

3
VM-HKR- 3103
Honig - 1987

→ Balthijs

Analyse van de trillingen van het
Europlatform

afstudeerverslag deelonderzoek
H.J. Honig
december 1987



Analyse van de trillingen van het Europlatform

Afstudeerverslag deelonderzoek
door : H.J. Honig

Begeleiding :
prof.dr.ir. J.A. Battjes en
ir. M.W.J.W. Dijkman

Delft, december 1987

Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van een afstudeerproject van de Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek, onder supervisie van professor J.A. Battjes en begeleid door de heer M.W.J.W. Dijkman.

Beiden wil ik hierbij bedanken, alsmede de heren C. Klap, H. Peters en H. van Rees van Rijkswaterstaat, voor hun bijdragen en hulp tijdens deze studie.

Verder wil ik mw. C. Klijn-Roovers bedanken voor het typewerk.

H.J. Honig

INHOUDSOPGAVE

	blz.
SAMENVATTING	
1. INLEIDING	1
2. DOEL VAN HET ONDERZOEK	6
3. BESCHRIJVING VAN HET PLATFORM	7
4. BEREKENING EIGENFREQUENTIE	10
5. OVERZICHT MEETGEGEVENS	14
6. ANALYSE MEETGEGEVENS	17
6.1 Introductie	17
6.2 Verband trillingen - getij	17
6.3 Verband hoogfrequente golfenergie - getij	18
6.4 Uitschietende versnellingspieken	19
6.5 Verband windrichting - getij - trillingen	22
6.6 Verband hoge versnellingen - windsnelheid	24
6.7 Versnellingen in verschillende richtingen	25
6.8 Tolbeweging	26
6.9 Correlaties	27
6.10 Resumé	32
7. VERKLARINGEN	33
7.1 Inleiding	33
7.2 Vortexshedding	34
7.3 Invloed van de getijstroom op windgolven	35
7.3.1 Inleiding	35
7.3.2 Dopplerverschuiving	35
7.3.3 Breken van golven	37
7.3.4 Verzadigingsniveau k-spectrum	38
7.3.5 Invloed van diffractie	41
7.4 Overshoot	44
7.4.1 Stochastisch golfmodel	44
7.4.2 Invloed overshoot	46
7.5 Morisonkracht	53

INHOUDSOPGAVE (vervolg)

	blz.
8. DYNAMICA	56
8.1 Inleiding	56
8.2 Dynamische versterkingsfactor	56
8.3 Damping	61
8.4 Schatting DAF	61
9. CONCLUSIES	63
10. AANBEVELINGEN	64
Literatuurlijst	65
Bijlagen	

SAMENVATTING

Het Europlatform is een in 1982 door Rijkswaterstaat geïnstalleerde monopod op ongeveer 55 km voor de kust van Hoek van Holland. Na installatie bleek het platform ernstig te trillen. Rijkswaterstaat heeft vervolgens gedurende een half jaar de versnellingen van het platform gemeten en heeft de TU Delft verzocht bij te dragen aan de analyse van deze trillingen. Dit verslag geeft de resultaten van het onderzoek weer.

Bij het bestuderen van de meetgegevens valt in de registratie van de significante versnellingen een bepaald patroon met een herhalingsstijd van circa 12.5 uur op, hetgeen overeenkomt met de getijperiode. Het getij veroorzaakt een schommeling in de hoogfrequente golfenergie (0.2 Hz - 0.5 Hz) en aangezien de eigenfrequentie van het platform (0.39 Hz) binnen deze band ligt, valt dezelfde schommeling waar te nemen in de significante versnellingen (verhouding pieken - dalen ongeveer een factor 2). Deze schommeling wordt veroorzaakt door de getijstroom. Ten gevolge van de Dopplerverschuiving varieert de energieinhoud van de golven met een frequentie gelijk aan de frequentie van het getij.

Het in hevige trilling komen van het eiland na het opkomen van wind na een windstille periode of na het draaien van de wind kan mogelijk verklaard worden met behulp van het overshoot verschijnsel.

De constructie is zeer zwak gedempt. Een schatting voor de dynamische versterkingsfactor blijkt ongeveer 30 te bedragen.

1. INLEIDING

In 1982 heeft Rijkswaterstaat een monopodplatform geïnstalleerd voor de kust bij Hoek van Holland. Het platform ligt aan het begin van de Eurogeul, de toeleidende vaarweg voor de haven van Rotterdam. Voor grote mammoettankers is de natuurlijke diepte van de Noordzee nabij de havenmond onvoldoende. Daarom wordt er een kanaal constant op diepte gehouden door baggeren. Om het baggeren tot een minimum te kunnen beperken dienen accurate gegevens beschikbaar te zijn van het zeeniveau en de golfhoogte.

Rijkswaterstaat heeft besloten een vast platform te installeren om de gevraagde gegevens te verkrijgen. Uit het oogpunt van kosten is de keuze gevallen op een monopodplatform.

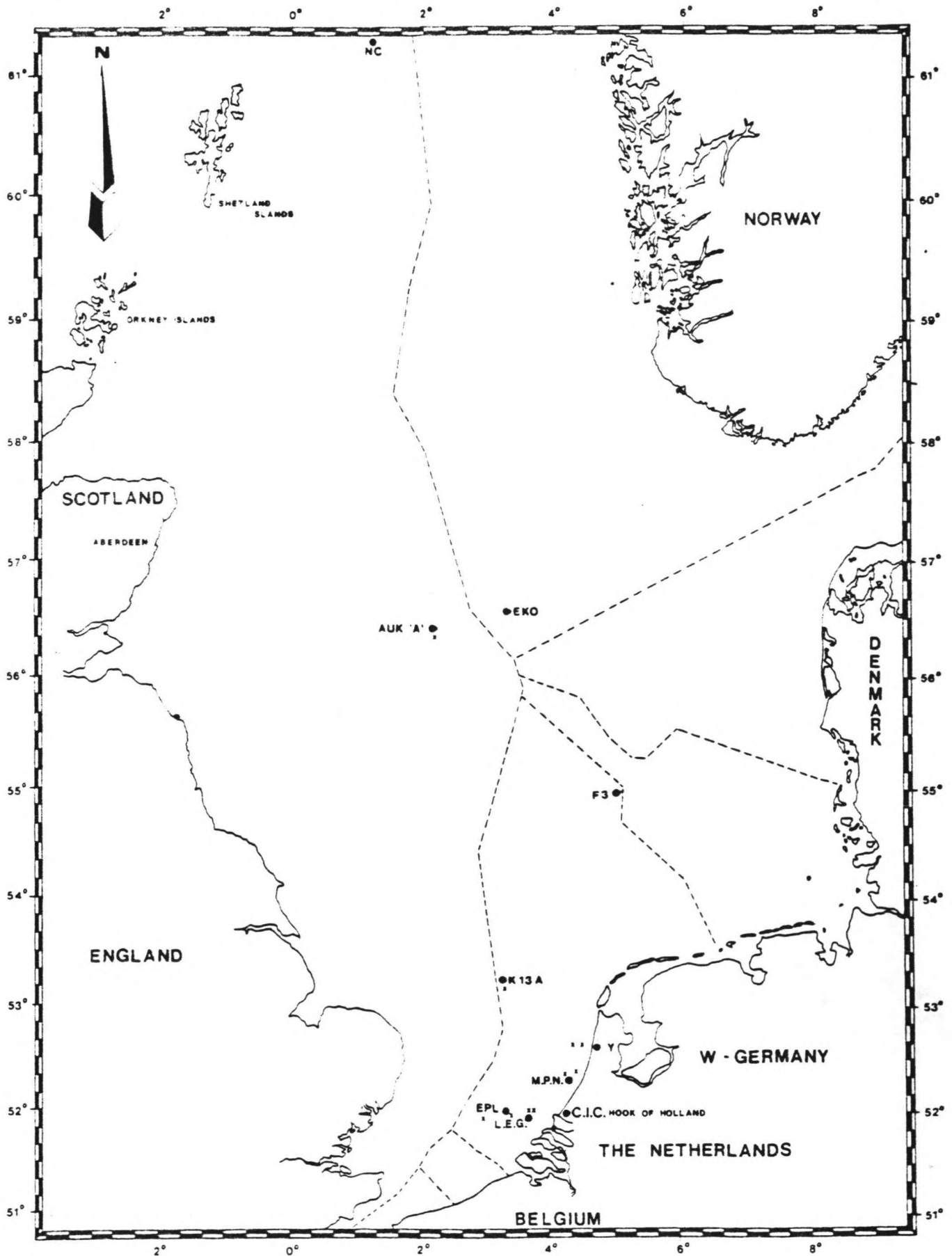
De data, verzameld op het Europlatform, worden door middel van een draadloze verbinding overgezonden naar de wal. Samen met data van andere locaties op de Noordzee worden deze meetgegevens ontvangen in het Controle Informatie Centrum (C.I.C.) in Hoek van Holland en van daar uit doorgezonden naar de gebruikers. Het netwerk van stations, dat een groot gedeelte van de Noordzee beslaat, vormt het zogenaamde meetnet Noordzee. Dit staat weergegeven in figuur 1.1. De controle en het onderhoud van dit meetnet liggen in handen van de Directie Noordzee van Rijkswaterstaat.

Nadat het Europlatform in 1982 was geïnstalleerd, werd al snel duidelijk dat de paal flink heen en weer stond te slingeren. Deze trillingen waren groter dan verwacht, zodat men zich realiseerde dat dit consequenties had voor de werkcondities voor personeel en instrumenten en voor de vermoeiing van de constructie. Daarom werd het noodzakelijk geacht de frequentie en de amplitude van de trillingen te meten en aan de hand van deze metingen de mechanismen te achterhalen, die verantwoordelijk zijn voor de onverwacht heftige trillingen. Door Rijkswaterstaat was als grens voor de toelaatbare maximale versnellingen arbitrair een waarde van 50 cm/s^2 vastgesteld, uitgaande van figuur 1.2. Ter vergelijking is in figuur 1.3 een weergave van de gemeten significante versnellingen te zien, waaruit blijkt dat de bovenstaande grens wordt overschreden.

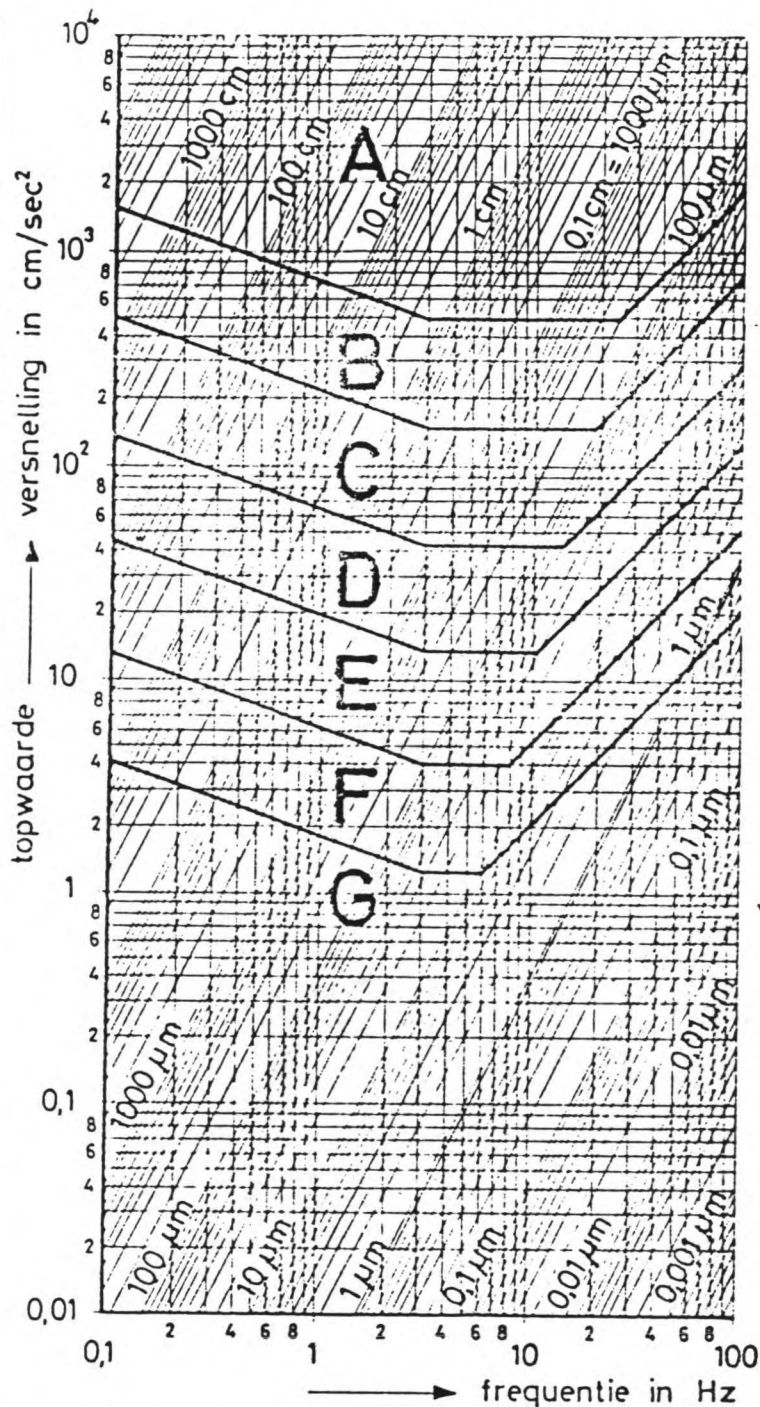
Tot nu toe is het Europlatform de enige monopod in de Noordzee (zware omgevingscondities). In de offshore-industrie worden momenteel haalbaar-

heidsstudies uitgevoerd voor het toepassen van monopodconstructies voor de winning van olie en gas. Het monopod-concept lijkt namelijk een economisch aantrekkelijke oplossing voor het ontwikkelen van marginale olie- en gasvelden in waterdiepten tot ongeveer 50 meter. De uitkomsten van dit onderzoek zouden van belang kunnen zijn voor het ontwerpen van dergelijke constructies en dan in het bijzonder voor de ontwerpeisen met betrekking tot de dynamische belasting.

NORTH SEA MEASURING NETWORK

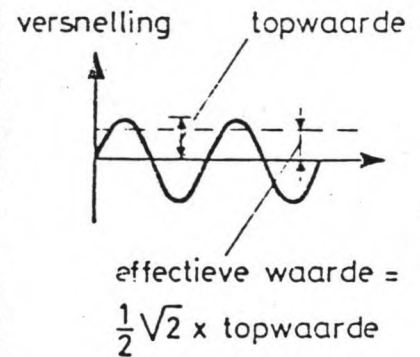


Figuur 1.1



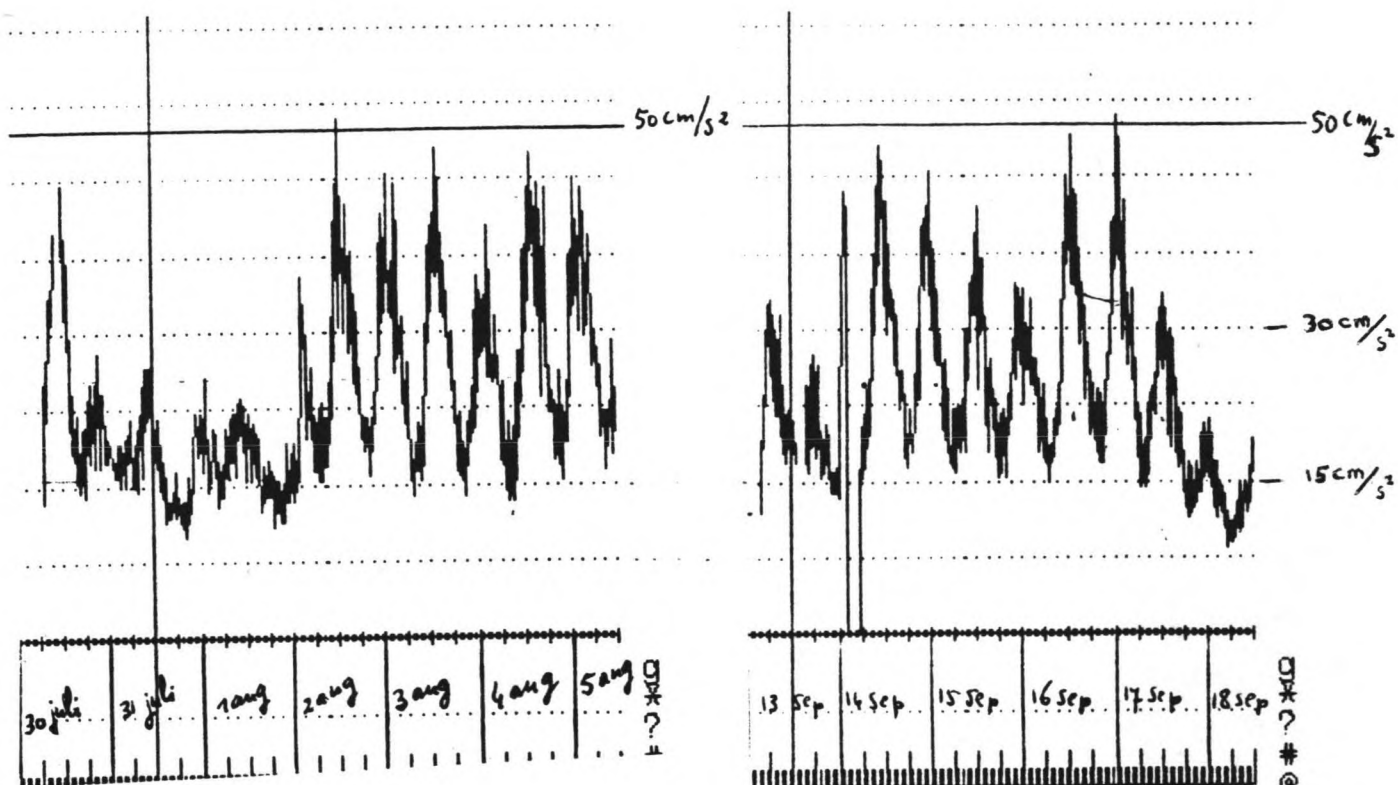
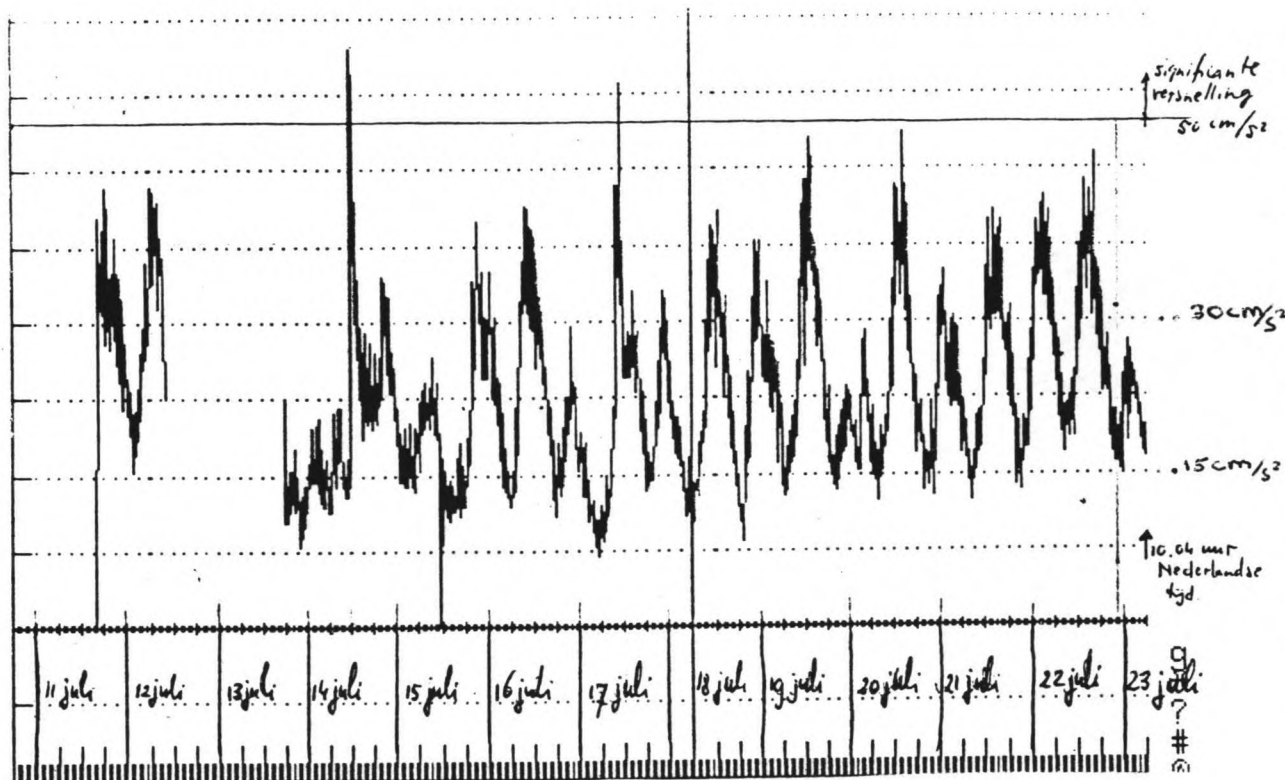
overgenomen uit rapport
I.B.C. - T.N.O.: BI-67-107
GRENZEN VOOR
DYNAMISCHE BEWEGINGEN

H. van Koten



beschrijving van de voelbaarheid	toelaatbaarheid voor mensen in gebouwen	globale beoordeling voor de invloed op de constructie	voorbeelden
A ondragelijk	ontoelaatbaar	instortingsgevaar	noodgevallen
B onaangenaam snel vermoeiend	ontoelaatbaar	plaatselijke schade	abrupt stoppen van een auto
C sterk voelbaar	nauwelijks toelaatbaar	scheurvorming in metselwerk	liften - tram
D goed voelbaar	bij ruwe handarbeid	inleiding lichte scheurvorming	begin zeeziekte
E voelbaar	korte tijd in woningen	geen invloed bij normale gebouwen	—
F nauwelijks voelbaar	lange tijd in woningen	geen invloed	—
G niet voelbaar	—	geen invloed	—

Figuur 1.2 - Grenzen van versnellingen voor mensen en gebouwen



Figuur 1.3 - Registratie van de versnellingen

Opmerking : In deze registratie zijn de waarden voor de significante versnellingen uitgezet. De toelaatbare grens van 50 cm/s^2 gold voor de maximale versnellingen. Deze liggen hoger dan de significante waarden → de gestelde grens wordt meermalen overschreden.

2. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van het onderzoek is inzicht te verkrijgen in het dynamisch gedrag van de monopod tengevolge van de verschillende belastingen die kunnen optreden.

Met name zullen onderzocht worden :

- invloed van het getij op de trillingen van het platform
- het trillingsgedrag bij storm en bij niet-storm condities
- de grootte van de dynamische versterkingsfactor en de demping.

3. BESCHRIJVING VAN HET PLATFORM

Een zij-aanzicht en een foto van het platform zijn te zien op de volgende bladzijden.

De diameter van de paal varieert van 3.5 m in de grond tot 1.5 m aan het zee-oppervlak, aangezien in de grond de maximale buigspanning optreedt, terwijl aan het wateroppervlak de golfkrachten zo klein mogelijk gehouden dienen te worden. De wanddikte varieert tussen 35 mm en 55 mm.

Het accommodatiedek bestaat uit vier ruimtes van ieder 5 x 5 m, te weten :

- a. ruimte voor de meetinstrumentatie
- b. ruimte waarin de generatoren staan
- c. werkruimte
- d. keuken

Aan de vloer van het accommodatiedek hangen een olie- en een watertank. Boven het accommodatiedek bevindt zich het helidek, bestaande uit verstijfde staalplaten.

Rond het zee-oppervlak zijn stootbumpers aangebracht om plaatselijke beschadiging tegen te gaan.

Er zijn geen voorzieningen getroffen tegen ontgronding. Dieper funderen was hiervoor de goedkoopste oplossing. Overigens bleek de ontgronding rond de paal mee te vallen. Men was uitgegaan van een ontgronding van $2D = 7$ m. Gevonden is echter maar een ontgronding van ± 3 m.

De lengte van de paal bedraagt 80 meter waarvan 28 meter in de grond, 32 meter van de zeebodem tot aan het zeeniveau en 20 meter boven water. De waterdiepte bedraagt 32 meter.

De resultaten van een conusweerstandproef en een grondboring ter plaatse worden gegeven in Bijlage I.

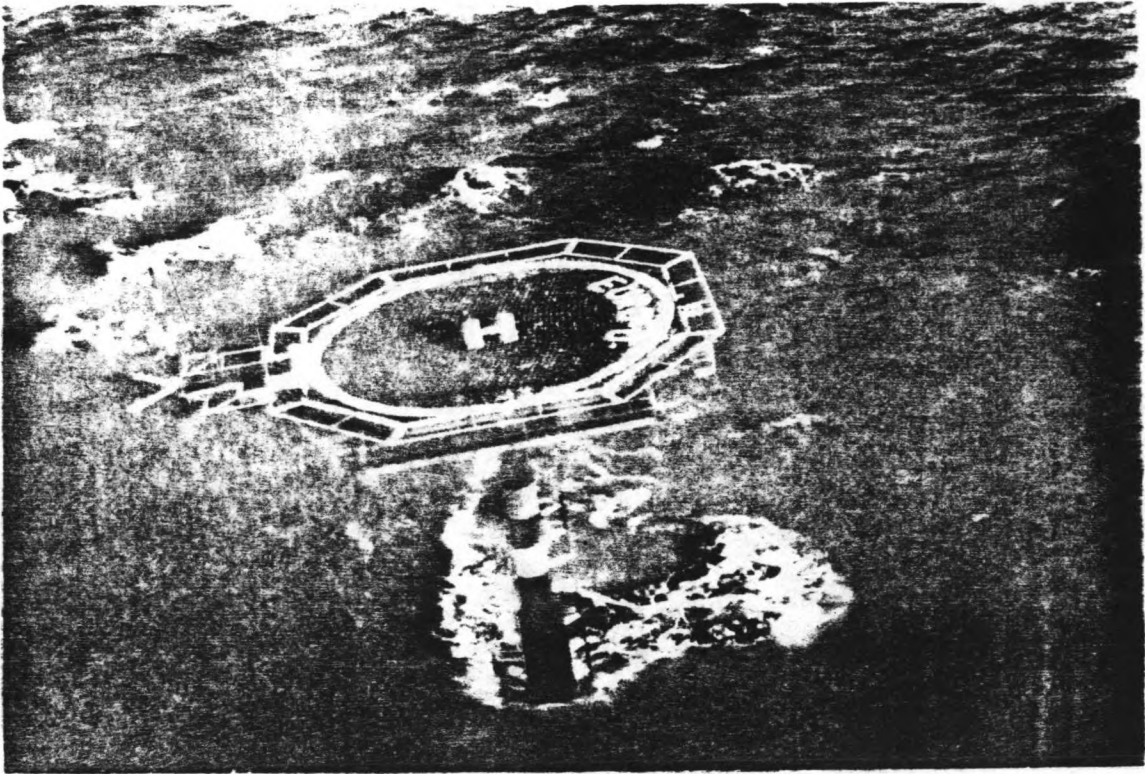
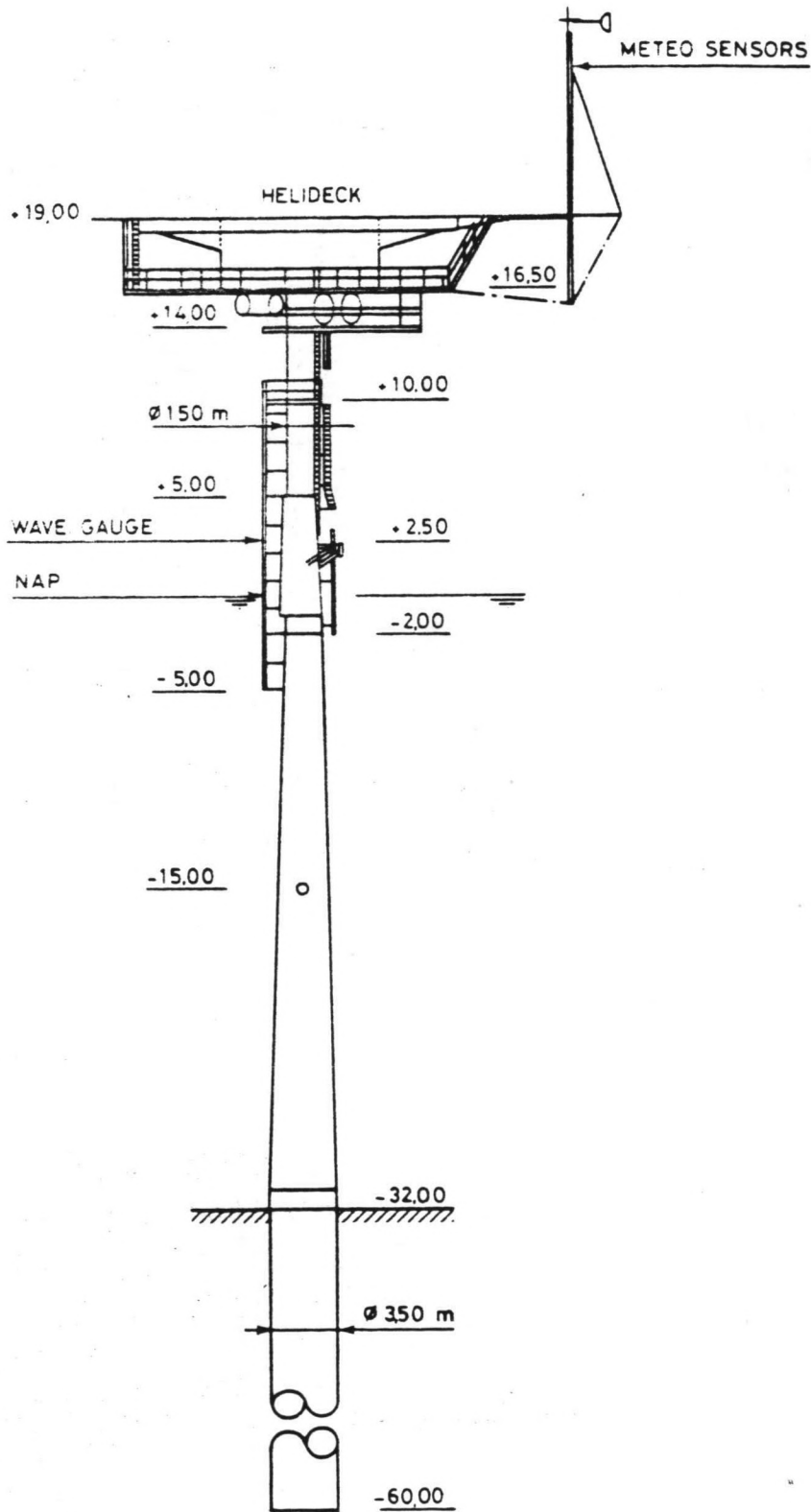


Foto Europlatform



Sideview of Europlatform.

4. BEREKENING EIGENFREQUENTIE

De berekening is uitgevoerd met de methode van Rayleigh. Uitgangspunt is een energiebalans van het systeem. Potentiële energie + kinetische energie = constant

$$\omega^2 = \frac{K^*}{m^*}$$

$$\omega^2 = \frac{\int_0^{\ell} E I \left| \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right|^2 dx}{\int_0^{\ell} \rho |w(x)|^2 dx}$$

$w(x)$: uitwijking.

De teller geeft de potentiële elastische energie in het systeem weer, vermenigvuldigd met 2.

De massa m^* , de noemer in de formule van Rayleigh, geeft tweemaal de maximale kinetische energie weer gedeeld door ω^2 . We nemen een uitbuigingsvorm aan :

$$w(x) = \phi = \left(\frac{x}{\ell}\right)^2$$

x : afstand tot inklemmingsdiepte

ℓ : lengte van de top tot de inklemmingsdiepte

Voor de inklemmingsdiepte wordt aangenomen $4 * D = 14$ m beneden de zeebodem, dus $\ell = 29 + 21 + 14 = 64$ m.

We berekenen eerst de generaliseerde stijfheid K^* .

$$K^* = \int_0^{\ell} E I \left| \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right|^2 dx$$

met

$$\frac{d^2 w(x)}{dx^2} = \frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{2}{\ell^2} \rightarrow K^* = \int_0^{\ell} E I(x) \left(\frac{2}{\ell^2}\right)^2 dx$$

De integraal is apart opgelost voor drie gedeelten :

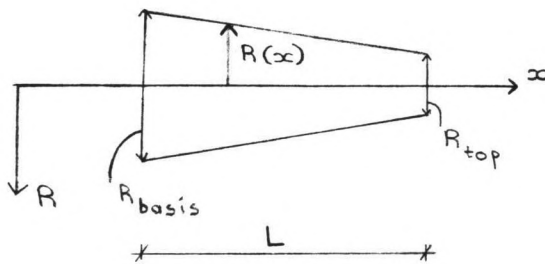
1. bovenste gedeelte met constante diameter

$$\begin{aligned}
 I &= \pi R_{\text{top}}^3 \cdot t \\
 \rightarrow K_1^* &= \int_{x_b}^{\ell} E \pi R_{\text{top}}^3 \cdot t \left(\frac{2}{\ell^2}\right)^2 dx \\
 &= E \pi R_{\text{top}}^3 \cdot t \cdot \frac{4}{\ell^4} (\ell - x_b)
 \end{aligned}$$

2. onderste gedeelte met constante diameter

$$K_3^* = \int_0^x E \pi R_{\text{basis}}^3 \cdot t \cdot \frac{4}{\ell^4} (x_{\text{ond}})$$

3. middengedeelte



$$\Delta R = R_{\text{basis}} - R_{\text{top}}$$

$$\begin{aligned}
 R(x) &= R_{\text{basis}} - \frac{x}{L} \Delta R \\
 &= a - bx
 \end{aligned}$$

$$\text{met } b = \frac{\Delta R}{L}$$

$$\frac{dR}{dx} = -b, \quad dx = \frac{dx}{dR} dR$$

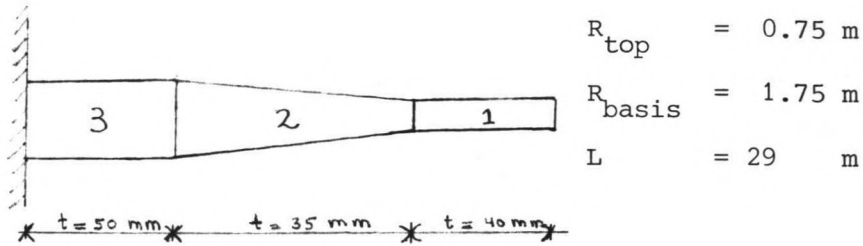
$$K_2^* = \int_{x_{\text{ond}}}^{x_b} E I(x) \left(\frac{2}{\ell^2}\right)^2 dx$$

$$K_2^* = \int_0^L E \pi R^3(x) \cdot t \cdot \frac{4}{\ell^4} dx$$

$$= E \pi t \frac{4}{\ell^4} \frac{1}{b} \int_{R_{\text{top}}}^{R_{\text{basis}}} R^3 dR$$

$$= \frac{E \pi t}{\ell^4} \frac{L}{(R_{\text{basis}} - R_{\text{top}})} (R_{\text{basis}}^4 - R_{\text{top}}^4)$$

$$K^* = K_1^* + K_2^* + K_3^*$$



$$K_1^* = 21 \cdot E \cdot \frac{R_{\text{top}}}{(64)^4} \cdot t \cdot 4$$

$$= 21 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\pi}{(64)^4} \cdot (0.75)^3 \cdot 0.04 \cdot 4 = 0.557 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

$$K_2^* = \frac{E \pi t}{l^4} \cdot \frac{L}{(R_{\text{basis}} - R_{\text{top}})} \cdot (R_{\text{basis}}^4 - R_{\text{top}}^4)$$

$$= 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\pi}{(64)^4} \cdot 0.035 \cdot \frac{29}{(1.75 - 0.75)} \cdot (1.75^4 - 0.75^4)$$

$$= 3.617 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

$$K_3^* = 14 \cdot \frac{E I \cdot 4}{(64)^4}$$

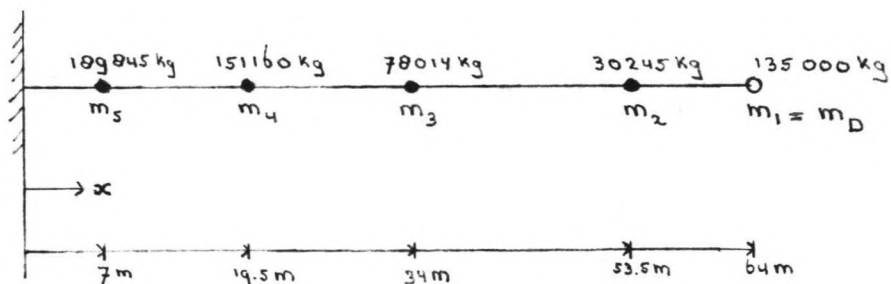
$$= 14 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\pi}{(64)^4} \cdot (1.75)^3 \cdot 0.05 \cdot 4$$

$$= 5.901 \cdot 10^5 \text{ N/m}$$

$$K^* = 0.557 \cdot 10^5 + 3.617 \cdot 10^5 + 5.901 \cdot 10^5 = 1.0075 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

We berekenen de gegeneraliseerde massa.

Schematisatie :



$$m_1 \phi_1^2 = 135\,000 \cdot \left(\frac{64}{64}\right)^4 = 135\,000 \text{ kg}$$

$$m_2 \phi_2^2 = 30\,245 \cdot \left(\frac{53.5}{64}\right)^4 = 14\,769 \text{ kg}$$

$$m_3 \phi_3^2 = 78\,014 \cdot \left(\frac{34}{64}\right)^4 = 6\,214 \text{ kg}$$

$$m_4 \phi_4^2 = 151\,160 \cdot \left(\frac{19.5}{64}\right)^4 = 1\,303 \text{ kg}$$

$$m_5 \phi_5^2 = 189\,845 \cdot \left(\frac{7}{64}\right)^4 = \underline{\quad 27 \text{ kg} \quad}$$

$$\text{totaal} \quad 157\,313 \text{ kg}$$

We vinden nu :

$$\omega^2 = \frac{1.0075 \cdot 10^6}{157\,313} = 6.4 \text{ s}^{-2}$$

$$\omega = 2.53 \text{ rad/s}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2.53}{2\pi} = 0.40 \text{ Hz}$$

Deze eigenfrequentie van 0.40 Hz blijkt zeer goed overeen te stemmen met de werkelijke waarde, zoals deze uit de metingen wordt gevonden, namelijk 0.39 Hz.

5. OVERZICHT MEETGEGEVENS

De eerste keer dat er versnellingen van het platform zijn gemeten was op 24 maart 1983. Gedurende deze dag stond er een noordwestenwind met een sterkte van 6 Beaufort. De significante golfhoogte bedroeg 2.5 m.

Uit de resultaten bleek, dat de piekfrequentie van het versnellingspectrum ± 0.4 Hz bedroeg, dit geeft de eigenfrequentie van het platform. De maximale uitwijking op dekhuishoogte bedroeg 5.7 cm.

De duur van deze meting (5 uur) was echter relatief kort vergeleken met het veranderen van de omgevingscondities als functie van de tijd. Daarom werd besloten tot een tweede, landurige, meting, die plaatsvond van 3 juli 1985 tot 29 november 1985. Gedurende deze tijd zijn twee paar versnellingsopnemers geplaatst op het meeteiland, op verschillende hoogten en in verschillende richtingen (NO-ZW en NW-ZO). Deze versnellingsopnemers worden schematisch weergegeven in Bijlage II.

De versnellingsmeters op het Europlatform maakten deel uit van het North Sea Measuring Network. Hierdoor werd het mogelijk om de trillingsgegevens van het platform te vergelijken met gelijktijdige data van windsnelheid, windrichting, golfhoogte, golfenergie en getij.

De gegevens zijn opgeslagen in de vorm van tien minuten gemiddelden. Ook plaatjes van deze gemiddelden uitgezet in de tijd zijn beschikbaar (zie Bijlage III). Ruwe data zijn echter niet meer voorhanden. Aan de hand van deze gegevens zal inzicht in het excitatiemechanisme verkregen dienen te worden. De gegevens zijn als volgt opgeslagen in tabelvorm :

EURO Platform dd. 24/11/85 Hoostes in cm., windsnelheid in cm/s, windrichting in srd (Dost=90) Printtijd: 04/12/1985, 08:42 (GMT)																					
		<-----GS02 (golven)----->					<-----GS05 (versnelling ZW-NO)----->					<-----GS06 (versnelling ZO-NW)----->					<-----WS01 (wind)----->				
tdv	datum	HE1	HE2	HE3	Hmax	H1/3	HE1	HE2	HE3	Hmax	H2X	H1/3	HE1	HE2	HE3	Hmax	H2X	H1/3	WF10	WG3s	WR01
9:10,24/11	99	88	6	225	127	97	58	27	195	193	133	98	57	22	205	203	137	880	1057	71	61
9:20,24/11	87	86	5	190	124	100	50	33	195	191	141	100	49	28	210	197	145	885	1032	65	75
9:30,24/11	97	99	7	215	135	72	50	29	170	162	115	73	49	25	185	181	117	832	1007	70	60
9:40,24/11	85	94	5	180	123	75	52	27	195	179	109	79	52	24	205	198	118	752	930	65	75
9:50,24/11	90	100	5	220	131	76	58	41	195	191	129	77	58	35	195	191	133	827	932	68	68
9:00,24/11	91	86	6	215	122	99	65	35	195	193	148	99	66	32	205	203	150	800	967	63	63
9:10,24/11	90	97	6	225	130	79	52	32	195	182	130	81	50	26	205	201	129	687	865	62	62
9:20,24/11	80	92	6	200	118	78	59	34	195	189	123	78	57	28	205	201	129	702	0	70	70
9:30,24/11	77	100	6	195	122	78	57	36	195	191	129	81	56	32	205	199	124	677	785	66	66
9:40,24/11	69	98	5	220	123	87	68	37	195	193	149	88	66	30	210	204	152	672	832	67	67
9:50,24/11	79	81	5	165	113	67	39	30	190	186	110	66	37	24	195	172	111	677	815	62	62
10:00,24/11	71	98	6	190	115	61	39	23	195	188	100	61	39	21	205	201	103	680	845	67	67
10:10,24/11	79	104	6	195	130	75	52	29	190	179	121	76	51	25	180	176	124	735	882	60	60
10:20,24/11	72	89	7	180	116	65	38	23	185	181	101	66	36	19	195	182	100	672	835	73	73
10:30,24/11	62	110	7	170	124	51	37	20	185	177	79	51	36	16	205	182	75	632	807	59	59
10:40,24/11	67	93	5	175	116	59	49	36	185	179	102	61	47	30	205	201	106	625	785	68	68
10:50,24/11	61	87	6	170	106	43	26	12	135	117	66	44	27	11	140	127	67	647	880	64	64
11:00,24/11	67	97	8	155	110	32	21	12	130	117	51	32	21	11	155	147	54	567	730	58	58

Tabel 5.1 - Overzicht meetgegevens

waarbij :

GSO 2 = golfspectrum no. 2 van Europlatform

HE 1 = maat voor de hoogfrequente golfenergie $HE\ 1 = 4 \sqrt{E_1}$, waarbij
 E_1 = energie in de frequentieband 200 mHz - 500 mHz.
HE 1 zal in het vervolg worden aangeduid door : $E_{G(0.2-0.5)}$.

HE 2 = maat voor de middenfrequente golfenergie $HE\ 2 = 4 \sqrt{E_2}$, waarbij
 E_2 = energie in de frequentieband 100 mHz - 200 mHz.
HE 2 zal worden aangeduid door : $E_{G(0.1-0.2)}$.

HE 3 = maat voor de laagfrequente golfenergie $HE\ 3 = 4 \sqrt{E_3}$, waarbij
 E_3 = energie in de frequentieband 30 mHz - 100 mHz.
HE 3 zal in het vervolg worden aangeduid door : $E_{G(0.03-0.1)}$.

H max = maximale golfhoogte

H 2% = golfhoogte die door 2% van de golven is overschreden

H 1/3 = gemiddelde hoogte over het 1/3 hoogste deel van de golven
(= H sign)

GSO 5* = versnellingssensor no. 1 op dekhuishoogte (NO-ZW)

GSO 6* = versnellingssensor no. 2 op dekhuishoogte (NW-ZO)

WSO 1 = windsnelheidssensor no. 1 van Europlatform

WF 10 = gemiddelde windsnelheid in cm/s over 10 minuten

WG 3 s = maximale 3 seconden windstoot in cm/s

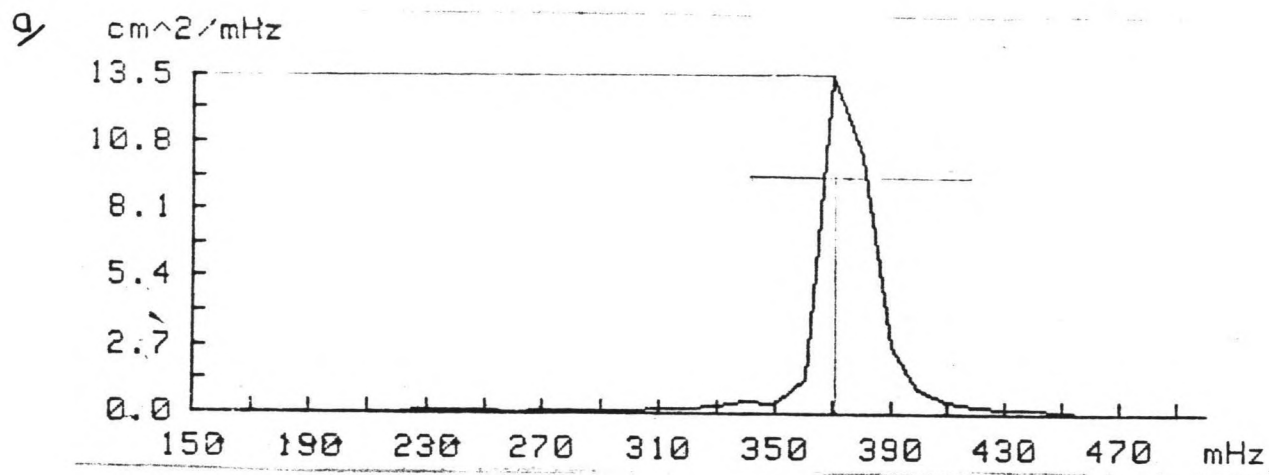
WRO 1 = windrichting t.o.v. N

alle tijdstippen in G.M.T.

* De versnellingen zijn op dezelfde manier in frequentiebanden ontleed als dat gedaan is voor de golven. In plaats van E_G wordt dan E_V gebruikt.

Over de periode van 3 november 1985 - 23 november 1985 zijn voor zes perioden van twee uur spectra beschikbaar zowel van de golven als ook van de versnellingen in twee richtingen. We verwachten nu voor de spectra van de trillingen spectra te zien die vrij scherp gepiekt zijn rond de eigenfrequentie van de paal.

Wanneer we de verkregen spectra bekijken, dan levert slechts één van de zes aaneengesloten perioden van twee uur het verwachte beeld op (zie figuur 5.1a). De overige spectra leveren een nogal ruisvormig beeld op, een vlak verloop over alle frequenties (zie figuur 5.1b).



Figuur 5.1 - Uitwijkingsspectra van het platform

Deze spectra met het ruisvormige beeld zijn onbetrouwbaar en worden derhalve niet gebruikt. De ruisvormige spectra zijn mogelijk ontstaan ten gevolge van een defect in de meetapparatuur.

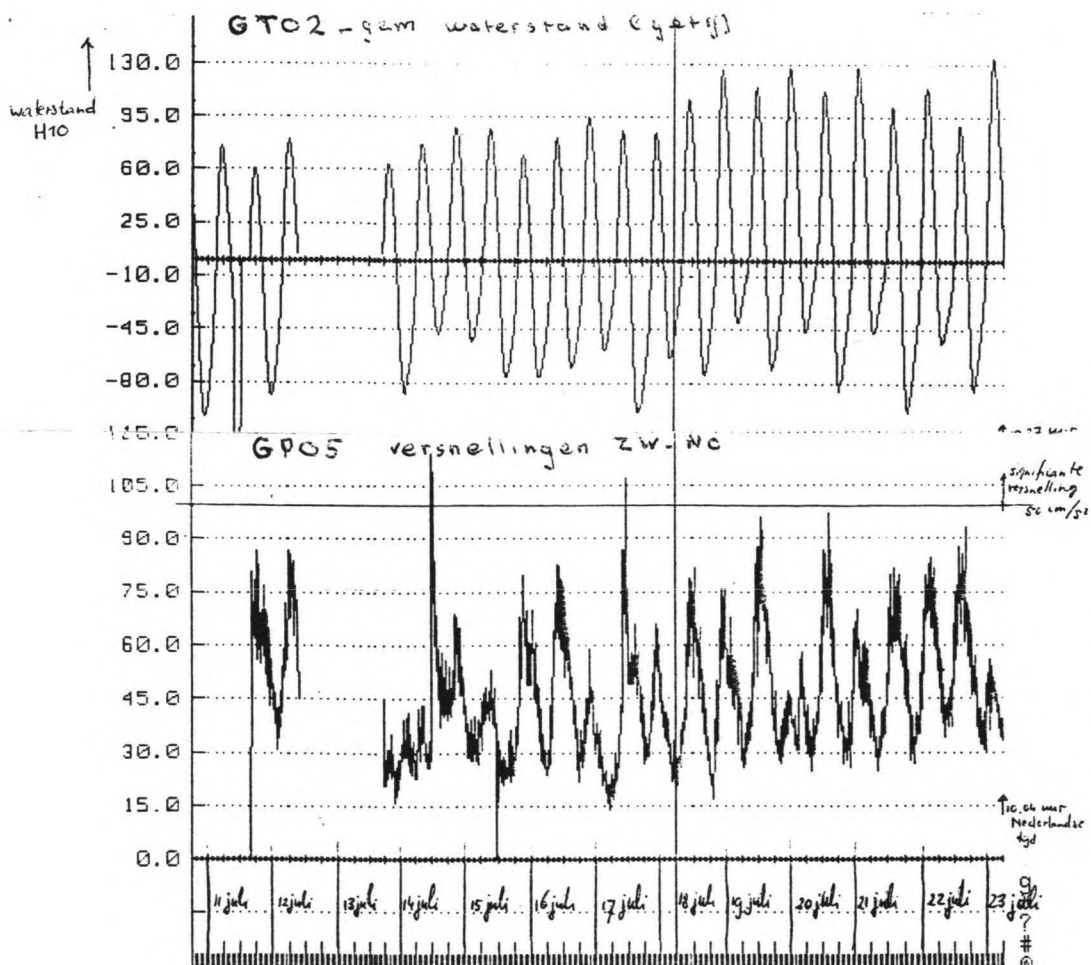
6. ANALYSE MEETGEGEVENS

6.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de verbanden tussen de diverse meetgegevens, zoals die met het oog zijn waargenomen, behandeld. Tevens worden correlaties tussen verschillende meetgegevens behandeld.

6.2 Verband trillingen - getij

Bij het bestuderen van de meetgegevens, te beginnen bij de versnellingen, valt het op, dat het getij een zeer duidelijke invloed heeft op het trillingsgedrag (zie hiervoor figuur 6.1).

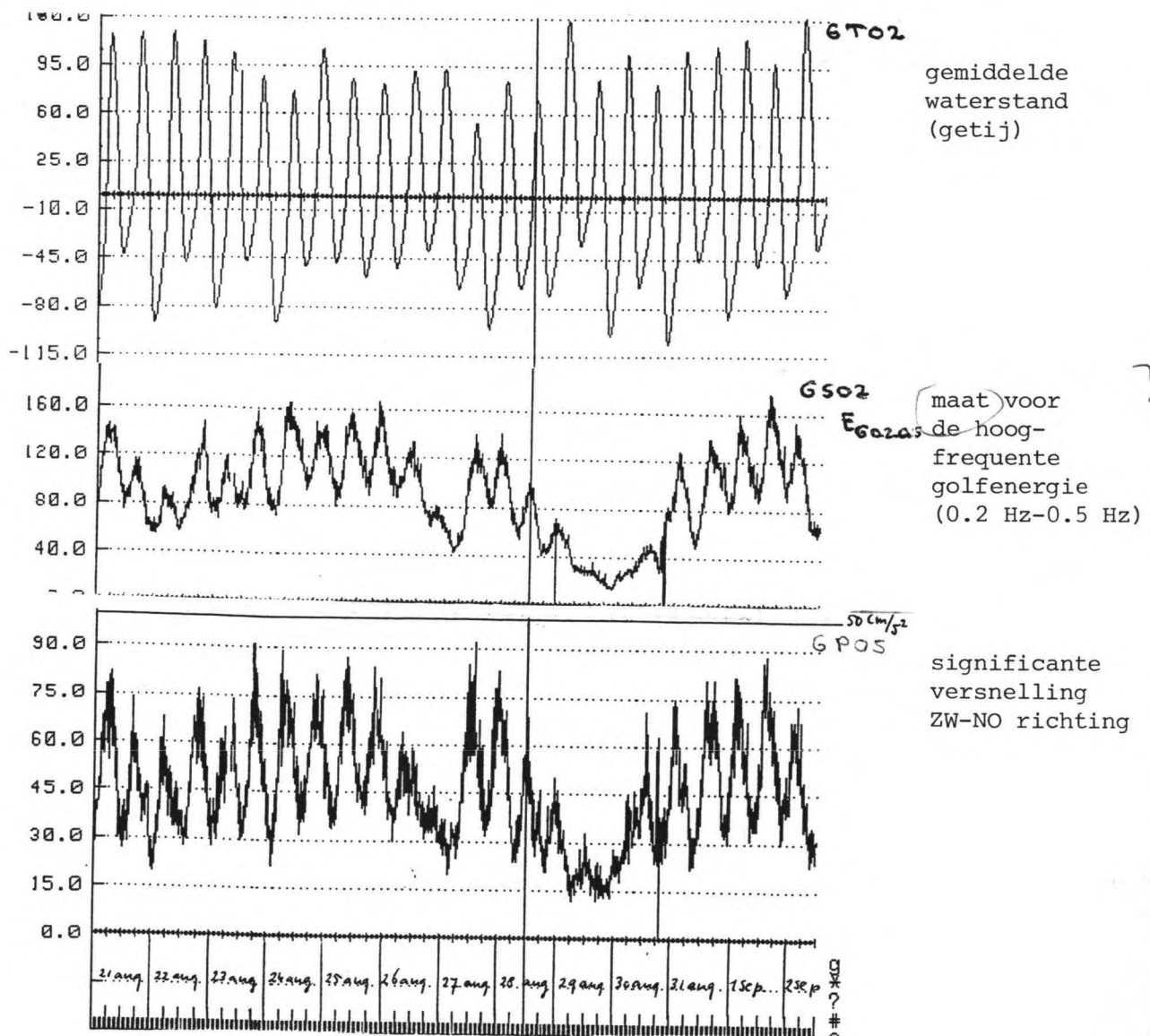


Figuur 6.1 - Verband trillingen - getij

In de tijdsgeristratie van de trillingen is een patroon met een herhalings-tijd van ca 12.5 uur aanwezig hetgeen zeer sterk correleert met het getij.

6.3 Verband hoogfrequente golfenergie - getij

Een volgend verband dat opvalt is dat tussen het verloop van de significante golfhoogte (als maat voor de golfenergie $H_s = 4\sqrt{m_0}$ met $m_0 =$ energie binnen frequentieband) in de frequentieband 0.2 Hz - 0.5 Hz en het getij. (NB: de eigenfrequentie van 0.39 Hz ligt binnen deze frequentieband.) (Zie figuur 6.2.)



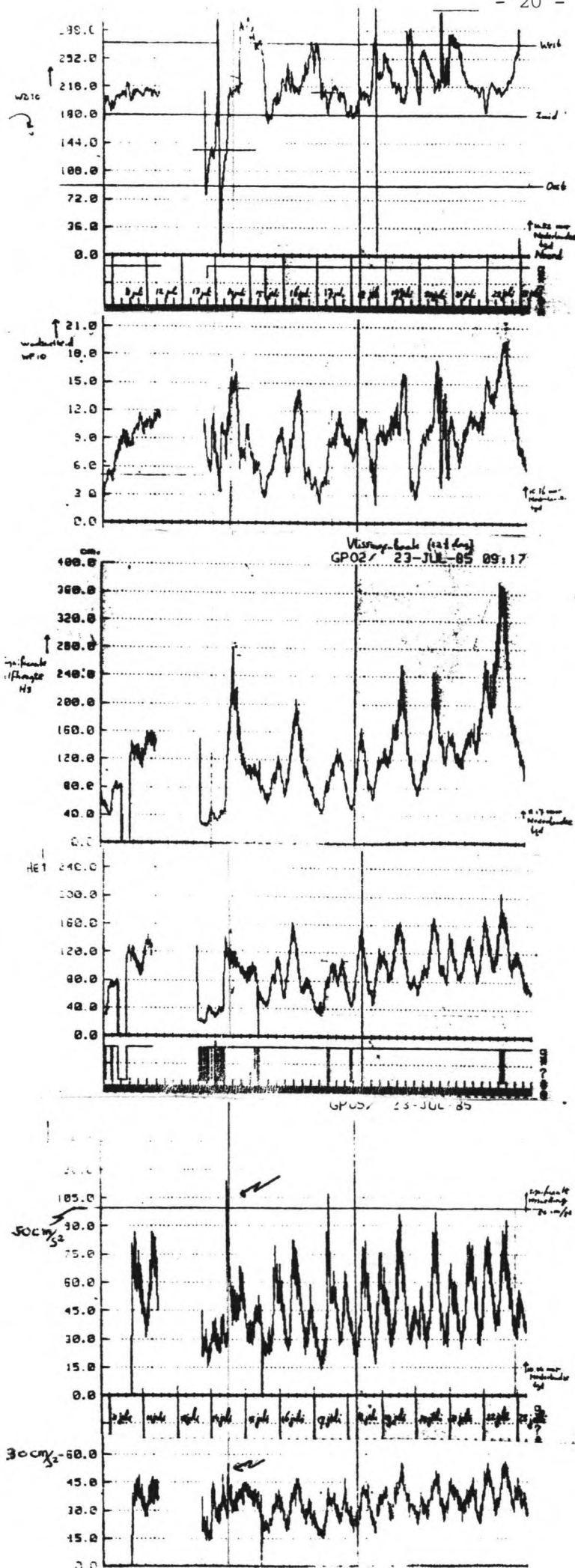
Figuur 6.2 - Verband hoogfrequente golfenergie, trillingen en getij

In het verloop van de hoogfrequente golfenergie is dezelfde herhalings-tijd waar te nemen van ongeveer 12.5 uur, corresponderend met die van het getij, zoals ook in het patroon van de trillingen was waargenomen.

6.4 Uitschietende versnellingspieken

In het patroon van de significante versnellingen met de pieken en de dalen (zie paragraaf 6.1) vallen een aantal "uitschietende" pieken op. Nadere bestudering leert dat voor een groot gedeelte van deze pieken geldt, dat zij ontstaan na het draaien van de wind of wanneer de windsnelheid toeneemt vanaf een lage waarde (zie tabel 6.1 en figuur 6.3). In de meeste van deze gevallen nemen na verloop van tijd bij constante of toenemende wind de trillingen af.

Op grond hiervan is de verwachting dat heftige trillingen kunnen ontstaan ten tijde van een opbouwend windveld.



Registratie windrichting

Tijdens het optreden van de versnellingspiek op 14 juli is de windrichting ZW, na even eerder sterk variabel te zijn geweest.

Registratie windsnelheid

Deze neemt toe van 9 m/s - 15 m/s (ten tijde versnellingspiek 14 juli)

Registratie significante golfhoogte

Deze loopt bij het optreden van de versnellingspiek op van 80 cm - 280 cm.

Registratie $E_G 0.2-0.5$

Iets eerder van de versnellingen loopt deze sterk op

Registratie significante versnellingen (NO-ZW)

Registratie significante versnellingen (NW-ZO)

Figuur 6.3 - Registraties 11 juli - 23 juli

datum	windrichting	windsnelheid	$E_{G_{0.2-0.5}}$	$E_{G_{0.1-0.2}}$	versnelling NO - ZW	versnelling NW - ZO	significante golfhoogte
14 juli	net voor optreden van de piek gedraaid naar ZW	loopt op 9 m/s → 15 m/s	voor optreden piek opgelopen (factor 3.5)	loopt op na $E_{G_{0.2-0.5}}$ echter voor piek	loopt van 15 cm/s ² → 57.5 cm/s ²	geen "uitschietende" piek	opgelopen van 40 cm tot 280 cm
17 juli	ZW	loopt op 3 m/s → 9 m/s	loopt sterk op 15 cm → 110 cm	loopt op na $E_{G_{0.2-0.5}}$, ten tijde van piek	loopt van 7 cm/s ² → 54 cm/s ²	geen "uitschietende" piek	loopt op van 45 cm tot 280 cm
1/2 aug.	ZW	loopt op 3 m/s → 20 m/s	loopt op voor optreden piek 30 cm → 180 cm	loopt sterk op (factor 4), iets later dan $E_{G_{0.2-0.5}}$	loopt van 16 cm/s ² → 51 cm/s ²	loopt op van 15 cm/s ² → 30 cm/s ²	loopt op van 80 cm tot + 350 cm
26 aug.	ZW	loopt op 0 m/s → 12 m/s	loopt op van 50 cm → 130 cm	loopt niet op, blijft laag	loopt van 10 cm/s ² → 40 cm/s ²	loopt op 10 cm/s ² → 25 cm/s ²	loopt op van 80 cm tot 130 cm
29/30 aug.	net voor optreden van de piek sterk gedraaid naar NO	loopt op 0 m/s → 8 m/s	loopt van 20 cm → 60 cm	blijft laag	loopt van 7 cm/s ² → 35 cm/s ²	piek oplopend 7.5 cm/s ² → 25 cm/s ²	blijft gelijk 35 à 40 cm
10 sept.	ZW	loopt op van 1 m/s → 9 m/s	piek, lopend van 40 cm naar 100 cm	blijft gelijk + 60 cm	loopt van 8 cm/s ² → 37 cm/s ²	loopt op 8 cm/s ² → 23 cm/s ²	neemt af van 80 cm naar 50 cm
14 sept.	ZW	loopt op van 11 m/s → 17 m/s	loopt op; iets voor het oplopen $E_{G_{0.1-0.2}}$	loopt sterk op gelijktijdig met versn. piek	loopt van 15 cm/s ² → 47.5 cm/s ²	loopt op 15 cm/s ² → 35 cm/s ²	loopt op van 80 cm tot 260 cm
28 sept.	voor het optreden van de piek sterk gedraaid naar NO	loopt op van 2 m/s → 6 m/s	laag: + 20 cm (neemt margi- naal toe)	blijft laag: + 20 cm	loopt van 7 cm/s ² → 34 cm/s ²	piek, lopend van 7 cm/s ² → 22 cm/s ²	laag: + 30 cm
2 okt.	ZW	oplopend van 8 m/s → 13 m/s	neemt bij op- treden piek toe 30 cm → 160 cm	loopt sterk op iets later dan $E_{G_{0.2-0.5}}$	loopt van 8 cm/s ² → 42 cm/s ²	piek, lopend van 9 cm/s ² → 38 cm/s ²	loopt op van 30 cm tot 180 cm

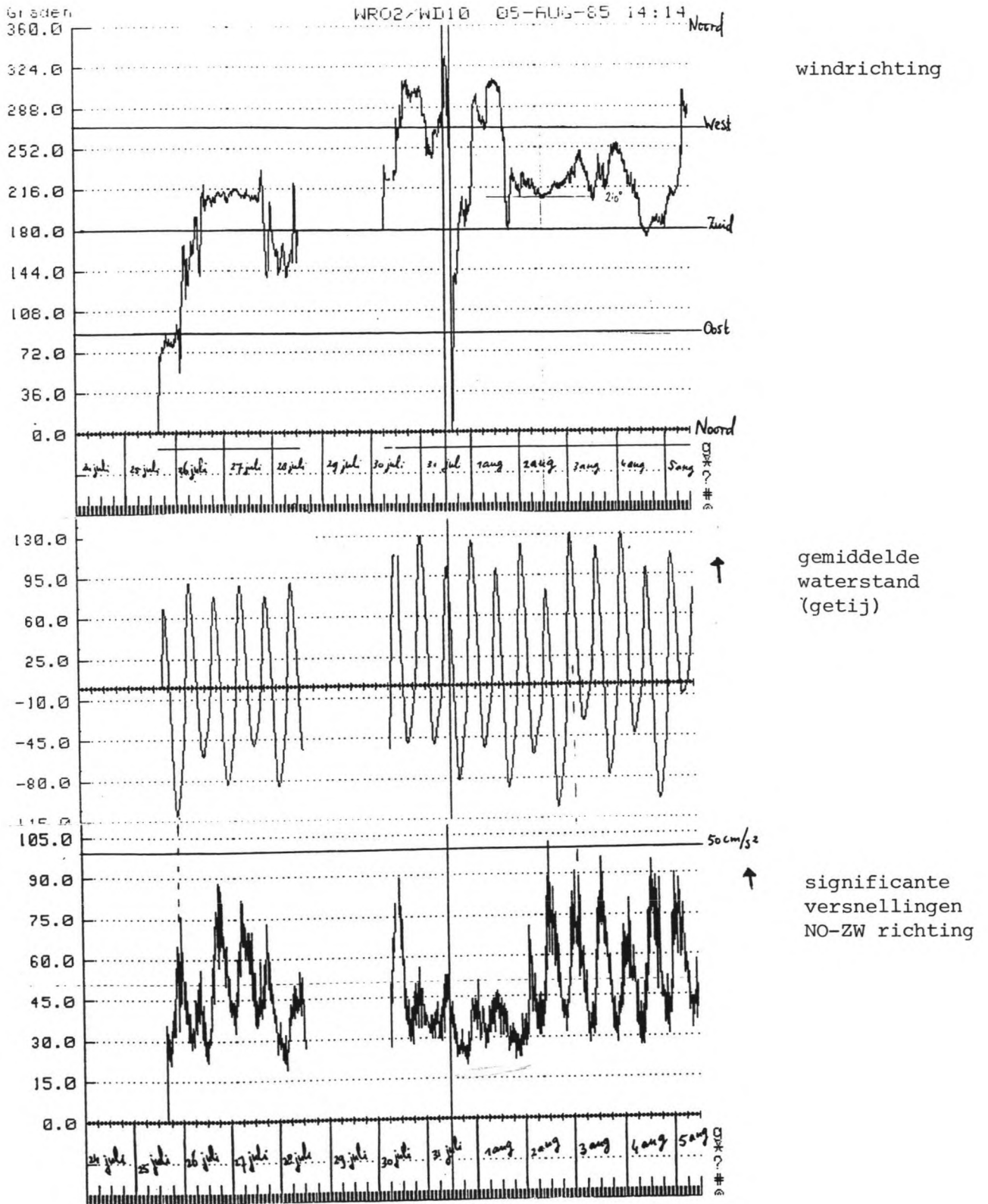
Tabel 6.1 - Overzicht registraties ten tijde van uitschietende versnellingspieken

6.5 Verband windrichting - getij - trillingen

Uit de metingen valt een verband op tussen de windrichting, het optreden van de maximale versnellingen en het getij.

Wanneer de wind uit zuidwestelijke richting waait, dan treden de heftigste trillingen op rondom het optreden van hoog water bij het Euro-platform (zie figuur 6.4 : 2 - 4 augustus). Dit is ook ongeveer het moment, waarop de stroomsnelheid maximaal is (voor stroomgegevens: zie Bijlage IV) in de richting ZW-NO, zodat op dat moment de stroom en de golven dezelfde richting hebben.

Zoals ook uit figuur 6.4 valt op te maken, treden in de nacht van 25 op 26 juli de maximale versnellingen op ten tijde van laag water Euro-platform, waarbij de stroomrichting NO-ZW is. Op dat moment blijkt er een oostenwind te waaien, zodat ook dan stroom en golven dezelfde richting hebben.



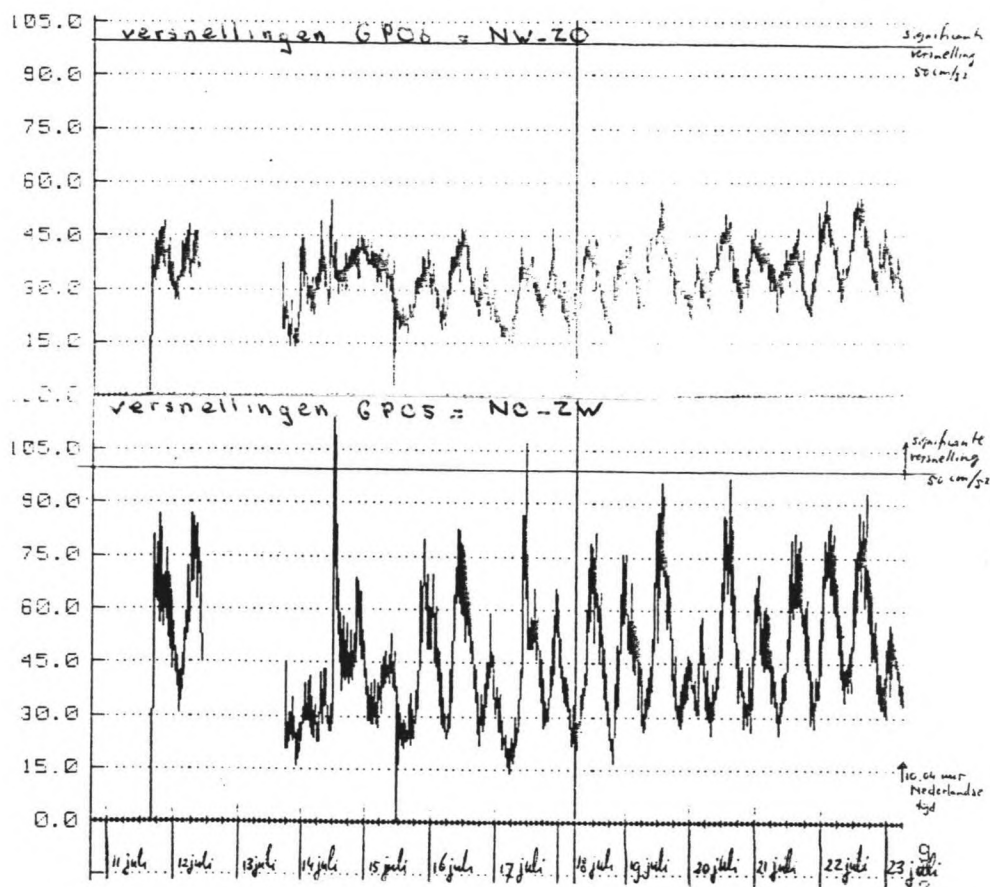
Figuur 6.4 - Verband windrichting - getij - trillingen

6.6 Verband hoge versnellingen - windsnelheid

Wanneer we kijken of er een verband bestaat tussen de grootten van de windsnelheid (over 10 minuten gemiddeld) ten tijde van het optreden van grote versnellingen, dan is hier geen duidelijke lijn in te ontdekken. Er zijn zowel extreem hoge versnellingen waarneembaar bij een lage windsnelheid ± 3 m/s, als in situaties waarbij de windsnelheid hoog ligt, ± 17 m/s.

6.7 Versnellingen in verschillende richtingen

De registraties van de significante versnellingen geven in de richting NO-ZW een ander beeld te zien dan in de richting NW-ZO. Zie hiervoor figuur 6.5.



Figuur 6.5 - Verschil uitslagen versnellingsmeters

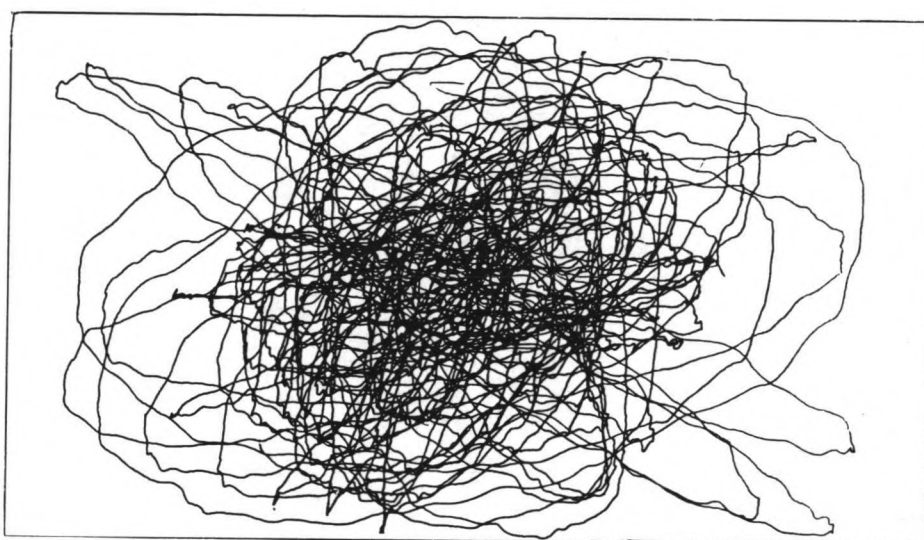
De minimale waarden in een periode overeenkomend met de getijperiode zijn ongeveer gelijk. De maximale waarden binnen zo'n periode geven een behoorlijk verschil te zien, waarbij de waarden in de NO-ZW richting ongeveer tweemaal zo groot zijn als in de richting NW-ZO.

De versnellingsmeter met de hoogste uitslagen, in de richting NO-ZW, meet de versnellingen in de richting van de overheersende stroomrichting.

6.8 Tolbeweging

Uit de Lissajous-figuur van de bewegingen van het Europlatform blijkt dat de paal een soort ellipsvormige tolbeweging maakt. Een weergave van deze figuur is is te zien in figuur 6.6.

Een bezoek aan het Europlatform heeft het optreden van deze beweging bevestigd. Mogelijk heeft de excentriciteit van het massamiddelpunt van het platform ten opzichte van de paal iets met het optreden van deze beweging te maken.



Figuur 6.6 - Lissajous-figuur van de beweging van het platform.

6.9 Correlaties

Op het oog waren direct al enige verbanden tussen de diverse parameters opgevallen. Deze verbanden dienen echter nader te worden gekwantificeerd met behulp van correlaties.

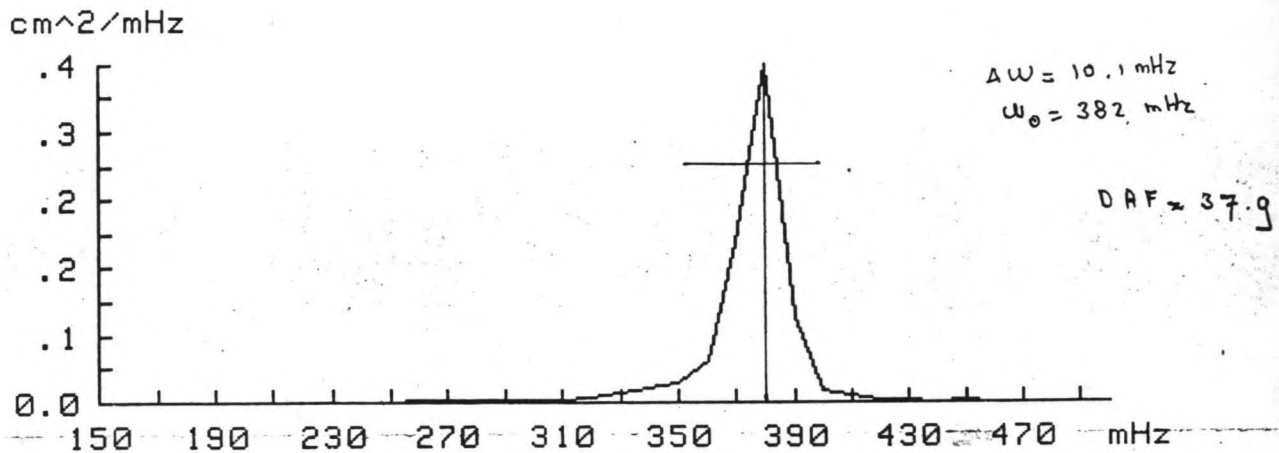
Voor de periode van 11 juli tot en met 7 oktober zijn de correlaties bepaald tussen de significante waarde van de versnellingen (in twee richtingen) en de waarde voor de significante golfhoogte in de frequentieband waarbinnen de eigenfrequentie van het platform ligt (0.2 Hz - 0.5 Hz). De verbanden zijn bepaald door in één figuur de maximale en minimale waarden van de significante versnelling per getijperiode uit te zetten tegen de simultane waarden van de significante golfhoogtes. Dit is gedaan voor vier verschillende windrichtingen (overeenkomend met de richtingen waarin de versnellingen worden gemeten, met een spreidingshoek van 45°). Niet alle punten zijn in de correlatiegrafieken uitgezet. Er heeft een selectie plaatsgevonden, waarbij de "uitschieters" zijn weggelaten. Deze correlatiegrafieken zijn te vinden in Bijlage V.

Hoewel in sommige gevallen weinig punten in een grafiek te zien zijn, zijn toch duidelijk lineaire verbanden waarneembaar. Het valt op dat de regressielijnen vrijwel door de oorsprong gaan, hetgeen er op duidt dat behalve de belasting door golven waarvan de frequentie binnen bovengenoemd interval ligt, geen andere belasting aanwijsbaar is.

De constructie is zeer zwak gedempt. De DAF is veel groter dan 1 (zie ook paragraaf 8.4).

Het frequentiespectrum van de versnellingen van de paal is zeer sterk gepiekt rond de eigenfrequentie van de paal, dat wil zeggen, de trillingsenergie bevindt zich in een nauwe band rond de eigenfrequentie.

De significante versnellingen van de paal worden bepaald door de golfenergie in datzelfde nauwe bandje (wegens het verwaarlozen van de dragterm, waardoor het systeem lineair wordt; zie paragraaf 7.5).



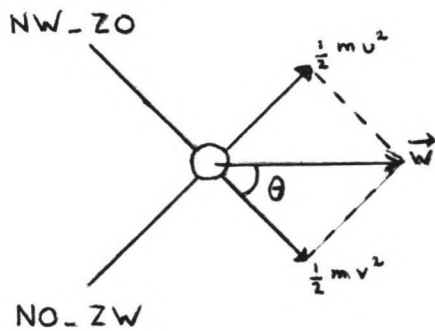
Figuur 6.7 - Piek rond eigenfrequentie

We hebben echter geen gegevens over de golfenergie in een nauw bandje rond 0.4 Hz, maar van 0.2 Hz - 0.5 Hz.

Voorals wanneer het golfspectrum sterk varieert binnen deze grenzen geeft dit problemen bij het vinden van een verband tussen de significante versnellingen en de golfenergie binnen de aangegeven frequentieband. Dit probleem doet zich vooral voor bij golfspectra die in de opbouwphase zijn.

In het begin van het overzicht van de meetresultaten zijn echter de spectrale waarden opgenomen voor de energiedichtheid. De bandbreedte bedraagt hierbij 10 mHz. De waarde van de energiedichtheid bij een frequentie van 390 mHz van de versnellingen kan nu worden uitgezet tegen de simultane waarde (n.b. 10 minuten gemiddelde) bij dezelfde frequentie van de energiedichtheid van de golven. Het probleem is echter dat we nu geen gelijktijdige gegevens over de golf-richting hebben, zodat de figuur een vrij grote spreiding te zien zal geven (zie figuur 6.8).

We kunnen dit nu ondervangen door in plaats van de energiedichtheid van de versnellingen in één richting, de som van de energiedichtheden in twee loodrecht op elkaar staande richtingen te nemen (NO-ZW + ZO-NW).



$\vec{w}$ geeft de snelheidsvector van het platform op een bepaald moment

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} m u^2 \\ &= \frac{1}{2} m (w \cos \theta)^2 + \frac{1}{2} m (w \sin \theta)^2 \\ &= \frac{1}{2} m w^2 \end{aligned}$$

Dit geeft de bewegingsenergie van het platform.

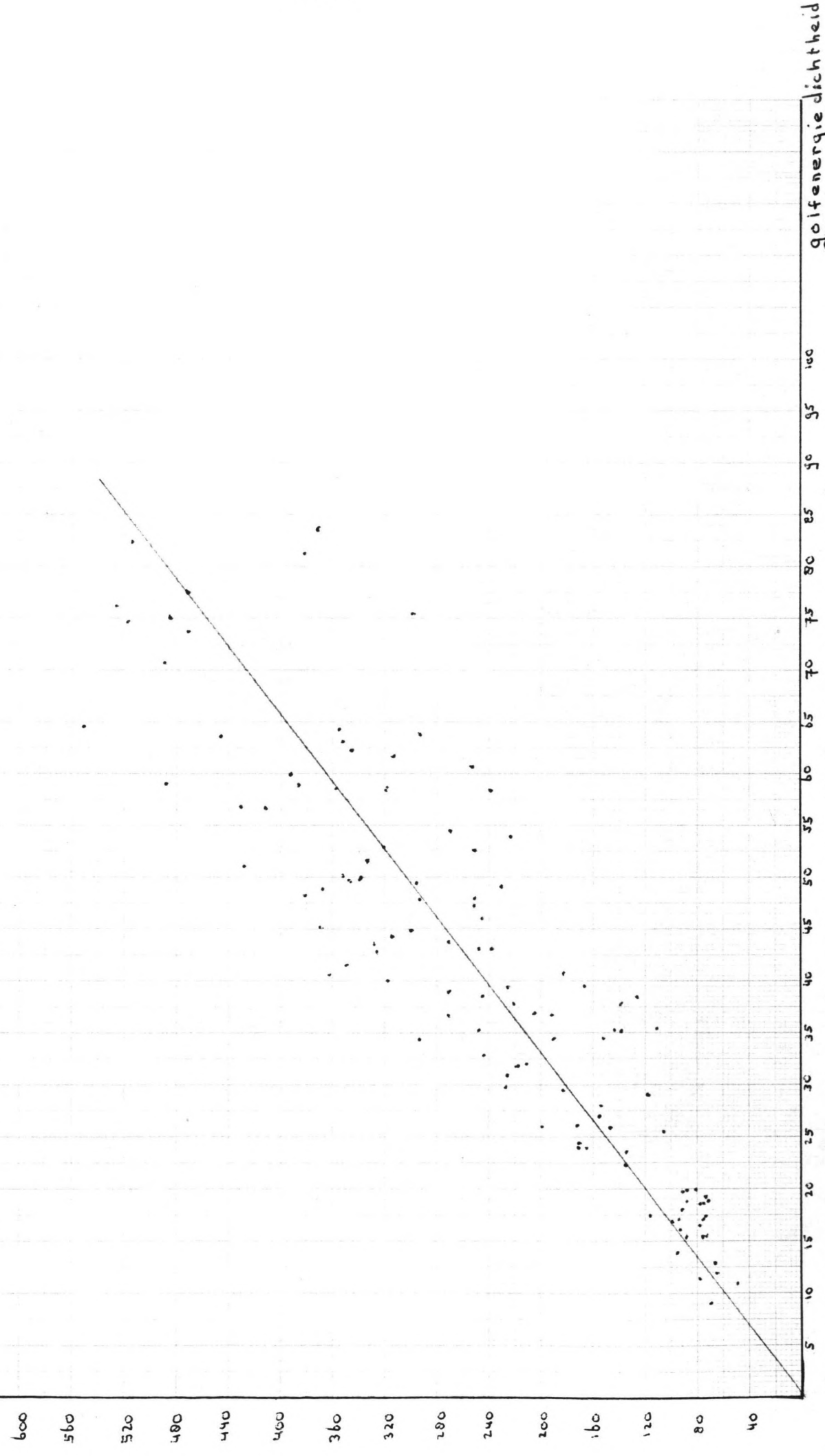
Om het effect na te kunnen gaan van deze behandeling wordt in figuur 6.9 dezelfde tijdsperiode genomen als in figuur 6.8. Dit is een willekeurig gekozen periode van één dag (dit levert $24 \times 6 = 144$ punten op) namelijk van 16.10 uur op 15 augustus tot 16.10 op 16 augustus.

De verwachting voor het resultaat in figuur 6.9 is een lineair verband tussen de uitgezette waarden te vinden met een kleine(re) spreiding in de waarden.

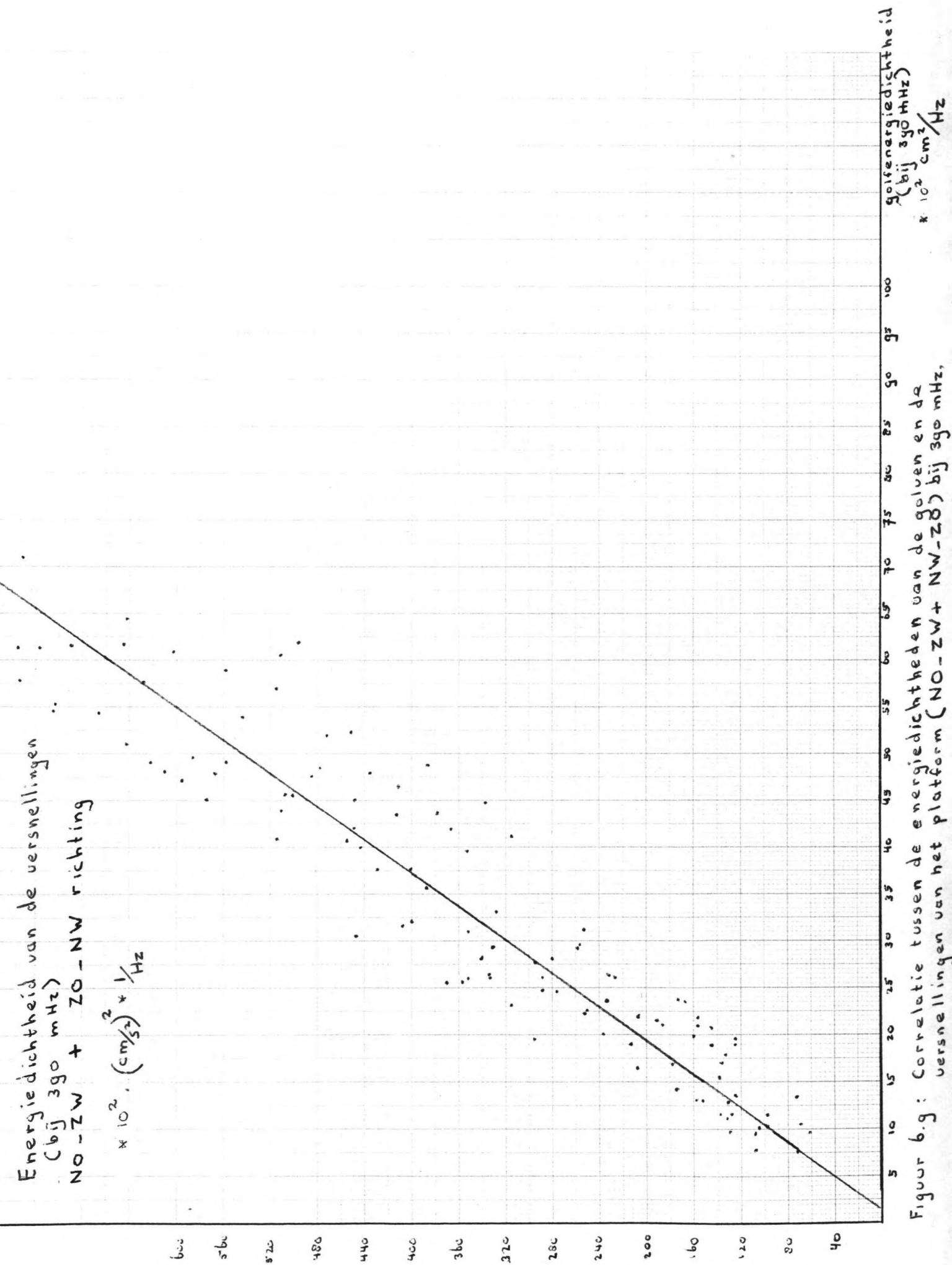
Met enige moeite kan een lineair verband getekend worden; de spreiding is echter nog vrij groot. Het is niet geheel duidelijk hoe dit te verklaren is.

Statistische variabiliteit?

Energiedichtheid van de versnellingen
(bij 390 MHz)
NO-ZW richting
 $\cdot 10^2, (\text{cm/s}^2)^2 \cdot \frac{1}{\text{Hz}}$



Figuur 6.8: Correlatie tussen de energiedichtheden van de golven en de versnellingen van het platform (NO-ZW richting) bij 390 MHz.



6.10 Resumé

In dit hoofdstuk zijn drie opvallende waarnemingen gedaan :

1. Er is een bepaald patroon waargenomen, zowel binnen de registratie van de significante versnellingen als ook in de weergave van de E_G 0.2-0.5, d.w.z. de golfenergie in de frequentieband 0.2 Hz - 0.5 Hz. De herhalingsstijd van dit patroon bedraagt 12.5 uur, hetgeen overeenkomt met de periode van het getij.
2. Extreme versnellingspieken kunnen optreden ten tijde van een opbouwend windveld
3. Er bestaat een lineair verband tussen de golfenergie en de trillingsenergie van het platform, beiden genomen in een smalle (0.01 Hz)-band rond de eigenfrequentie van het platform.

In het volgende hoofdstuk zal getracht worden een verklaring te geven voor de gevonden verbanden.

7. VERKLARINGEN

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal getracht worden een verklaring te geven voor de in het vorige hoofdstuk gevonden verbanden tussen de diverse parameters.

De volgende belastingen worden hierbij onderscheiden :

1. windbelasting
2. stromingsbelasting
3. golfbelasting

In de tijdregistratie van de versnellingen van het platform is onmiskenbaar een bepaald patroon met een herhalingsstijd van circa 12.5 uur aanwezig. Dit komt overeen met de getijperiode. Derhalve kunnen we windbelasting als veroorzaker van de heftige trillingen uitsluiten.

Eerst zal nu worden nagegaan welke invloed het getij heeft op de trillingen van het platform; dit kan in principe op twee manieren :

- a. het vertikaal getij manifesteert zich als een regelmatige verhoging en verlaging van de zeespiegel. Als gevolg hiervan staat de paal meer of minder onder water. Bovendien heeft de momentane waterdiepte invloed op de voortplanting van oppervlaktegolven. De relatieve verandering is echter zeer gering (± 0.85 m op een waterdiepte van 28 m geeft een percentage van $\pm 3\%$), zodat dit effect niet verantwoordelijk kan zijn voor de sterke variatie in de trillingsamplitude (de opnemer GPO5 in de richting NO-ZW vertoont maxima en minima in het patroon van de significante versnellingen, die ongeveer een factor 2 à 2.5 uit elkaar liggen). Bovendien is het verschil in beide richtingen (paragraaf 6.7) niet te verklaren aan de hand van de wisselende waterstanden.
- b. Veel waarschijnlijker is nu de invloed van het horizontaal getij (stroming). De hoofdrichting van de stroming ter plaatse van het Europlatform is NO-ZW, de richting waarin ook de grootste versnellingen gemeten worden. De stroming kan een dynamische belasting op de paal geven door het optreden van de Von Karman wervelvorming, het alternerend loslaten van wervels achter de paal. Dit is de zogenaamde vortexshedding.

7.2 Vortexshedding

Theoretisch (zie literatuurlijst ref. 2) zou vortexshedding op kunnen treden wanneer de stroomsnelheid de volgende waarde zou bereiken :

- a. voor bewegen dwars op de stroom (crossflow motion) :

$$V_{\text{crit}} = 5 * N * D = 3 \text{ m/s}$$

met :

N = natuurlijke frequentie van het platform

D = diameter van de paal

- b. voor een beweging in de richting van de stroom (in flow motion) :

$$V_{\text{crit}} = 2.5 * N * D = 1.5 \text{ m/s}$$

Deze stroomsnelheden worden echter nooit gehaald. De maximaal gemeten stroomsnelheid bedraagt ± 0.9 m/s. Hierdoor is het optreden van vortexshedding nagenoeg uitgesloten.

Bovendien mag voor vortexshedding de stroomrichting niet van invloed zijn, alleen de grootte van de stroomsnelheid is hiervoor belangrijk. Wanneer vortexshedding de oorzaak van het gevonden versnellingenpatroon zou zijn, zou de periode $6\frac{1}{4}$ uur moeten bedragen. Dit is in tegenspraak met de meetgegevens. Ook zou vortexshedding altijd moeten optreden, de paal blijft echter dagenlang rustig.

We kunnen vortexshedding dus uitsluiten.

In de volgende paragraaf zal gekeken worden welke invloed de getijstroom op de windgolven kan hebben. Er zal gekeken worden of het optreden van de getijstroom de modulaties in de hoogfrequente golfenergie kan verklaren en daarmee ook het gegeven versnellingenpatroon.

7.3 Invloed van de getijstroom op windgolven

7.3.1 Inleiding

Zoals in de vorige paragraaf is gebleken, speelt de directe dynamische belasting op de paal door stroming (i.e. vortexshedding) geen rol. Wel kan de stroming invloed uitoefenen op de golven die de paal belasten. Dit kan gebeuren middels het beïnvloeden van de golflengte van die golven die de paal aanslaan in de eigenfrequentie (= 0.39 Hz). Dit is de zogenaamde Doppler verschuiving; deze zal nader worden besproken in de volgende subparagraaf.

Vervolgens zal worden gekeken wat de invloed van deze verschoven golflengte inhoudt voor de hoogfrequente golfenergie. De verwachting is dat deze hoogfrequente golfenergie afhankelijk van de golflengte aan variërende maxima gebonden is via de maximale hoogte-lengte verhouding voor golven. Deze beschouwing volgt in de subparagrafen 7.3.3 en 7.3.4.

Doordat de golflengte van de golven met frequentie 0.39 Hz varieert, varieert voor deze golven ook de verhouding diameter paal/golflengte. Dit kan gevolgen hebben voor de coëfficiënten in het krachtspectrum. Hier wordt in subparagraaf 7.3.5 naar gekeken.

7.3.2 Doppler verschuiving

Wanneer men ergens op de Noordzee golven gaat meten met een stilstaand meetinstrument (een golfbaak of een verankerde golfmeetboei), wordt een afwijkend golfspectrum gevonden van het spectrum dat door een meebewegende waarnemer wordt gevonden.

Indien we kijken naar de energie van de hoogfrequente golven (in de frequentieband van 0.2 Hz - 0.5 Hz) dan is de invloed van het getij op deze golven duidelijk te zien. In het verloop van de hoogfrequente energie is een patroon met een herhalingsstijd van circa 12.5 uur waarneembaar. De verhouding tussen de maxima en minima van deze energie bedraagt een factor 2 à 2.5, hetgeen kwantitatief overeenstemt met de variaties van de trillingsenergie van het platform.

Voor diepwatergolven ($d > \frac{1}{2}L$) geldt de dispersierelatie volgens :

$$\omega = \sqrt{g \cdot k} \quad , \quad \text{waarbij } k = 2\pi/L$$

Hieruit volgt een fasesnelheid $v = \omega/k = \sqrt{g/k}$.

Wanneer de watermassa echter een stroomsnelheid u heeft, dan heeft een oppervlaktegolf een snelheid v' ten opzichte van een stilstaande waarnemer, die gegeven wordt door :

$$v' = \sqrt{g/k} + u \cos \phi$$

waarbij ϕ de hoek aangeeft tussen de voortplantingsrichting van de golven en de richting van de stroom. Na vermenigvuldiging met k volgt een ontmoetingsfrequentie ten opzichte van een stilstaande waarnemer die gegeven wordt door :

$$\omega' = \sqrt{g \cdot k} + k \cdot u \cos \phi$$

Als de golven en de stroming loodrecht op elkaar staan is er geen verandering, maar als golven en stroom in dezelfde richting, dan wel tegengesteld bewegen, neemt een stilstaande waarnemer een hogere respectievelijk lagere frequentie waar dan een meebewegende waarnemer.

Wanneer we de resonantie frequentie van de paal gelijkstellen aan 0.4 Hz dan hebben de watergolven, die voor excitatie in aanmerking komen, bij afwezigheid van stroming, een golflengte :

$$L = \frac{g}{2\pi f^2} = 9.76 \text{ m}$$

In het geval dat de stroom met de golven meebeweegt met een snelheid $u = 0.8 \text{ m/s}$, dan volgt het golfgetal k uit de bovenstaande vergelijking voor de ontmoetingsfrequentie. Dit levert een tweedegraads vergelijking in k op :

$$k^2 - \left(\frac{g + 2 u \omega' \cos \phi}{u^2 \cos^2 \phi} \right) k + \frac{(\omega')^2}{u^2 \cos^2 \phi} = 0$$

invullen van de getalwaarden levert :

$$k^2 - 21.56 k + 9.76 = 0$$

$$\rightarrow k = 0.46 \text{ rad/m}$$

De golflengte bedraagt nu : $L' = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{0.46} = 13.46 \text{ m}$.

Indien de stroom tegen de golven in beweegt met een snelheid $u = 0.8$ m/s dan levert dit op, ingevuld in bovenstaande tweedegraads vergelijking :

$$k^2 - 9.06 k + 9.76 = 0$$

$$\rightarrow k = 1.27 \text{ rad/m}$$

De golflengte bedraagt in dit geval $L' = \frac{2\pi}{1.27} = 4.95 \text{ m}$.

We dienen nu na te gaan hoe de energie van de golven met een frequentie gelijk aan de eigenfrequentie van het platform (0.39 Hz) verandert tengevolge van een veranderde golflengte.

Hiertoe wordt op twee manieren gekeken naar de maximale holghoogte-golflengte verhouding van de golven, namelijk :

Ten eerste via het criterium van breken van golven van Miche. Vervolgens met behulp van de theorie van Phillips (literatuuropgave ref. 9) aangaande het verzadigingsniveau in het golfspectrum afhankelijk van het golfgetal k .

Daarnaast zal worden gekeken of de verschoven golflengten middels het mogelijke optreden van diffractie een rol spelen voor de coëfficiënten in het krachtspectrum.

7.3.3 Breken van golven

Voor het breken van periodieke, vormvaste golven geldt algemeen het criterium van Miche :

$$\frac{H_{\max}}{L} = 0.142 \tan h(kd)$$

In diep water, waar in dit geval van mag worden uitgegaan wanneer we kijken naar de golven in de buurt van de 0.4 Hz ($d/L \approx 3$), reduceert de formule tot

$$\frac{H_{\max}}{L} = 0.142$$

Wanneer we nu achtereenvolgens het geval met stroom ($U = 0.8$ m/sec) mee, zonder stroom en met stroom tegen bekijken, dan vinden we :

1. $U = 0.8 \text{ m/sec}$, $f = 0.39 \text{ Hz}$
 $L = 13.46 \text{ m} \rightarrow H_{\text{max}} = 1.9 \text{ m}$
2. $U = 0$, $f = 0.39 \text{ Hz}$
 $L = 9.76 \text{ m} \rightarrow H_{\text{max}} = 1.4 \text{ m}$
3. $U = -0.8 \text{ m/sec}$, $f = 0.39 \text{ Hz}$
 $L = 4.95 \text{ m} \rightarrow H_{\text{max}} = 0.7 \text{ m}$

We constateren een groot verschil in maximale golfhoogte. Wanneer we nu kijken naar de verhouding tussen de oppervlakte-energieën in het geval van stroom mee en stroom tegen :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{1}{8} \rho g H_1^2}{\frac{1}{8} \rho g H_2^2} = \frac{(1.9)^2}{(0.7)^2} = 7.163$$

7.3.4 Verzadigingsniveau van het k-spectrum

Aan de hand van het artikel van O.M. Phillips (zie literatuurlijst ref. 8) kan een schatting gemaakt worden van de verhouding tussen de energieën van golven met stroom mee en met stroom tegen.

Het golfgetalspectrum heeft de volgende vorm :

$$\psi(k) = \beta (\cos \theta)^p u_x g^{-\frac{1}{2}} k^{-\frac{7}{2}}$$

met :

- $\psi(k)$ = golfgetalspectrum
- k = golfgetal ($= 2\pi/\lambda$)
- u_x = schuifspanningssnelheid
- θ = hoek tussen golfrichting en windrichting
- p = vormfactor, hier $p \sim 1/2$
- g = zwaartekrachtsversnelling
- β = numerieke constante

Wanneer we nu het spectrum bekijken in één richting, dan is de volgende uitdrukking geldig :

$$\chi(k_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(k) \, dk_2$$

waarin :

- k_1 = golfgetal in de beschouwde richting
- $k_2 = k_1 \tan \theta$ (θ = hoek golfrichting en wind)

$\beta?$

warm? ?

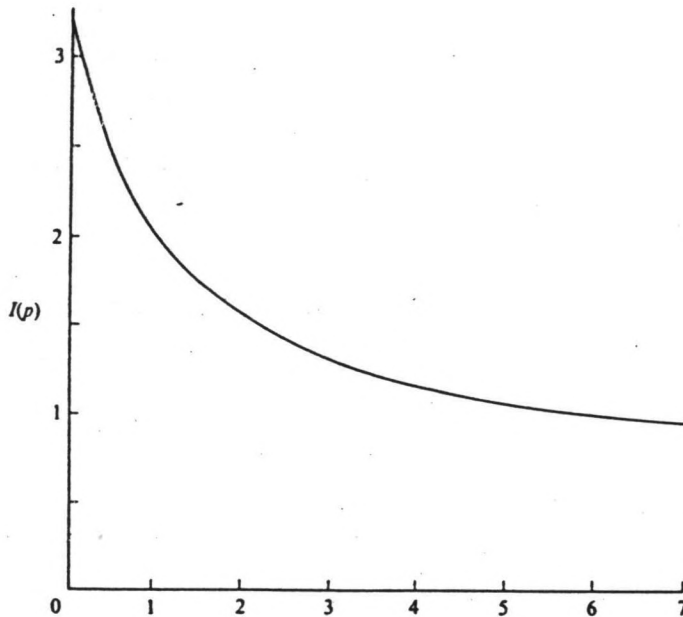
in windrichting?

Bovenstaande integraal voor het spectrum in een richting levert op :

$$\begin{aligned} \text{voor } \theta = 0, 2\pi: \chi(k_1) &= I(p + 3/2) \beta u_x g^{-1/2} k_1^{-5/2} \\ &= \pi/2 : \chi(k_1) = B(1/2(p+1), 5/4) \beta u_x g^{-1/2} k_1^{-5/2} \end{aligned}$$

$\beta ?$
 $B ?$

$$I(p) = \int_{-\frac{1}{2}\pi}^{\frac{1}{2}\pi} (\cos \theta)^p d\theta = B(1/2, 1/2(p+1))$$



figuur 7.1 - Verloop van $I(p)$

Nu kan de verhouding tussen de maximale energieën van stroom mee en stroom tegen worden bepaald. Deze is :

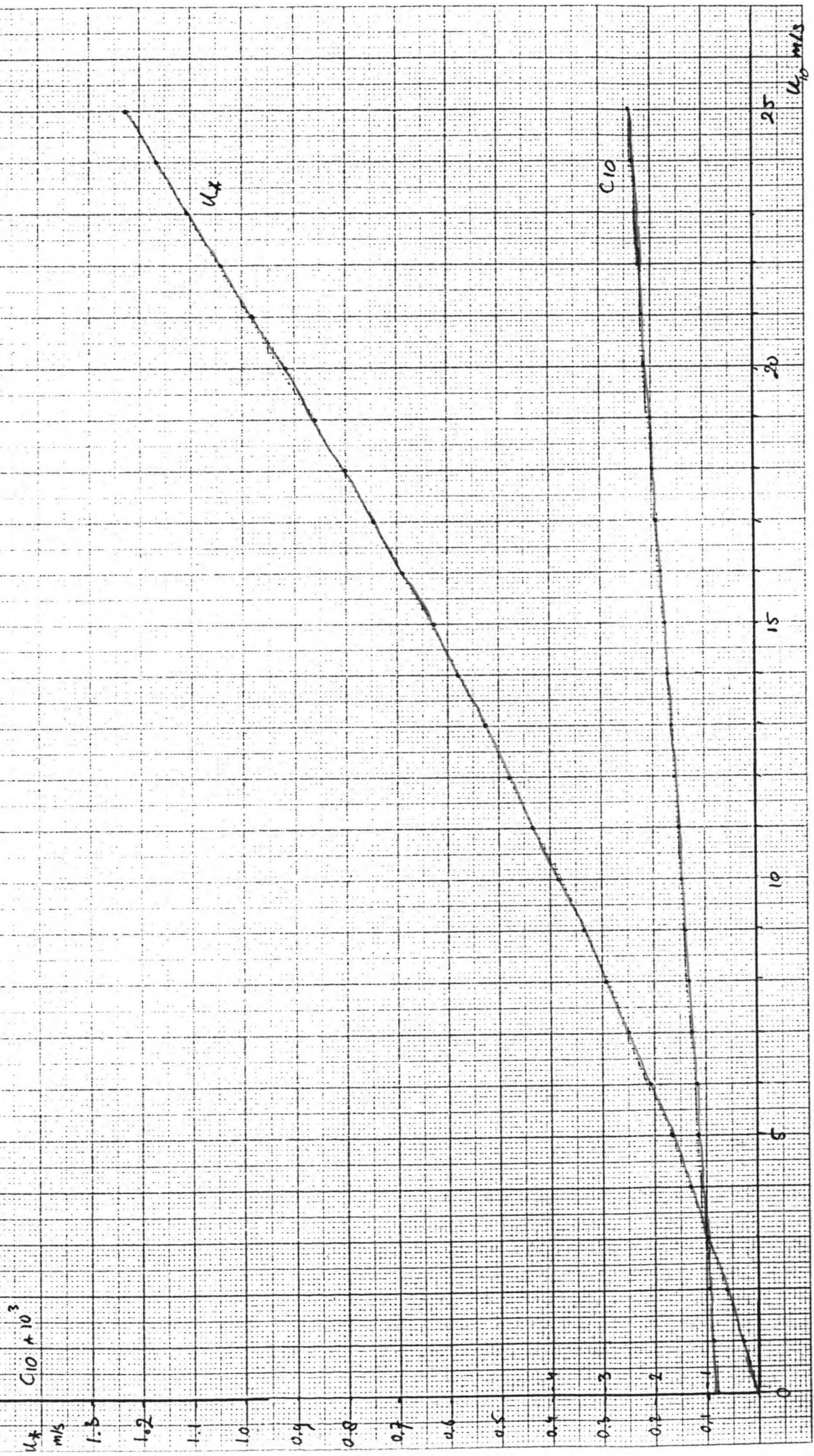
$$\frac{U_{x_2} \lambda_1^{-5/2}}{U_{x_1} \lambda_2^{-5/2}}$$

met : λ = golflengte

1 = stroom tegen

2 = stroom mee

$$\rightarrow \frac{U_{x_2}}{U_{x_1}} * \frac{(13.46)^{+5/2}}{(4.95)^{+5/2}} = 12.19 * \frac{U_{x_2}}{U_{x_1}}$$



Figuur 7.2 - Schuifspanningssnelheid als functie van de windsnelheid

Boven ingevulde waarden voor de golflengte zijn de waarden van de golflengten voor de resonante golven in de gevallen van stroom tegen en stroom mee, uitgaande van $U = 0.8 \text{ m/s}$.

De verhouding U_{x_1}/U_{x_2} is grafisch te bepalen met behulp van figuur 7.2. Deze grafiek is een weergave van de door Charnock gegeven relatie voor de schuifspanningssnelheid :

$$U_x = [c_{10}]^{1/2} U_{10}$$

$$= U_{10} [(0.8 + 0.065 U_{10}) \cdot 10^{-3}]^{1/2}$$

NB : U_{10} = windsnelheid op 10 meter ^{m/s} boven het zeeniveau.

Uitgaande van een stroomsnelheid $U = 0.8 \text{ m/s}$ vinden we :

windsnelheid (m/s)	U_{x_2} (stroom mee) in m/s	U_{x_1} (stroom tegen) in m/s
2	0.04	0.09
5	0.14	0.20
10	0.34	0.42
20	0.87	0.97

De energieverhouding voor de resonante golven bedraagt nu :

$$U_{10} = 2 \text{ m/s} \rightarrow E_2/E_1 = 5.33$$

$$U_{10} = 5 \text{ m/s} \rightarrow E_2/E_1 = 8.40$$

$$U_{10} = 10 \text{ m/s} \rightarrow E_2/E_1 = 9.70$$

$$U_{10} = 20 \text{ m/s} \rightarrow E_2/E_1 = 10.80$$

en toen?

7.3.5 Invloed van diffractie

In deze paragraaf zal worden gekeken naar de invloed, die door middel van de veranderende golflengte op het krachtenspectrum wordt uitgeoefend.

Diffractie wordt in rekening gebracht middels het corrigeren van de C_m -waarde. Er mag in het onderhavige geval van uit worden gegaan dat

de Morisonkracht op de paal wordt overheerst door de traagheidskracht, omdat de sleepkracht verwaarloosbaar klein is (het bewijs hiervan wordt later geleverd in paragraaf 7.5).

De effectieve traagheidscoëfficiënt C_m wordt gegeven door Chakrabarti en Tam (zie literatuurlijst ref. 12) :

$$C_m = \frac{4 A(ka)}{\pi (ka^2)}$$

$$A(ka) = \frac{1}{[J_1'^2(ka) + Y_1'(ka)]^{1/2}}$$

k = golfgetal

a = straal van de cylinder

J en y zijn afgeleiden van Besselfuncties van de eerste en tweede soort.

De uitdrukking is geldig voor golven met kleine amplitude, aangezien niet-lineaire termen in de Navier-Stokes vergelijking niet worden meegenomen.

De diffractie begint bij $ka \sim 0.5$ of $D/L \sim 0.15$. De waarde van C_m daalt van 2.0 tot een waarde van 0.2 bij $ka = 4$.

We nemen nu de situatie van windgolven met stroom mee, stroom tegen en de situatie zonder stroom in ogenschouw, waarbij we uitgaan van golven met een frequentie van 0.39 Hz.

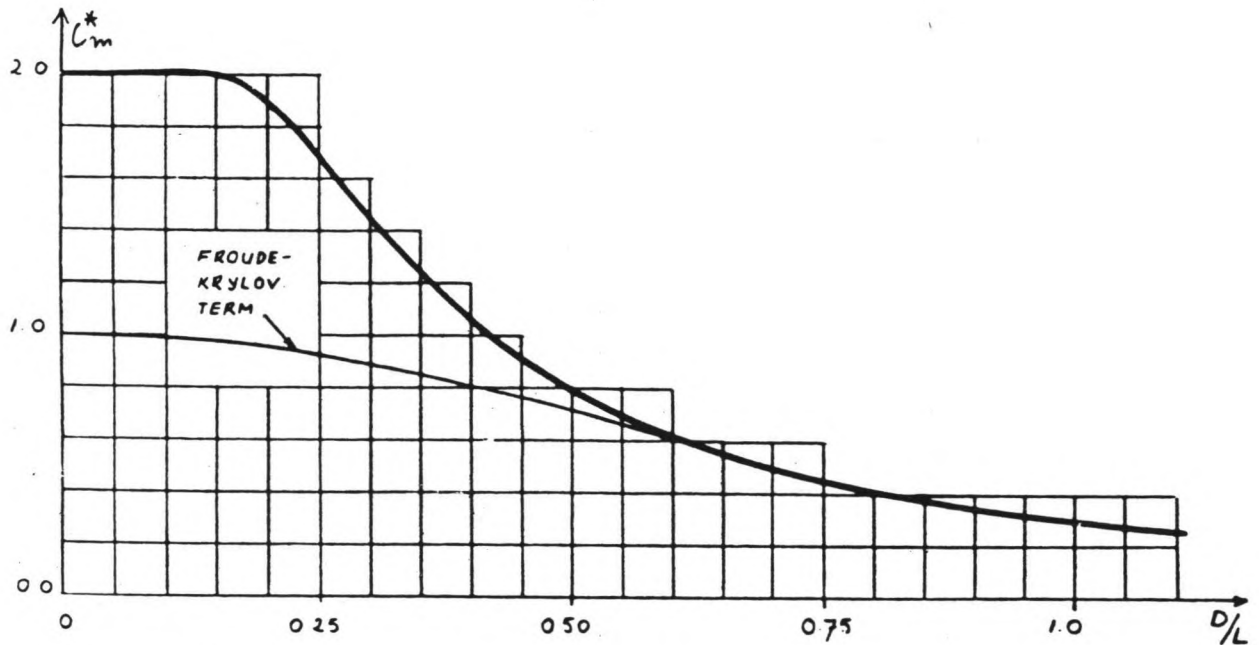
a. stroom mee $D/L = 1.5/13.46 = 0.111$

b. geen stroom $D/L = 1.5/9.76 = 0.154$

c. stroom tegen $D/L = 1.5/4.95 = 0.303$

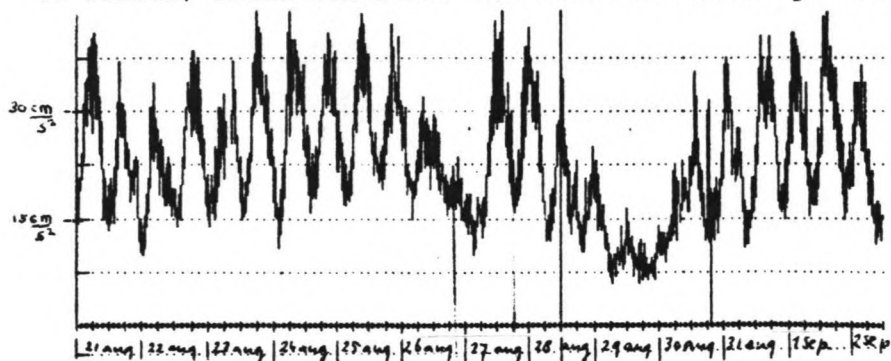
In het geval van stroom tegen de golven in is de invloed van diffractie merkbaar. De C_m coëfficiënt bedraagt nu 1.45 (zie figuur 7.3). Zonder stroom en met stroom mee bedraagt C_m 2.

De trillingsenergie is nu in het geval van stroom tegen een factor $(1.45)^2/(2)^2 \approx 0.5$ kleiner dan in de situatie zonder stroom en in de situatie waarin stroom en golven dezelfde richting hebben.



figuur 7.3 - Traagheids coëfficiënt afhankelijk van verhouding
paaldiameter - golflengte

We kunnen deze waarde(n) nu voegen bij de eerder in paragraaf 7.3.2 en 7.3.3 gevonden waarden. We vinden dan, afhankelijk van de windsnelheid, een factor 10 - 20 voor de energieverhoudingen in de gevallen van stroom mee en stroom tegen de golven in. Dit houdt in voor de E_v 0.2-0.5 een verhouding van $\pm 3.2 - 4.5$ tussen de pieken en de dalen. In werkelijkheid bedraagt de verhouding tussen de piek- en dalwaarden een factor 2 - 2.5 (zie figuur 7.4). In de theoretische beschouwing wordt echter uitgegaan van een ideale situatie, die in werkelijkheid nooit optreedt. Het verschil lijkt dan echter nog te groot om alleen hierdoor verklaard te worden, zodat een nader onderzoek noodzakelijk is.



figuur 7.4 - Verschil pieken - dalen factor 2 à 2.5

7.4 Overshoot

Voordat zal worden ingegaan op het overshoot verschijnsel zal eerst worden ingegaan op golfspectra.

7.4.1 Stochastisch golfmodel

De uitwijking van het zeeoppervlak wordt aangenomen als een stochastisch proces in de tijd met een Gaussische kansdichtheidsverdeling. De frequentie afhankelijke variantie van de uitwijking van het zeeoppervlak wordt beschreven door een golfspectrum. Er bestaat een verband tussen variantie en energie :

$$E_p = \frac{1}{2} \rho g \overline{\eta^2} = \frac{1}{2} \rho g \text{ var } (\underline{\eta})$$

E_p = gemiddelde potentiële energie per eenheid van oppervlakte [J/m^2]

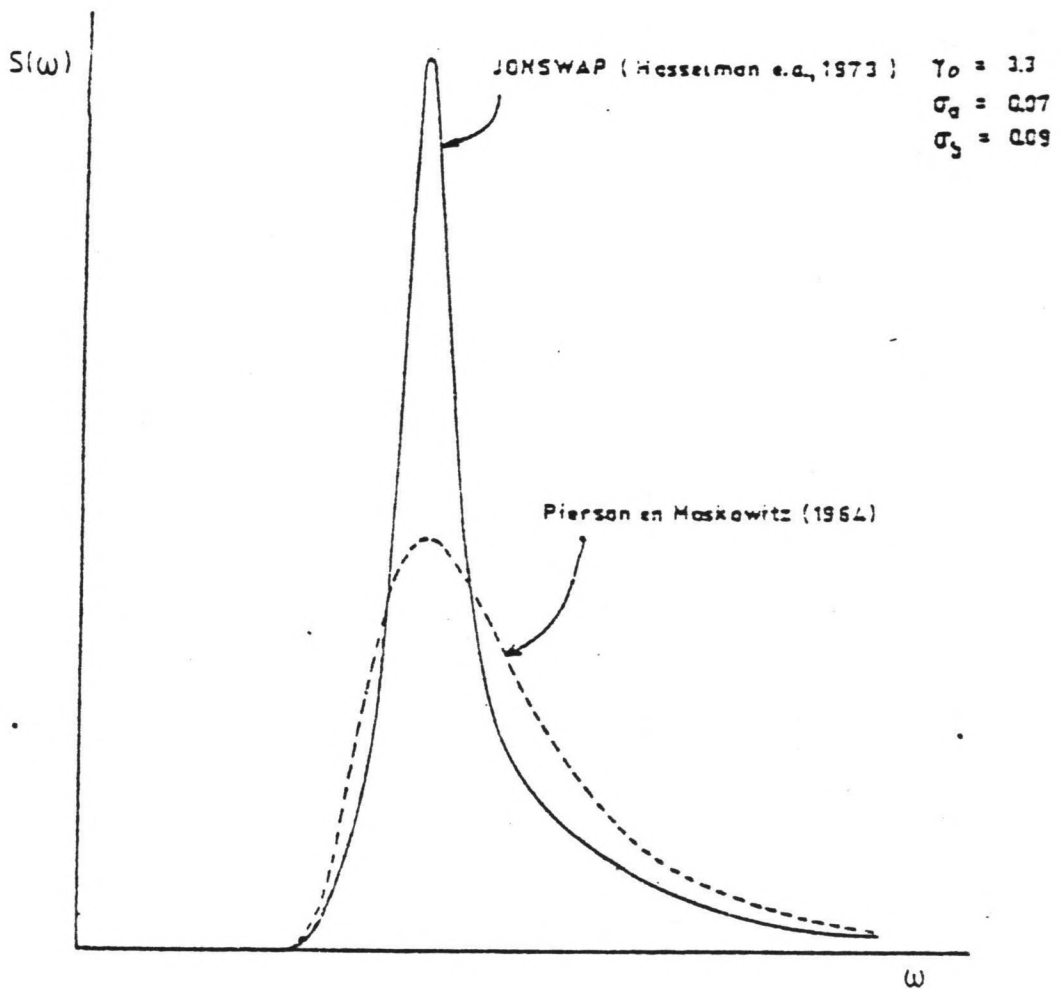
η = oppervlakte-uitwijking uit de middenstand in windgolven.

Deze nauwe relatie tussen variantie en energie heeft ertoe geleid dat de naam "variantie" veelvuldig door "energie" is vervangen. Zo spreekt men in de praktijk over energiespectrum in plaats van over variantiespectrum.

Er zijn verschillende empirische uitdrukkingen voor golfspectra beschikbaar, bijvoorbeeld :

- a. Pierson-Moskowitz spectrum
- b. JONSWAP spectrum

Beiden worden in figuur 7.5 weergegeven.



figuur 7.5 - Voorbeelden van golfspectra

De Noordzeecondities worden goed beschreven met het JONSWAP spectrum, dat gegeven wordt door :

$$E(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_m} \right)^{-4} \right] \gamma^a$$

$$a = \exp \left[-(f - f_m)^2 / 2 \sigma^2 f_m^2 \right]$$

$$\sigma = 0.07 \text{ voor } f \leq f_m$$

$$= 0.09 \text{ voor } f > f_m$$

$$\alpha = 0.076 F^{-0.22}$$

$$\tilde{f}_m = 3.5 \tilde{F}^{-0.33}$$

$\tilde{f}_m$ = dimensieloze piekfrequentie*

$\tilde{F}$ = dimensieloze strijklengthe**

γ = vormparameter, waarvoor een gemiddelde van 3.3 mag worden aangenomen.

* De dimensieloze piekfrequentie wordt gegeven door :

$$\tilde{f}_m = \frac{U \cdot f_m}{g}$$

f_m = piekfrequentie

U = windsnelheid (op 10 meter boven het wateroppervlak)

** De dimensieloze strijklengthe (fetch) wordt gegeven door :

$$\tilde{F} = \left(\frac{\tilde{f}_m}{3.5} \right)^{-\frac{1}{0.33}}$$

minu?
 gesteld

De strijklengthe (F) is :

$$F = \tilde{F} \cdot \frac{U^2}{g}$$

$$t_{eq} = \frac{F}{c_g}$$

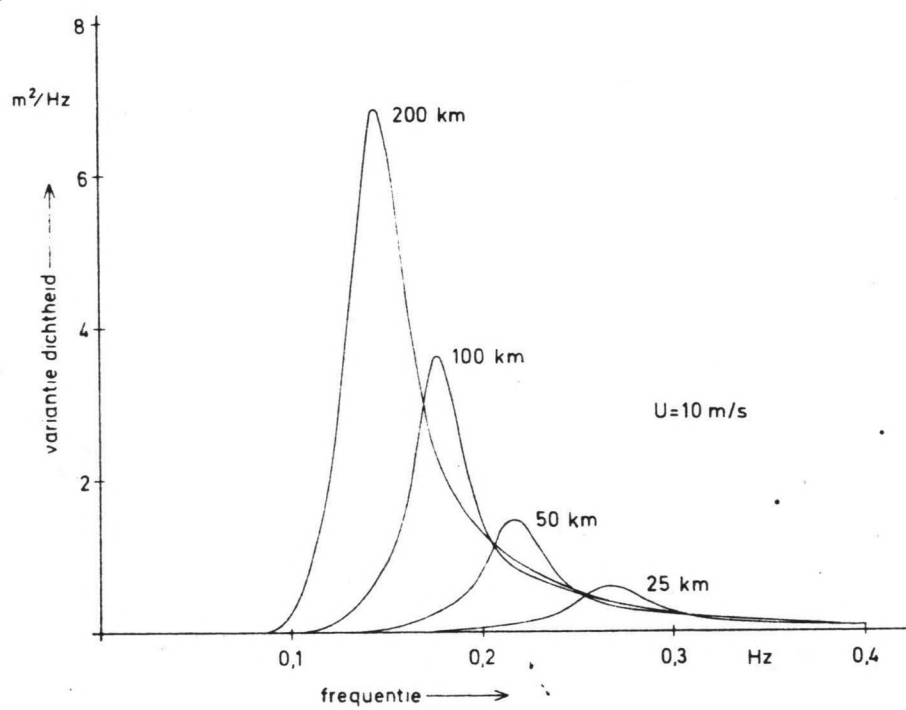
t_{eq} = equivalente tijdsduur

c_g = groepssnelheid van de golven

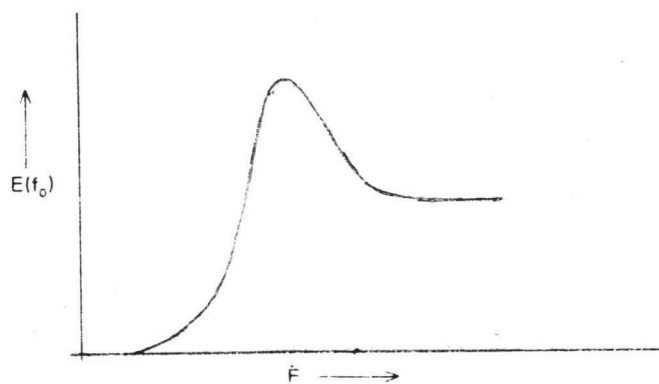
7.4.2 Invloed overshoot

Overshoot is het verschijnsel dat bij het ontwikkelen van een zeegangs-spectrum (zie figuur 7.6), uitgaande van een constante windsnelheid en windrichting, de energiedichtheid van een bepaalde frequentie eerst toeneemt en vervolgens weer afneemt naar een constante limietwaarde (zie figuur 7.7).

Overshoot kan mogelijk een verklaring geven voor het feit, dat de paal soms bij rustige zeegang in veel hevigere trilling komt dan bij vol-groeide zeegang met hogere golven.



figuur 7.6 - Ontwikkeling van het frequentiespectrum



figuur 7.7 - Ontwikkeling van de energiedichtheid van een golfcomponent als functie van de tijd

Men kan een indruk krijgen van het belang van de overshoot aan de hand van de zogenaamde overshootfactor. Deze overshootfactor (R) geeft voor een bepaalde frequentie de verhouding van de maximale energiedichtheid tot de energiedichtheid in de limietwaarde aan (zie figuur 7.7), ofwel

$$R = (f_o, \tilde{F}) = \frac{E(f_o, \tilde{F})_{\max}}{E(f_o, \infty)}$$

De overshootfactor kan nu bepaald worden voor de ontwikkeling van het JONSWAP spectrum. Als spectrum voor de volgroeide situatie wordt het Pierson-Moskowitz spectrum gebruikt

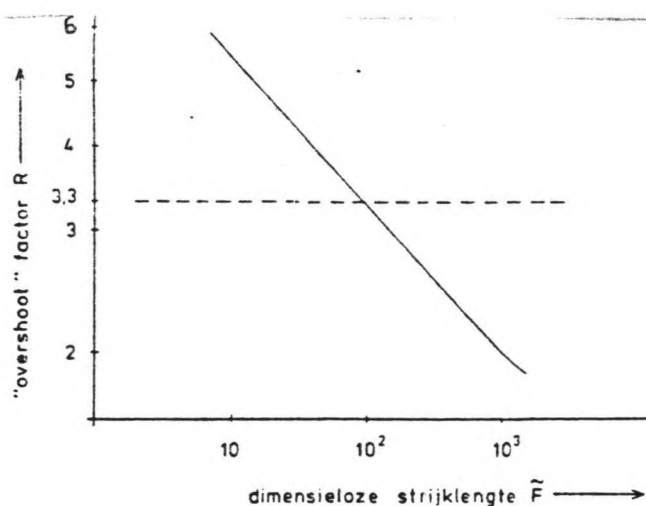
$$E(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_m} \right)^{-4} \right]$$

met in de volgroeide situatie : $\alpha = 0.0081$ en $\tilde{f}_m = 0.13$

De overshootfactor is als functie van de dimensieloze strijklengete weer te geven door de volgende vergelijking (uit Holthuijsen, zie literatuurlijst ref 11) waarbij verondersteld wordt dat de maximale energiedichtheid optreedt voor $f = f_m$:

$$R(\tilde{F}) = \frac{0.076 \tilde{F}^{-0.22}}{0.0081} \cdot 3,3 \exp \left[1,25 \left\{ \left(\frac{3,5 \tilde{F}^{-0.33}}{0.13} \right)^{-4} - 1 \right\} \right]$$

Deze functie is voor $10 < \tilde{F} < 10^3$ getekend in figuur 7.8.



figuur 7.8 - Overshootfactor als functie van de dimensieloze strijklengete (overgenomen uit: "Methoden voor golfvoorspelling", literatuuropgave, ref. 11).

De overshoot factor is bepaald voor een piekfrequentie gelijk aan de eigenfrequentie van het platform = 0.39 Hz en voor drie verschillende windsnelheden, nl. 5 m/s, 10 m/s en 21.6 m/s. De resultaten staan weergegeven in tabel 7.1.

U	f_m	$\tilde{f}_m$	$\tilde{F}$	F	t_{eq}	overshoot factor
5 m/s	0.4 Hz	0.204	5515	14 000 m	120 min	1.6
10 m/s	0.4 Hz	0.408	675	7 000 m	59 min	2.2
21.6 m/s	0.4 Hz	0.881	65	3 000 m	27 min	3.2

Tabel 7.1 - Overshootfactor

Aangezien de gegevens zijn opgeslagen in de vorm van 10 minuten gemiddelden en de t_{eq} ten opzichte hiervan vrij kort is, is het moeilijk om de resultaten van de berekening met de meetgegevens te vergelijken. Bovendien is op zee bijna nooit sprake van een ideale situatie, dat wil zeggen van een vlakke zee waarover een constante wind gaat waaien, zoals voor de berekening wordt verondersteld. Verder is geen golf-richtingsspectrum beschikbaar, wat voor een goede analyse onmisbaar is.

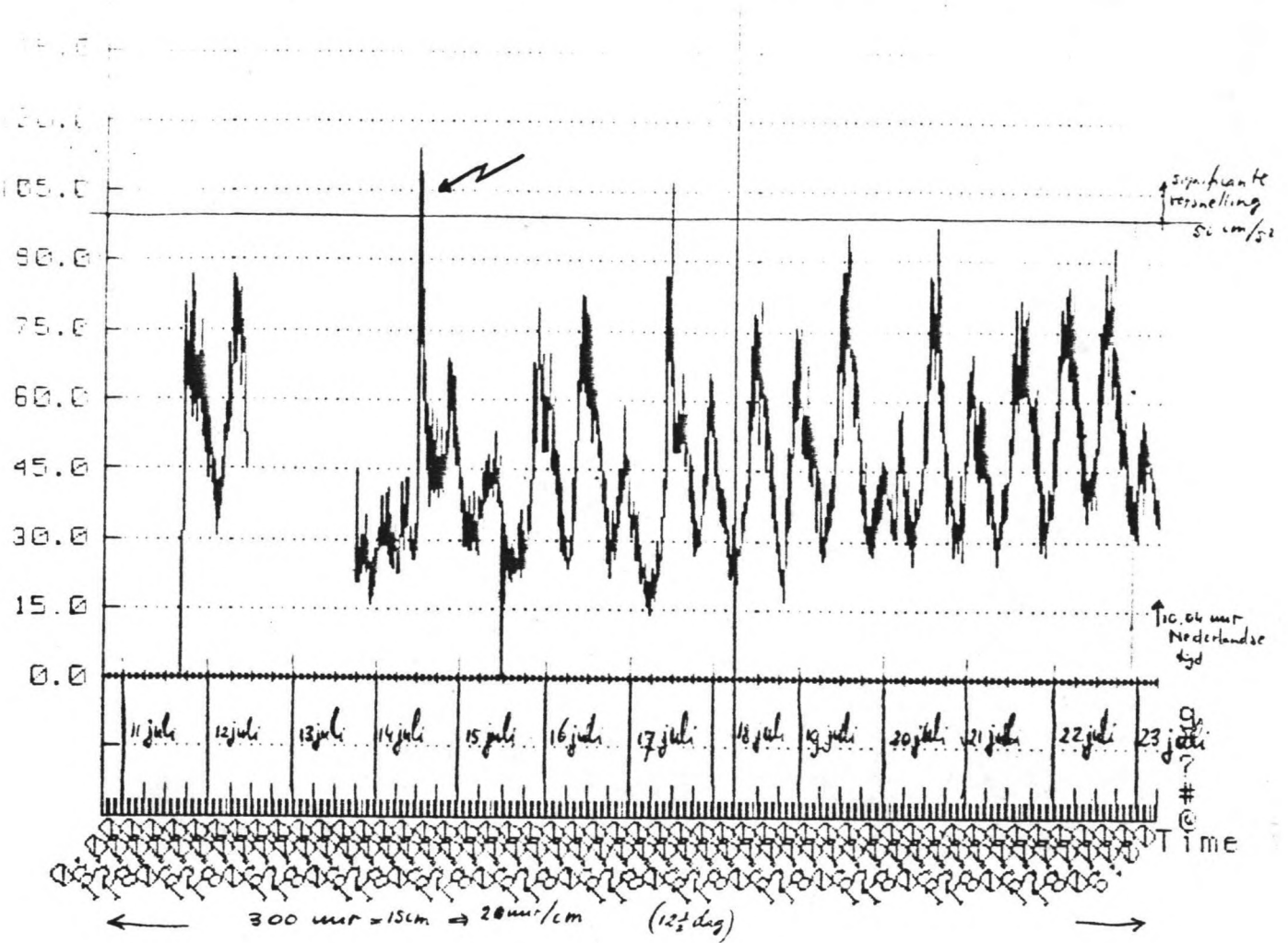
In figuur 7.10a en b wordt de ontwikkeling van het energiedichtheids-spectrum getoond voor een periode waarin een zeer scherpe piek in de versnellingen waarneembaar is (zie figuur 7.9 : de versnellingspiek van 14 juli).

Te zien valt hoe de piek van het golfspectrum in de tijd verschuift naar lagere frequenties (7.10b). Het overshoot verschijnsel kan worden waargenomen.

Overshoot kan hier een verklaring geven voor het optreden van de scherpe piek in de versnellingen. De paal komt in hevige trilling wanneer de top van het spectrum de eigenfrequentie van de paal "passeert". Deze theorie stemt overeen met de in paragraaf 6.4 getoonde waarnemingen.

verm. piek ca 13.00 u
overshoot piek ca 13.50 u
14 juli
14 juli
7

GP 05/ 23-JUL-85



Figuur 7.9 - Versnellingspiek 14 juli

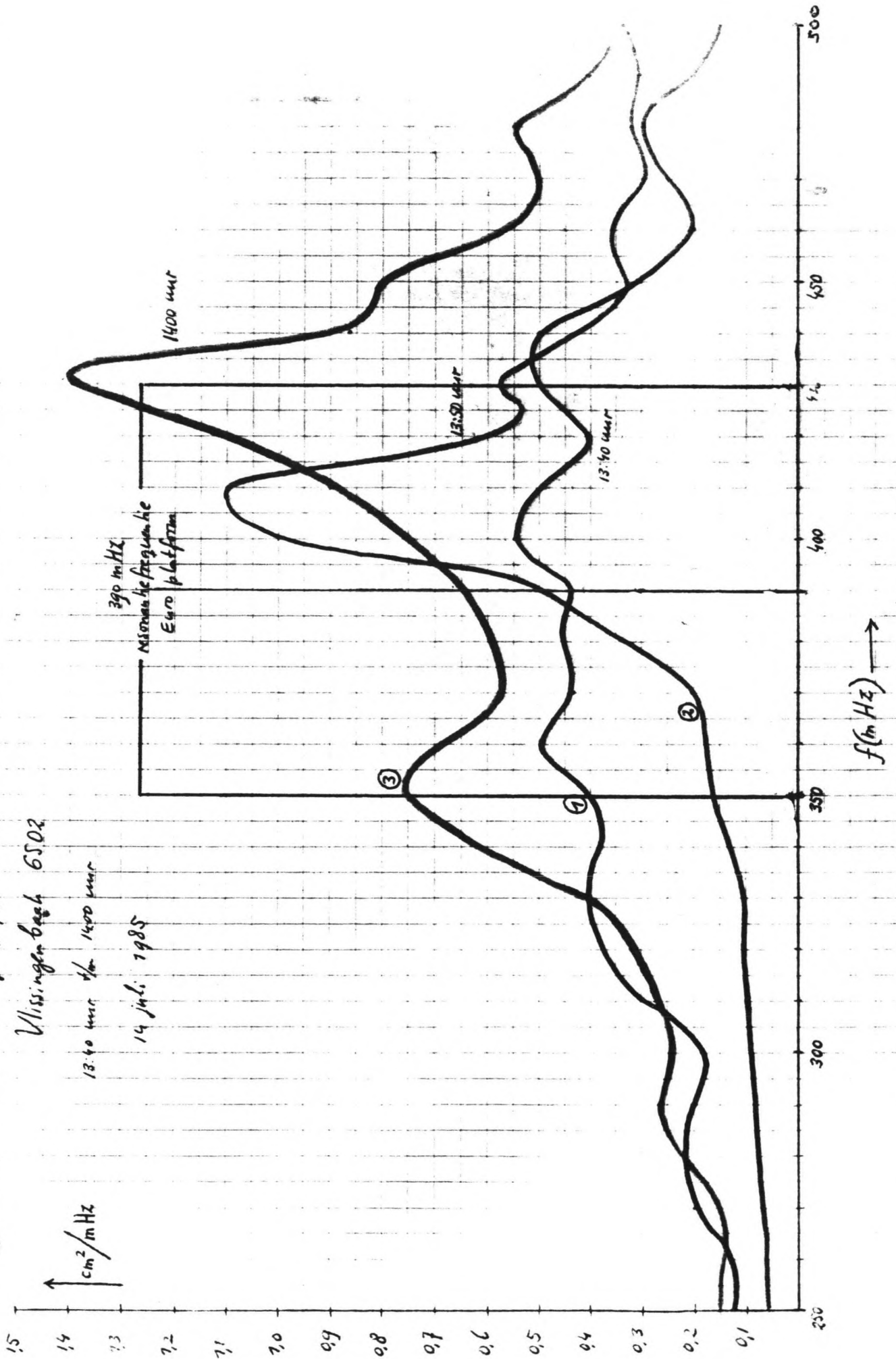
figuur 7.10: Ontwikkeling zelfspektrum

Vlissingen bach 6502

13:40 uur t/m 1400 uur

14 juli 1985

cm^2/mHz



7.10 g

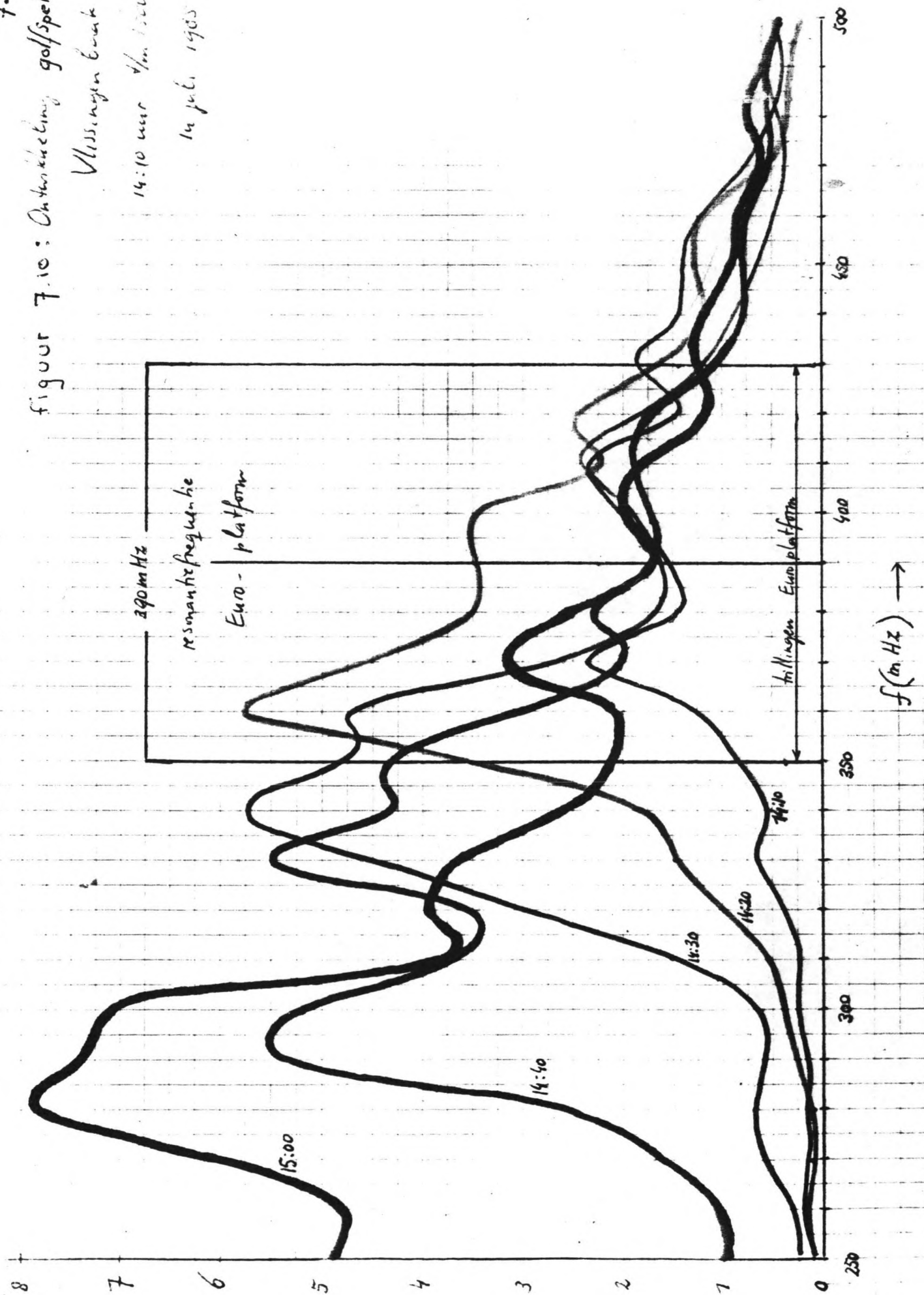
7.10 b

figuur 7.10: Ontwikkeling golf spectrum

Vlissingen Eura 3502

14:10 uur 4m 1500 m

14 juli 1903



7.5 Morisonkracht

In paragraaf 6.9 werd via de correlaties een lineair verband gevonden tussen de energie van de golven (met een frequentie gelijk aan de eigenfrequentie van het platform) en de trillingsenergie van het platform. In deze paragraaf zal gekeken worden of dit overeenkomt met de theorie. Dit zal gebeuren aan de hand van de formule van Morison.

In het algemeen kan de kracht op een cilindervormige paal tengevolge van golven of tengevolge van stroming en golven berekend worden met behulp van de vergelijking van Morison :

$$f(t) = C_m \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \rho \frac{dU}{dt} + C_D \cdot D \cdot \frac{1}{2} U |U|$$

Deze vergelijking is geldig wanneer de paal in rust is. Wanneer we echter de beweging van de paal meenemen in de Morison vergelijking, dan wordt de kracht (aangenomen dat de paal heeft een: verplaatsing x , snelheid $\dot{x}$ en versnelling $\ddot{x}$ in de richting van de stroom (en/of golven) en dat de diffractie te verwaarlozen is), volgens Sarpkaya (zie literatuur-opgave ref. 1):

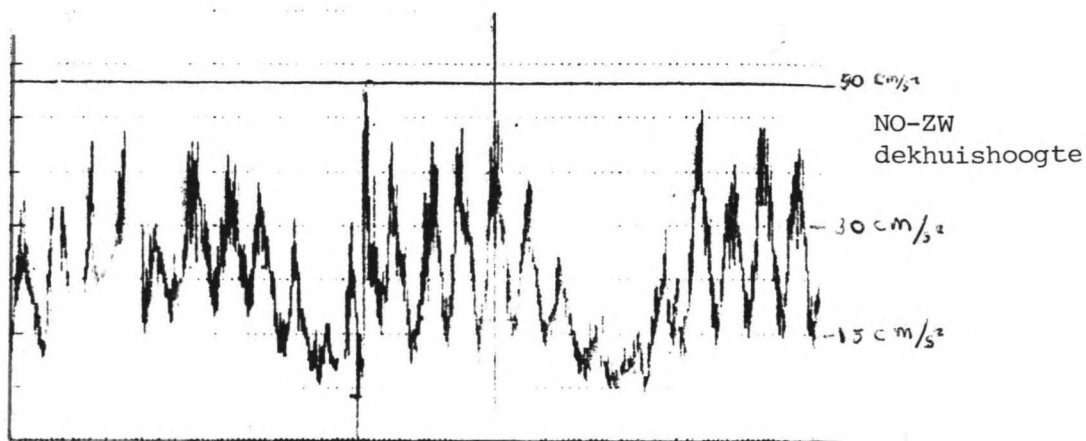
$$f(t) = C_m \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \rho \left[\frac{\partial U}{\partial t} + (U - \dot{x}) \frac{\partial U}{\partial x} \right] - C_a \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \rho \ddot{x} + C_D \cdot D \cdot \frac{1}{2} (U - \dot{x}) |U - \dot{x}|$$

$$\text{NB: } C_m = C_a + 1$$

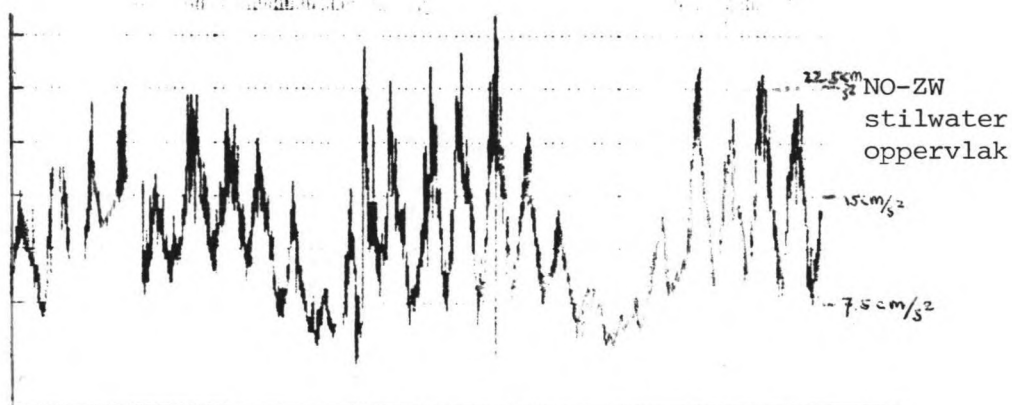
Nu dient te worden nagegaan of in het geval van het Europlatform de beweging van de paal te verwaarlozen is.

De versnellingen die gemeten zijn, lopen bij niet extreme pieken op tot ongeveer 40 cm/s^2 . Deze waarde wordt echter gegeven door een versnellingsmeter op dekhuishoogte. Ter hoogte van het wateroppervlak liggen de waarden voor de versnellingen ongeveer de helft lager (dit blijkt uit enkele voorhanden zijnde registraties van de versnellingen van de paal juist boven het wateroppervlak, zie figuur 7.11). De versnellingen bedragen hier dan maximaal 20 cm/s^2 .

significante
versnellingen



significante
versnellingen



Figuur 7.11 - Verschillende uitslagen versnellingsmeters op stil-water-oppervlak en dekhuis hoogte.

De versnellingen van golven met een frequentie gelijk aan de eigenfrequentie van de paal ($= 0.39 \text{ Hz}$) bedragen, wanneer wordt uitgegaan van een golfhoogte van 0.5 m : $\ddot{u} = 1.6 \text{ m/s}^2$.

De versnellingen van de paal mogen als te verwaarlozen worden beschouwd ten opzichte van de versnellingen van de golven.

Wanneer nu echter gekeken wordt naar de versnellingspieken, dan lopen de maximale versnellingen op tot $\pm 100 \text{ cm/s}^2$ op dekhuis hoogte, dat wil zeggen tot ongeveer 50 cm/s^2 op het wateroppervlak. In deze extreme gevallen zijn de versnellingen van de paal niet te verwaarlozen ten opzichte van de waterversnellingen, zodat deze nu in de vergelijking van Morison moeten worden ingevoerd, waardoor de kracht afneemt.

We kunnen kijken hoe de beide termen in de vergelijking van Morison zich verhouden voor golven met een frequentie gelijk aan de frequentie van de paal. We vinden voor de snelheid en de versnelling van de oppervlaktegolven, uitgaande van een golfhoogte $H = 0.5 \text{ m}$:

$$\hat{u} = \frac{2\pi \cdot H}{2T} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0.5}{2 \cdot 2.5} = 0.6 \text{ m/s}$$

$$\hat{\ddot{u}} = \hat{u} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T} = 0.6 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{2.5} = 1.6 \text{ m/s}^2$$

De verhouding tussen de termen is :

$$\frac{\text{traagheidsterm}}{\text{sleepterm}} = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 \rho C_M \hat{\ddot{u}} \Delta z}{\frac{1}{2} \rho D C_D |\hat{u}| |\Delta z|} = \frac{\pi \cdot D C_M \hat{\ddot{u}}}{2 C_D |\hat{u}|}$$

Voor de paaldiameter nemen we $D = 2.5 \text{ m}$, voor $C_M = 2.0$ en $C_D = 0.6$.

$$\frac{\text{traagheidsterm}}{\text{sleepterm}} = \frac{\pi \cdot 2.5 \cdot 2.0 \cdot 1.6}{2 \cdot 0.6 \cdot (0.6)^2} \cong 58$$

De traagheidsterm is dominant, we kunnen de sleepterm verwaarlozen.

*logisch want
H << D*

8. DYNAMICA

8.1 Inleiding

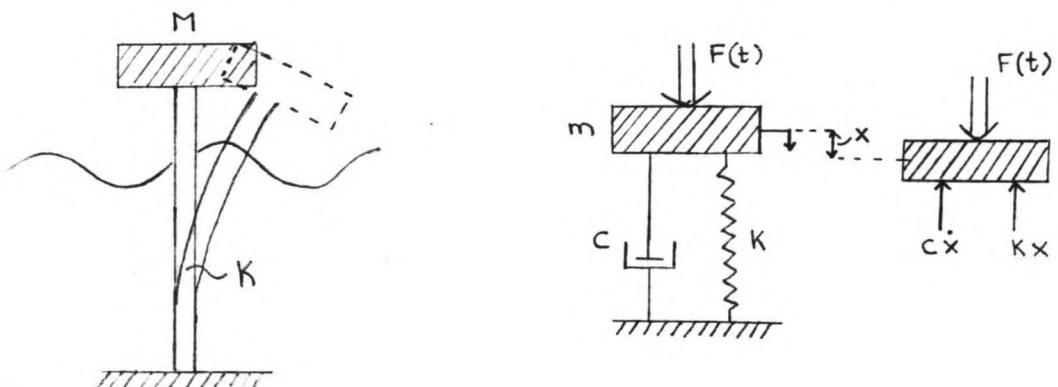
In paragraaf 7.5 is aangegeven hoe de golfkracht op de paal kan worden berekend met behulp van de formule van Morison. In het algemeen wordt de paal belast door een golfspectrum. In figuur 8.2 zal worden aangegeven hoe het golfspectrum kan worden "verwerkt" tot een versnellingspectrum van de paal.

In paragraaf 8.2 volgt een dynamische analyse van de paal, waarbij deze wordt geschematiseerd tot een één-massaveersysteem. Aan de hand van de vorm van de grafiek van de dynamische versterkingsfactor tegen de frequentie kan een schatting gemaakt worden voor de maximale dynamische versterkingsfactor.

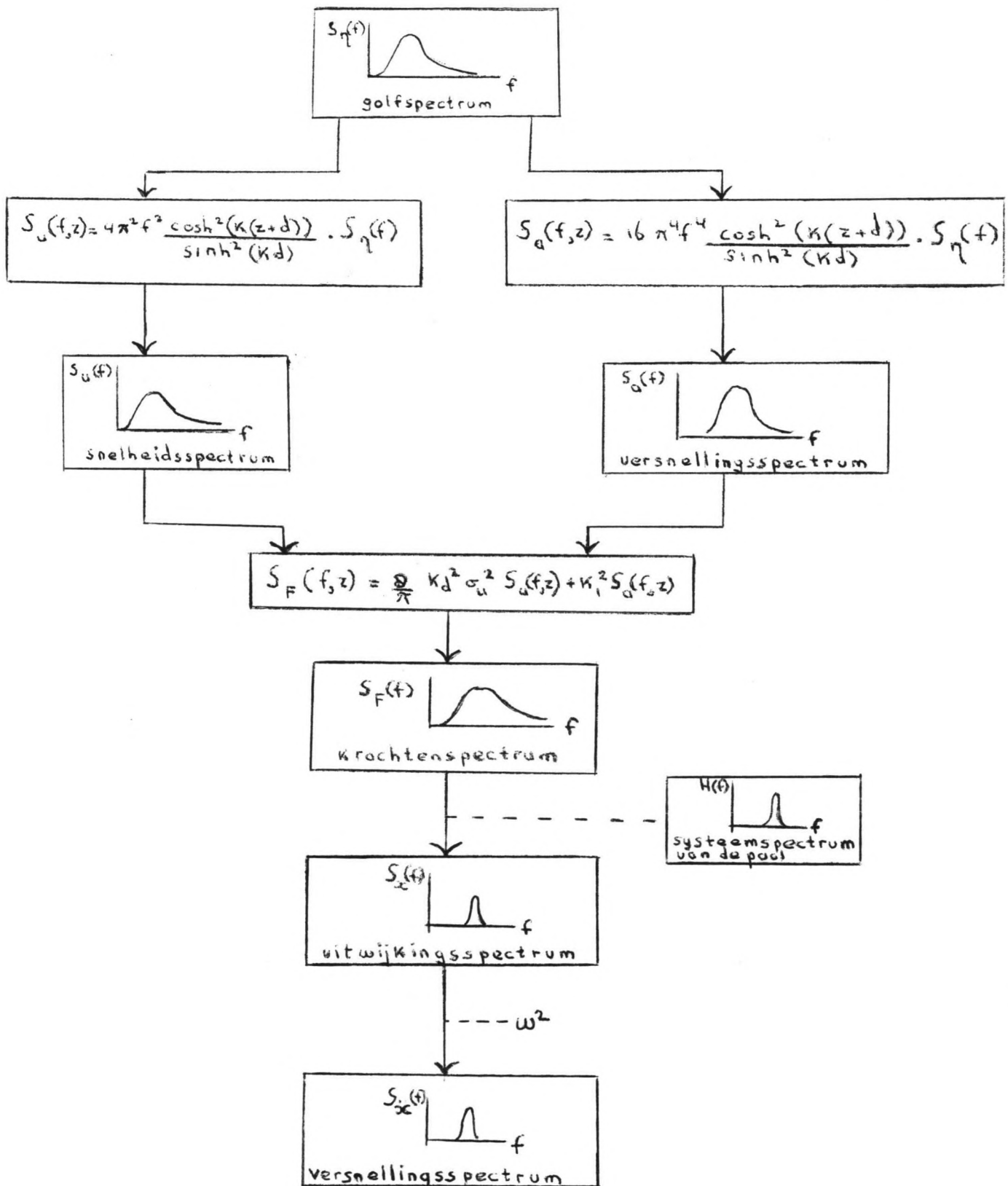
In paragraaf 8.3 wordt aangegeven uit welke onderdelen de damping bestaat, terwijl in paragraaf 8.4 een schatting voor de dynamische versterkingsfactor gemaakt zal worden aan de hand van de betrouwbare spectra van de versnellingen. Tevens wordt een schatting voor de dempingsfactor (β) gemaakt.

8.2 Dynamische versterkingsfactor

We kunnen de paal schematiseren tot een één massaveersysteem :



Figuur 8.1 - één massa veersysteem



Figuur 8.2 - Van golfspectrum naar versnellingsspectrum

Voor de paaluitwijking $x(t)$ geldt dan een lineaire 2e orde differentiaalvergelijking :

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} + kx = F(t)$$

m^* = totale massa

α = demping

k = stijfheid van de paal (N/m)

* De totale massa wordt geconcentreerd gedacht in één punt, d.w.z. de massa van het platform en een gedeelte van de paal.

Bij een sinusvormige kracht (golfbelasting) op de constructie vinden we voor de stationaire oplossing :

$$x = \hat{x} \sin (\omega t + \phi)$$

De uitwijking is sinusvormig met dezelfde frequentie als $F(t)$. De amplitude $\hat{x}$ van de uitwijking is afhankelijk van de hoekfrequentie ω :

$$\hat{x} = \frac{\hat{F}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + \alpha^2\omega^2}} = Y(\omega) \cdot \hat{F}$$

De dynamische vergrotingsfactor of opslingerfactor die in het vervolg zal worden aangegeven met DAF (Dynamic Amplification Factor) bedraagt :

$$DAF(\omega) = \frac{Y(\omega)}{Y(\omega=0)} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega}{\omega_0})^2 + 4\beta^2 (\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$$

met

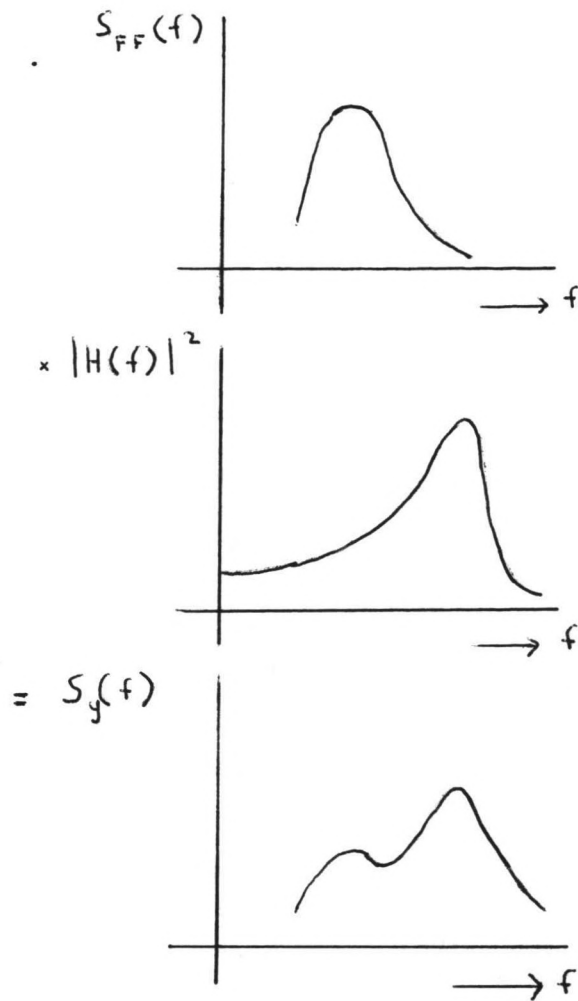
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha_{krit}} = \frac{\alpha}{2\sqrt{km}}$$

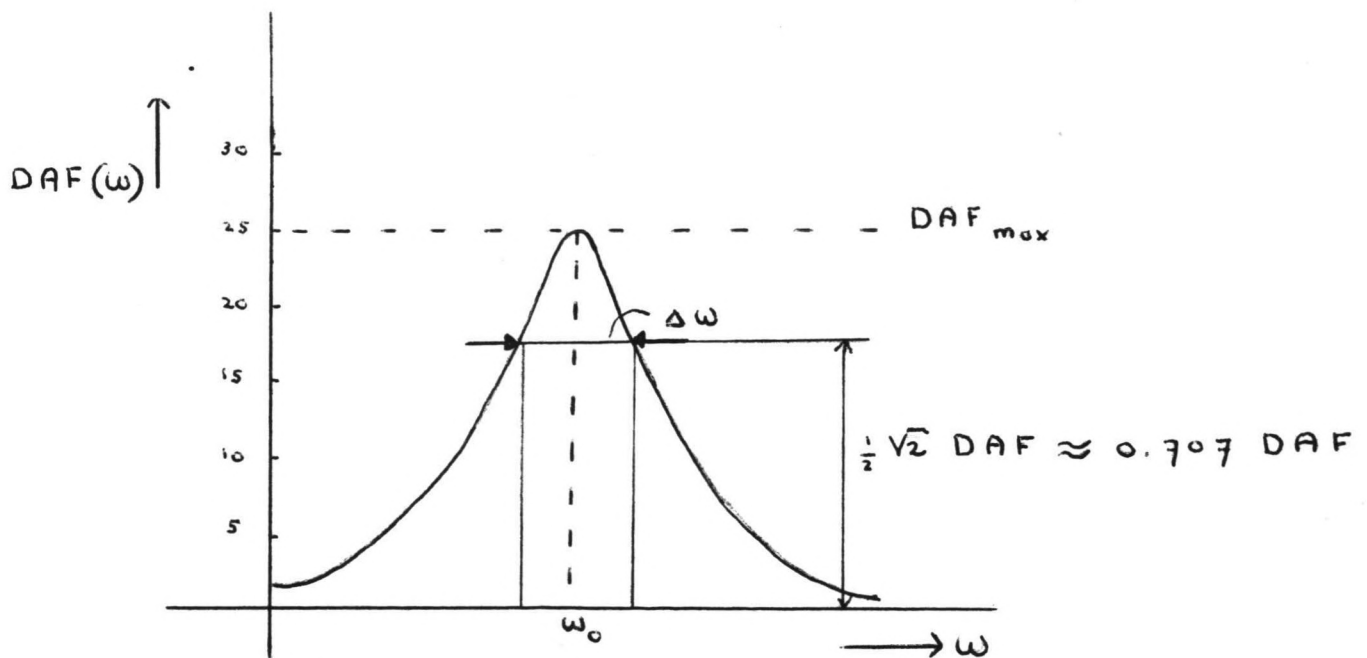
De maximale waarde van $DAF(\omega)$ treedt op voor $\omega = \omega_0^*$ zodat er geldt :

$$DAF_{max} \approx \frac{1}{2\beta}$$

* Voor $DAF \gg 1$



Figuur 8.3 - Van krachtsspectrum naar uitwijkingsspectrum



Figuur 8.4 - Weergave $DAF(\omega)$

Naarmate de relatieve damping β afneemt, wordt $DAF(\omega)$ steeds meer gepiekt en wordt de relatieve bandbreedte steeds kleiner. Voor de relatieve bandbreedte tussen de -3 dB punten (punten waar de waarde van $DAF(\omega)$ is afgenomen tot $\frac{1}{2} \sqrt{2}$ van de topwaarde) geldt ongeveer :

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} \approx 2\beta \approx \frac{1}{DAF_{\max}}$$

Derhalve kunnen we de maximale waarde van $DAF(\omega)$ bepalen aan de hand van de relatieve bandbreedte.

Indien het golfspectrum $Z(\omega)$ tamelijk vlak is rondom de resonantie frequentie, dan zal ook het krachtspectrum tamelijk vlak verlopen. In dat geval vertoont het uitwijkingsspectrum $X(\omega)$ hetzelfde verloop als $DAF(\omega)$. Voor het versnellingsspectrum $A(\omega)$ geldt : $A(\omega) = \omega^2 \cdot X(\omega)$ zodat ook $A(\omega)$ ongeveer hetzelfde verloop vertoont als $DAF(\omega)$ (vlakbij $\omega = \omega_0$).

8.3 Demping

De totale demping van het platform bestaat uit drie delen :

- a. gronddemping
- b. demping in de constructie
- c. hydrodynamische demping

ad a. Gronddemping wordt veroorzaakt door energiedissipatie in de grond, voornamelijk tengevolge van locale plastische vervormingen.

Gronddemping is ontwerp- en plaatsafhankelijk.

ad b. Deze demping bestaat uit energiedissipatie binnen de constructie zelf. Bij een monopodconstructie wordt deze demping niet groot verondersteld.

ad c. Hydrodynamische demping wordt voornamelijk veroorzaakt door golf-uitstraling door de paal. Ook kan de interactie tussen de paal en het water in de paal nog een bepaalde (kleine) demping veroorzaken.

8.4 Schatting DAF

Volgens de in paragraaf 8.2 aangegeven manier kan een schatting gemaakt worden voor de versterkingsfactor. Er dient vooraf echter opgemerkt te worden, dat aan de schatting voor de DAF geen vaste conclusies verbonden mogen worden, maar dat het meer gaat om een indicatie van de grootte van de DAF, vanwege de volgende punten :

1. Er zijn weinig betrouwbare spectra voorhanden (zie hoofdstuk 5).
Er dient te worden opgemerkt dat de aanwezig spectra echt duidelijk uiteen vielen in spectra met een betrouwbare vorm en spectra met een onbetrouwbare vorm.
2. Binnen de spectra is een bepaalde onnauwkeurigheid aanwezig door de keuze voor het oplossend vermogen. Hierdoor wordt de schatting via de aangegeven manier beïnvloed.

De beschikbare betrouwbare spectra geven redelijk overeenstemmende waarden te zien van de dynamische versterkingsfactor. Het gemiddelde hiervan bedraagt 30.2, de standaardafwijking 5.9.

Uit deze schatting van de DAF valt de dempingsfactor β te berekenen. Wanneer we de waarde van 30.2 voor de DAF aanhouden, dan volgt hieruit voor de dempingsfactor :

$$\beta = \frac{1}{2 \text{ DAF}_{\text{max}}} = 0.0166$$

De schatting van de versterkingsfactor komt in orde van grootte overeen met de waarden zoals die door Van der Hek (zie literatuurlijst ref. 10) worden gevonden, in vergelijkbare omstandigheden en voor een vergelijkbare constructie.

9. CONCLUSIES

In deze paragraaf zal een overzicht van de belangrijkste conclusies van deze studie naar het dynamisch gedrag van het Europlatform worden gegeven. De volgende conclusies kunnen worden getrokken :

1. De invloed van de windbelasting is te verwaarlozen.
2. De invloed van vortexshedding is te verwaarlozen.
3. De versnellingen van het platform worden veroorzaakt door golfbelasting, waarbij de paal wordt aangeslagen in de eigenfrequentie (resonantieverschijnsel).
4. De stroming veroorzaakt middels de Dopplerverschuiving variaties in de hoogfrequente energie van de golven, waardoor tevens trillingspieken ontstaan (periode : $\pm$ 12.5 uur).
5. Het overshoot verschijnsel kan een verklaring geven voor het feit dat de paal vaak bij opkomende zeegang in heftige trilling komt, terwijl de trillingen bij verder toenemende zeegang afnemen.
6. De constructie is zeer zwak gedempt, de grootte van de dynamische versterkingsfactor bedraagt 30, hetgeen (in orde van grootte) overeenkomt met de waarden gevonden door anderen.
7. Uit de metingen blijkt een lineair verband tussen de energie van de golven met een frequentie gelijk aan de eigenfrequentie van het platform en de trillingsenergie van het platform. Dit komt overeen met de theorie.

10. AANBEVELINGEN

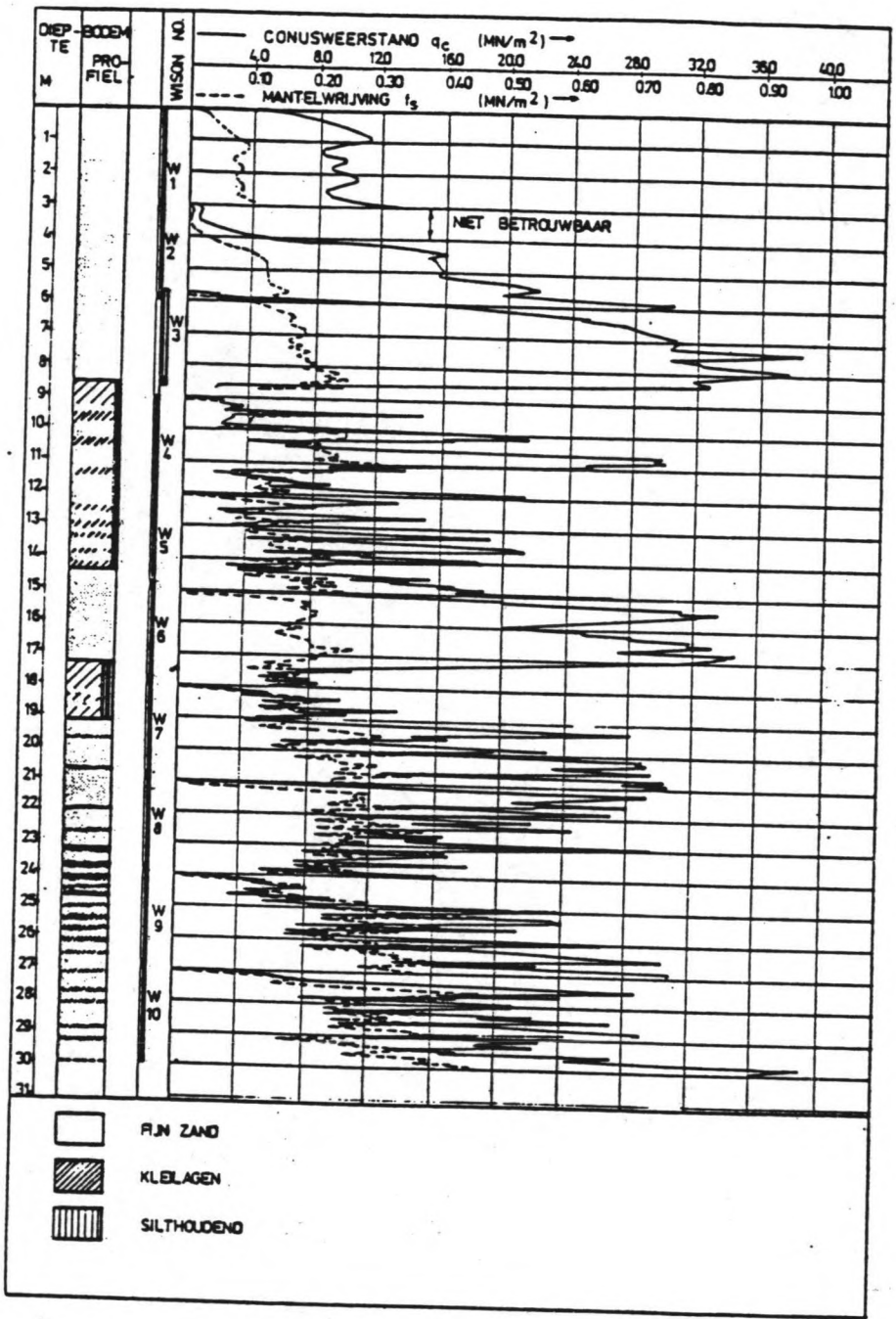
Wanneer een volgende meetcampagne gehouden zal worden, wil ik hiervoor de volgende aanbevelingen doen :

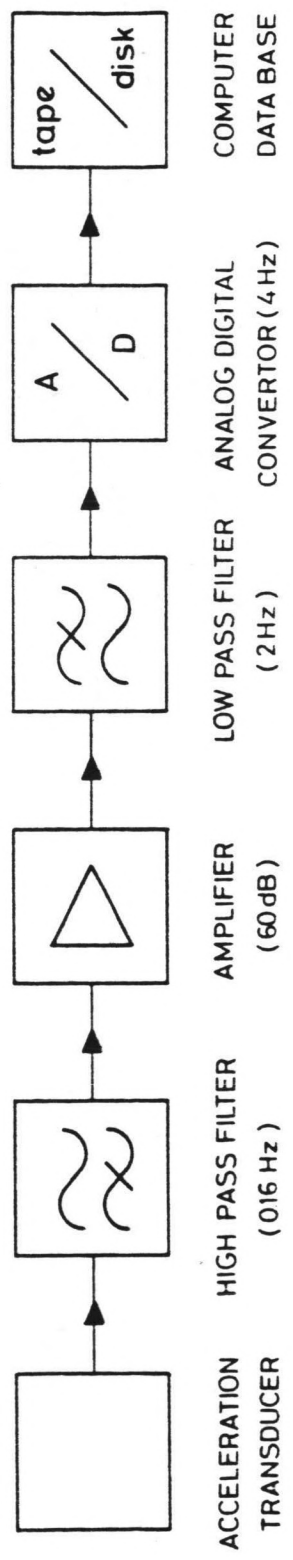
1. Het verdient aanbeveling om de frequentieband rond de eigenfrequentie, die nu liep van 0.2 Hz - 0.5 Hz, aanzienlijk te versmallen om eenduidiger resultaten te verkrijgen.
2. Het verdient aanbeveling om de bovengrens-waarde van de versnellingsmeters met een factor 2 à 3 te verhogen. Het meetsignaal wordt dan niet afgekapt, zodat dan ook betrouwbare spectra worden gevonden.
3. Het verdient aanbeveling om de stroomsnelheid en -richting te meten.
4. Het verdient aanbeveling om een golfrichtingsspectrum te meten.

LITERATUURLIJST

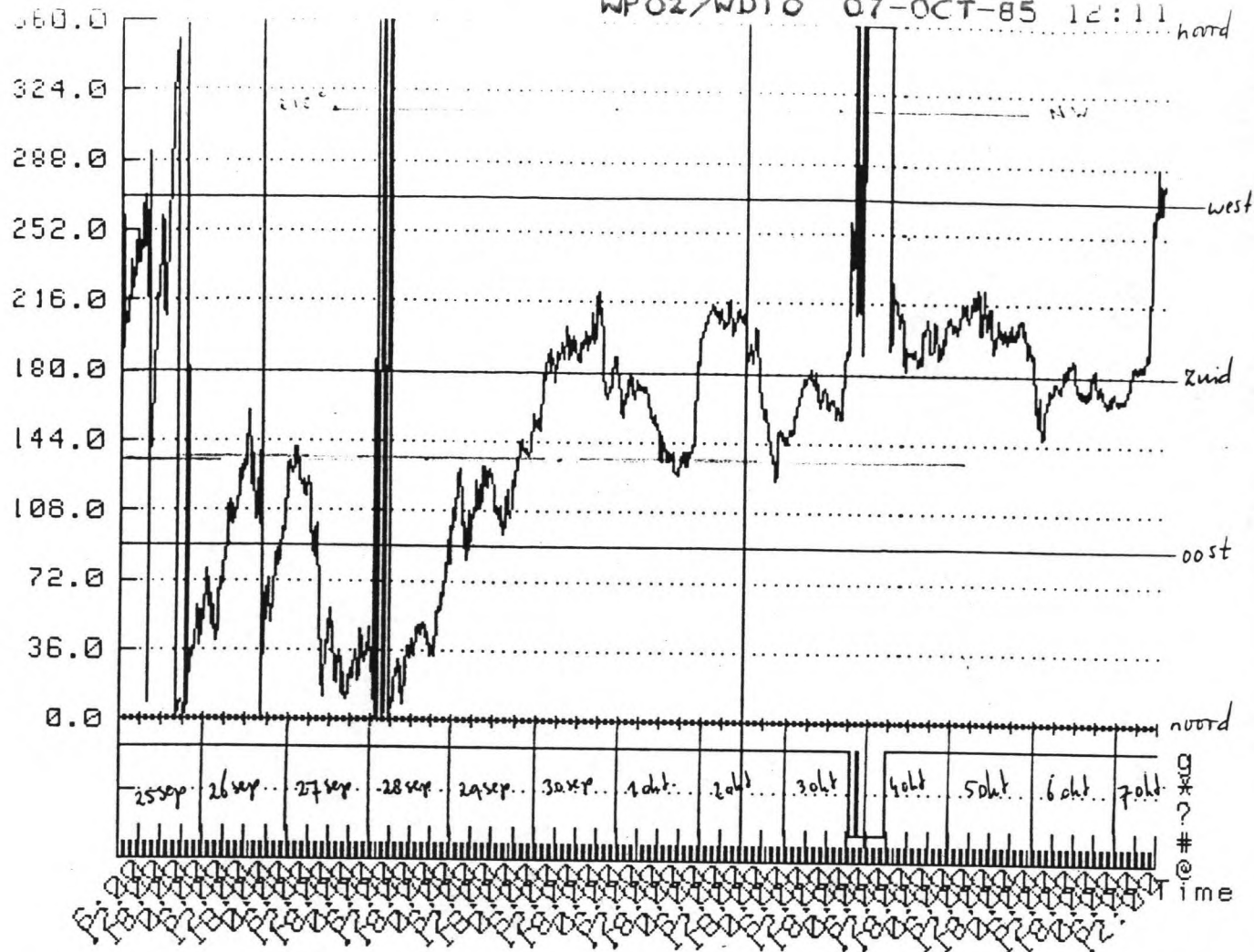
1. T. Sarpkaya en M. Isaacson
"Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures" (1981)
2. M.G. Hallam en anderen
"Dynamics of Marine Structures", CIRIA rapport (juni 1977)
3. J.F. Wilson
"Dynamics of offshore structures" (november 1972)
4. C.A. Brebbia en S. Walker
"Dynamic Analysis of Offshore Structures" (1979)
5. A.L. Bouma en C. Esveld
"Dynamica van Constructies", deel I Collegehandleiding b15A, (augustus 1984)
6. J.A. Battjes
"Windgolven", Collegehandleiding b78 (september 1984)
7. J.A. Battjes
"Korte Golven", Collegehandleiding b76 (januari 1984)
8. O.M. Phillips
"The Dynamics of the Upper Ocean" (juni 1978)
9. O.M. Phillips
"Spectral and Statistical properties of the equilibrium range in wind-generated gravity waves", Journal of Fluid Mechanics (1985, pp. 505-531)
10. B.J. van der Hek
"Parameterstudy for a free standing caisson", Afstudeerverslag TUD, (1987), Afdeling Offshore
11. L.H. Holthuijsen
"Methoden voor golfvoorspelling", Technische adviescommissie voor de waterkeringen (1980)
12. S.K. Chakrabarti en W.A. Tam
"Gross and local wave loads on a large vertical cylinder - theory and experiment", OTC paper no. 1818, Houston (1973)

BIJLAGEN

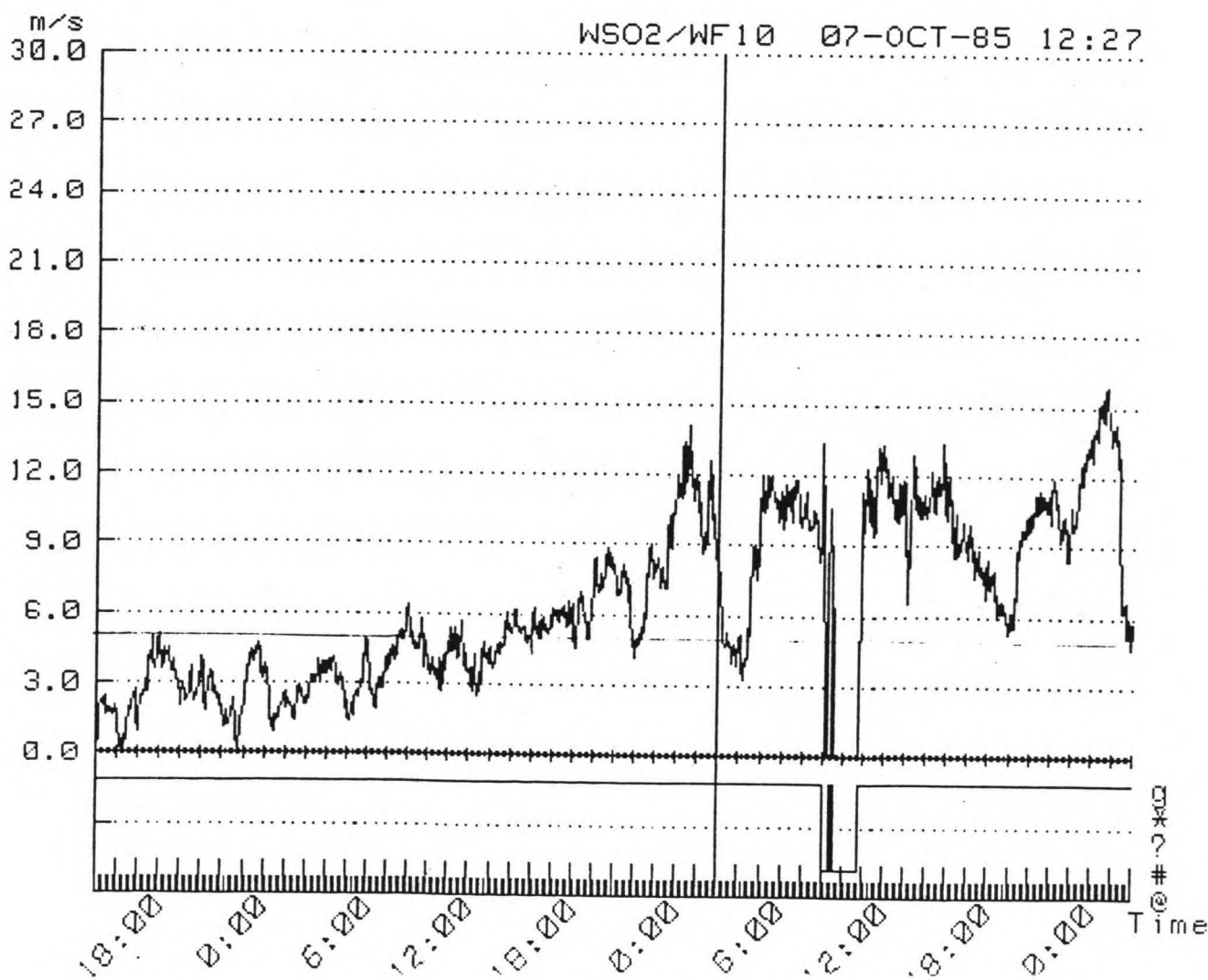




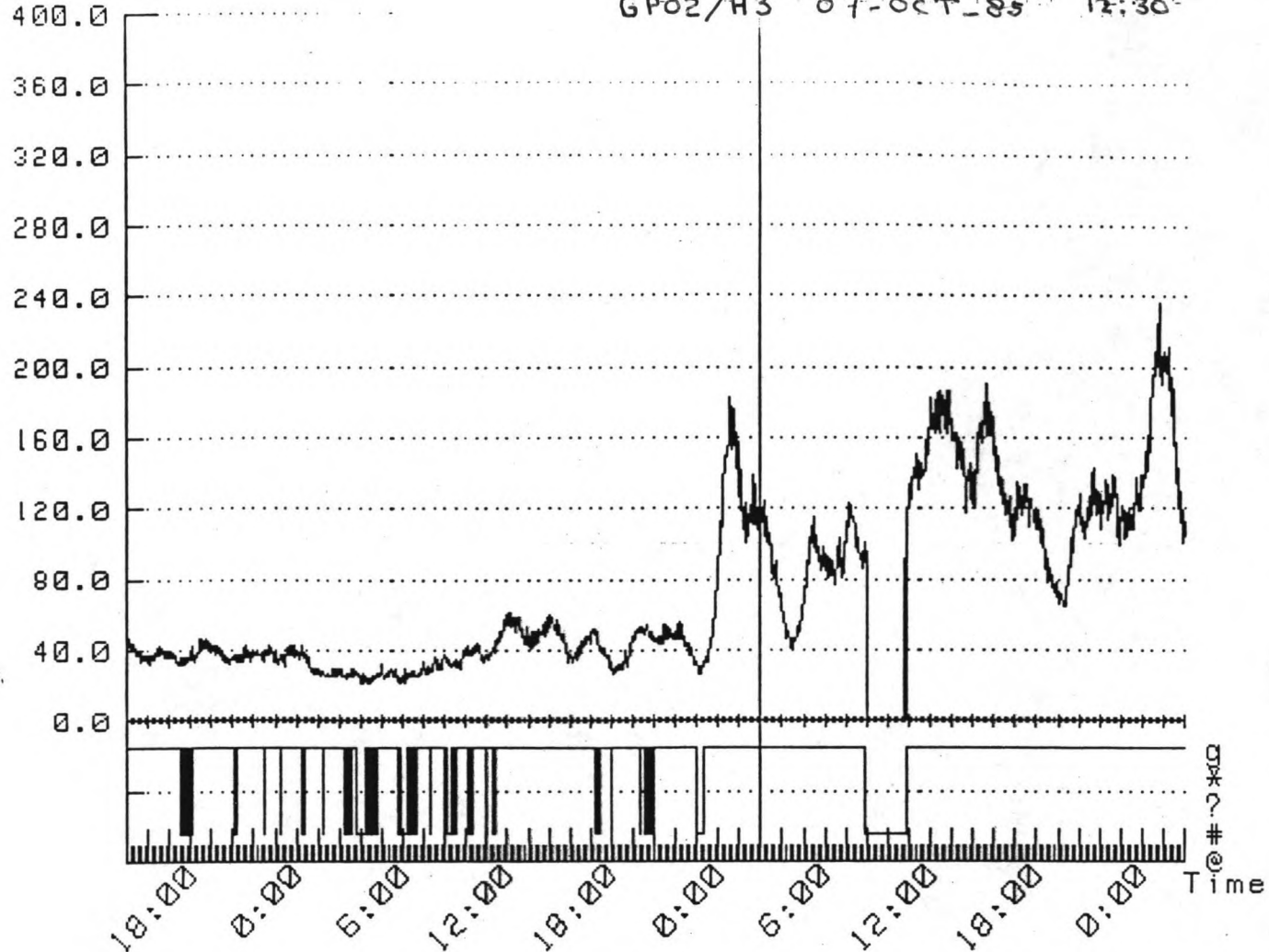
Instrumentation block diagram.



Bijlage III-1

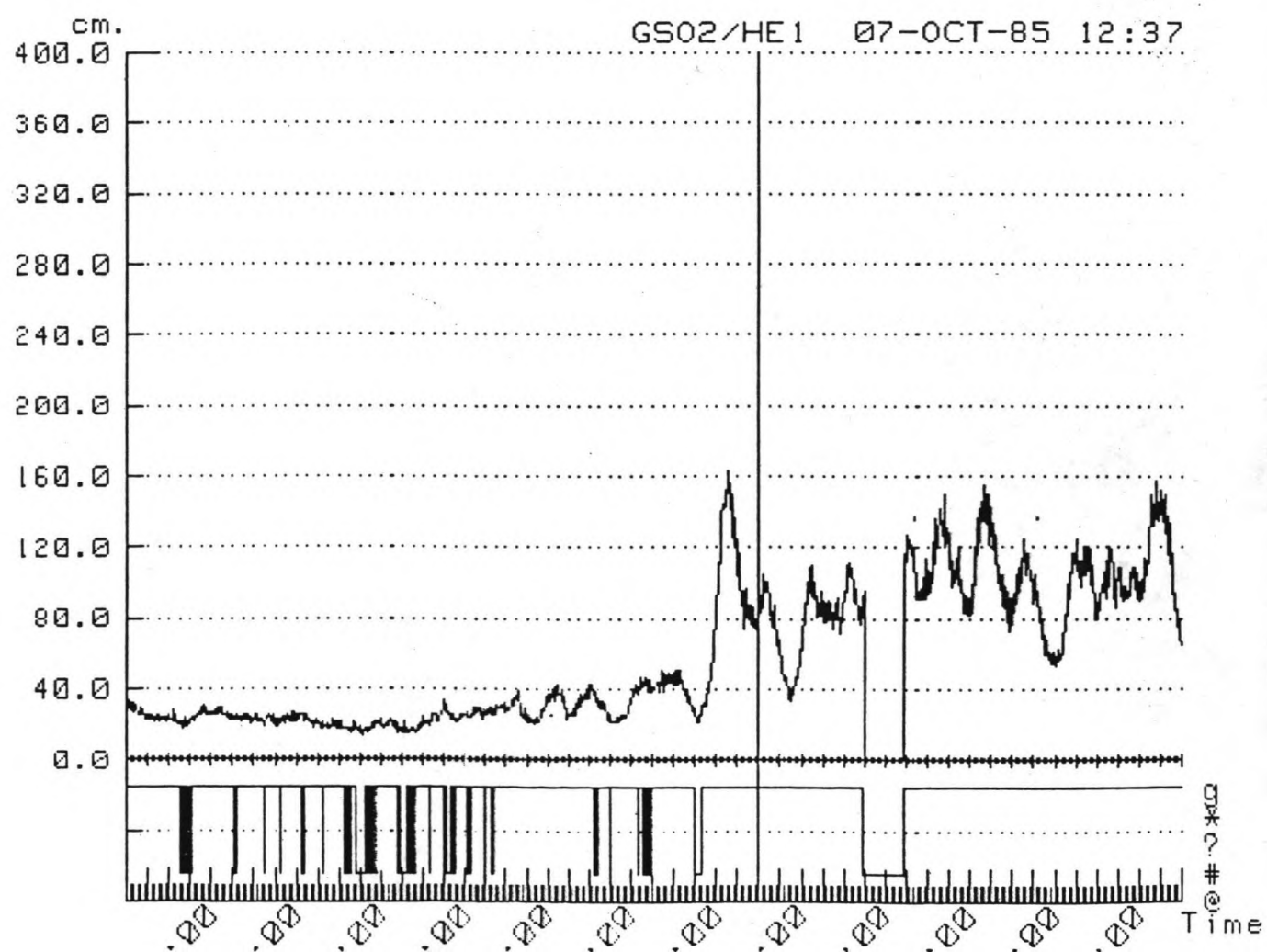


GP02/H3 07-OCT-85 12:30

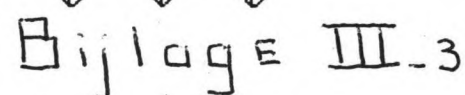


Bijlage III-2

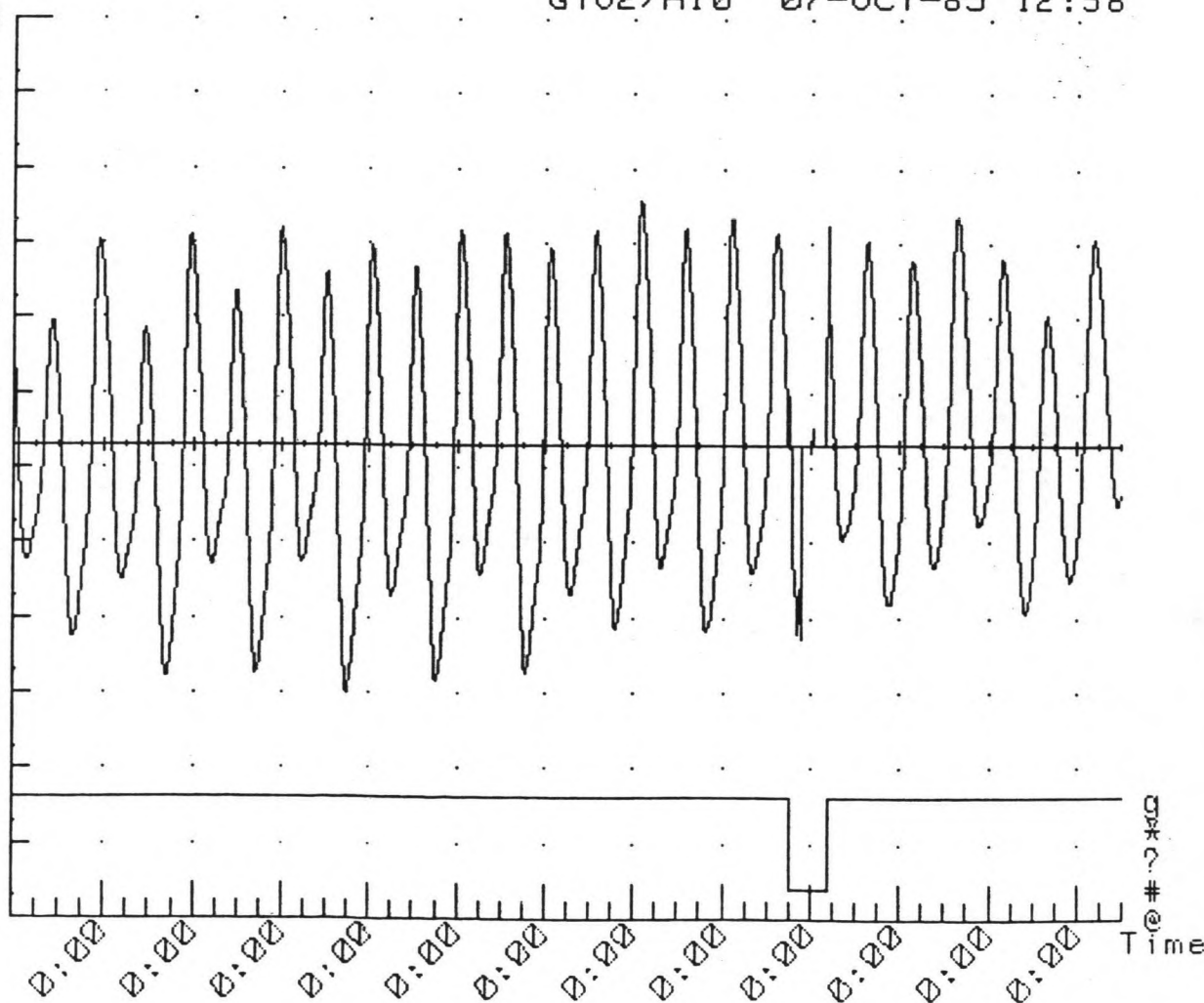
GS02/HE1 07-OCT-85 12:37

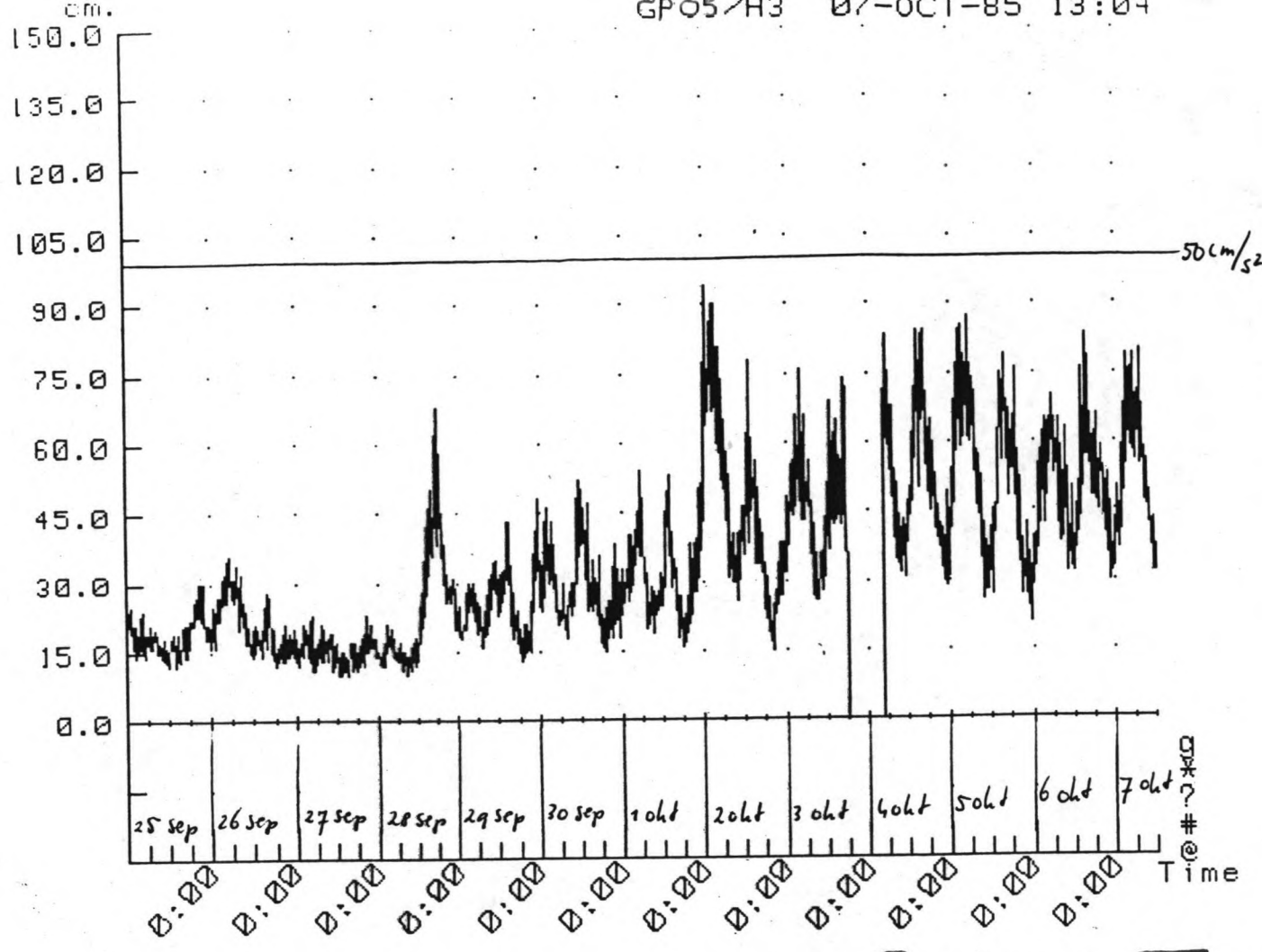


0.0

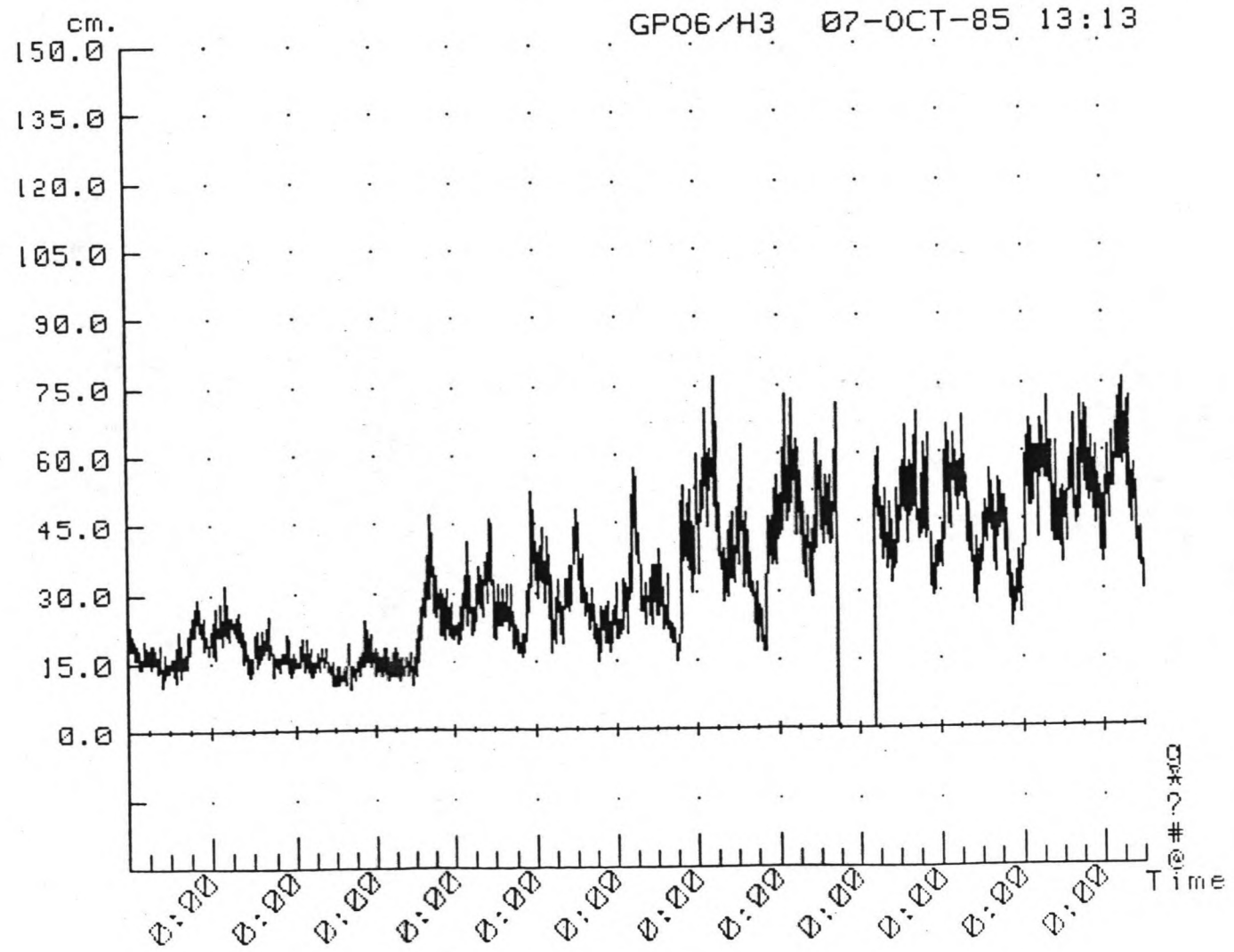


-150.0





Bijlage III-4



Stroomgegevens

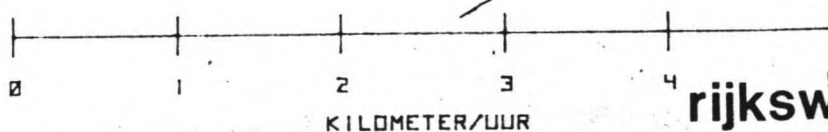
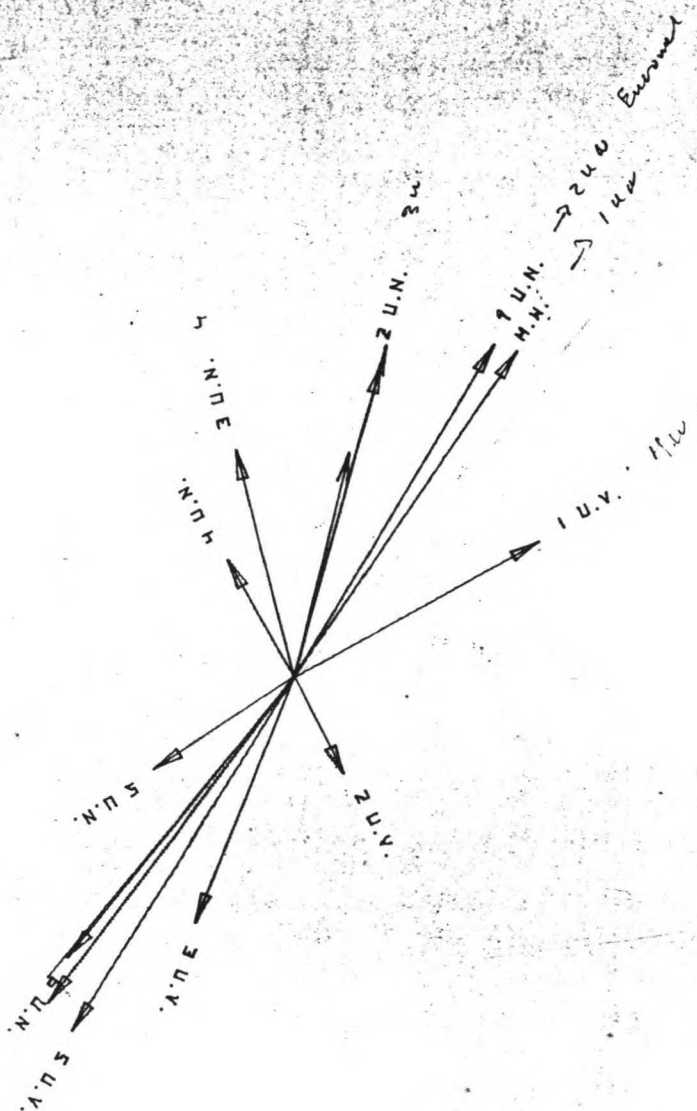
De stroming rond het Europlatform wordt niet gemeten. Aangezien het echter is gebleken dat de stroming een grote invloed heeft op de hoogfrequente flank van het golfspectrum en dientengevolge ook op het trillingsgedrag van de paal, zijn gegevens omtrent de stroomsnelheid en de stroomrichting nodig voor het onderzoek. We kunnen deze echter achterhalen met behulp van de getijtafel, een stroomroos en het verloop van het verticale getij, wat wel gemeten wordt.

Uit het getijverloop van Hoek van Holland ten opzichte van dat van het Europlatform blijkt, dat het hoogwater bij Hoek van Holland gemiddeld 40 minuten later optreedt dan bij het Europlatform. Uit de grafische weergave van het verloop van de stroomsnelheid in de tijd en het waterstandsverloop bij Hoek van Holland, kan worden opgemaakt dat de maximale stroomsnelheid ongeveer 40 minuten na hoogwater optreedt. We gaan ervan uit dat dit bij het Europlatform ook het geval is.

De maximale stroomsnelheid bij het Europlatform treedt dan ongeveer 1 uur en 20 minuten voor hoogwater op. Het optreden van hoogwater bij het Europlatform is bekend.

T.D.V. H.W. HOEK VAN HOLLAND

1 CM₁ = 0.25 ZEEMI JL/UUR



rijkswaterstaat

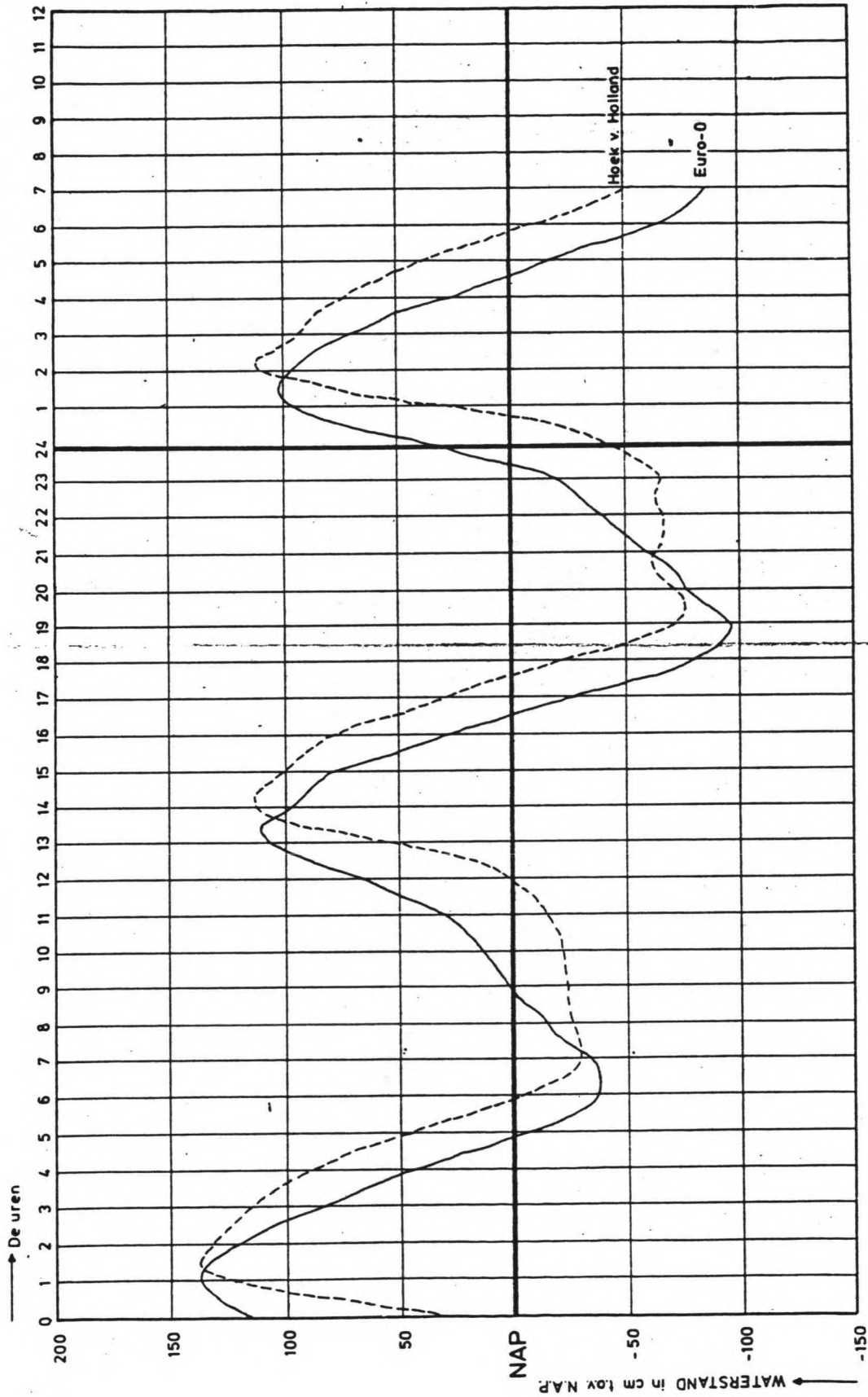
directie noordzee

STROOMROOS OVER 0-15M. T.O.V. DE BODEM

	opgenomen.	gewijzigd.	gec.	get.	gez.	acc.	schaal 1 :	
	26,27-10-'81						A3	nr.81.638

26-10-'81

27-10-'81



rijkswaterstaat

directie noordzee

VASTPUNT EURO - 0
GETIJKROMMEN VAN H.V.HOLLAND EN EURO - 0
T.B.V. STROOMMETINGEN



opgenomen.
26.27-10-'81

gewijzigd.

gec.

get:

gez.

acc.

schaal 1 :

A3

nr. 81.630

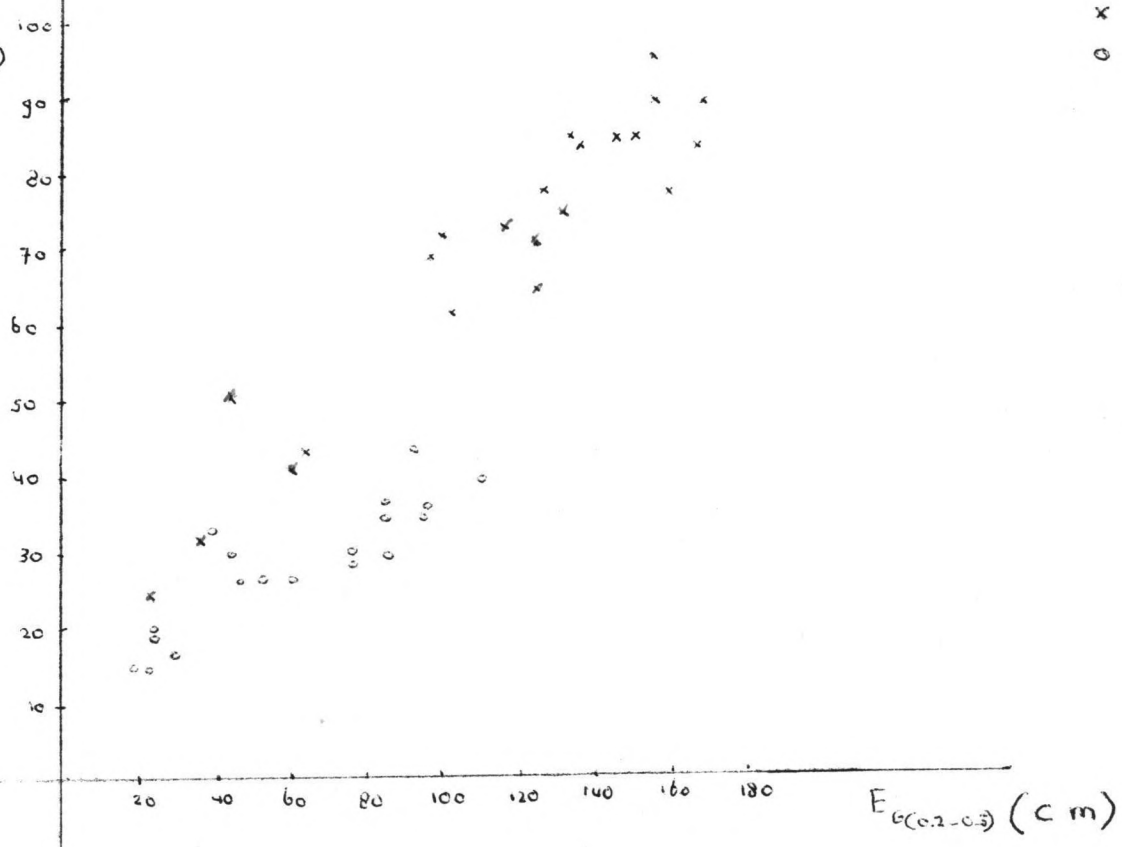
Sign
versn
NW-ZW)

PERIODE : 21 aug T/M 7 OKT

Bijlage V-1

$\frac{1}{2} \text{ cm/s}^2$

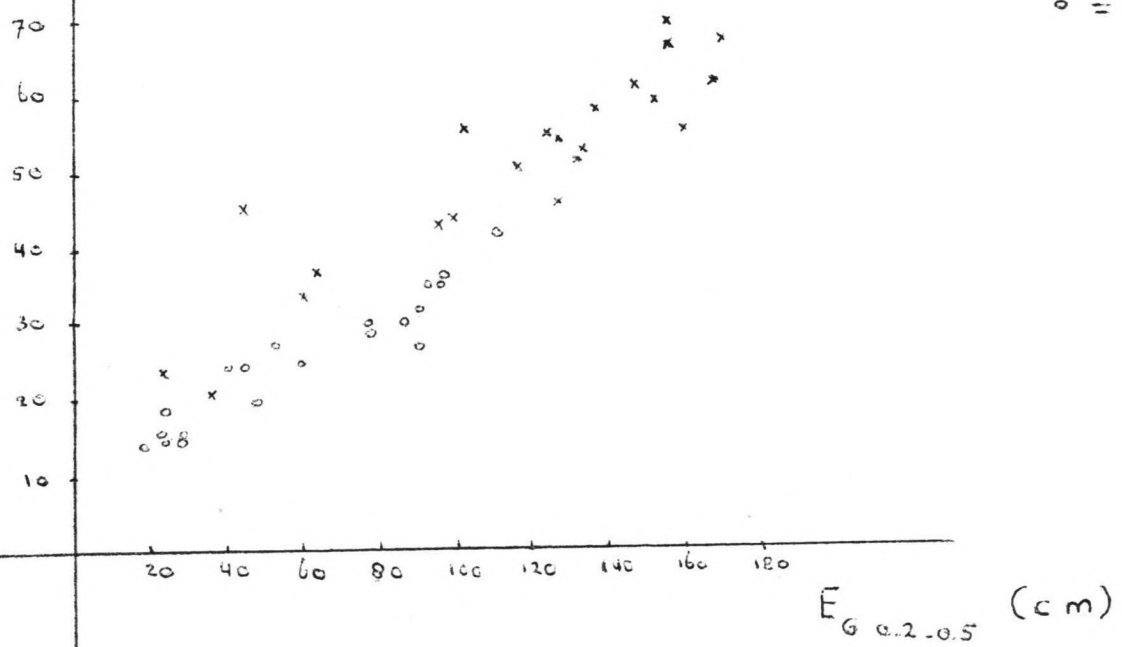
x = max
o = min



$E_{G(0.2-0.5)} = 4 \sqrt{E_1}$ met $E_1 =$ golfenergie in frequentie band 0.2 Hz - 0.5 Hz

Sign
versn
NW-ZW)

x = max
o = min



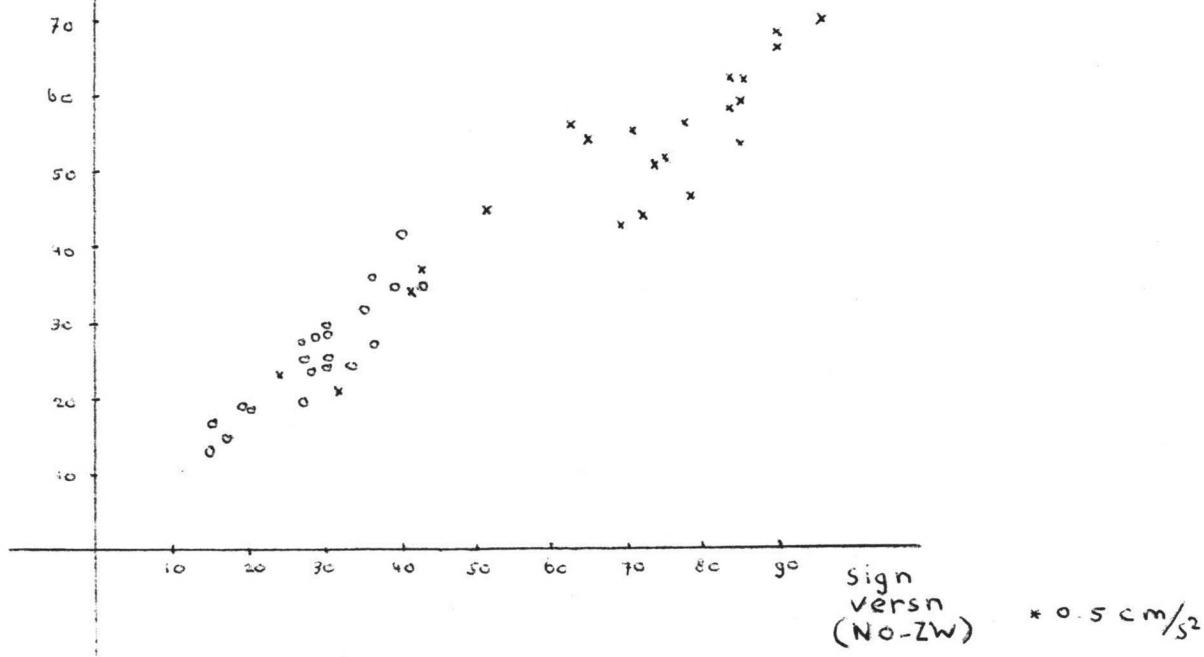
voorwaarde : zuidwestenwind

sign
versn
(NW-ZO)
* 0.5 cm/s²

PERIODE 21 aug T/m 7 okt

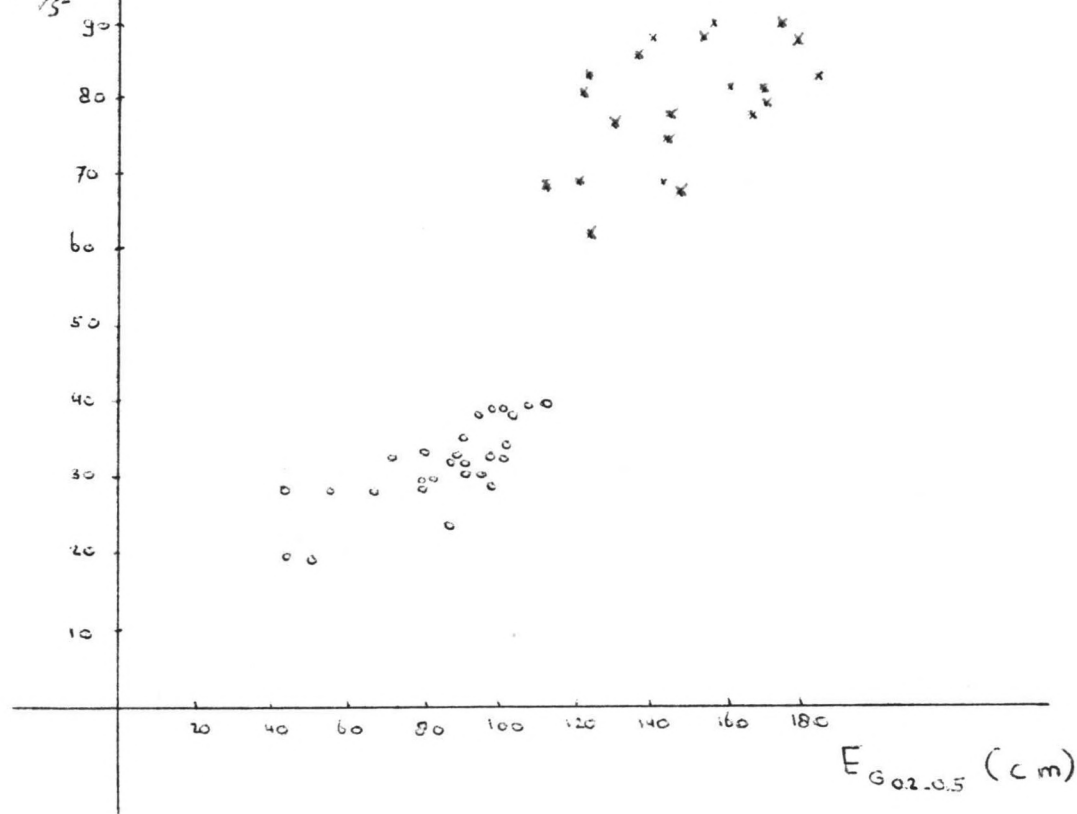
V-2

x = max
o = min



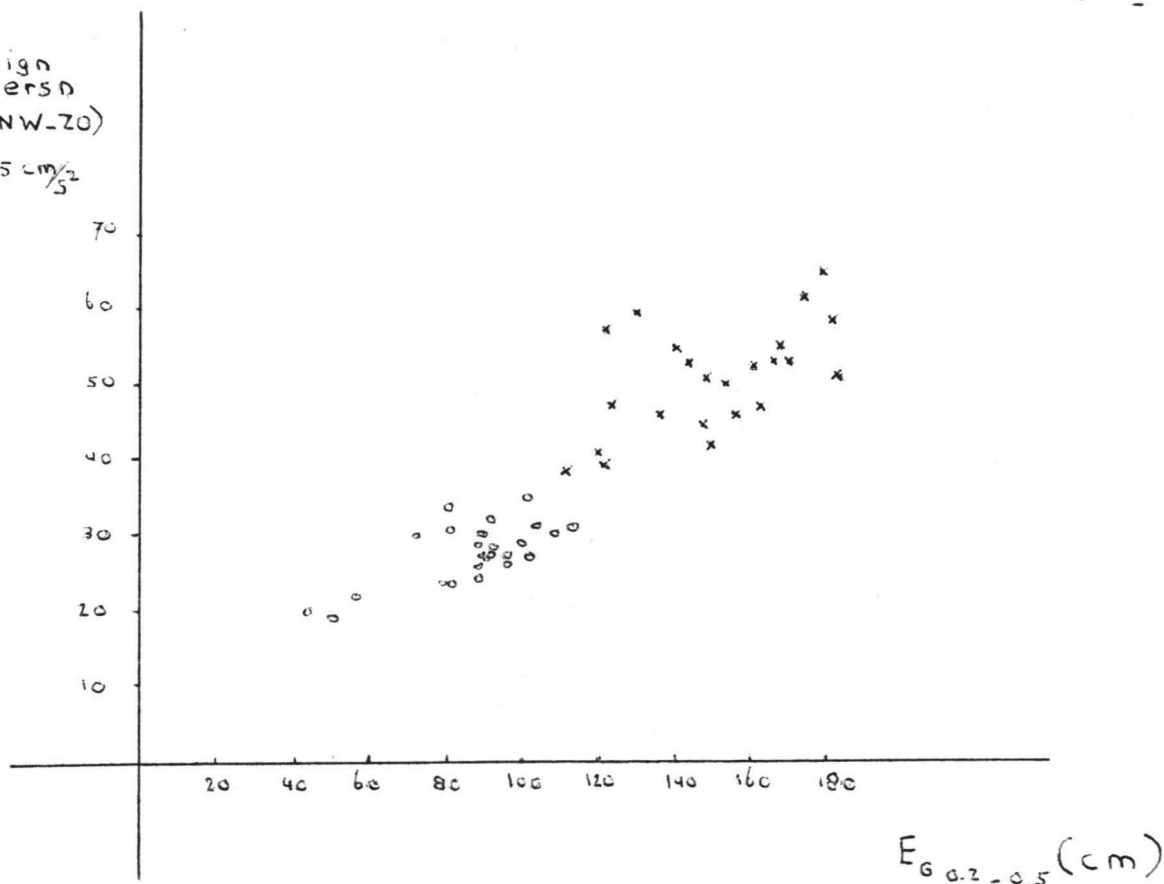
voorwaarde : zuidwestenwind

sign
versn
(No-Zw)
0.5 cm/s²



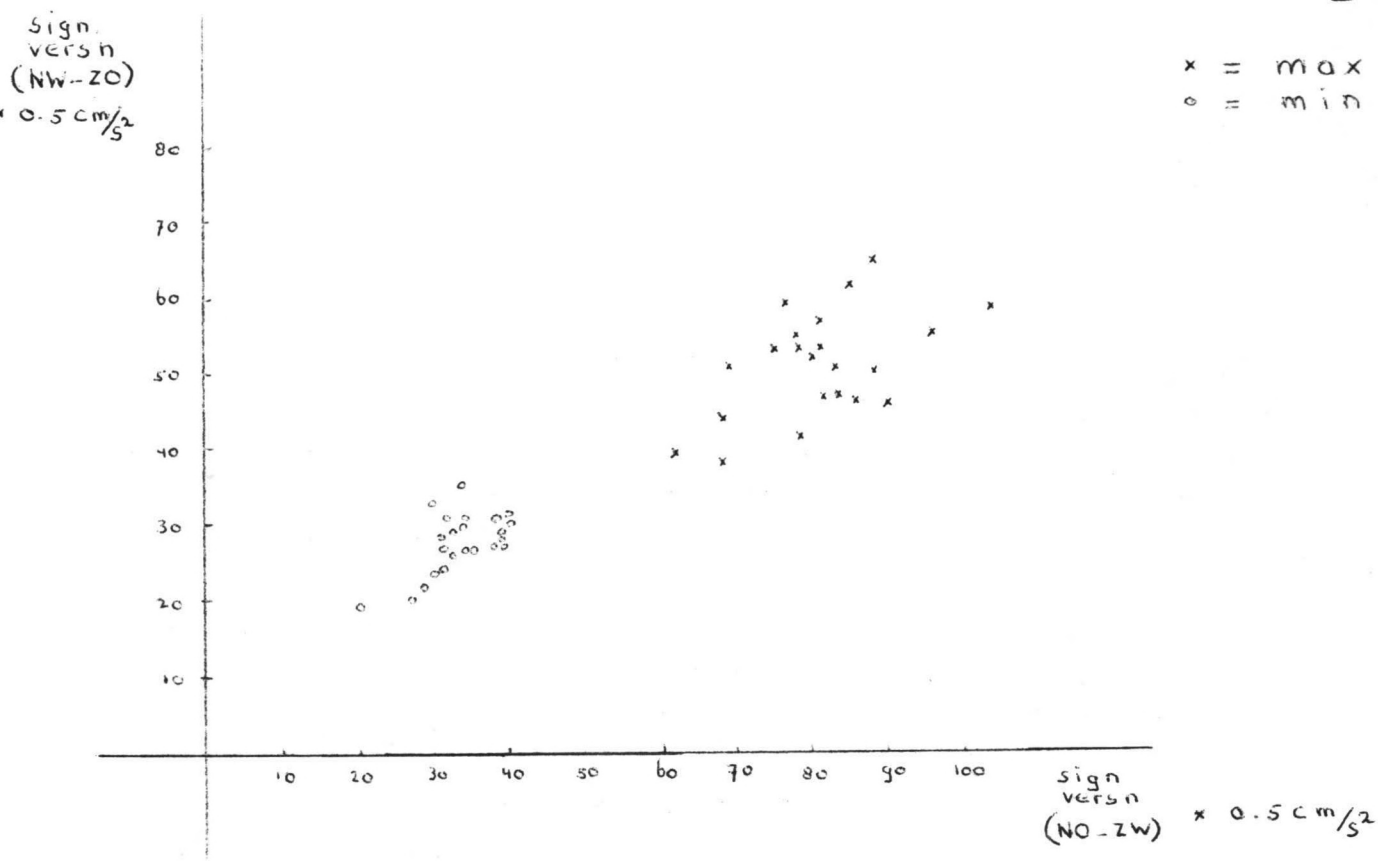
x = max
o = min

sign
versn
(NW-ZO)
0.5 cm/s²



PERIODE : 11 juli t/m 21 aug

voorwaarde : zuidwestenwind



PERIODE : 11 juli T/M 21 aug

voorwaarde : zuidwestenwind

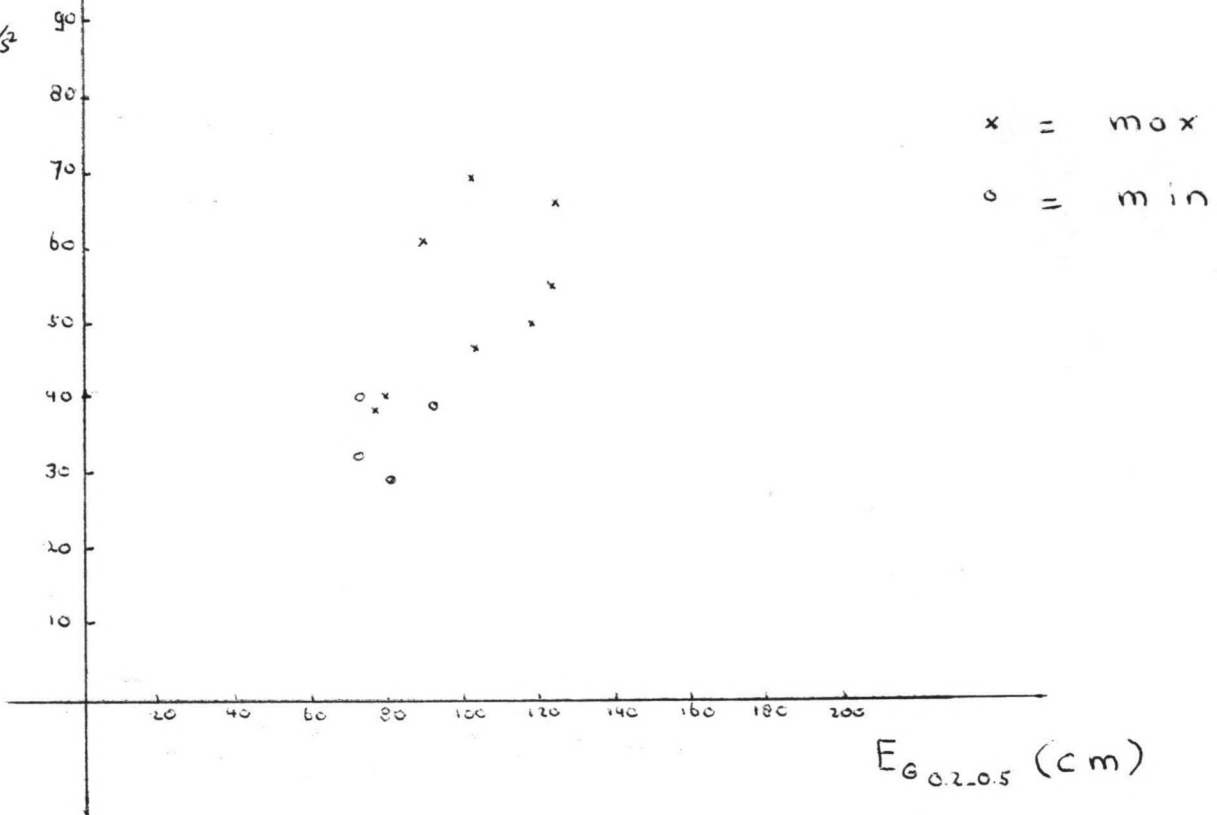
PERIODE

11 juli 7/11 70kt

V-5

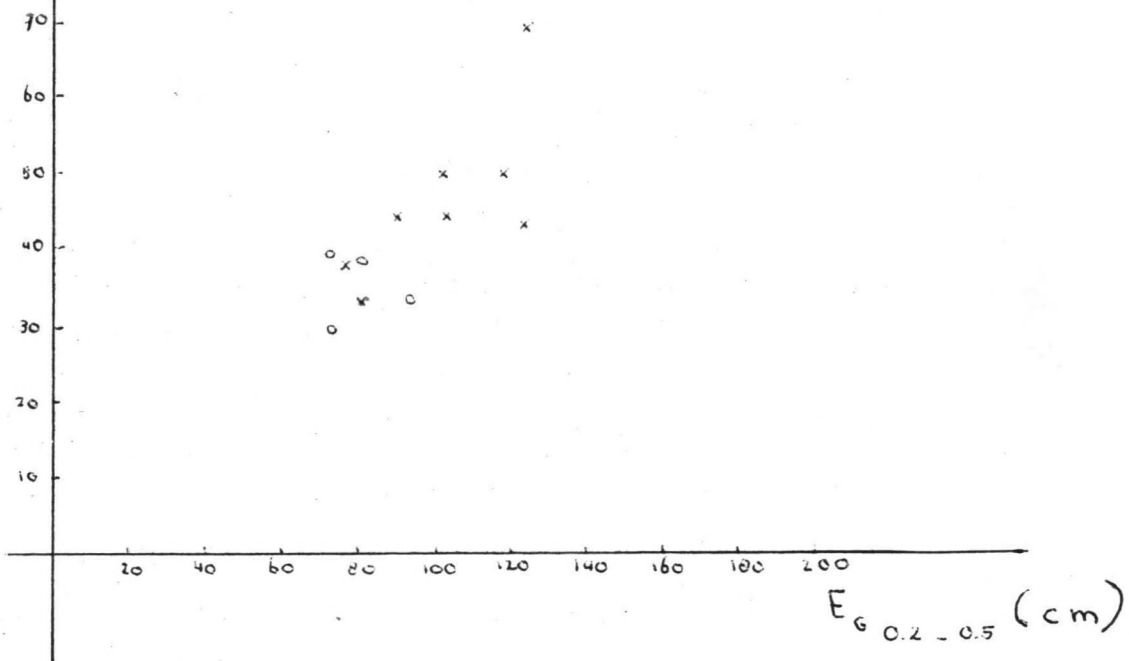
sign
versn
(NO-ZW)

* 0.5 cm/2



sign
versn
(NW-ZO)

* 0.5 cm/2



NOORDWESTENWIND

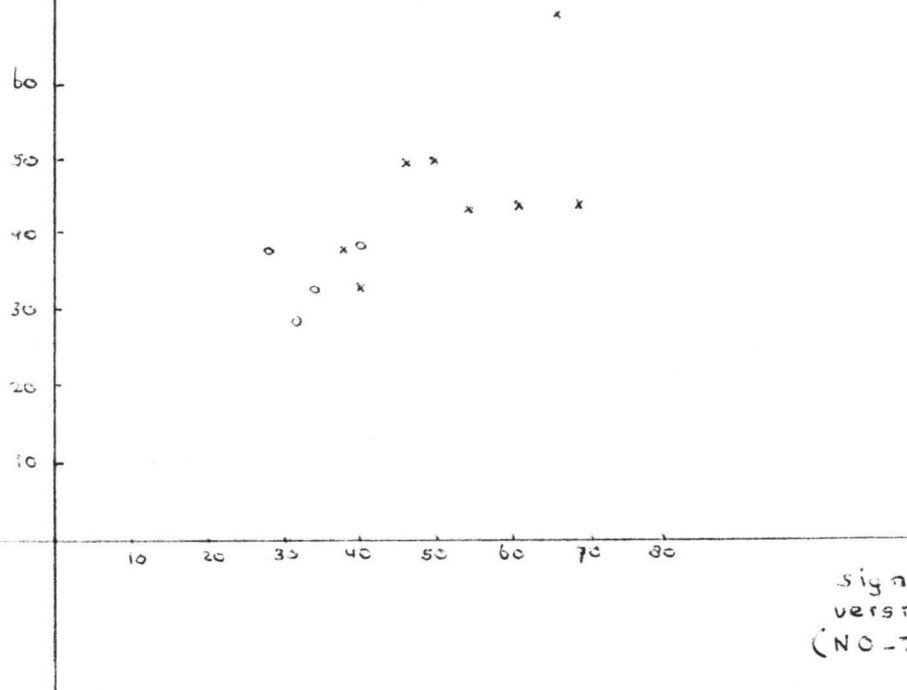
PERIODE : 11 juli T/m 7 okt

V-6

sign
versn
(NW-ZO)

0.5 cm/s²

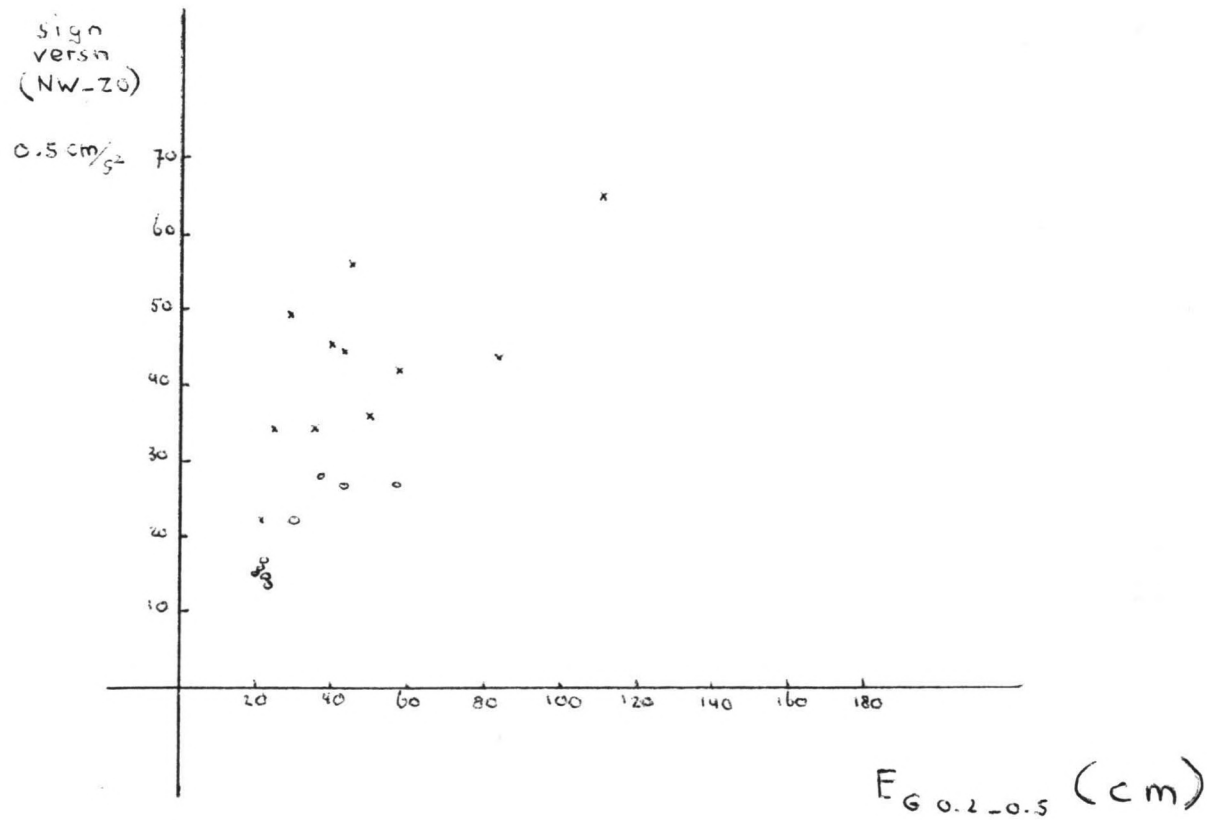
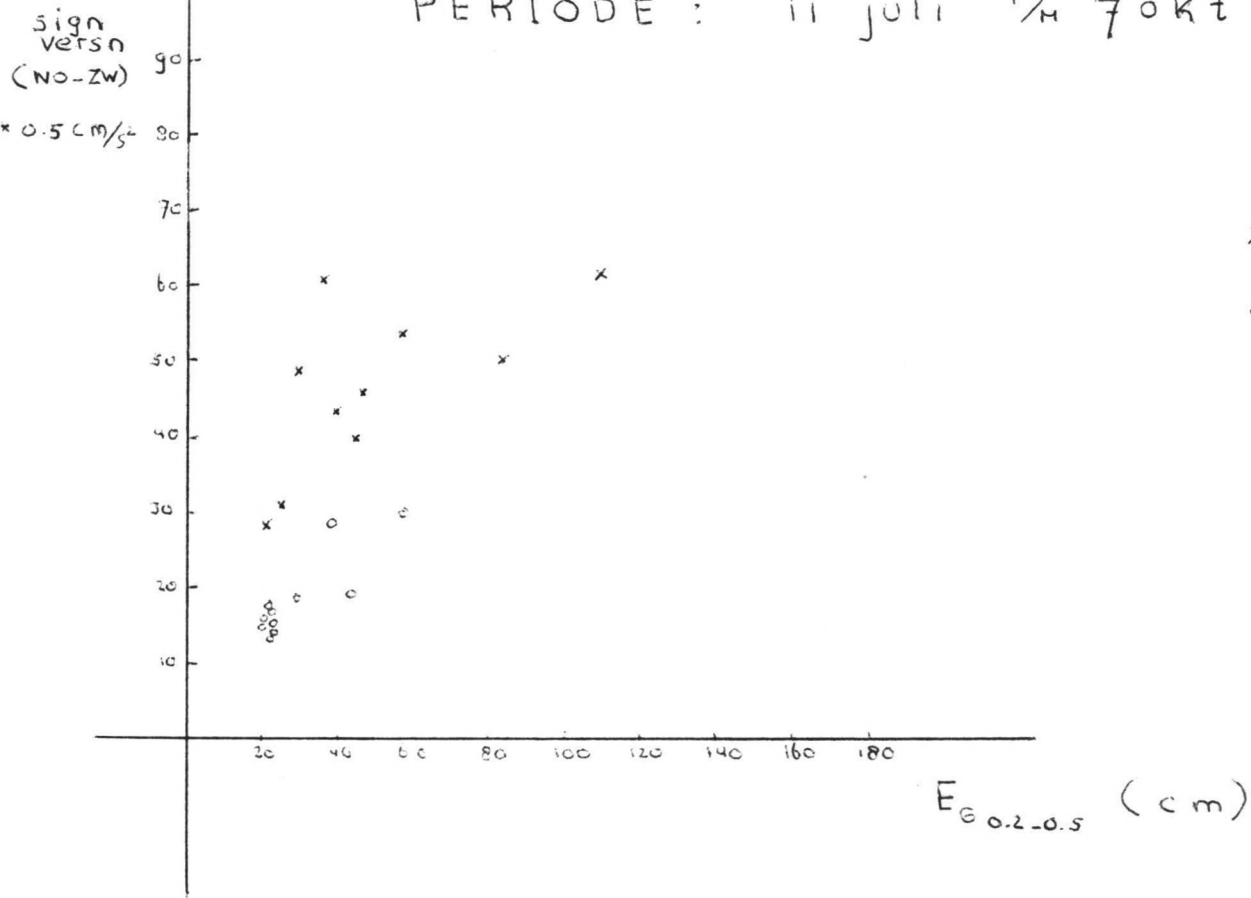
x = max
o = min



sign
versn
(NO-ZW) * 0.5 cm/s²

NOORDWESTENWIND

PERIODE : 11 juli t/m 7 okt



ZUIDOOSTEN WIND

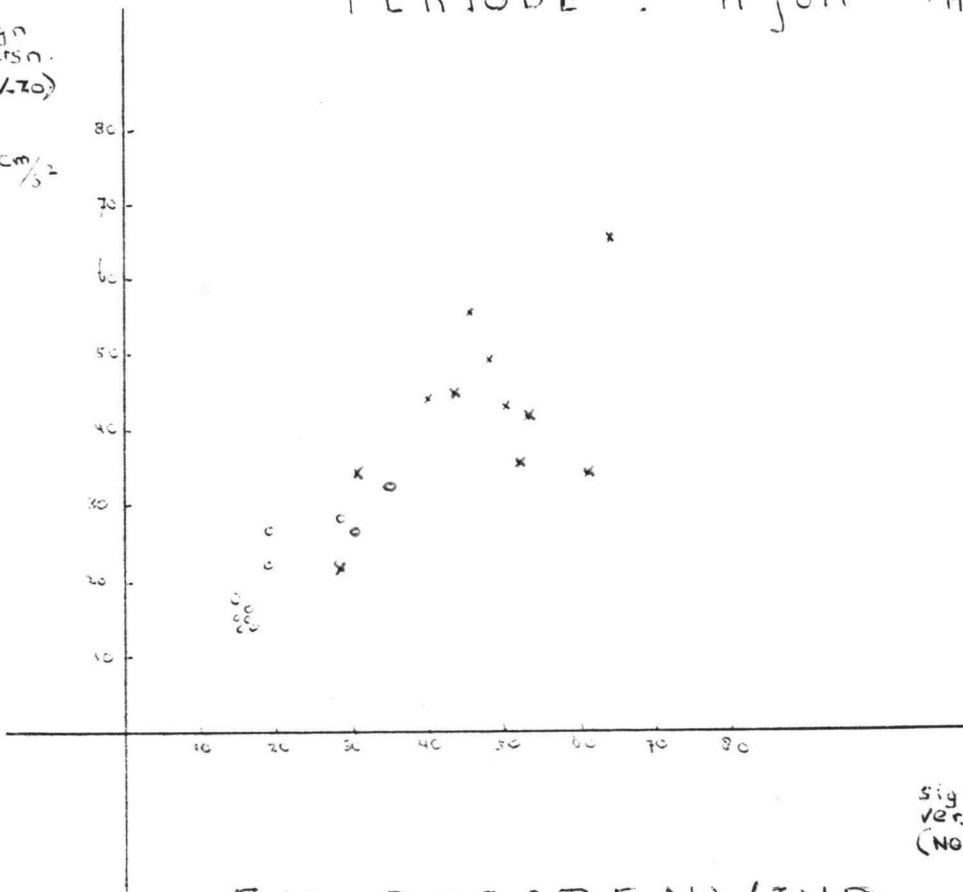
PERIODE : 11 juli t/m 7 okt

V-8

sign
versn.
(NW-ZO)

$\times 0.5 \text{ cm/s}^2$

$\times = \text{max}$
 $\circ = \text{min}$



ZUIDOOSTENWIND

sign
versn.
(NO-ZW) $\times 0.5 \text{ cm/s}^2$

V-9

