheid, behalve het dichtstbij bij het wateroppervlak (zwarte lijn), echter bijna gelijk. Dit geeft aan dat er aan de plantjes turbulentie wordt gegenereerd. Bovendien is er voor de hogere frequentie componenten een duidelijke afname in de energiedichtheid met de diepte. Bij de echte plantjes is deze afname er niet, de energie dichtheid is praktisch constant over de diepte.

Het is duidelijk dat er in het frequentiegebied tussen 1 en 10 Hz een aantal pieken door het kunstmatige plantenveld uit de spectra zijn gefilterd. Hoe dichter men bij de bodem komt hoe sterker dit effect wordt. Vergelijk bijvoorbeeld de energie dichtheid van vertikale snelheden op 25 en 75 mm van de bodem (de blauwe en rode onderbroken lijn).

3.4.2 Proef 3, korte kunstplanten

Golfhoogte

In figuur 3.14 staat het golfhoogte histogram behorende bij proef 3 met kunstplantjes van 10 cm lang. Hieruit wordt direct duidelijk dat de demping gering is. Ook de vorm van het histogram blijft min of meer gelijk. Dit geeft aan dat het golfhoogtespectrum niet erg beïnvloed wordt door een verhoogde ruwheid bij de bodem. Het energie verlies daardoor is relatief klein.

Snelheid en turbulentie

De frequentie spectra van de snelheden in figuur 3.15 bevestigen het beeld verkregen uit de golfhoogte metingen. De filterende werking aan het wateroppervlak is klein. Zoals verwacht wordt deze invloed wel groter naarmate men dichterbij de bodem komt.

Vergelijken we de energiedichtheden zoals gemeten tussen de lange kunstplanten met die gemeten tussen de korte planten dan valt op dat deze ongeveer hetzelfde zijn. Dit lijkt vreemd maar valt goed te verklaren: Bij de lange kunstplanten wordt er turbulente energie gegenereerd in het veld maar de golfhoogte is lager. Voor de korte planten is het omgekeerde het geval; er wordt behalve dichtbij de bodem geen turbulente energie opgewekt maar de golfhoogte is hoger.

4 Vergelijking tussen de proeven

In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de 3 proeven zoals beschreven in het vorige hoofdstuk met elkaar worden vergeleken.

4.1 Damping en filtering

Damping

Het golfhoogteverloop over het plantenveld wordt mogelijk beïnvloed door:

- Het plantenveld zorgt voor een extra weerstand, hoe stijver de planten hoe groter deze weerstand zal zijn. Als gevolg hiervan zal er een golfopzet ontstaan die al begint voor het veld. De waterdiepte neemt dus toe bij nadering van het plantenveld.
- Zoals al eerder genoemd ontstaat er een retour stroom.
- Er zal reflectie aan de planten optreden, wat de golfhoogte voor het veld zal beïnvloeden.
- Bij het 'binnengaan' van het plantenveld zal door de toegenomen weerstand de golflengte af- en de golfhoogte toenemen.
- In het plantenveld is er energieverlies hetzij door een verhoogde viscositeit, hetzij door turbulentie.
- Bij hele korte planten neemt de hoogte van de waterkolom af, waardoor de golfhoogte zal toenemen.

Hoever voor het plantenveld bovengenoemde factoren al een rol spelen is niet precies bekend. Wel is duidelijk dat hoe stijver de planten zijn hoe verder voor het veld de effecten al merkbaar zullen zijn.

Om de golfhoogtemetingen van de 3 proeven met elkaar te kunnen vergelijken moeten deze worden genormaliseerd. In figuur 4.1 zijn de gemiddelde golfhoogtes (toptop) weergegeven zo als gemeten op verschillende locaties t.o.v. het plantenveld. Er is gemiddeld over 600 golven en de foutenmarges zijn daardoor erg klein, zij vallen binnen de symbolen in figuur 4.1. De metingen zijn genormaliseerd door de golfhoogte op ± 3 m voor het plantenveld

gelijk te stellen aan die van de ongestoorde golf, 55 mm. Deze procedure betekent dat eventuele golfhoogte veranderingen voor het veld als gevolg van een van de bovengenoemde factoren niet meer zichtbaar zijn.

Er zijn duidelijke verschillen tussen de drie proeven. Voor proef 1 (rode lijn) met de echte plantjes is er al voor het plantenbed een afname in de golfhoogte als gevolg van de golfopzet. Deze neemt dan vervolgens bij het binnengaan van het veld weer toe. Dan neemt de visceuze demping de overhand waardoor de golfhoogte daalt. Bij het verlaten van het veld blijft deze dan nagenoeg gelijk.

Bij proef 2 met de lange kunstplanten is het te verwachten dat de golfhoogte voor het plantenveld meer zal worden beïnvloed dan bij proef 1 het geval was. Door de grotere stijfheid van de planten zal immers golfreflectie en golfopzet een grotere rol spelen. Dat de golfhoogte voor het veld volgens figuur 4.1 (blauwe lijn) constant blijft duidt er dus waarschijnlijk op dat de golfhoogte 3 m voor het veld al niet meer ongestoord was. Door de normalisatie procedure is dit effect onzichtbaar geworden. Verder is er over de gehele lengte van het bed een afname in de golfhoogte. Energie dissipatie door turbulentie is hier het dominante proces.

Bij proef 3 (roze lijn) met de korte kunstplantjes is er niet of nauwelijks een golfopzet als gevolg van het plantenveld. Wel neemt door de korte plantjes de waterdiepte af (de bodem komt als het ware hoger te liggen) en is er daardoor een stijging van de golfhoogte. In het plantenveld is het verloop van de golfhoogte vergelijkbaar met die in proef 2 en neemt geleidelijk af.

Filtering

In figuur 4.2 staat het frequentie spectrum van de inkomende golf (blauw) samen met die van de golf achter het plantenveld voor elk van de drie proeven (in groen, rood en magenta, respectievelijk). Alle frequenties met een amplitude kleiner dan 0.01 mm^2 kunnen beschouwd worden als ruis.

De groene lijn geeft het spectrum van de golf zoals gemeten achter het natuurlijke plantenveld. De vorm van het spectrum blijft min of meer gelijk aan die van de inkomende golf. Significante demping treedt slechts op voor de hogere componenten in het golfspectrum.

Het verschil met het effect van de lange kunstmatige vegetatie (rode lijn) is duidelijk. De hogere componenten zijn nagenoeg uit het spectrum verdwenen en de piek bij 1 Hz ligt een stuk lager. Ook het laag frequente gedeelte van het spectrum is een stuk zwakker.

Voor de derde proef met de korte kunst planten ligt de mate van demping tussen die van natuurlijke en kunstmatige vegetatie in.

4.2 Snelheid en turbulentie

In figuur 3.4 worden gemeten snelheden in het natuurlijke plantenveld vergeleken met die berekend met lineaire golf theorie. Hieruit blijkt dat de vorm van de gemeten en berekende curves redelijk goed met elkaar overeen komen.

Turbulentie

De golfhoogte spectra uit figuur 4.2 kunnen we vergelijken met die verkregen uit de snelheid. Het wordt dan duidelijk dat voor natuurlijke vegetatie de snelheidsspectra direct gerelateerd zijn aan de golfhoogte spectra. Alle pieken gemeten met de Laser Doppler zitten ook in het golfhoogte spectrum.

Bij de kunstmatige vegetatie worden er aan de plantjes wervels gegenereerd. Hierdoor zit er energie in het hoog frequente gedeelte van het spectrum wat er bij het golfhoogte spectrum niet in zit.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In dit rapport zijn de eerste resultaten weergegeven van een experiment om de invloed van submerse vegetatie op de waterbeweging onder invloed van golven te bestuderen. Op basis van deze eerste resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Het effect van submerse vegetatie op de golf beweging is evident.
 - A) De mate van demping of afname van de golfhoogte is afhankelijk van een combinatie van factoren. Bij flexibele plantjes is de visceuze demping het belangrijkste. Naarmate de stijfheid van de plantjes groter wordt neemt de demping toe doordat er energie wordt gedissipeerd in de vorm van turbulentie. Naast de flexibiliteit van planten speelt de veranderende dikte van de waterlaag boven de plantjes een rol. Bij hele korte plantjes komt de bodem als het ware hoger te liggen waardoor de waterdiepte verandert. Bij langere planten speelt golfopzet door een verhoogde weerstand een rol. Bij lange stijve planten is het ontstaan van turbulentie het overheersende proces.
 - B) Het waterplantenveld werkt als een filter. De hogere, niet turbulente componenten, worden weggefilterd. De mate waarin dit gebeurt is weer afhankelijk van de plant karakteristieken.
2. De effecten van een vegetatie veld zijn al een paar meter voor het veld merkbaar. Door de golfopzet ontstaat er een retour stroom in en voor het plantenveld waardoor sediment als het ware het veld uit geduwd wordt. Het is de vraag in of dit effect in de veldsituatie zal optreden. In plaats van een golfopzet zal de hogere weerstand van het plantenveld zal ervoor zorgen dat de stroomsnelheden aan de randen zal toenemen.

5.2 Aanbevelingen

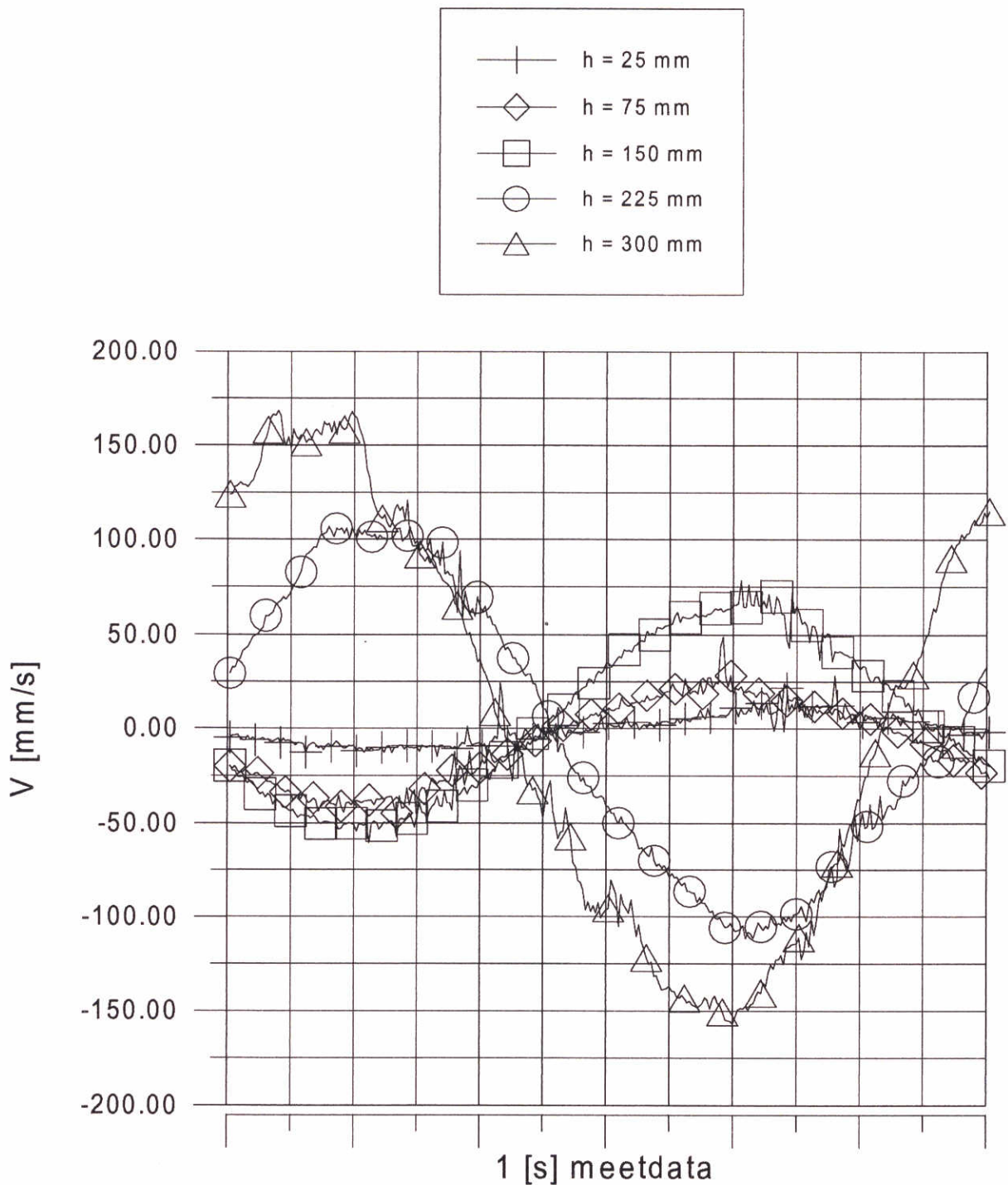
Op grond van de uitgevoerde experimenten is een aantal hypothesen ontwikkeld over mogelijk belangrijke processen. Op basis van deze hypothesen zou een model kunnen worden opgezet wat de invloed van onderwatervegetatie op de waterbeweging kwantificeert. Een dergelijk model kan het complexe samenspel van de verschillende processen verduidelijken.

De metingen tot dusver hadden tot doel het testen van ideeën. Er is dus niet doelgericht gemeten. Op basis van het model kunnen de belangrijke parameters worden geïdentificeerd. Voor het valideren van een model is het doelgericht meten van deze parameters noodzakelijk. De al beschikbare data wordt tijdens de modellering gebruikt.

6 Referenties

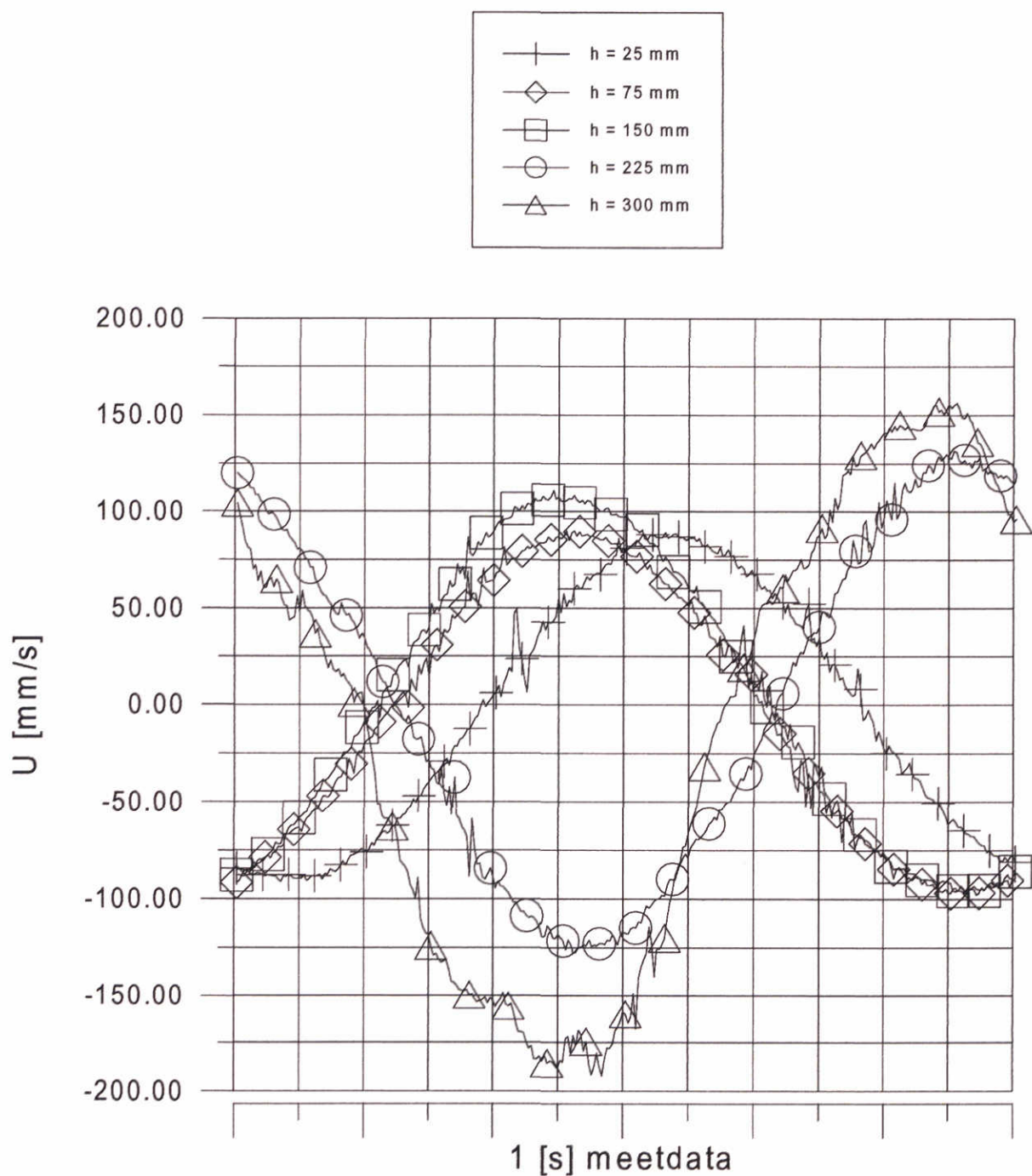
WL/Delft Hydraulics, maart 1999 Interactie submerse vegetatie en waterbeweging, stroming (Z2473 / Z2540)

Figuren



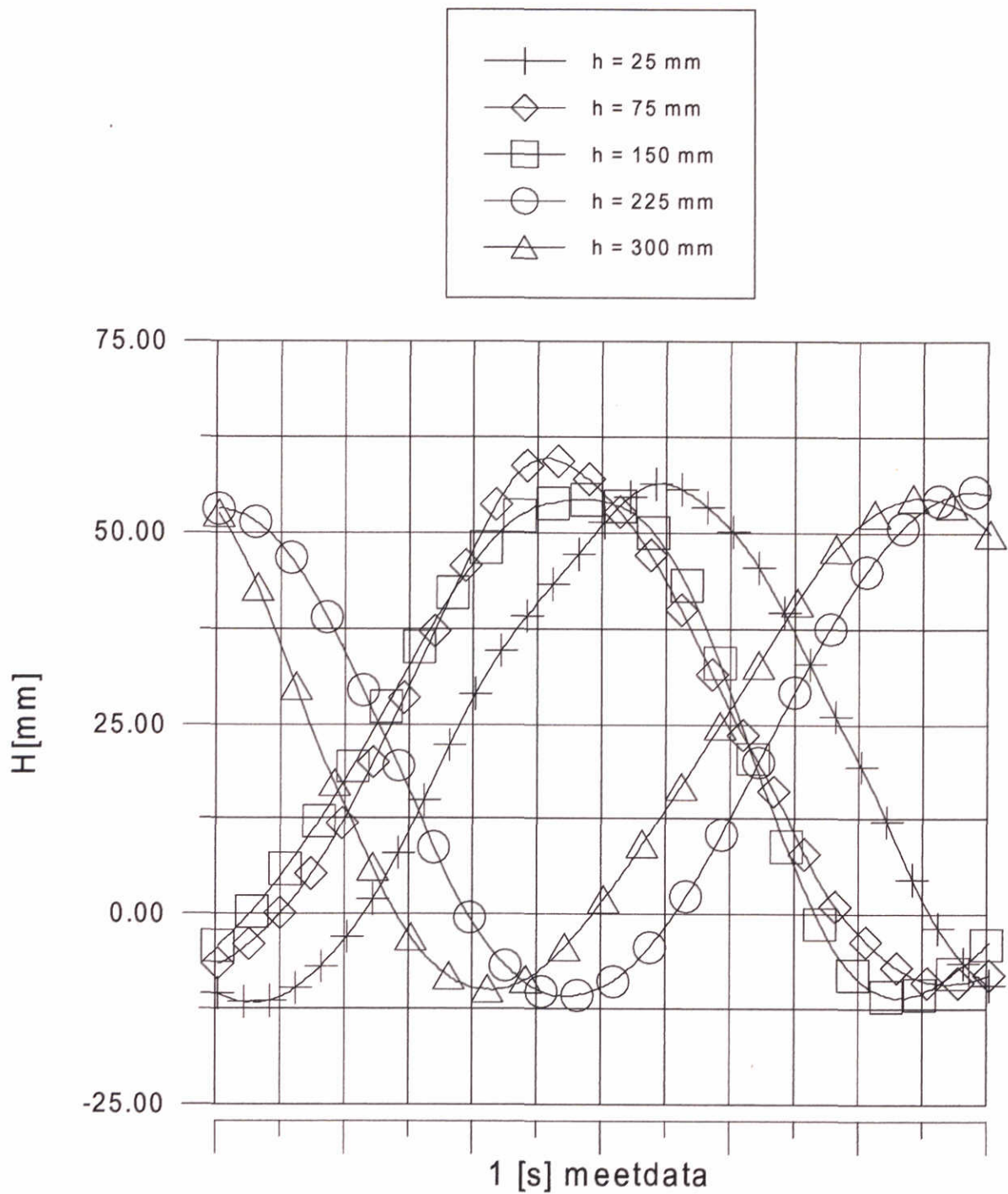
V als functie van de waterdiepte
 Locatie -1.0 m; Proef 1
 Voor bijbehorende golfhoogte zie figuur 3

A4



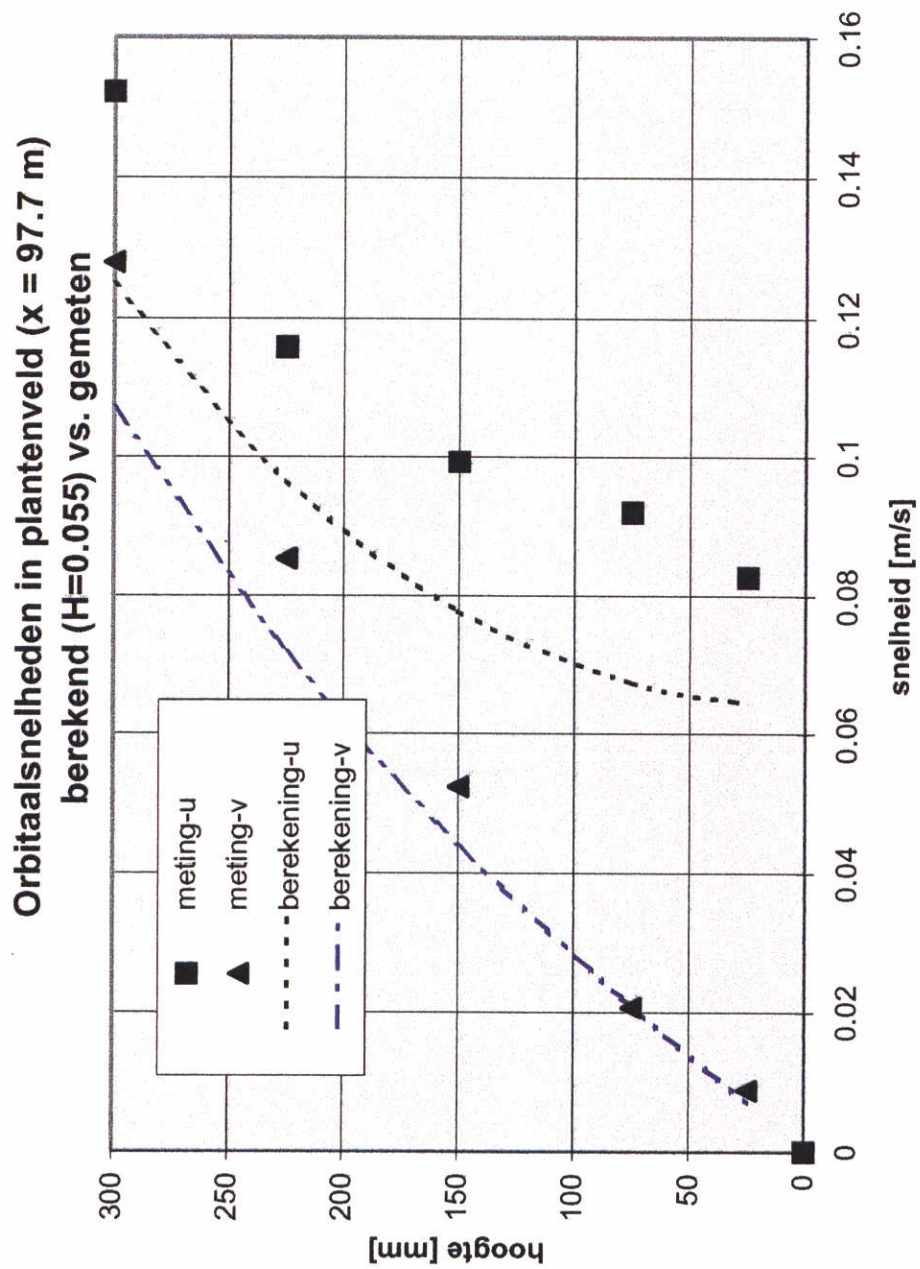
U als functie van de waterdiepte
 Locatie -1.0 m; Proef 1
 Voor bijbehorende golfhoogte zie figuur 3

A4



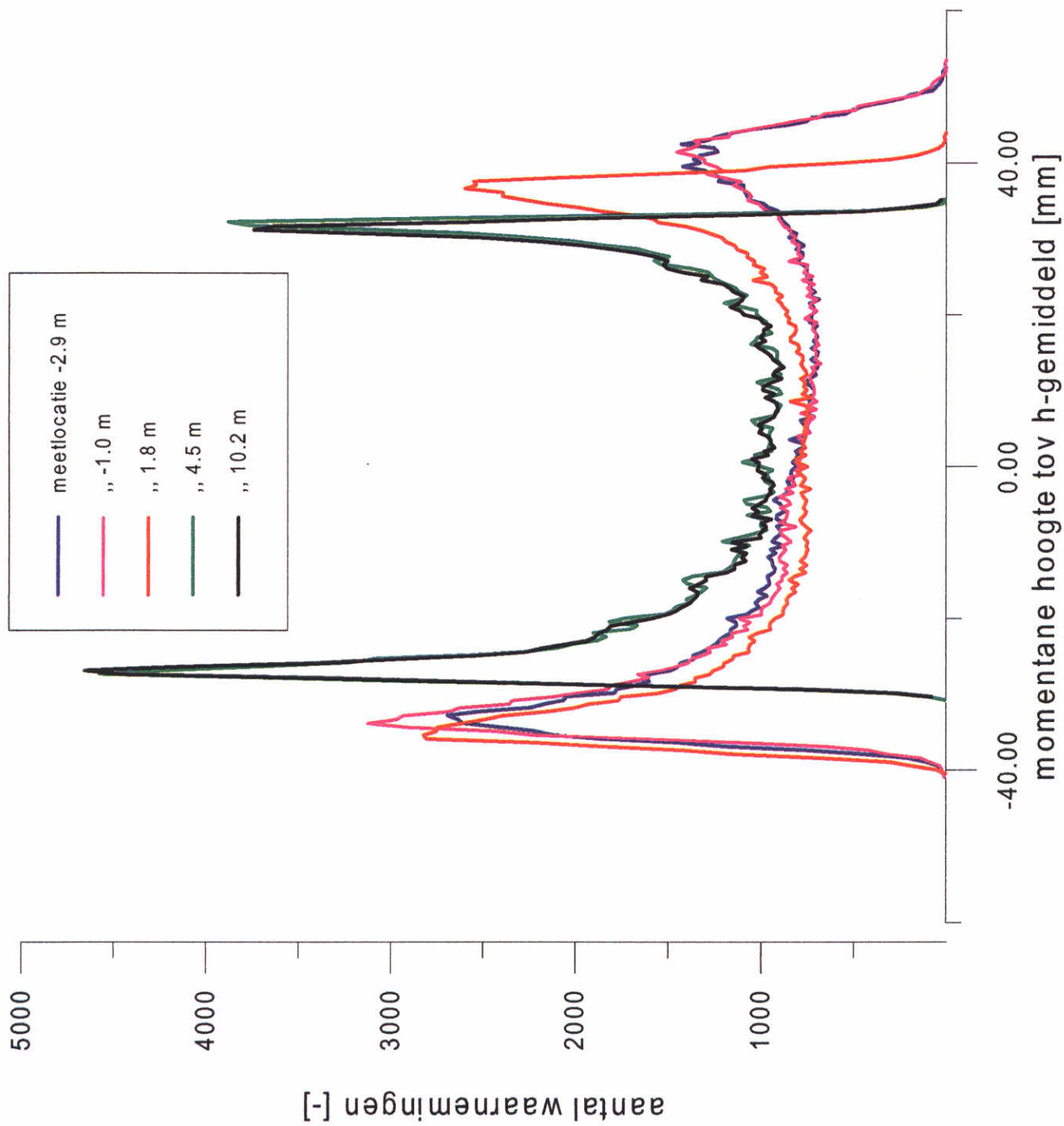
H als functie van de waterdiepte
Locatie -1.0 m; Proef 1

A4



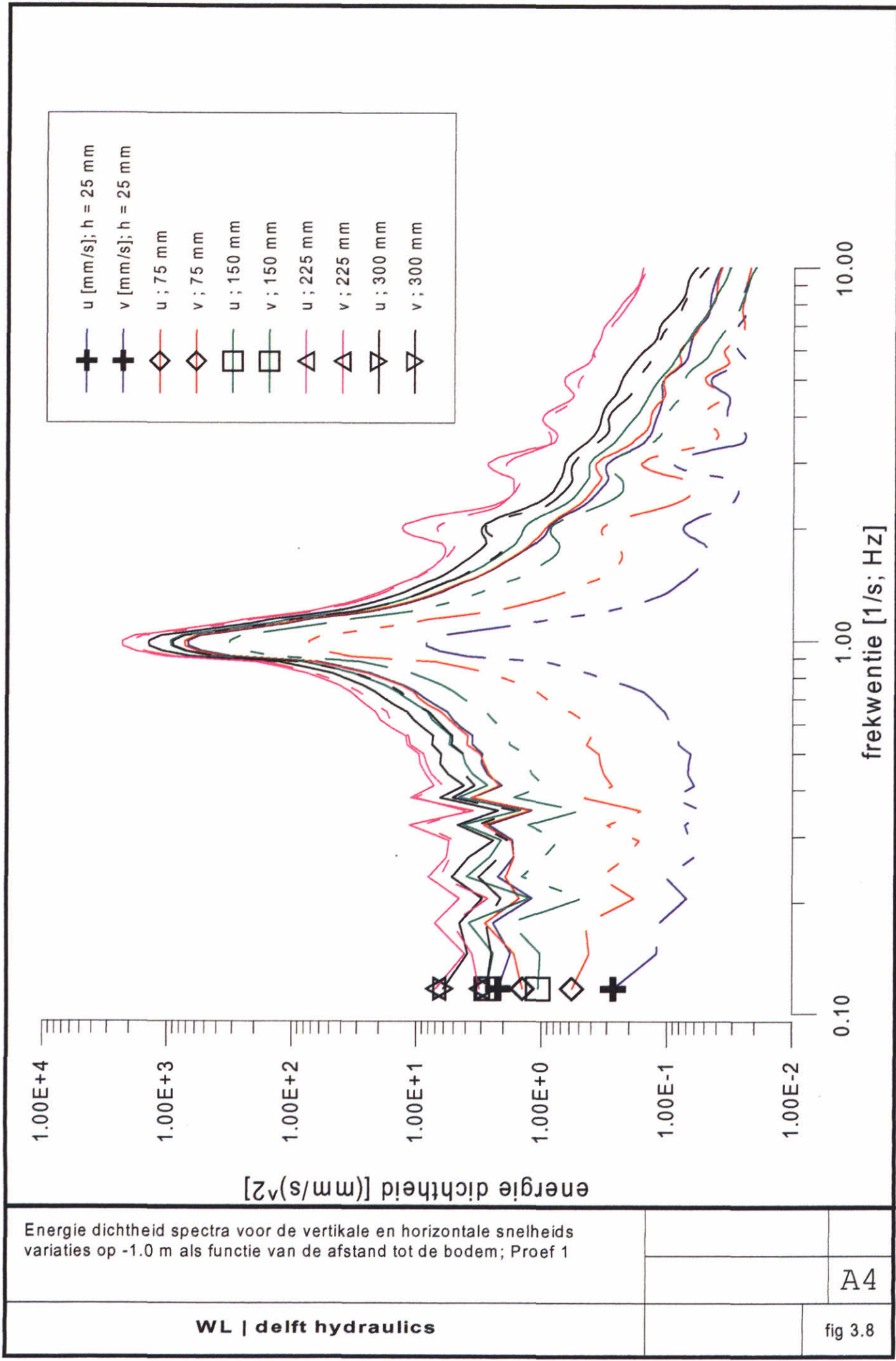
Vergelijking orbitaalsnelheden meting en berekend
op basis van lineaire golftheorie; Proef 1.

A4

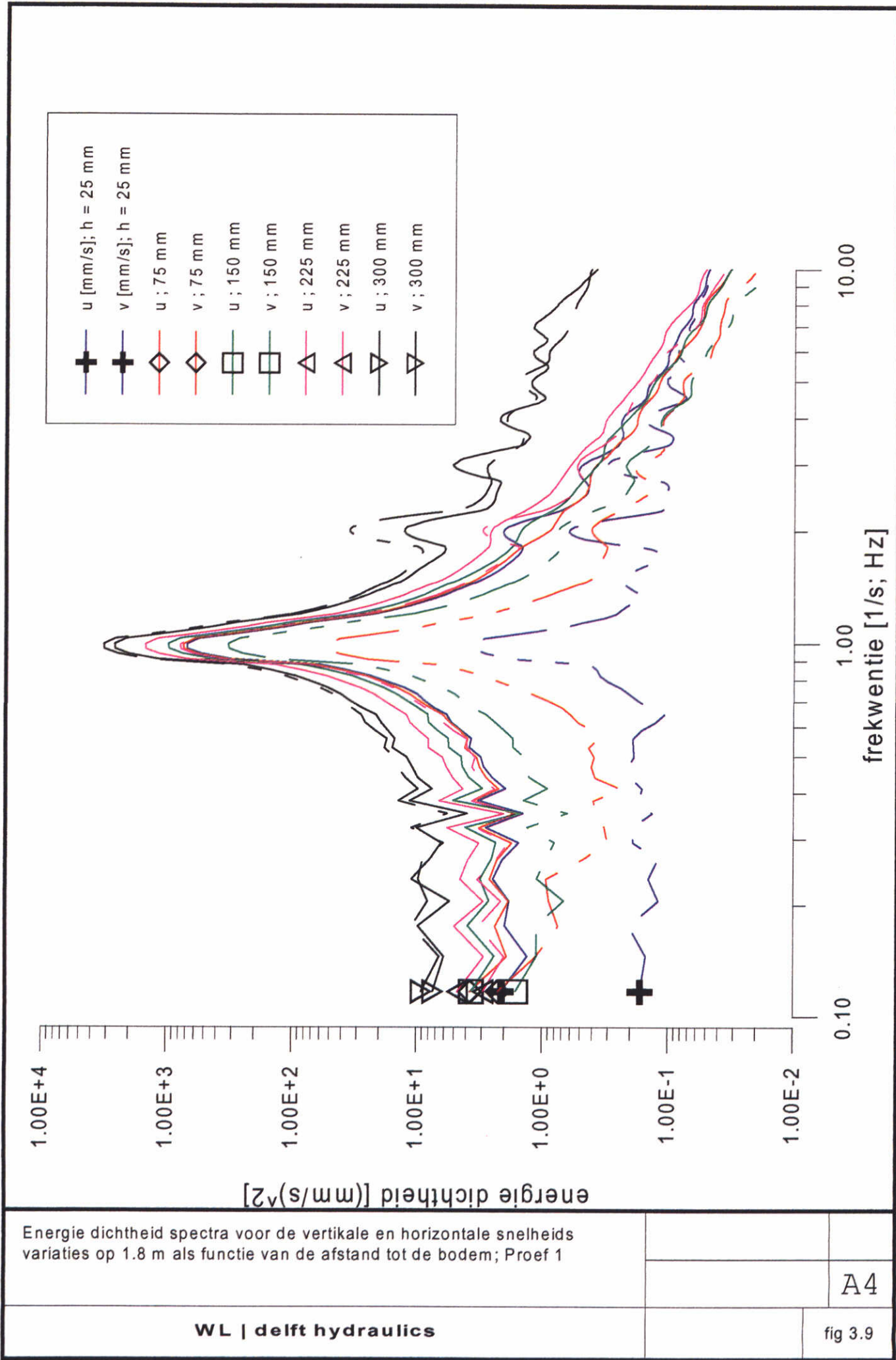


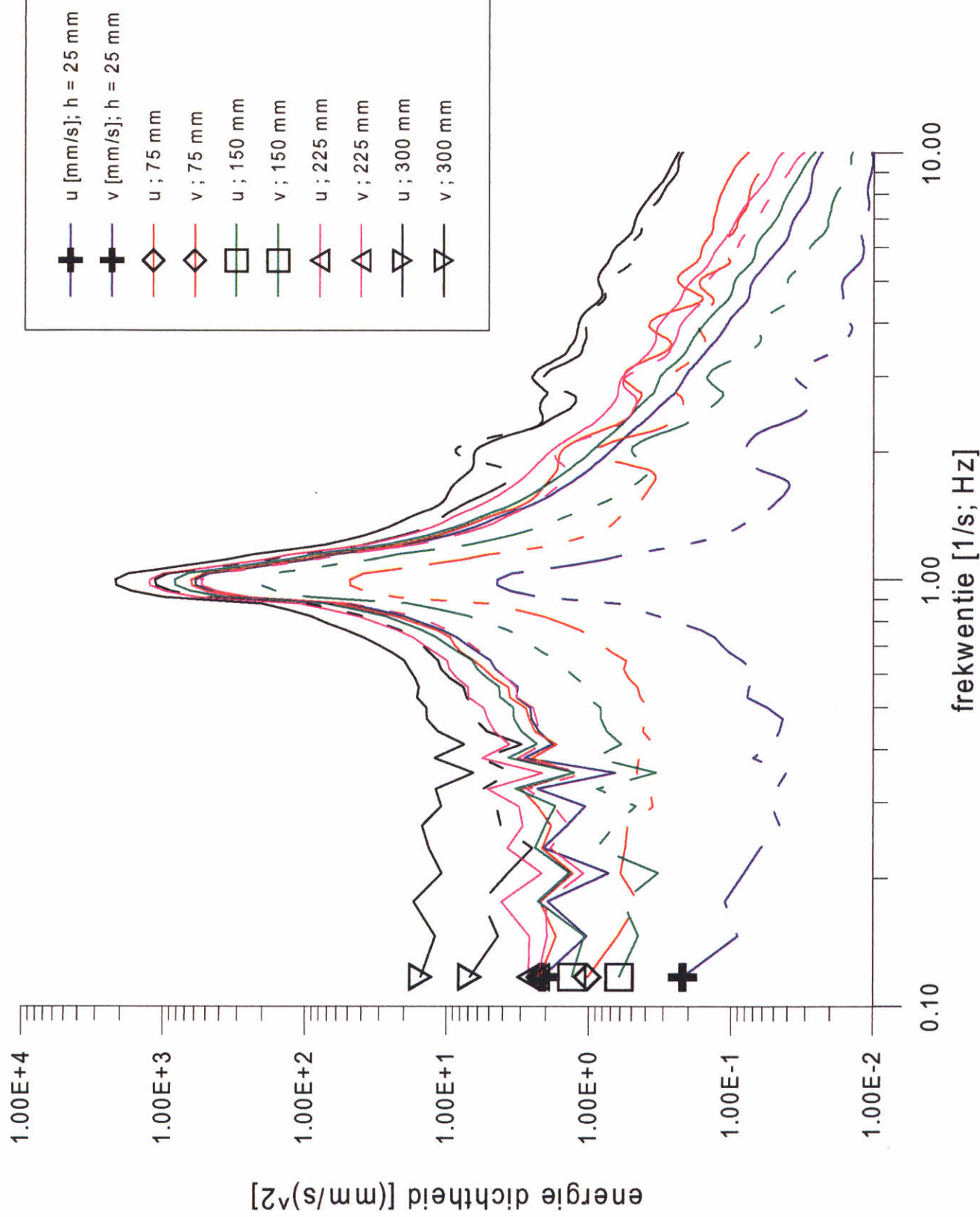
Histogram van de momentane waterhoogte tov h-gemiddelde over de lengte van goot en planten; Proef 1

A4



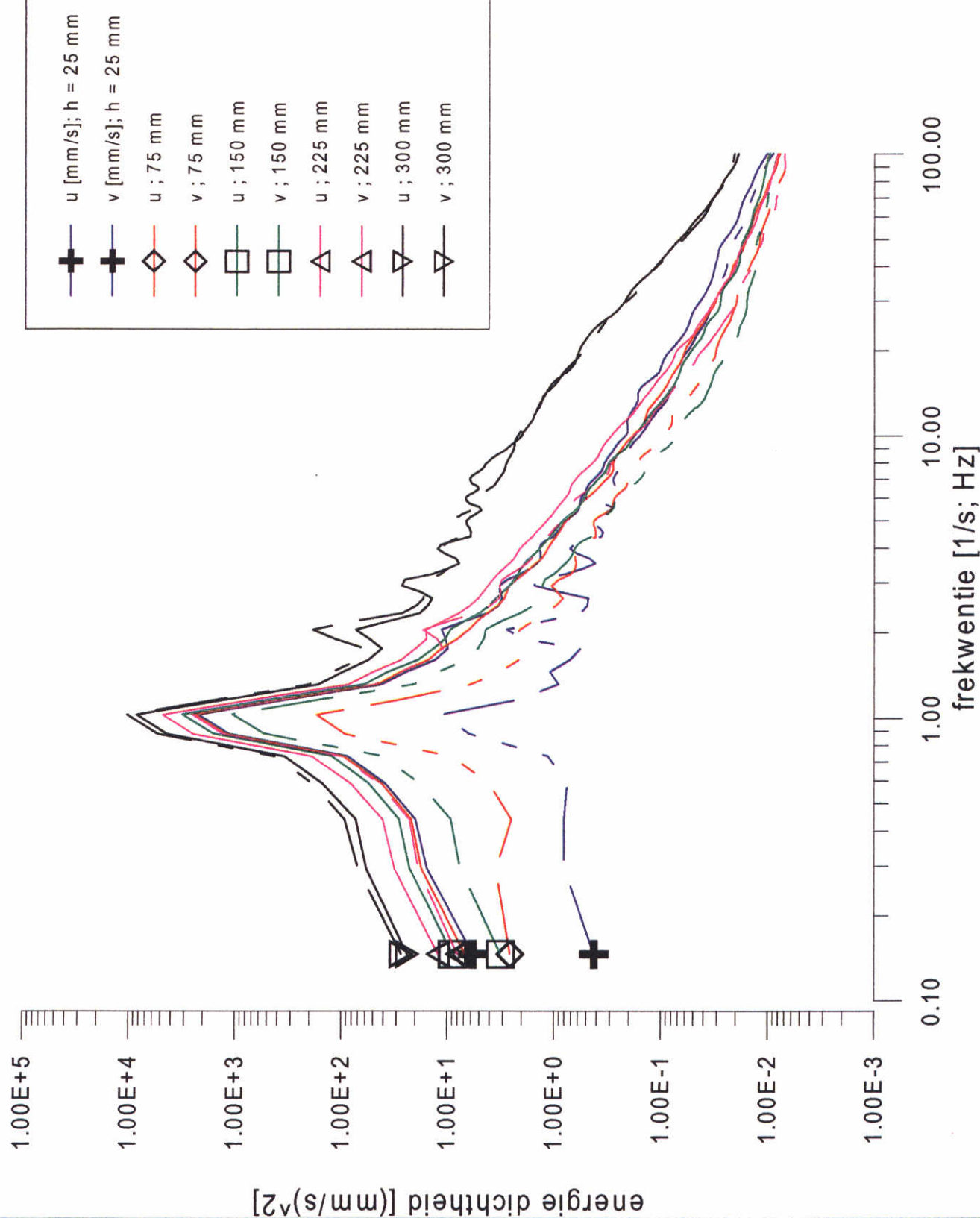
Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheids variaties op -1.0 m als functie van de afstand tot de bodem; Proef 1





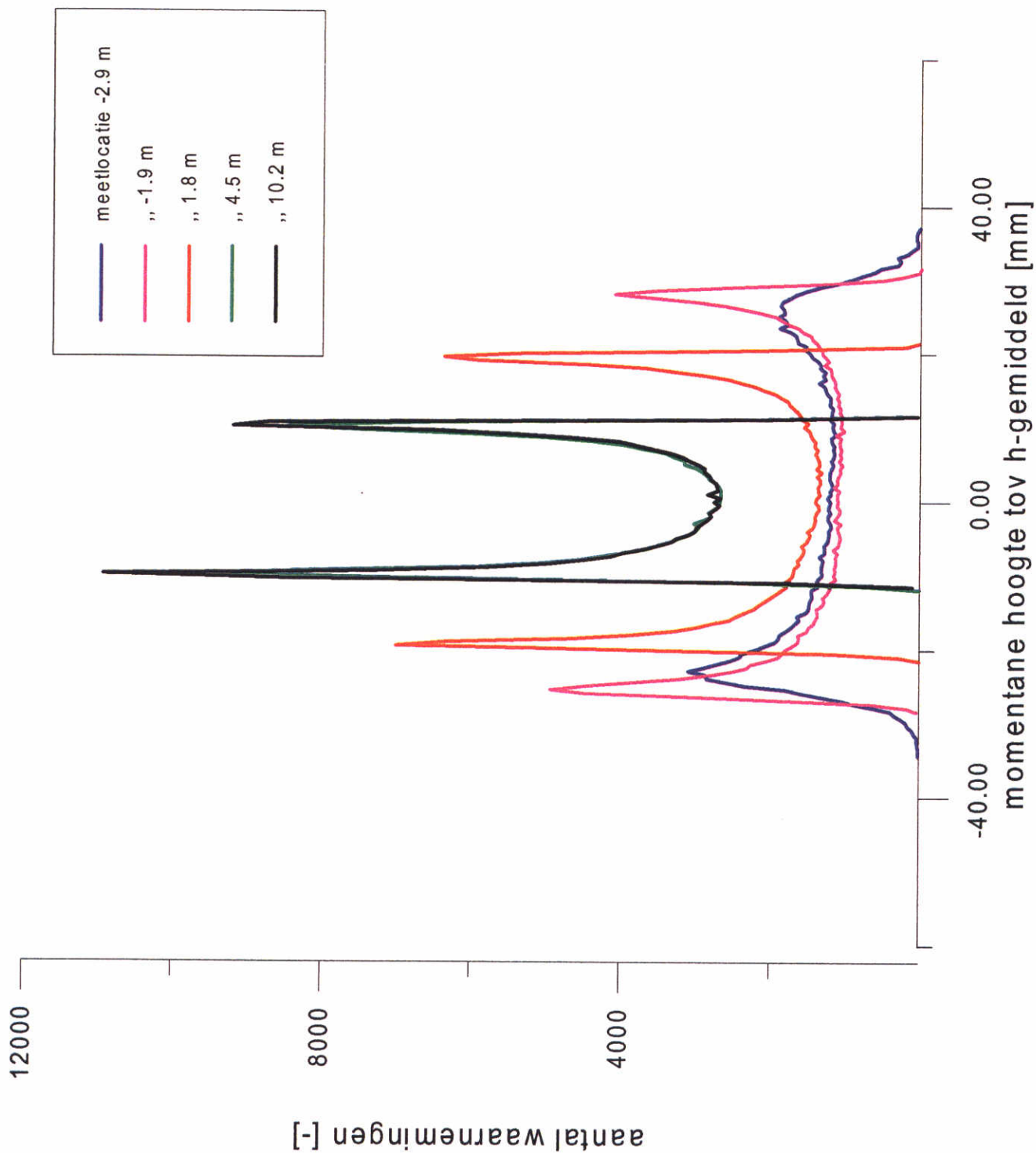
Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheids variaties op 4.5 m als functie van de afstand tot de bodem; Proef 1

A4



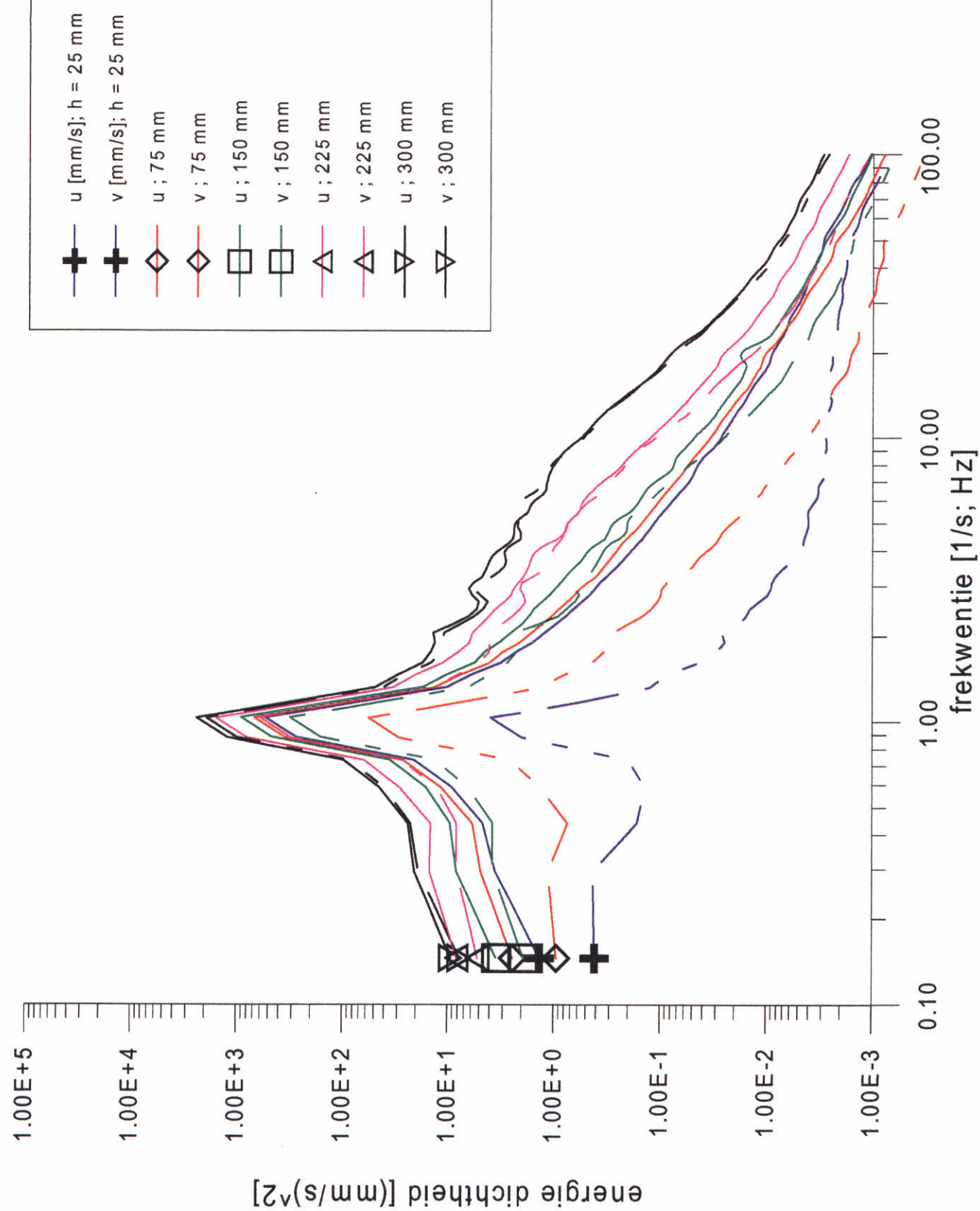
Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheids variaties op 1.8 m als functie van de afstand tot de bodem; Proef 1

A4

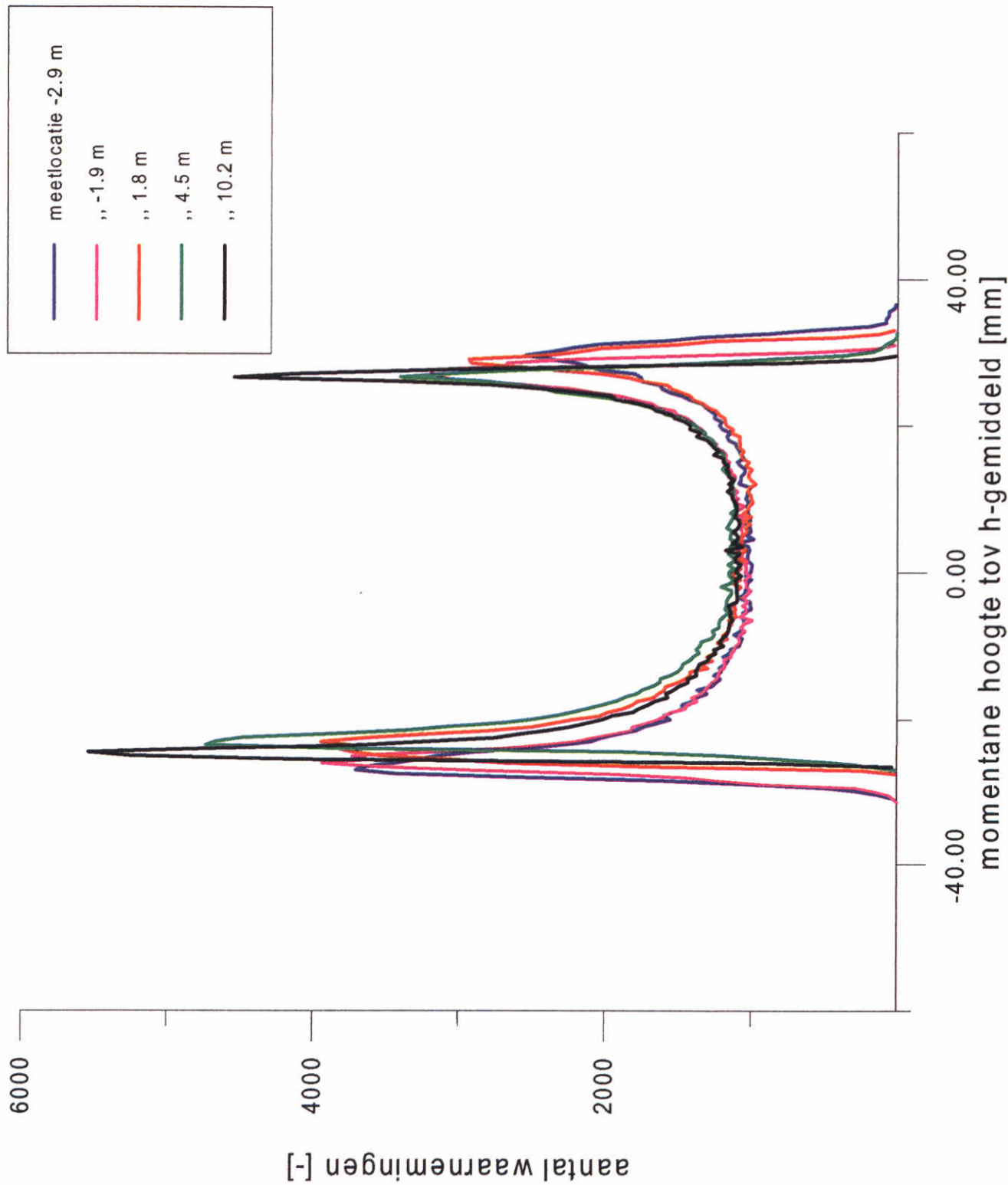


Histogram van de momentane waterhoogte tov h-gemiddelde over de lengte van goot en planten; Proef 2

A4

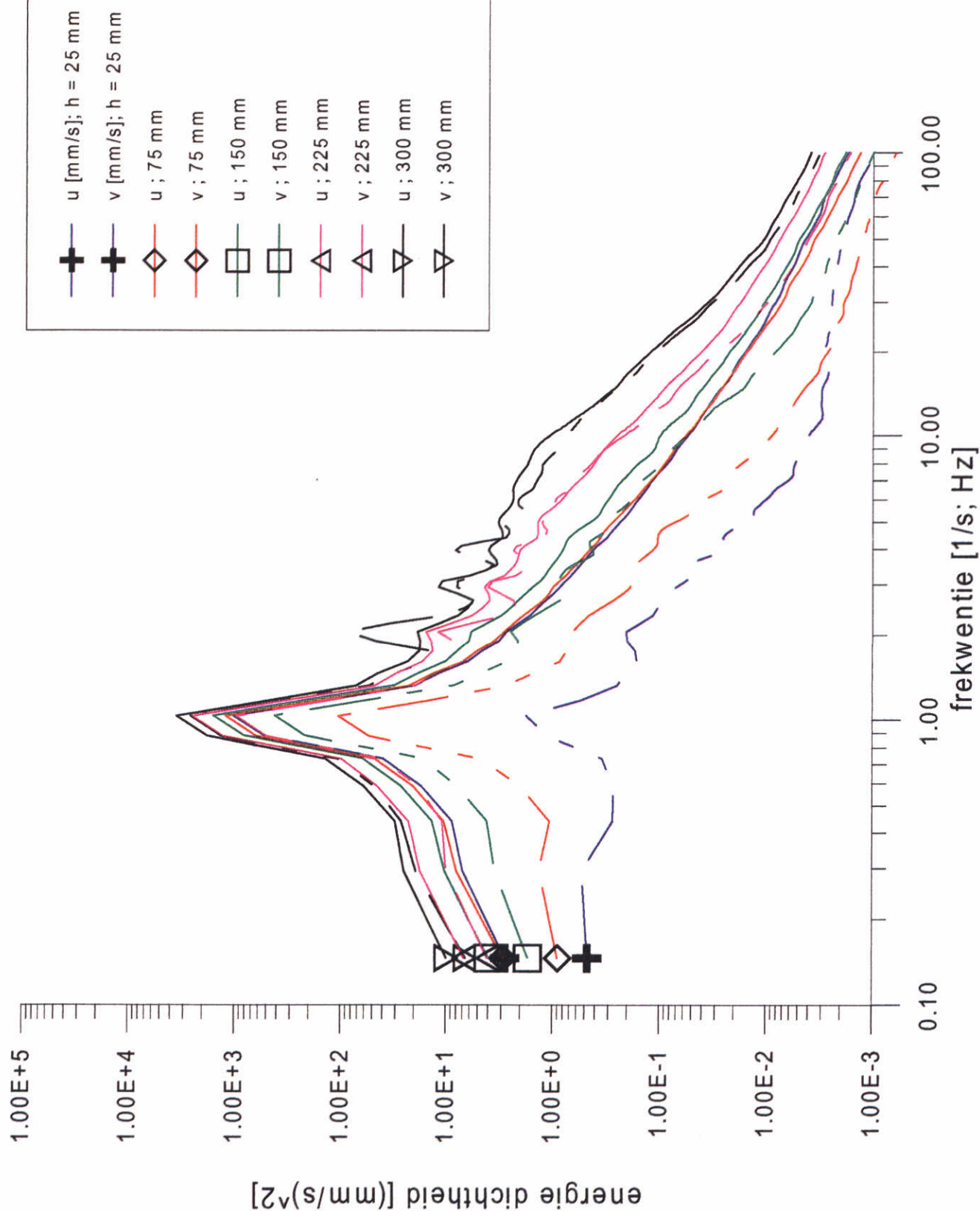


Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheids variaties op 1.8 m als functie van de afstand tot de bodem; Proef 2



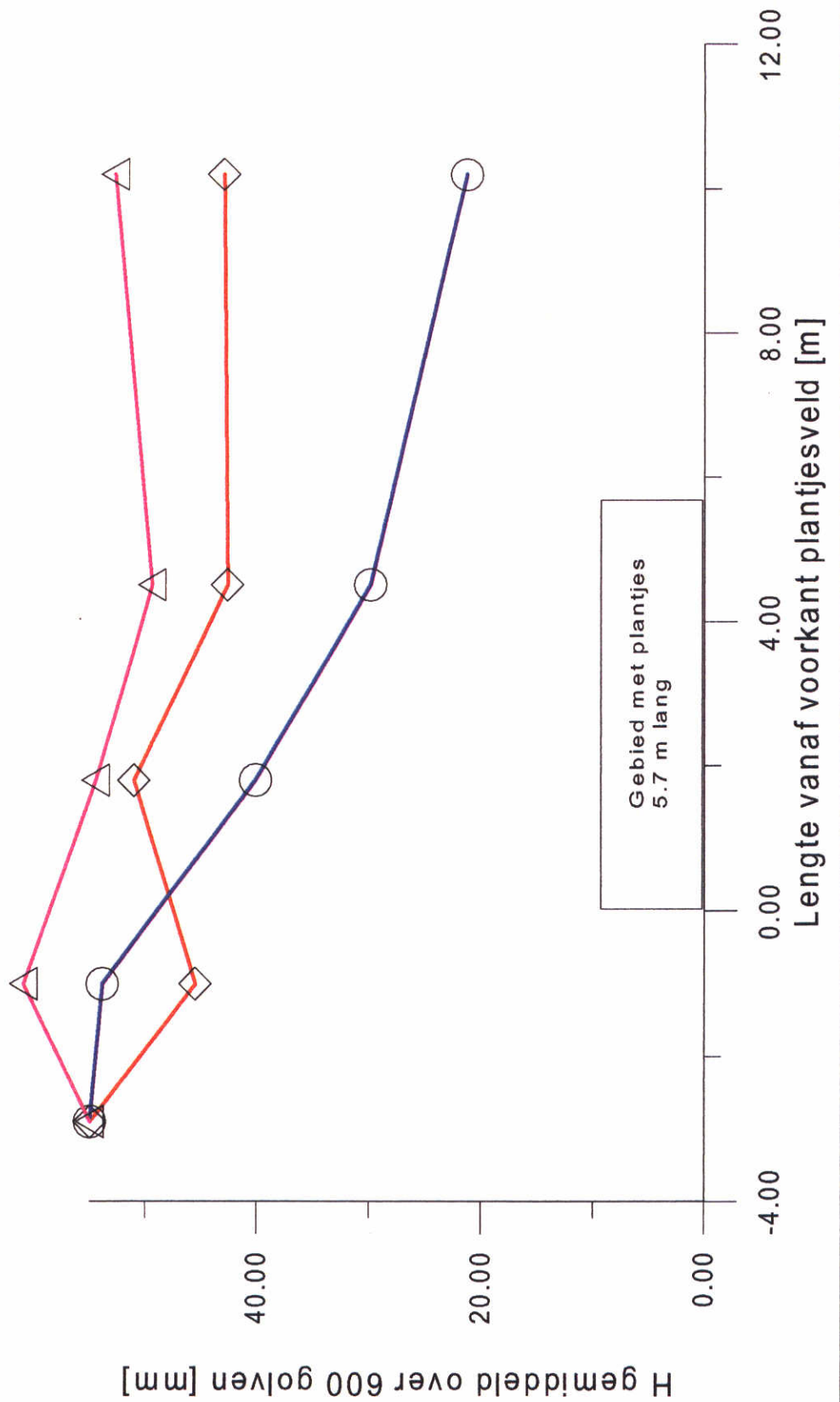
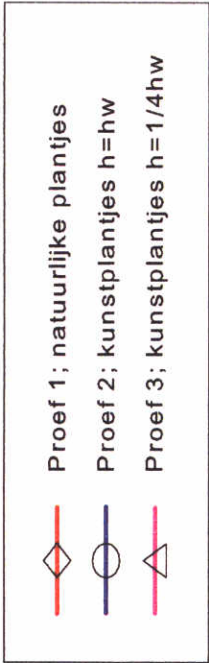
Histogram van de momentane waterhoogte tov h-gemiddelde over de lengte van goot en planten; Proef 3

A4



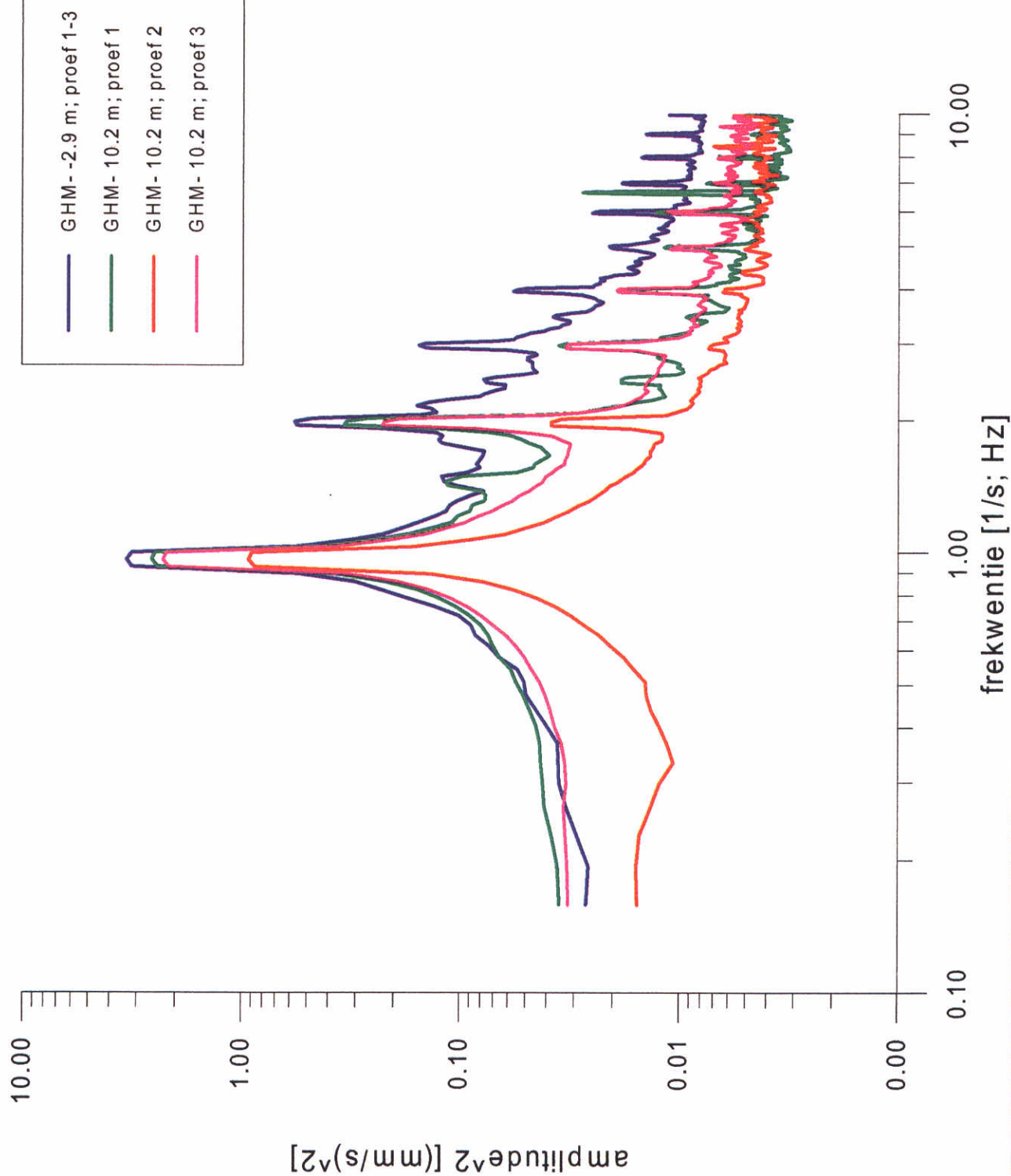
Energie dichtheid spectra voor de verticale en horizontale snelheids variaties op 1.8 m als functie van de afstand tot de bodem; Proef 3

A4



Demping over goot en plantjes voor Proef 1-3

A4



Damping op basis van kwadratisch amplitude spectrum gemeten met golfhoogteopnemers voor en achter het plantenveld.
Proef 1 - 3

A4



wL | delft hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

