

Notities over apparatuur bij nieuwe pompopstelling : metingen aan de pompstangkracht

Citation for published version (APA):

Trommelen, T. (1981). *Notities over apparatuur bij nieuwe pompopstelling : metingen aan de pompstangkracht.* (TU Eindhoven. Vakgr. Transportfysica : rapport; Vol. R-489-S). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1981

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BIBL. TECHNISCHE
UNIVERSITEIT



9305815

EINDHOVEN

*dokumentatiecentrum bureau
ontwikkelingssamenwerking
T.H. Eindhoven – gebouw O*

DOCUMENTATIECENTRUM B.O.S. – T.H.E.	
class.	<i>AAH-81.07</i>
dv.	
datum	

Notities over apparatuur
bij nieuwe pompopstelling.
Metingen aan de pompstangkracht

Th. Trommelen

R-489 S

Begeleiding: R. Schermerhorn

Met dank aan allen die mij bij deze stage geholpen hebben,
in het bijzonder mijn begeleider,
E. v. Voorthuysen en A. Prijt.

SAMENVATTING

Bij de windenergiegroep aan de THE wordt onderzoek gedaan aan waterpompende windmolens voor de ontwikkelingslanden. Voor het testen van zuigerpompen is een opstelling gebouwd waaraan nog meetapparatuur moest worden aangebracht.

Bekeken is, welke grootheden aan de pompen gemeten moesten worden, en welke apparatuur daarvoor het beste geschikt was.

De apparatuur voor het meten van pompstangkracht, koppel, waterdebiet en toerental is nu aanwezig.

Ook zijn er nog metingen gedaan aan de pompstangkracht. Deze metingen zijn vergeleken met de veldmetingen van Van Breugel.

Het blijkt dat er behoorlijke verschillen zijn tussen deze twee metingen. De meting met de pompopstelling komt veel beter overeen met de theorie. Met name vallen de krachten veel lager uit.

Om latere gebruikers van de pompopstelling van dienst te zijn, is in de appendix van dit verslag een beschrijving gegeven van de aanwezige apparatuur, verbindingskabels en pluggen.

INHOUD

	Blz
Samenvatting	2
Lijst van symbolen	4
Inleiding	5
Theorie	6
Bouw van de opstelling	
0. Algemeen	7
1. Pompstangkracht	8
2. Pompkoppel	
-werking van de koppelmeter	10
-meten van het pompkoppel	12
-het middelen van het koppelsignaal	13
3. Flow	15
4. Toerental	16
5. Het registreren van de signalen	17
Meetmethode	19
Resultaten van de metingen	20
Discussie en conclusies	21
Literatuur	23

Appendix

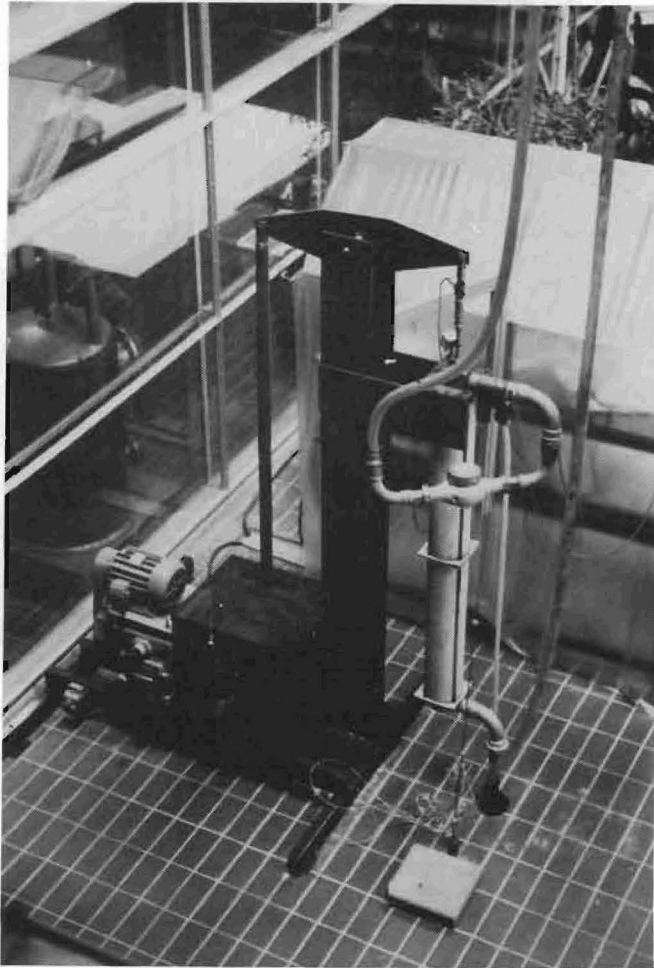
A. IJking krachtmeter met rekstrookbrug	
B. IJking combinatie transient recorder - X-t schrijver	
C. Statische kracht	
D. Resonantiefrequentie windketels	
E. Handleiding voor het gebruik van apparatuur	
0. Typeaanduiding van de gebruikte apparaten	
1. Frequentieregelaar	
2. Krachtopnemer	
3. Schakeling achter fotocellen	
F. Aansluitingen kabels	
G. Tabellen	
H. Grafieken	

LIJST VAN SYMBOLEN

A_x	(m^2)	Oppervlakte onderdeel x
D_x	(m)	Diameter onderdeel x
F	(N)	Kracht
g	(ms^{-2})	Versnelling zwaartekracht
h	(m)	Opvoerhoogte
k	(kgs^{-2})	Stijfheid aandrijving
K	$(-)$	Thermodynamische exponent
L	(m)	Lengte leidingen
m_x	(kg)	Massa onderdeel x
P	$(kgm^{-1}s^{-2})$	Druk
R	(m)	Krukstraal
V_x	(m^3)	Volume onderdeel x
α	$(-)$	Krukhoek
α_s	$(-)$	Klepshuithoek
λ	$(-)$	Weerstandscoefficient
ρ_w	(kgm^{-3})	Dichtheid water
ω	(s^{-1})	Hoeksnelheid rotor

INLEIDING

Bij de sectie Windenergie van de vakgroep Transportfysica is een nieuwe opstelling gebouwd om waterpompen door te meten. Om deze opstelling gebruiksklaar te maken, moest nog meetapparatuur worden aangebracht. Die apparatuur diende zodanig te zijn, dat de karakteristieke grootheden aan een pomp konden worden gemeten. Ter controle konden nog enkele metingen aan het einde van de stage worden verricht, hoewel dat niet het hoofddoel was.



Pompopstelling.

De witte cylinder is de pomp

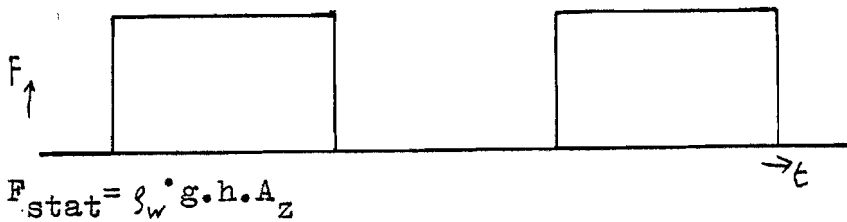
THEORIE

De krachten die optreden in de pompstang.

Voor uitgebreidere informatie zie lit.(1), pag. 6-10.

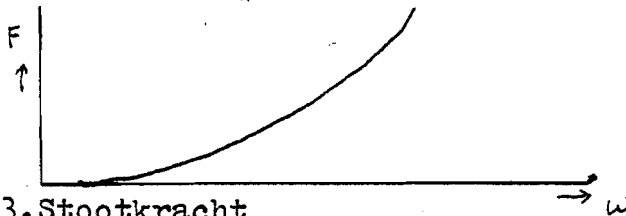
1. Statische kracht.

Dit is de kracht ten gevolge van het gewicht van het water op de zuiger.



2. Wrijvingskrachten in de leidingen

$$F_w = \lambda \cdot L / D \cdot \frac{1}{2} \rho_w \bar{v}^2$$



3. Stootkracht

$$F_{stoot, max} = \omega R \sin \alpha \sqrt{k \cdot m_w}$$

De stootkracht brengt het massa-veer systeem, gevormd door water-pompstang, in trilling, met een frequentie gegeven door:

$$\omega_{stoot} = \sqrt{k/m_w} \quad (\text{lit.}(2))$$

4. Dynamische kracht

Dit is de kracht ten gevolge van het versnellen van de watermassa tussen de zuiger en de windketels.

$$F_{dyn} = m_w \cdot \omega^2 R \cos \alpha$$

Resonantiefrequentie windketels:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K A P}{\rho_w V L}}$$

BOUW VAN DE OPSTELLING

0. Algemeen

Aanwezig was een opstelling, waarmee pompen konden worden aangedreven met een variabel (instelbaar) toerental. Bepaald moest worden wat er gemeten diende te worden, en hoe. Na analyse van zuigerpompen bleek dat de volgende grootheden interessant waren:

1. Pompstangkracht
2. Pompkoppel
3. Waterflow door de pomp
4. Toerental van de pomp

Nu moest onderzocht worden hoe de grootheden gemeten gingen worden. Tevens wordt hierna aangegeven waarom de oplossingen zo zijn gekozen.

Gestreefd werd ernaar alle signalen te schrijven op een recorder.

1. Pompstangkracht

De eisen die aan de meting werden gesteld waren vooral:

- a. Goed frequentiebereik
- b. Nauwkeurigheid
- c. Storingsongevoeligheid

ad a. Omdat er in de pompstang zeer steile krachtpulsen kunnen optreden van bv enkele milliseconden, die men graag wil meten, moet de meting een behoorlijk frequentiebereik hebben, bijvoorbeeld tot 1000 Hz.

ad b. De vereiste nauwkeurigheid is zeker niet extreem hoog, maar moet wel zo groot zijn, dat een goed beeld van de krachtniveaus ontstaat.

ad c. De storingsgevoeligheid zou tijdens het begin van de stage een grote moeilijkheid vormen, omdat in de omgeving van de opstelling een enorm storingsveld optreedt, ten gevolge van de frequentieregelaar van de motor.

Het was duidelijk dat het krachtopneemelement uit rekstrookjes zou moeten bestaan. Omdat het de betrouwbaarheid ten goede zou komen, werd niet gewerkt met zelf opgeplakte rekstrookjes, (zoals bv bij de veldmetingen) maar met een kant en klare druk/trekkrachtmeter.

Het probleem was de signaalverwerking.

Geprobeerd werd om zelf een schakeling te bouwen waarmee de rekstrookjes zouden kunnen worden gevoed, en het signaal opgevangen. De schakelingen bleken echter allemaal te veel storing op te pikken. Uiteindelijk werd besloten om het met een rekstrookbrug te proberen. De bruggen van de afdeling Transportfysica waren echter te laagfrequent (tot ca 100Hz). Bij metingen met deze bruggen bleek bovendien dat ze ook te veel storing oppikten.

Uiteindelijk bleek een geleende rekstrookbrug
(Peekel 581 DNH) goed te voldoen:

frequentiebereik 1000Hz \pm 0.1dB, zeer storingsongevoelig.

Een korte verklaring van de goede werking van de rekstrook-
brug:

1. Een rekstrookbrug werkt met een differentiaalmeetmethode,
dwz dat het verschil van twee spanningen wordt versterkt,
waardoor veel storing wordt uitgebannen.

2. De gebruikte brug werkt met een draaggolfsysteem
(van 5000Hz). Dit brengt het nadeel van een beperkt
frequentiebereik met zich mee (maar 1000Hz is goed genoeg)
maar ook veel voordelen, zoals weinig driftverschijnselen.

3. Er zijn nog andere vindingen in rekstrookbruggen verwerkt
zoals filters die storingen verzwakken etc.

Kortom: Wanneer een goede rekstrookbrug wordt gebruikt,
wordt aan alle eisen voldaan.

2. Pompkoppel

Werking van de koppelmeter

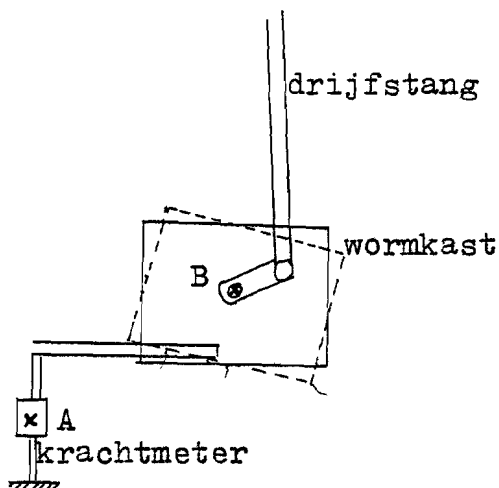


fig 1
werking van de koppelmeter

A=plaats krachtopnemer
B=draaipunt wormkast

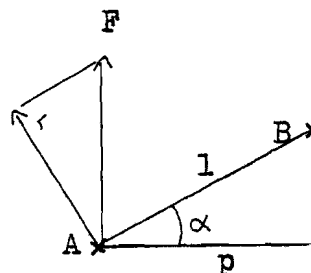


fig 2
krachten in de koppelmeter

Bij fig 1: De wormkast is pendelend opgehangen
Wanneer hij niet tegengehouden zou worden, zou hij
om zijn as gaan draaien (gestippeld), wanneer hij via de
aandrijfvas aangedreven zou worden. De wormkast wordt
tegengehouden door de krachtmeter, die daardoor een
kracht evenredig met het reaktiekoppel meet.

Bij fig 2: De kracht die de krachtmeter meet = F

Grootte van het koppel = $M = (F \cdot \cos \alpha) \cdot l$

$$= F \cdot (l \cdot \cos \alpha)$$

$$= F \cdot p$$

p =horizontale afstand tussen de krachtmeter

en het draaipunt van de wormkast

(mits de krachtmeter exakt vertikaal staat).

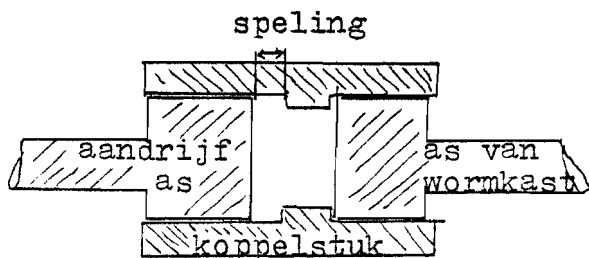


fig 3
speling van het koppelstuk

Om te zorgen dat de aandrijving voldoende flexibel is, is een koppelstuk toegepast (zie fig 3).

Gebleken is, dat de assen van aandrijving en wormkast vrij goed uitgelijnd moeten zijn, anders gaat wringen optreden. Verder moet het koppelstuk een kleine speling hebben om de werking van de koppelmeter niet te beïnvloeden.

meten van het pompkoppel

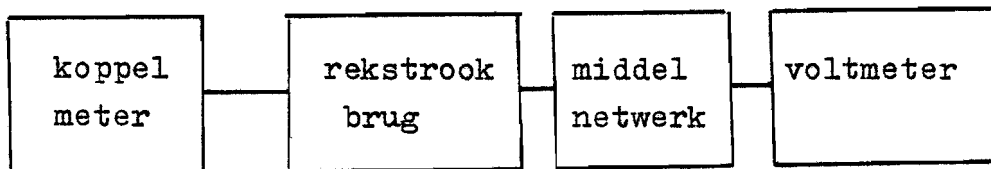
Het meten van het pompkoppel berust in feite ook op een krachtmeting. In principe kunnen hier dus dezelfde methodes worden toegepast als bij de metingen van de pompstangkracht.

Meestal is men echter alleen in het gemiddelde koppel geïnteresseerd. Dan is de kwaliteit van de rekstrookbrug niet zo belangrijk, om twee redenen.

- a. Het gemiddelde van de optredende storing is toch nul (of vrijwel nul).
- b. Het beperkte frequentiebereik is niet belangrijk, omdat alleen het laagfrequente deel van het koppel een bijdrage tot het gemiddelde geeft.

De rekstrookbruggen van de afdeling Transportfysica (Peekel CA 300) zijn hiervoor dus wél geschikt.

De opstelling voor het meten van het gemiddeld pompkoppel kan er als volgt uit zien:



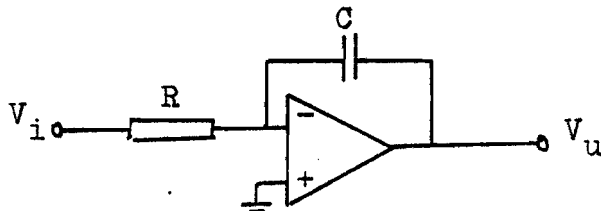
het middelen van het koppelsignaal

Om het signaal van de koppelmeter over de tijd te middelen, zijn er verschillende mogelijkheden. De moeilijkheid is, elektronisch gezien, dat het middelen 'lang' moet duren (minstens één pompslag, dus bv 1sec), maar niet te lang, om de wachttijd te beperken.

Er zijn actieve en passieve oplossingen.

Voorbeeld actief
netwerk:

$$V_u = \frac{1}{RC} \int_0^t V_i dt$$



Voordelen: -korte wachttijd (bv één pompslag, daarna geldt $V_{i, \text{gemiddeld}} = V_u / T$)

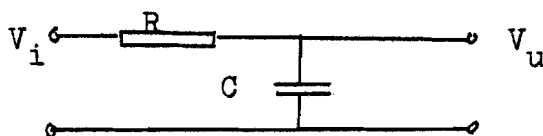
Dit is vooral een voordeel bij metingen met zeer laag toerental, zoals lekgatmetingen.

Nadelen: -actief netwerk, dus voeding nodig
-grote condensator nodig
(om $1/RC$ niet te groot te maken).

De grote condensator is een nadeel, er mag namelijk geen elco worden gebruikt, omdat elco's niet geschikt zijn voor spanningen die van teken omkeren. Het koppelsignaal is tijdens iedere pompslag korte tijd negatief (zie de grafieken van de pompstangkracht, waarin de kracht, en dus het koppel, van teken omkeert).

Voorbeeld passief netwerk:

$$V_u = \frac{V_i}{1+j\omega RC}$$



Werking: In feite een laagdoorlaatfilter, dat alleen de constante component van de spanning doorlaat, mits de RC-tijd lang genoeg is.

Voordelen: -passief netwerk, dus geen voeding nodig
-eenvoudig

Nadelen: -lange wachttijd, omdat het netwerk zich moet instellen (bv 1 minuut)
-grote condensator nodig

Opmerkingen:

- Tot nu toe (juni '81) is alleen met een passief netwerk (RC-kring) gewerkt.
- Als condensator is bv een parallelschakeling van kleinere condensatoren gebruikt.
(Wima Mks, 2,2+2,2+4,7+2,2+6,8+1=18,8 μ F)
- De weerstand R van het RC-netwerk mag niet te groot worden gekozen, omdat de voltmeter die gebruikt wordt een eindige inwendige weerstand heeft (bv 10M Ω).
Mogelijk kan men hiervoor wel corrigeren (niet onderzocht) mits de weerstand van de voltmeter goed lineair is.

3. Flow

Aan de flowmeting is in deze stage weinig aandacht besteed. Aan de opstelling is in de persleiding een meter bevestigd, fabrikaat Spanner-pollux, type M TRM 20 (NX)-119, waarin een reedcontact is aangebracht, die bij iedere liter water één puls afgeeft. Deze pulsen zouden kunnen worden geschreven op een recorder.

Op de schaal van de meter kan men aflezen hoeveel water er doorheen is gestroomd.

Problemen:-wijst de meter nauwkeurig aan voor fluctuerende stromen?

-Geven de knikken in de leiding vóór de meter geen onnauwkeurige aanwijzing?

4. Toerental

De toerentalmeter is in principe dezelfde als in lit.(1). Zie fig 4. Twee schijven met sleuven zijn bevestigd op de as van de wormkast, en draaien dus met hetzelfde toerental als de pomp. Er is een schijf met één sleuf en een met tien sleuven. Bij iedere schijf is een opnemer bevestigd. Met de opnemers is een kastje verbonden, dat de signalen in een rechthoekige puls omzet.

Wanneer de pulsen worden uitgeschreven op een recorder, kan uit het aantal pulsen per tijdseenheid het gemiddelde toerental worden bepaald.

Fluctuaties in het toerental kunnen worden bepaald uit de afstand tussen de pulsen onderling.

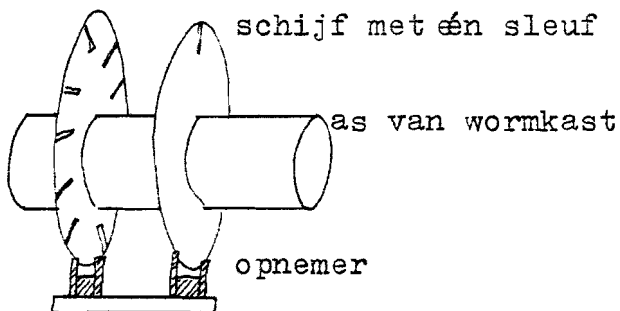


fig 4 Toerentalmeter

5. Het registreren van de signalen

Er zijn drie mogelijke oplossingen bedacht voor het registreren van de elektrische signalen die van de kracht-, koppel- en toerentalmeter (+ evt flowmeter) komen.

1. Op een voltmeter
2. Rechtstreeks op een oscilloscoop
3. Via een transient recorder op een schrijver.

1. Op een voltmeter

Een voltmeter is alleen nuttig bij niet te snel variërende spanningen. Dus bij het bepalen van het gemiddelde koppel, maar ook bij het ijken van de trekkrachtmeters.

2. Rechtstreeks op een oscilloscoop

In principe kunnen alle hier optredende signalen op een oscilloscoop worden geschreven. Omdat de frequentie laag is (ca 1-2Hz) kan echter geen duidelijk beeld worden gevormd, tenzij een geheugenscoop wordt gebruikt. Een probleem is echter ook dan nog, dat een scoop geen blijvend plaatje geeft, wat een recorder wel doet. Fotograferen is een oplossing, het is echter tamelijk onhandig en onnauwkeurig.

3. Via een transient recorder op een schrijver.

Een transient recorder is een apparaat, dat een (bijvoorbeeld snel) signaal kan op nemen, en (bv langzaam) weergeven.

Op deze manier kan het signaal geschikt worden gemaakt voor het schrijven met een gewone X-t schrijver, die anders te traag is voor het signaal.

De voor- en nadelen van de meting volgens 2. en 3. :

oscilloscoop

voor :-snel, geen wachttijd

tegen:-geen blijvend plaatje

-zonder geheugen slecht zichtbaar beeld

Transient recorder + schrijver

voor :-nauwkeuriger afleesbaar dan plaatje van oscilloscoop

-blijvend plaatje

tegen:-het tekenen van het plaatje door de schrijver duurt
ca 20s-3min.

-meer apparatuur nodig

MEETMETHODE

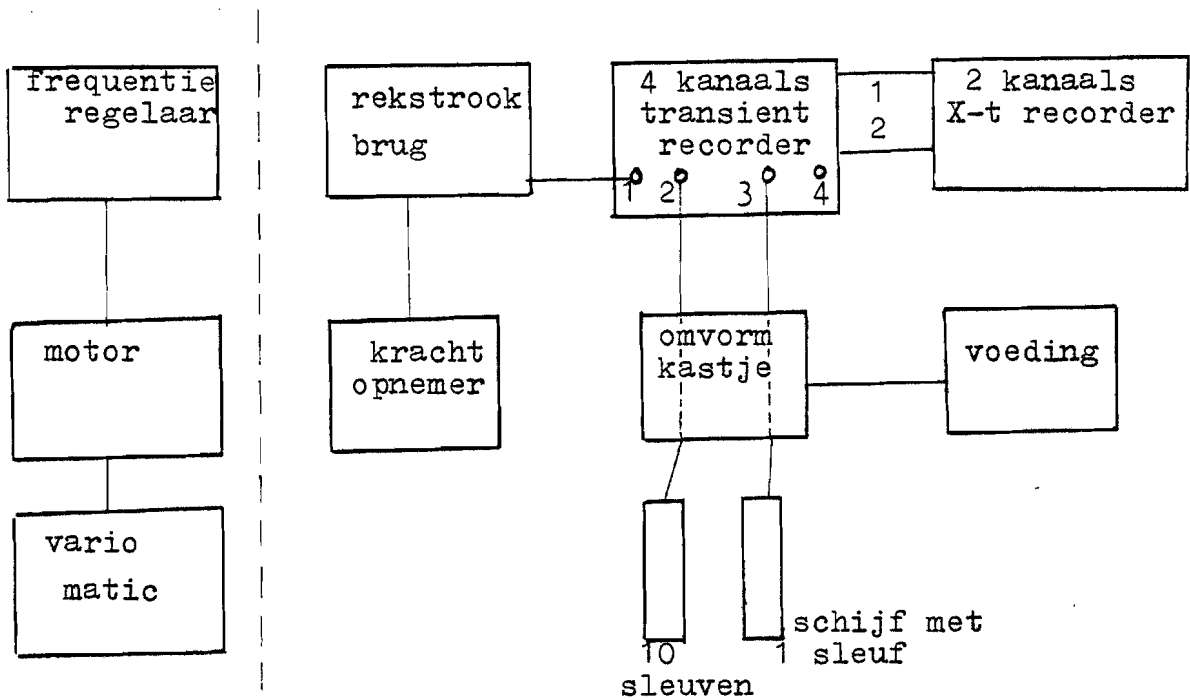
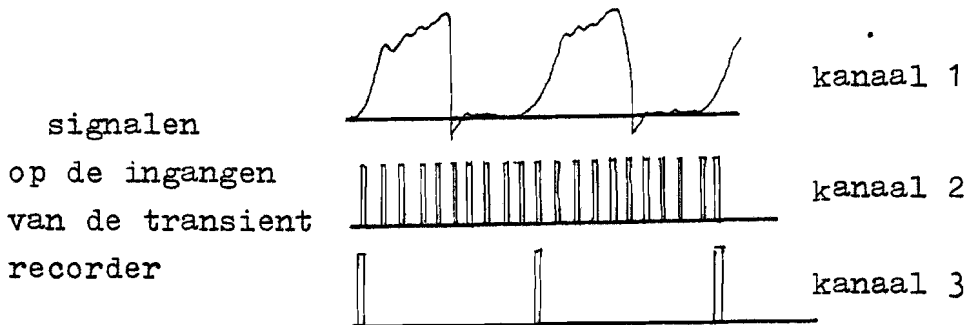


fig 5 opstelling apparatuur



Werking: Met de frequentieregelaar kan het toerental van de motor worden ingesteld, waarna met de variomatic nog extra kan worden gevarieerd.

De schijven met sleuven geven pulsen aan de opnemers. Deze pulsen worden door het omvormkastje tot rechthoekige pulsen van gelijke grootte omgezet.

Het derde kanaal van de transient recorder wordt als trigger kanaal gebruikt. Dit is het signaal van de schijf met één sleuf. De signalen op kanaal 1 en 2 worden (gelijktijdig) uitgeschreven op de 2-kanaals X-t recorder.

Met de pulsen van kanaal 2 kan later het toerental worden bepaald.

RESULTATEN VAN DE METINGEN

De resultaten zijn grafisch weergegeven in de grafieken H1, H2 en H3 (zie appendix)

De grafieken van de pompstangkracht als functie van de tijd blijken dezelfde vorm te hebben als bij de veldmetingen.

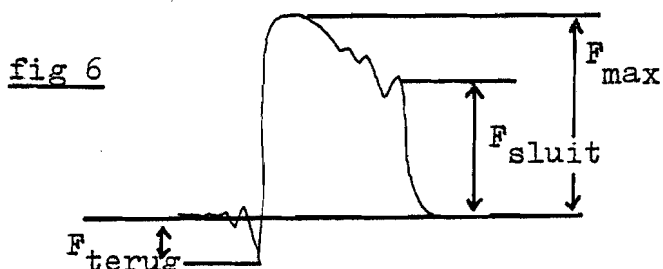
Opmerking: De tijd loopt in deze grafieken van rechts naar links.

Er zijn drie grootheden aan de pompstangkracht gemeten (zie fig 6)

-De maximumkracht (F_{\max})

-De kracht wanneer de zuigerklep sluit (F_{sluit})
(te zien aan de trilling in het krachtenplaatje.

-De terugslag in negatieve richting. (F_{terug})



Veel metingen zijn verricht bij lage frequenties (0.1-1Hz) Daar zijn duidelijk resonantieverschijnselen van de windketels waar te nemen. Zie grafiek H4, resonantie bij 0.25 Hz en 0.50 Hz .

De maximumkracht is bij resonantie uiteraard hoger dan normaal, maar opvallend is, dat F_{sluit} bij resonantie juist veel lager is dan normaal.

Ook opvallend is, dat er een verschil tussen de waarden van F_{\max} en F_{open} blijft bestaan tot ca 3Hz toe.

Daaruit blijkt waarschijnlijk dat, zoals bij de veldmetingen al geconcludeerd werd, inderdaad resonantieverschijnselen van de windketels in het werkgebied te onderscheiden zijn. De dynamische kracht kan namelijk niet verantwoordelijk worden gesteld, omdat zijn verloop anders is, dan de vervorming zoals die op de (verwachte) blokgolf gesuperponeerd is. Zie fig 7, de krachten zijn niet in verhouding getekend.

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

De basis voor een goede meting van de pompstangkracht is de ijking van de krachtmeter + rekstrookbrug.

De ijking van de krachtmeter is daarom extra zorgvuldig uitgevoerd. Er zijn gewichten gebruikt tot 220kg (2150N) terwijl de gemeten krachten hooguit 2600N waren.

De nauwkeurigheid was beter dan 0.5%.

Een aanknopingspunt of de ijking juist uitgevoerd was, is de statische kracht (zie appendix).

Daaruit blijkt, dat meting en berekening goed overeen komen.

De omstandigheden waarin de metingen met de pompopstelling zijn uitgevoerd zijn zoveel mogelijk gelijk genomen aan die bij de veldmetingen. Enige gegevens:

	pompopst.	veld
opvoerhoogte	4.60m	5m
aanzuighoogte	2.00m	1m
lengte zuigleiding	5m	12m
doorsnede zuigleiding	$0.8 \times 10^{-3} \text{m}^2$	$1.6 \times 10^{-3} \text{m}^2$
resonantiefrequentie		
zuigwindketel	0,4Hz	0.36Hz
lengte persleiding	5m	13m
doorsede persleiding	$0.7 \times 10^{-3} \text{m}^2$	$0.9 \times 10^{-3} \text{m}^2$
resonantiefrequentie		
perswindketel	0.37Hz	0.26Hz

Het blijkt, dat de meting aan de pompopstelling veel beter met de theorie overeenkomt, dan die op het veld (zie lit (1)).

Aangezien de zuig- en persleidingen op het veld langer waren dan bij de pompopstelling, waren de wrijvingskrachten van het water in de leidingen op het veld wat groter.

Dit kan echter het verschil niet verklaren, omdat de wrijvingskrachten in de orde van honderden Newtons liggen, en de verschillen tussen de twee metingen duizenden Newtons bedragen.

Het verschil tussen de twee metingen is, dat de meting aan de pompopstelling ruwweg een factor twee lager uitvalt dan die op het veld.

Wat betreft de resonantie van de windketels:

Uit grafiek H4 volgen resonantiepieken bij ca 0.5 en 0.25Hz. Men kan echter bij grafiek H1 een uitdempende trilling zien, die ontstaat door de impulsresponsie van het windketel-water systeem. De frequentie van die trilling (=resonantiefrequentie van het systeem) is ongeveer 0.4Hz. Dit komt dus ook mooi overeen met de andere metingen en theorie.

Een punt dat aandacht verdient is de uittrilfrequentie van de stootkracht, er geldt namelijk

$$\omega = \sqrt{k/m_w} \quad (\text{zie theorie})$$

zodat gecontroleerd kan worden of er geen fout is gemaakt bij de bepaling van k en m_w . Dit is belangrijk omdat k en m_w moeilijk nauwkeurig te bepalen zijn.

LITERATUUR

- (1) Breugel, J v
Pompstangkrachtmetingen aan de "Tanzania"-pomp
stageverslag THE R 465-S 1981
- (2) C A Massen, GAL Boogert
Concept diktaat Trillingen
dikt. nr 3.304
- (3) Does, P v d
Metingen van pompstangkrachten aan de Tunesiëpomp
THE R 442-D 1980
- (4) Gebruikershandleiding voor Peekel 581 DNH (Nederlandse
uitvoering)
- (5) Gebruikershandleiding voor Peekel CA/300/310/320
- (6) Gebruikershandleiding Erich Brosa krachtometers.

A P P E N D I X

A IJking krachtmeter met rekstrookbrug

De opstelling was als volgt. (zie fig 8)

De krachtmeter werd met enige hulpstukken aan een hydraulische takel gehangen. Deze hulpstukken werden speciaal daarvoor vervaardigd. Met touwen werd daaraan een houten pellet gehangen, waarop gewichten werden geplaatst.

Op de rekstrookbrug werd een digitale voltmeter aangesloten.

De rekbrug werd verbonden met de krachtopnemer.

De voltmeter had aflezing op $3\frac{1}{2}$ cijfer

(dwz vier cijfers met eerste cijfer alleen 1 of 0).

De gebruikte gewichten waren:

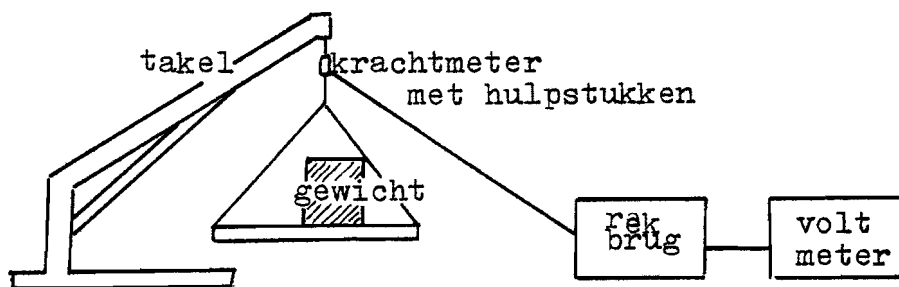
vat met water (24,510 \pm 0,025) kg

vat met water (49,450 \pm 0,025) kg

persoon (72,8 \pm 0,2) kg

persoon (72,5 \pm 0,2) kg

De verschillen in nauwkeurigheden zijn ontstaan doordat de personen en vaten op verschillende weegschalen zijn gewogen.



De instellingen waren als volgt:

Rekstrookbrug nulstang 50668
Range 3000

Voltmeter 200mV gevoeligheid
bij laatste meting : 2V gevoeligheid.

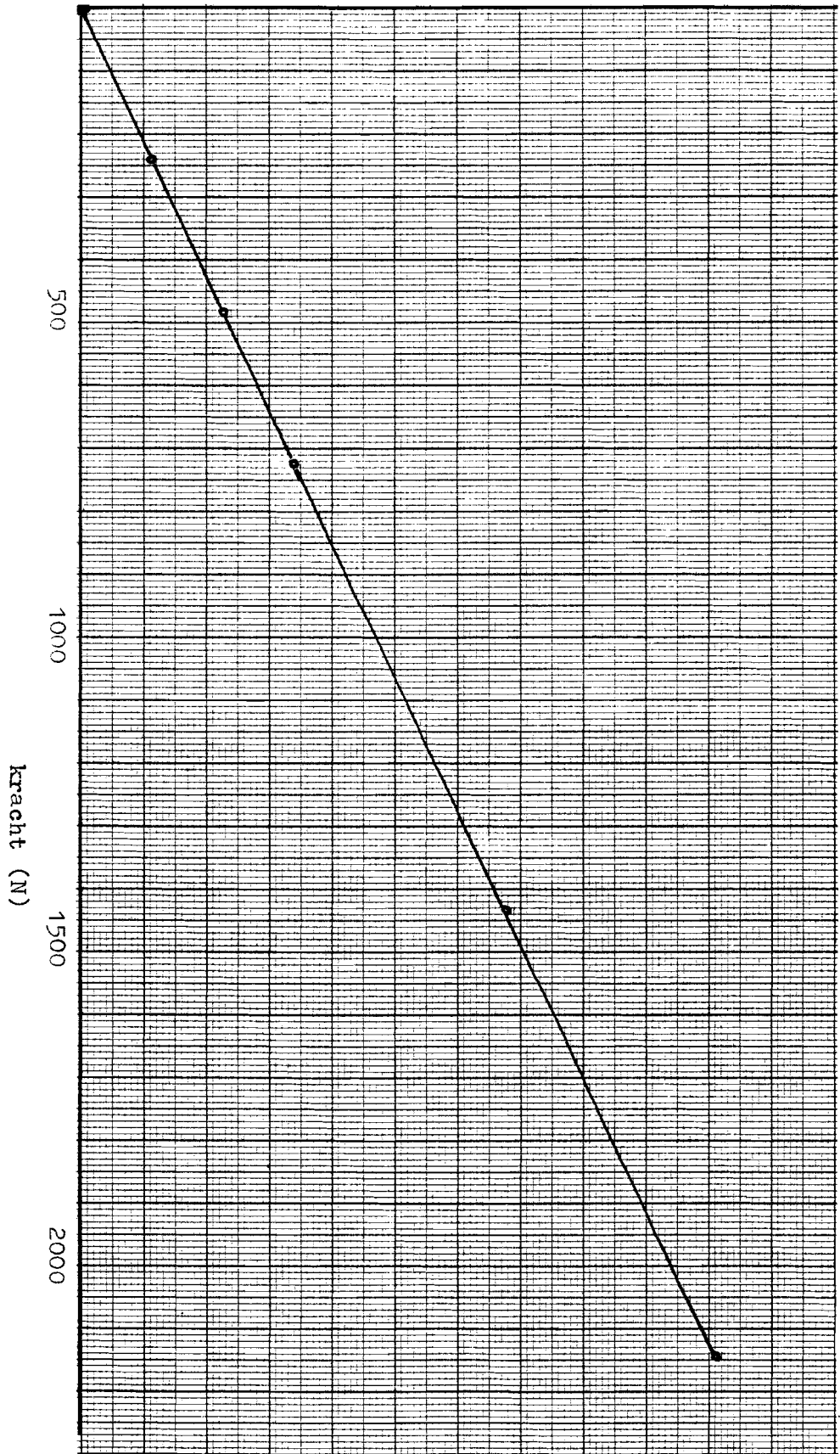
<u>Metingen:</u>			<u>aanwijzing-nulstand</u>
massa	gewicht	aanwijzing	gewicht
kg	N	mV	mV/N
0	0	00,1	-
24,51	240,2	22,6	0,0937
49,45	484,6	45,5	0,0937
73,96	724,8	68,0	0,0937
146,46	1435	135	0,0940
219,26	2149	202	0,0940

Hieruit volgt een gevoeligheid van $(0,094 \pm 0,0005)\text{mV/N}$

IJking combinatie krachtopnemer - rekstrookbrug

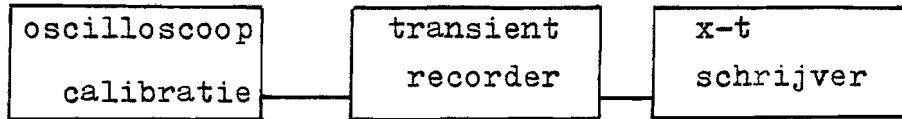
uitgangsspanning rekstrookbrug (mV)

20 40 60 80 100 120 140 160 180 200



B Ijking combinatie transient recorder- X-t schrijver

Er moest bepaald worden met hoeveel spanning een bepaalde uitslag van de X-t schrijver overeen komt.



Als spanning werd de calibratie van de scoop gebruikt.

Volgens opgave : 1V (blok golf)

meting met voltmeter: 0,500 V AC.

dus inderdaad juist.

Uit de grafiek die de schrijver produceerde, volgt:

40 eenheden op papier van de schrijver = 1V ingangssignaal

instellingen: transient gevoeligheid 2V

schrijver gevoeligheid 5V (met spanningsdeler)

Dit betekend: bij gevoeligheid van transient recorder 1V

80 eenheden op papier = 1V

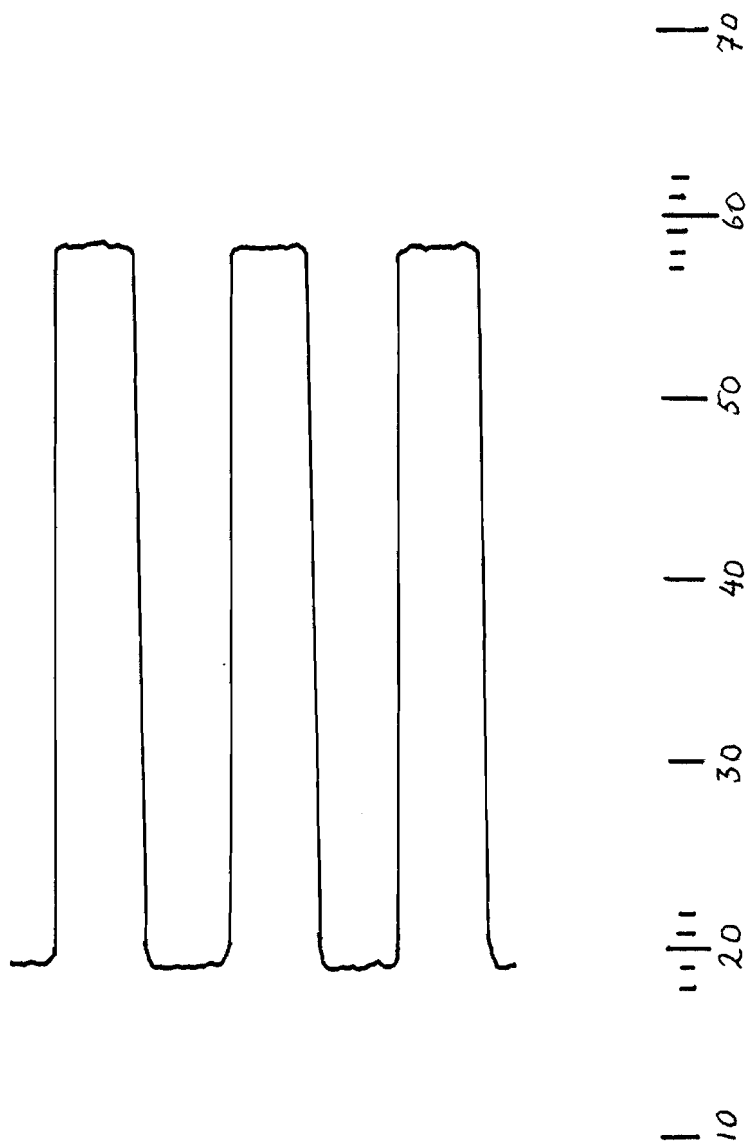
Opmerking: gedurende de meting was op de X-t schrijver een spanningsdeler 1:10 gemonteerd, omdat anders het uitgangssignaal van de transient recorder (niet instelbaar) te groot was voor de schrijver.

Uit de ijkingen in appendix A en B volgt, dat bij de meting 1000N overeen kwam met $1000 \times 0,094 \times 3 = 282 \text{mV}$

(factor 3 omdat instelling rekstrookbrug 1000 was)

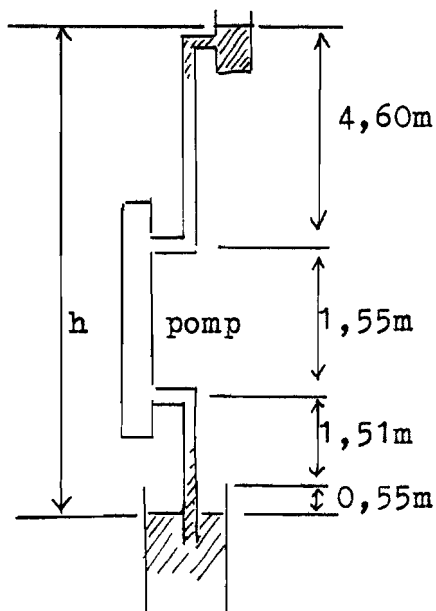
dus 1000N $\cong 0,282 \times 80 = 22,5$ eenheid op papier
 $= 5,625 \text{ cm}$

IJking combinatie transient recorder - x-t recorder



C Statische kracht

C, D.



Er geldt:

$$F_{\text{statisch}} = A \cdot h \cdot \rho_w \cdot g$$

(zie theorie)

de waarden der parameters zijn:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi (14,5/2)^2 = 165 \text{ cm}^2$$

$$h = 4,6 + 1,55 + 1,51 + 0,55 = 8,2 \pm 0,3 \text{ m}$$

$$\rho_w = 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$$

Hieruit volgt:

$$F_{\text{stat}} = 1326 \pm 50 \text{ N}$$

Uit grafiek H1 volgt: $F_{\text{max}} - F_{\text{min}} = 1460 \pm 50 \text{ N}$

Nu geldt: $F_{\text{max}} - F_{\text{min}} = F_{\text{stat}} + F_{\text{wrijving,op}} + F_{\text{wrijving,neer}}$
lit.(1).

$$\text{Dus } F_{w,\text{op}} + F_{w,\text{neer}} = (F_{\text{max}} - F_{\text{min}}) - F_{\text{stat}}$$

$$= 1460 \pm 50 - 1326 \pm 50 = 134 \pm 100 \text{ N}$$

Dit is acceptabel, en komt overeen met wat in lit (1)

is gevonden. In lit (3) zijn de wrijvingskrachten daadwerkelijk gemeten, echter aan een andere pomp (Tunesiëpomp).

De resultaten waren:

$$F_{w,\text{op}} + F_{w,\text{neer}} = 36 \text{ N}$$

D Resonantiefrequentie windketels

De resonantiefrequentie wordt bepaald mbv de formule uit de theorie. De waarden der parameters zijn:

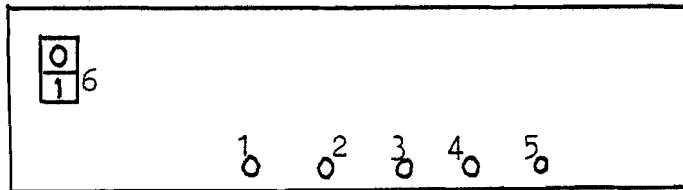
	zuigwindketel	perswindketel
K	1,4	1,4
A	$8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$7,07 \times 10^{-4}$
P	$0,9 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$	$1,5 \times 10^5$
ρ_w	10^3 kgm^{-3}	10^3
V	$3,27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	$5,42 \times 10^{-3}$
L	5m	5
Resonantie	2,49 rad/s =0,40 Hz	2,34 rad/s =0,37 Hz

E Handleiding voor het gebruik van apparatuur

O. Typeaanduidingen van de gebruikte apparaten

Frequentieregelaar	Eldutronic FC 3 CL
oscilloscoop	Gould OS 255
multimeter	Fluke 8010 A
rekstrookbrug	Peekel 581 DNH
Voeding	Oltronix STABPAC 15
x-t schrijver	W+W recorder model 302
krachtmeter	E. Brosa $\pm 1\text{Mp}$, $4 \times 600\ \Omega$
transient recorder	Difa TR 1010, 4 kanaals
flowmeter	Spanner pollux, M TRM20 (NX)-119
rekstrookbrug (afd Transportfysica)	Peekel CA 300

1. Frequentieregelaar



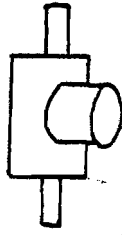
Hiermee wordt de snelheid van de motor geregeld.
Instelling knoppen voor normaal gebruik:

1. Toerenregelknop, instelling 0 (daarna in te stellen)
2. Instelling maximum toerental,
instelling: maximaal (=rechtsom)
3. Instelling maximum koppel,
instelling: maximaal (=rechtsom)
4. Instelling versnellingstijd
instelling: 0 (=linksom)
5. Instelling vertragingstijd
instelling: 0 (=linksom)
6. Aan/uit knop. 0=uit
1=aan

Bediening: Nadat de knoppen als hierboven ingesteld zijn, wordt met knop 6. het apparaat aangezet. Met 1. kan dan het gewenste toerental worden ingesteld. Voor- en achteruit = rechts- en linksom.

Let vooral op dat knop 5 op nul staat. Wanneer dit niet het geval is, zal de motor, wanneer knop 1. op nul gezet wordt, slechts langzaam tot rust komen. Dat kan in noodsituaties gevaarlijk zijn, wanneer men de motor snel uit wil hebben.

2. Krachtopnemer



E. Brosa \pm 1Mp (= \pm 10kN)

Aansluitingen stekkertjes

(bij de gebruikte wisselstroommethode kunnen de plussen en minnen omgekeerd worden)

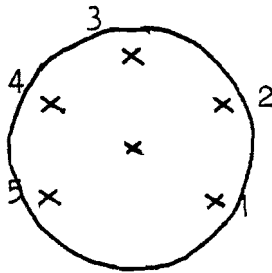
1= N.C.

2= U_{meet}^-

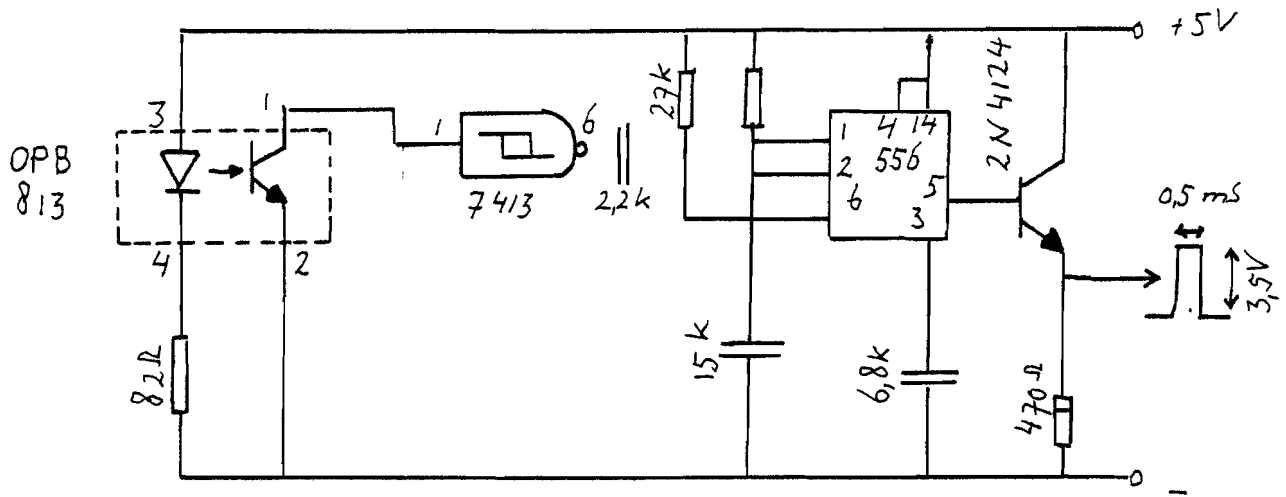
3= U_{voed}^-

4= U_{meet}^+

5= U_{voed}^+



3. Schakeling achter de fotocellen



- plug 1- -
- 3- +5V
- 2- uitgang

F Aansluitingen kabels

1. Kabel van motor naar noodschakelaar
Kabel van noodschakelaar naar frequentieregelaar
(4 of 5-aderige kabels voor krachtstroom.)

2. Kabel van krachtmeter $\pm 1\text{kN}$ naar rekstrookbrug.
Opm.: De kabel zit aan de krachtopnemer vast
ge vulcaniseerd.

kleur: bruin

6-aderige kabel met afscherming

rood/zwart = voeding

blauw/grijs = signaal

geel/bruin = N.C.

3. Kabel van krachtopnemer met plug naar rekstrookbrug
kleur: grijs

5-aderige kabel met trekontlasting en afscherming

grijs/groen = voeding

bruin/geel = signaal

zwart = trekontlasting

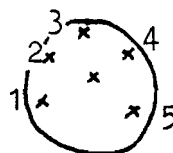
wit = N.C.

Deze kabel heeft aan de andere kant een plug

1 = N.C. 4 = bruin

2 = geel 5 = groen

3 = grijs



type : T-3400-001

4. Aardkabel van opstelling naar apparatuur (bv rekstrookbrug)
kleur: gele en groene strepen

5. Kabel van rekstrookbrug naar scoop (of transientrecorder)
kleur: zwart

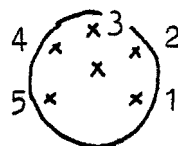
Aan kant van aansluiting met scoop: BNS-plug

Andere kant: 6-polige plug

1=N.C. 4=recorder

2=N.C. 5=aarde

3=N.C.



type: T-3401-001

Opm.: deze kabel is speciaal voor de gebruikte rekstrookbrug gemaakt. Hij dient linksboven achter in de brug gestoken te worden (aanduiding: 'output').

De aanzichten van de pluggen zijn zo, dat de denkbeeldige kabel achter de plug zit

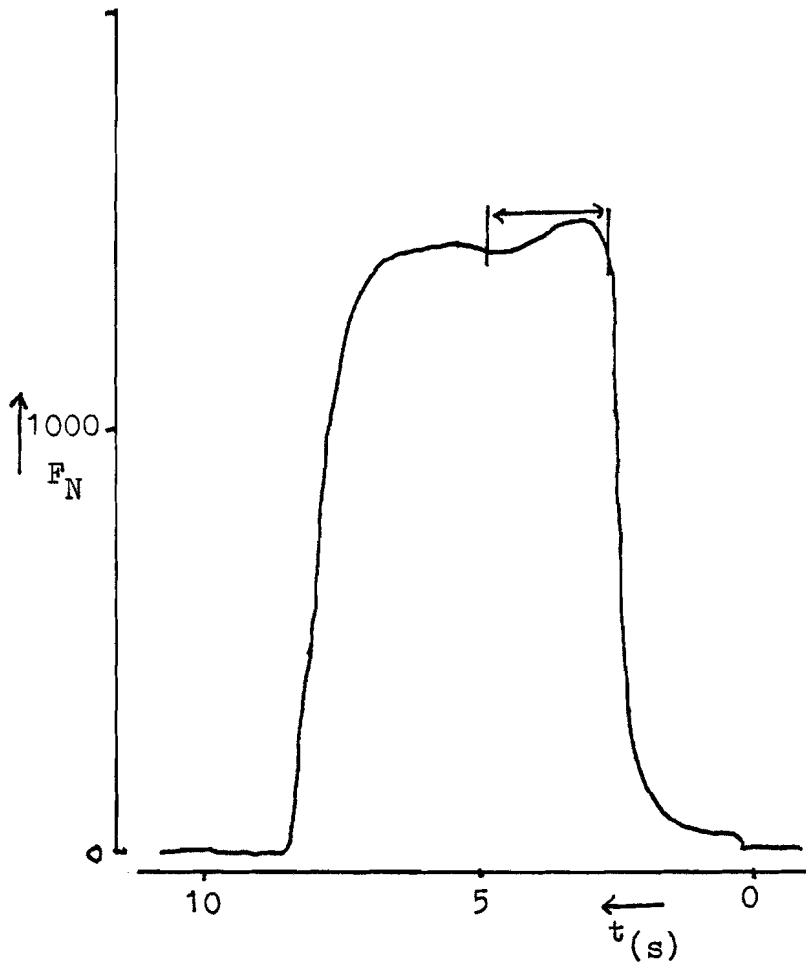
frequentie Hz	F _{max} N	F _{open sluit.} N
0,12 ±5%	1660 ± 50	1460 ± 50
0,16	1590	1460
0,20	1740	1410
0,24	1720	1280
0,29	1610	1460
0,34	1810	1630
0,39	1970	1630
0,42	2050	1590
0,46	2140	1370
0,50	2140	1190
0,60	1990	1240
0,75	1880	1320
0,88	1860	1370
1,02	1920	1460
1,13	1940	1550
1,21	1940	1550
1,32	1990	1630
1,74	2010	1940
2,07	2120	1990
2,33	2390	2340
2,51	2500	2430
2,86	2650	2650

De onnauwkeurigheid in de bepaling van de kracht was ongeveer 1 hokje op papier, dwz ca 50 N

De onnauwkeurigheid in de bepaling van de frequentie was ca $\frac{1}{2}$ hokje (tellen van het totaal aantal hokjes tussen de eerste en de laatste puls). Als referentie werd de breedte van het signaal op papier gebruikt, waarin ook een onnauwkeurigheid van ca $\frac{1}{2}$ hokje, de breedte van het signaal was 22 mm = 22 hokjes, dus onnauwkeurigheid ca 5%

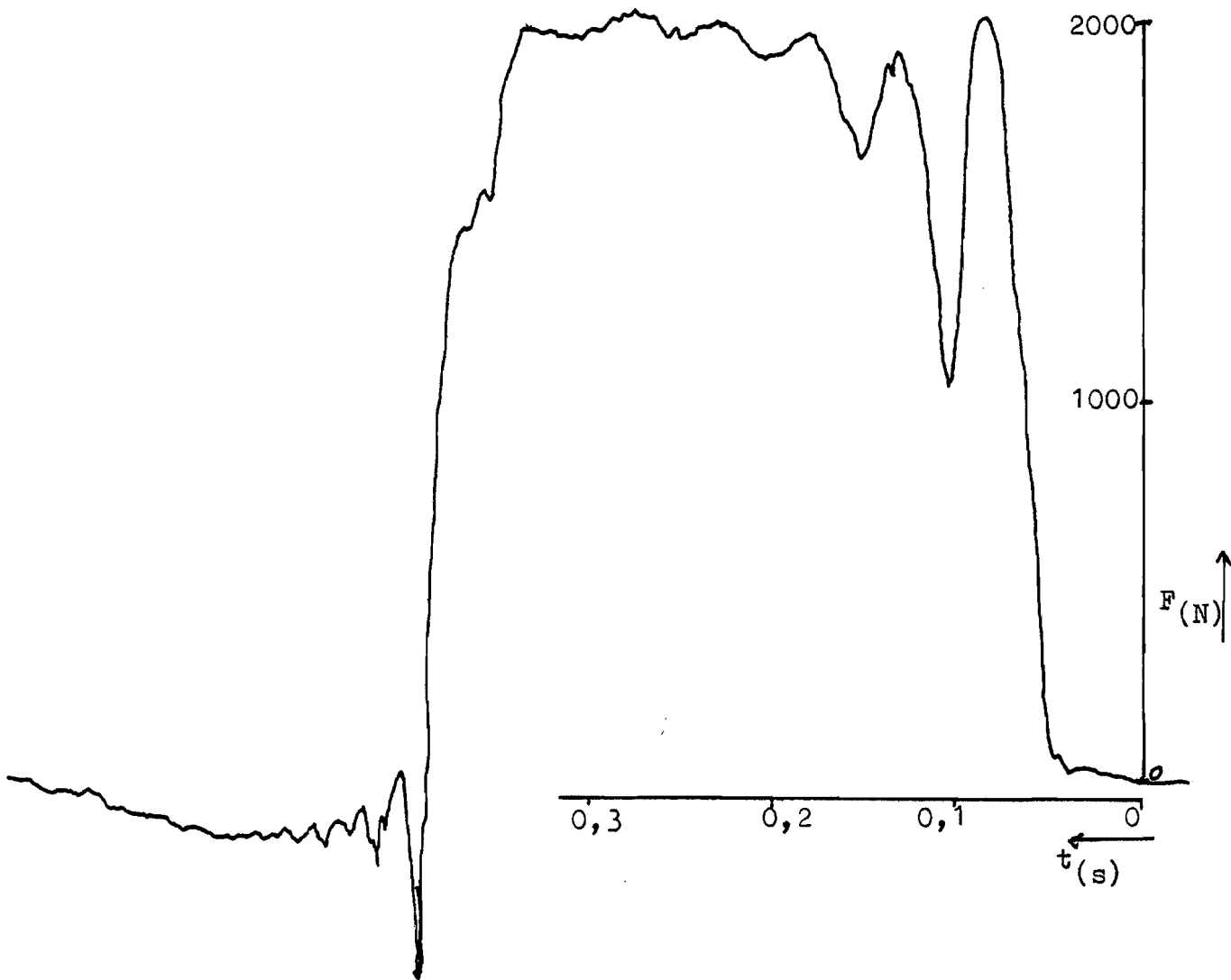
H1

Frequentie = 0,067Hz

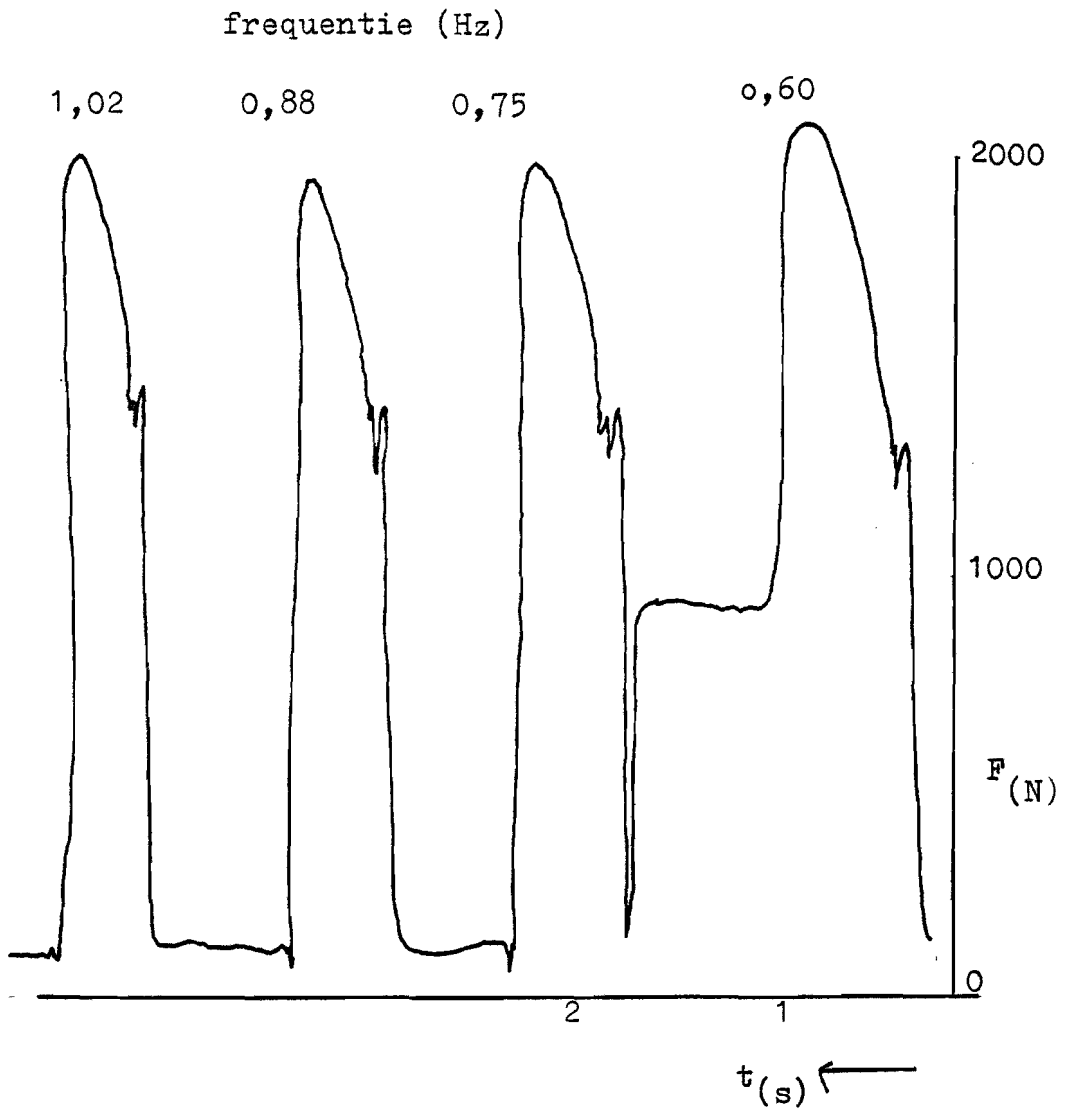


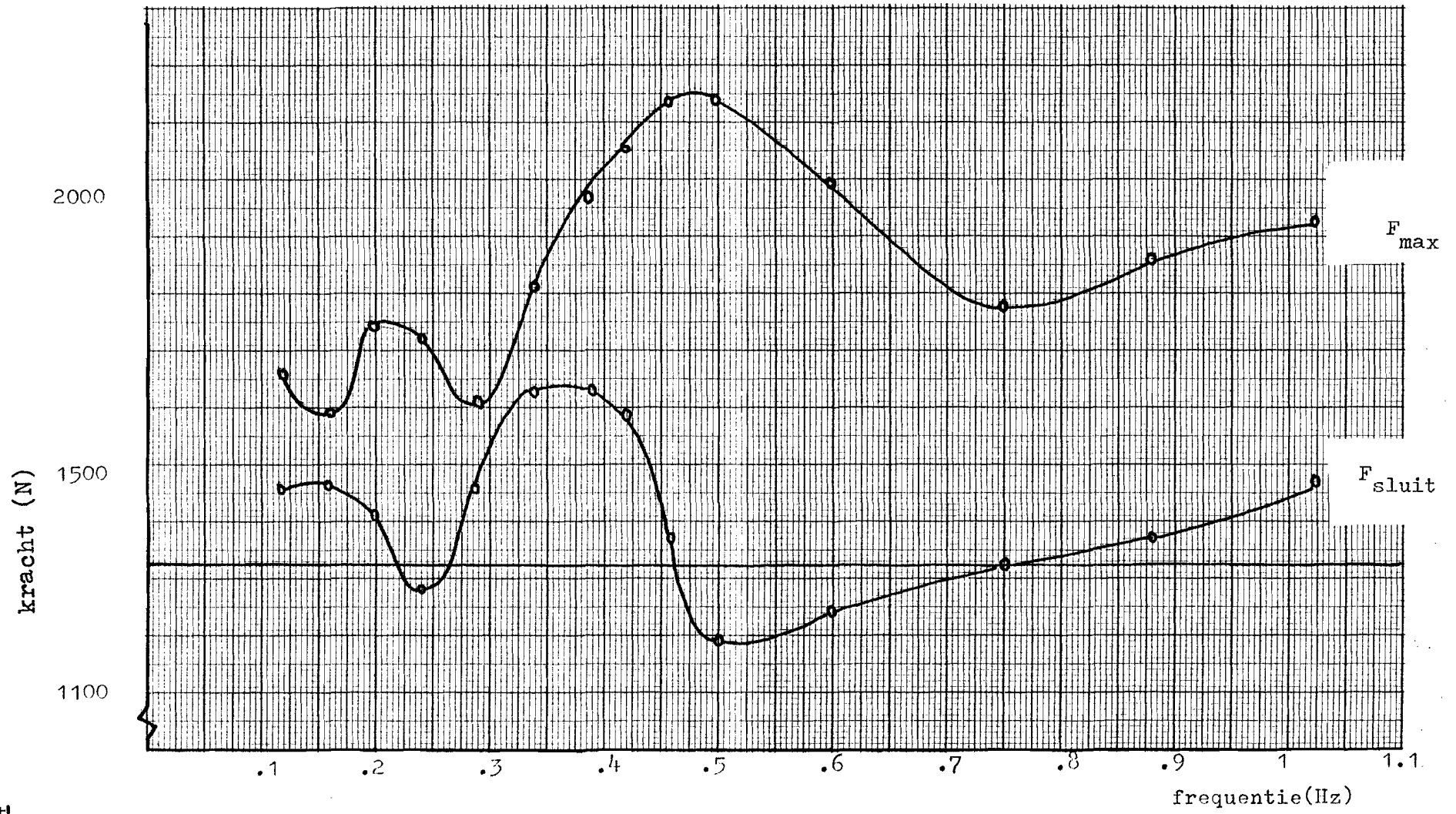
H2

frequentie = 1,83Hz

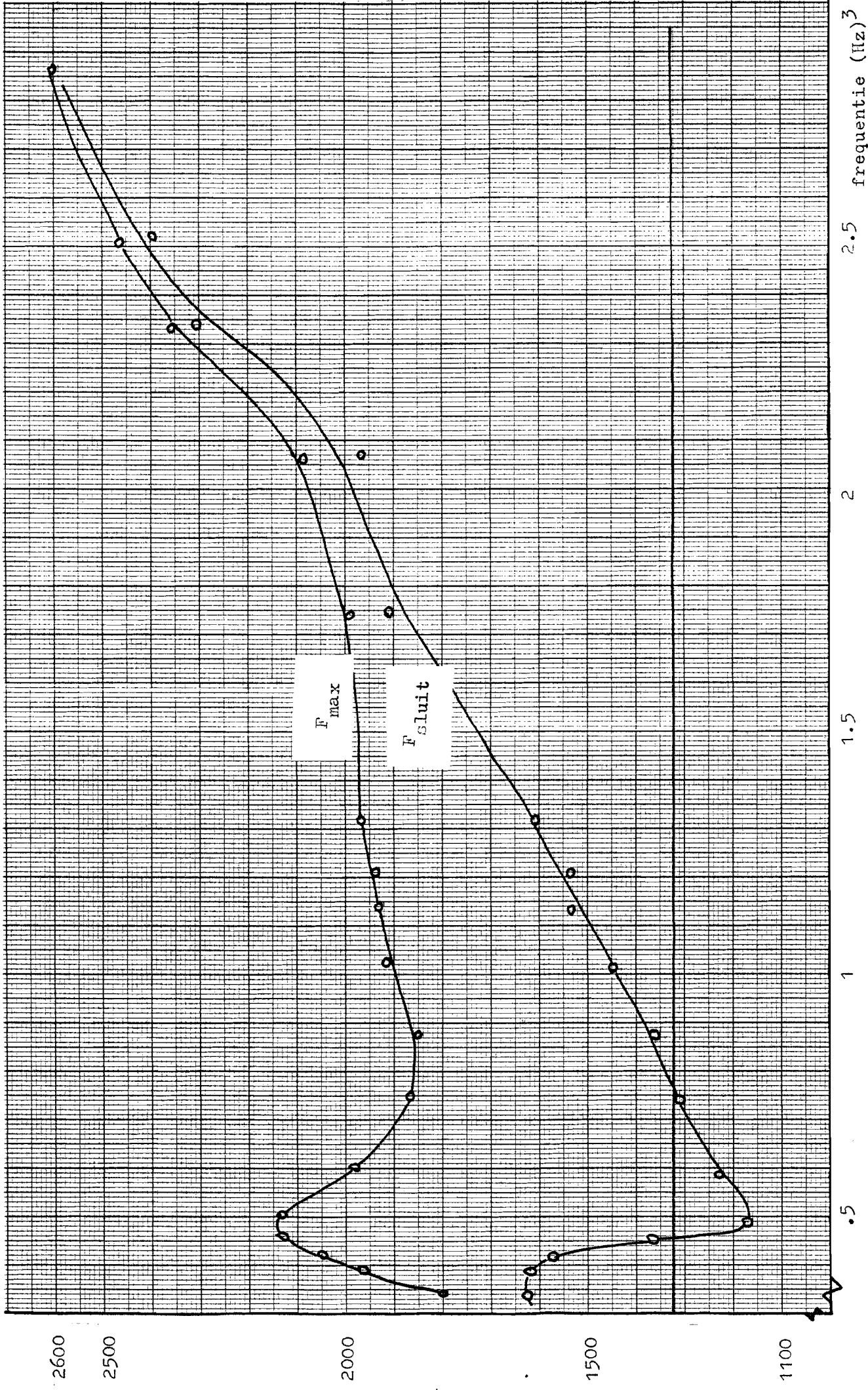


H3 Gedeelte van de meetserie waaruit de grafieken H4 en H5 werden bepaald. Steeds werd van één pompslag een grafiek gemaakt, waarna het toerental werd verhoogt.





H5



H6

