

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
LABORATORIUM VOOR
WERKTUIGKUNDIGE MEET- EN REGELTECHNIEK

Schrijver: E.J. van Dijk

Titel: Het gedrag van een spierhardheids-
opnemer in een onderarmkoker.

Rapport nr.: A-184

Datum: juni 1976

Samenvatting:

Na een vorig onderzoek, waarin gemeten werd in een vaste opstelling, bestond een gematigd optimisme t.a.v. de toepasbaarheid van een spierhardheidsopnemer voor het sturen van een pneumatische protese. Deze opnemer wordt met een konstante kracht op de spier gedrukt en levert een mechanisch signaal. In dit onderzoek is nagegaan of het ontstane optimisme ook voor het meer praktische geval van toepassing in een stompkoker gerechtvaardigd is. Hiervoor is een opnemer met koker gebouwd, waarmee aan gezonde proefpersonen gemeten is. Het blijkt, dat de opnemer reageert op een combinatie van hardheidsverandering en vormverandering. Dit impliceert, dat het rustnivo en de signaaloverdracht te onbetrouwbaar zijn voor proportionele sturing. T.a.v. aan-uit sturing kan nog geen definitieve uitspraak gedaan worden, omdat er reden is om aan te nemen, dat de gekozen stuurplaats (m.e.d.c.) niet optimaal is. Het signaal van de m.e.d.c. ligt, bij 50 % aanspanning, in de zelfde orde van grootte als de fluktuaties op het rustsignaal t.g.v. belasten en positioneren van de koker. (20-25 % van de aandrukkracht). Er werd een afname van het signaalbereik bij belasting geconstateerd.

Totaal aantal pagina's: 81

Vakgroep voor werktuigkundige
Meet- en Regeltechniek
Mekelweg 2
Delft

5e-jaars afstudeeropdracht voor de heer E.J. van Dijk,
Nieuwelaan 42-44, Vlaardingen.

In het kader van het ontwikkelingswerk aan pneumatisch bekrachtigde prothesen past het onderzoek naar de toepasbaarheid van een spierhardheidsopnemer voor de prothesebesturing, als alternatief voor het sturen met het EMG-signaal.

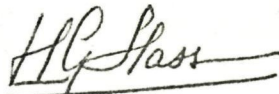
In een voorgaand onderzoek zijn gegevens verkregen over de optredende signaalgrootten afhankelijk van de vormgeving van de opnemer.

Van U wordt verwacht dat U de invloed bepaalt, die het opnemen van de myostaat in een gesloten kokerfitting heeft, op het uitgangssignaal van deze spierhardheidsopnemer.

Uw werk dient te bestaan uit: Het construeren van een opnemer en onderarmkoker die de bewegings^{moge}smoeilijkheden van de proefpersoon niet beperkt, en het uitvoeren van metingen voor wat betreft de invloed van de belastingen op de koker en positieveranderingen van de arm op het myostaat signaal.

Het onderzoek zal worden verricht in de sectie MMS onder directe begeleiding van Drs. J.S. van Dieten.

Delft, mei 1976,



Dr.ir. H.G. Stassen.

Inhoud.

| | |
|--|----|
| Titelblad en samenvatting. | 1 |
| Opdracht. | 2 |
| Inhoud. | 3 |
| 1. Inleiding. | 4 |
| 2. Doel van het onderzoek en probleemstelling. | 6 |
| 3. Principe en eigenschappen van de myostaat. | 7 |
| 4. Aanpak van het onderzoek. | 10 |
| 5. Ontwerp van de myostaat. | 14 |
| 5.1 De krachtomzetter. | 14 |
| 5.2 Het opnemergedeelte. | 19 |
| 5.3 Het aandrukmechanisme. | 22 |
| 6. De experimentele koker en handfitting. | 27 |
| 7. De metingen. | 29 |
| 7.1 Meetopzet. | 29 |
| 7.2 Proefopstelling. | 30 |
| 7.3 Proefpersoongegevens. | 32 |
| 8. De meetresultaten. | 33 |
| 8.1 Metingen uit de eerste categorie. | 33 |
| 8.2 Metingen uit de tweede categorie. | 39 |
| 8.3 Aanvullende metingen. | 46 |
| 9. Konklusies. | 51 |
| 9.1 De konstruktie. | 51 |
| 9.2 Storingsgevoeligheid. | 51 |
| 9.3 Algemene opmerkingen. | 52 |
| 9.4 Aanbevelingen voor verder onderzoek. | 54 |
| Appendix A; veerkonstrukties. | 55 |
| Appendix B; pneumatische motoren. | 59 |
| Appendix C; berekening aandrukmechanisme. | 62 |
| Werktekeningen | 67 |
| Gebruikte apparatuur. | 79 |
| Afkortingen en symbolen | 80 |
| Literatuur. | 81 |

1. Inleiding

In het kader van het onderzoek naar ontwikkeling en verbetering van hulpmiddelen voor lichamelijk gehandicapten wordt door de sectie M.M.S. gekeken naar een mogelijkheid om een mechanisch signaal, dat gebruikt kan worden om een pneumatisch bekrachtigde handprothese te sturen, van een amputatiestomp af te leiden. Hierbij wordt verondersteld, dat met de restspieren in de stomp isometrische contracties mogelijk zijn. De spieren moeten dus gezond zijn en distaal aangehecht.

Het heeft veel voordelen, wanneer de signaaloverdracht van patiënt naar prothese binnen de stompkoker kan plaatsvinden. De praktische bruikbare oplossingen hiervoor blijven echter beperkt tot het EMG signaal, dat op de huid boven de spier meetbaar is. Elektroden worden eenvoudig op de juiste plaats in de koker aangebracht en al of niet met behulp van veerkracht op de stomp gedrukt. Na voldoende versterking en verdere bewerking is het signaal geschikt om een (elektrische) motor te sturen. Voor het sturen van een pneumatische motor moet het elektrische signaal omgezet worden in een mechanisch signaal waarmee een klep gestuurd kan worden, die de flow naar de motor regelt. Het nadeel van een dergelijk systeem is, dat, naast de konstruktieve aspecten, steeds twee bronnen nodig zijn en dat de signaalverwerking relatief nog veel energie kost. Het zou daarom prettig zijn te kunnen beschikken over een opnamer die, geplaatst op een spier, als gevolg van de spiercontractie een krachtsignaal genereert, waardoor een veel directere koppeling tot stand komt. Een mogelijke oplossing voor dit probleem, waaraan in deze opdracht gewerkt is, wordt geboden door het idee van de "myostaat", dat eind 1971 werd gelanceerd door de fa. Otto Bock, die o.a. EMG gestuurde elektrische handen vervaardigt. De myostaat reageert op de hardheidsverandering van de spier en levert een krachtsignaal.

Het konsept bood goede perspectieven tot integratie met de door de sectie Instrumenten ontwikkelde krachtgestuurde kleppen, waardoor een aantrekkelijk alternatief voor de EMG opnemers onstond. Na uitblijven van verdere informatie van de zijde van Otto Bock over toepassing van de myostaat is in 1973 door Gerbranda een onderzoek gestart naar de realiseerbaarheid van een dergelijke opnemer. Door dit onderzoek is informatie verkregen over de grootte en de kwaliteit van het signaal en wat de invloedrijkste opnemerparameters zijn. Het bleek dat op deze wijze in principe een bruikbaar signaal verkregen kan worden. Wat opviel was de goede doseerbaarheid in vergelijking met het EMG signaal. Hieruit blijkt het voordeel van het mechanies effect van de spier boven het elektries verschijnsel als signaalbron. De praktische toepasbaarheid van een signaalopnemer in een stompkoker zal echter hoofdzakelijk bepaald worden door storingsgevoeligheid t.g.v. positioneren en belasten van de protese. Hierin schuilt voor een deel het succes van de EMG sturing, waarbij deze storingsgevoeligheid voldoende klein is.

2. Doel van het onderzoek en probleemstelling

Op grond van het voorgaande onderzoek, waarbij de positie van de opnemer ten opzichte van de spier gefixeerd was, kan over de praktische toepasbaarheid nog geen uitspraak gedaan worden. De resultaten waren echter voldoende positief om voortzetting van het onderzoek te rechtvaardigen. Het doel van het verdere onderzoek zal daarom zijn te trachten een idee te krijgen over het gedrag van de myostaat in een stompkoker met betrekking tot de storingsgevoeligheid voor belasten en positioneren van de protese. Voor dit onderzoek is het nodig te beschikken over een myostaat met koker, waarmee op de man gemeten kan worden. De probleemstelling is daarom tweeledig:

1. Ontwerp van een myostaat met koker op basis van de bevindingen uit het vorige onderzoek;
2. Het doen van metingen die uitsluitsel geven over het gedrag van de myostaat in een koker.

In dit stadium van onderzoek ligt de nadruk nog steeds op de vraag of toepassing überhaupt haalbaar is zodat op het konstruktieve vlak t.a.v. praktische toepasbaarheid nog de nodige vrijheid bestaat. Ontwerp en konstruktie zal in de eerste plaats een oplossing moeten bieden voor het meetprobleem.

3. Principe en eigenschappen van de myostaat.

In het kort zullen nu de inzichten, die uit het vorige onderzoek naar voren kwamen besproken worden. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar het afstudeerverslag van Gerbranda (3). Fig. 3.1 toont schematisch de werking van de myostaat.

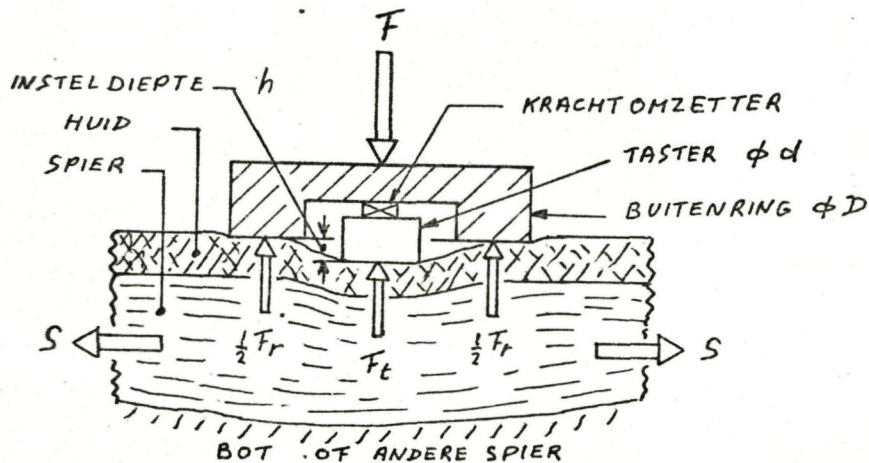


Fig. 3.1 Principe van de myostaat. F aandrukkraft, F_t, F_r respektievelijk de resultantes van de drukverdelingen op de taster en buitenring. S de spierkontraktie.

Een vlak, ringvormig buitendeel met buitendiameter D en een concentrisch binnendeel met diameter d , worden met bepaalde kracht, F , op de huid boven de betreffende spier gedrukt. Het binnendeel, de taster, ligt in meer of mindere mate onder het aanligvlak van de ring. De krachtverdeling over taster en buitenring zal nu bepaald worden door de weerstand tegen indrukking van het onderliggende spierweefsel. Deze is weer afhankelijk van de kontraktie toestand van de spier. De kracht op de taster wordt gemeten en vormt het uitgangssignaal van de myostaat.

Principieel bij deze opnemer is het konstant zijn van de aandrukkraft F , waardoor ongevoeligheid voor zwelling, die niet uitsluitend

een gevolg behoeft te zijn van de spieraanspanning, verkregen wordt.

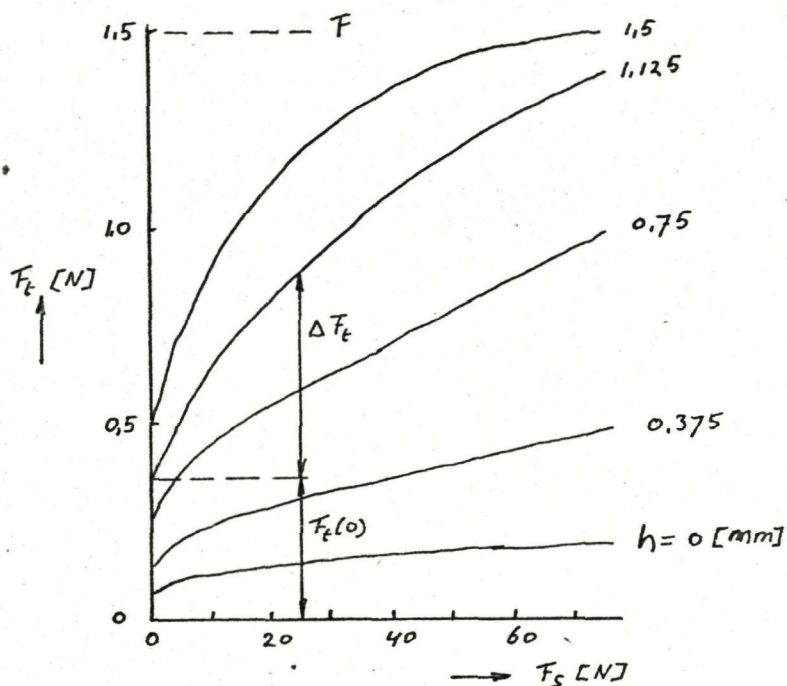


Fig. 3.2 Tasterkracht tegen spieraanspanning op de m.e.c.r.b. van PP 1. $F = 1,5$ N, $D = 20$ mm, $d = 6$ mm.

Het blijkt, dat ook bij ontspannen spier een kracht op de taster gemeten wordt. Dit rustsignaal hangt voornamelijk af van de tasterinstelling h en in mindere mate van de aandrukkraft F , zoals te konkluderen is uit fig. 3.2 en 3.3.

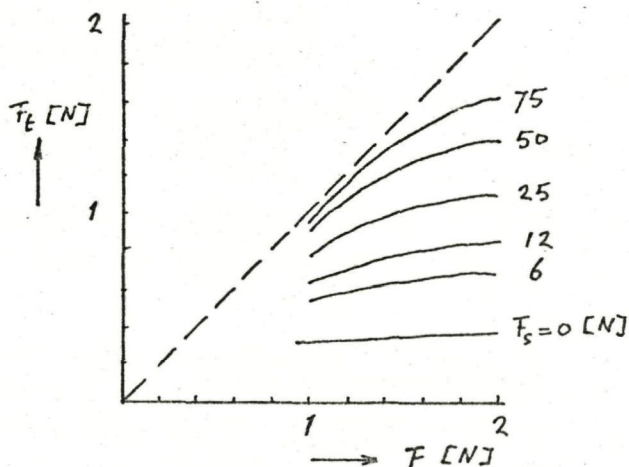


Fig. 3.3. Tasterkracht tegen aandrukkraft op de m.e.c.r.b van PP 1, $h = 1.125$ mm, $D = 20$ mm, $d = 6$ mm.

Tevens is te zien, dat bij bepaalde tasterinstelling en spieraanspanning, alle kracht zich op de taster concentreert. De buitenring wordt dan blijkbaar van de huid gelicht. Verhoging van de aandrukkracht doet de tasterkracht toenemen. De mate van toename wordt echter steeds kleiner, zodat verhoging slechts tot een bepaalde waarde zinvol is. Het signaalbereik ΔF_t is bij gekozen waarden voor D en d een functie van de tasterinstelling en de aandrukkracht. Hierbij speelt de grootte van het rustsignaal een belangrijke rol. De voornaamste beperkende faktor is de toelaatbare vlaktedruk op de huid, die gesteld werd op 2 N/cm^2 . Dit betekent voor een taster met $d = 6 \text{ mm}$ een maximaal toelaatbare rustkracht van $0,56 \text{ N}$. Van vrij veel invloed op het signaalbereik is de huid. Een grotere huiddikte heeft een kleiner signaalbereik tot gevolg. In het ongunstigste geval (PP 3) werd bij 40% van de maximale spieraanspanning een signaalbereik verkregen van 45% van de aandrukkracht bedroeg ($F = 1,5 \text{ N}$, $h = 2,25 \text{ mm}$). Gerbranda merkt op, dat een deel hiervan moet worden toegeschreven aan de vormverandering van de spier.

760712 Laird - Hondt rekening met kapillaire drnk. Deze is veel lager. (va 2 N/cm^2)
 Waarschijnlijk is deze drnk te laag voor langdurige toepassing.

4. Aanpak van het onderzoek.

Om te beginnen zijn een aantal uitgangspunten gekozen, die de basis vormen voor het ontwerp en de proefopzet. Er volgt nu een opsomming van de keuzen, die gedaan werden, met een korte motivatie.

a. Keuze van de proefpersonen.

De keuze viel al in een vroeg stadium op gezonde proefpersonen met als belangrijkste argument de meetbaarheid van de spieraanspanning. Ook hebben deze het voordeel van grotere beschikbaarheid. Omdat het hier een oriënterende studie betreft kan het aantal beperkt blijven. Uiteindelijk is gebruik gemaakt van twee proefpersonen. Bovendien zijn nog wat vergelijkende metingen aan één van de proefpersonen uit het vorige onderzoek gedaan. Om verwarring te voorkomen werden de proefpersonen doorgenummerd. Dit betekent, dat PP 1, PP 2 en PP 3 proefpersonen uit het vorige onderzoek zijn, terwijl de proefpersonen uit dit onderzoek de aanduiding PP 4 en PP 5 kregen. Voor de proefpersoongegevens zie 7.3.

b. Keuze van de spier.

In tegenstelling tot het vorige onderzoek waarin voornamelijk op de m.e.c.r.b. (één van de handstrekkingen) werd gemeten, is bij dit onderzoek de voorkeur gegeven aan de m.e.d.c. (gemeenschappelijke vingerstrekking). Deze heeft een meer geïsoleerde werking en gaf bij het vorig onderzoek iets beter resultaat. Wel is nog overwogen om ook op de m.e.c.r.b. te meten, maar dit was moeilijk met één en de zelfde koker te realiseren. Ook leek het belang hiervan voor het huidige onderzoek niet groot, zodat van deze mogelijkheid afgezien werd.

c. Uitgangspunten voor de koker.

De eerste keuze houdt in, dat de koker moet passen op een niet geamputeerde proefpersoon, zodat in feite de omstandigheden zullen verschillen van een werkelijke situatie. Een type onderarmkoker, dat tegenwoordig veel toegepast wordt, is de z.g. condylenkoker. Deze kokers omsluiten de elleboog met een zodanige vorm dat bandages achterwege kunnen blijven. Besloten werd om ook voor de proefkoker een dergelijke fitting toe te passen. Verder mag de koker niet afsteunen op de harde delen van de arm (pols).

De plaats van de onnemeropening wordt bepaald door de keuze van de spier. Het leek van belang de diameter van de opening variabel te houden, zodat de invloed van een nauwe en een ruime opsluiting bekeken kan worden. Verwacht werd dat de totale spanning binnen de koker, d.w.z. het strak of los zitten, van invloed zal zijn. Omdat de koker vanwege de eis van het passen op gezonde proefpersonen overlangs gedeeld moet zijn, is het mogelijk een voorziening aan te brengen waarmee de kokermaat ingesteld kan worden.

d. Uitgangspunten voor de myostaat.

Uit het vorige onderzoek kwam een vlakke opnemer, zoals geschetst in fig. 3.1, met buitenring diameter $D = 20$ mm en taster diameter $d = 6$ mm als goed compromis naar voren. Het hoogteverschil h tussen taster en buitenring moet gevarieerd kunnen worden. Het belangrijkste gebied leek te liggen tussen 1 en 2 mm.

In het vorige onderzoek werd voor de aandrukking gebruik gemaakt van de zwaartekracht. Dit is nu niet mogelijk, omdat met de arm bewegingen uitgevoerd zullen worden. Er zal een mechanisme gevonden moeten worden, dat over een bepaalde weg een konstante kracht levert. Ook moet de kracht gevariëerd kunnen worden. Voor het instelbereik werd gekozen 1,5 - 2,0 N en de weglengte werd gesteld op minimaal 5 mm. Gestreefd moet worden naar een zo klein mogelijke afwijking van de ingestelde kracht, tengevolge van stijfheid en hysteresis.

Voor de krachtomzetting werd gekozen voor een pneumatische oplossing met klep en tuit, omdat dit beter aansluit bij eventuele verdere toepassing. Ook maakt het een compacte bouw mogelijk. In het vorige onderzoek werd de kracht op de taster gemeten met behulp van rekstrookjes.

e. Het meetprobleem.

In dit onderzoek ligt de nadruk op de storingsgevoeligheid. De belangrijkste invloeden zijn:

- positieveranderingen van de myostaat t.o.v. de spier
- samentrekking van andere spieren (overspraak)
- kokerbelasting
- positioneren van de arm.

In figuur 4.1 is het arm-koker-myostaat systeem schematisch weergegeven.

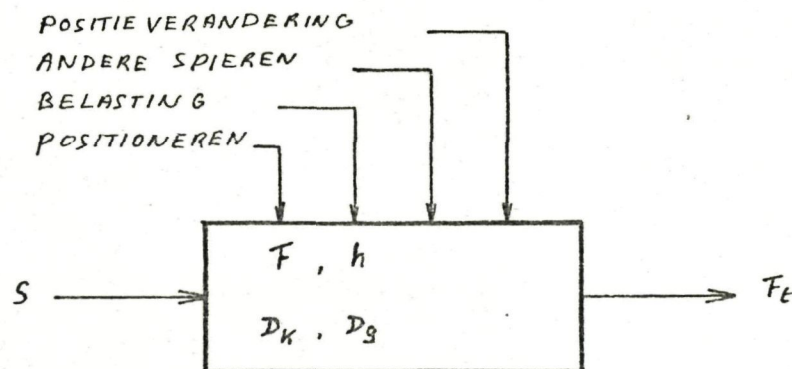


fig. 4.1 Het arm-koker-myostaat-systeem.

Het ingangssignaal is de spierkontractie S . Een maat hiervoor is de kracht, die de vingers bij het aanspannen uitoefenen. Deze is F_s genoemd. Het uitgangssignaal wordt gevormd door de kracht op de taster: F_t . Als systeemparemeters kunnen opgevat worden de aan-

drukkraft F , de tasterinstelling h , de diameter van de opnemeropening D_g en de kokerdiameter D_k .

In het voorgaande onderzoek is de invloed van de vorm van de opnemer en van de parameters F en h bekeken. In dit geval zal de invloed van het omsluiten van de spieren en het verband tussen de stoorgrootheden en F_t onderzocht worden. Voor het meten van de spieraanspanning F_s is een handfitting nodig waarin een krachtomnemer geplaatst kan worden.

5. Ontwerp van de myostaat.

In het ontwerp zijn drie deelproblemen te onderscheiden: de krachtomzetting, het opnemergedeelte met de tasterinstelling en het aandrukmechanisme. Deze zullen achtereenvolgens besproken worden.

5.1 De krachtomzetter.

Het principe van de omzetter, die bestaat uit een klep en tuit, is weergegeven in fig. 5.1.1. De ruimte onder de klep wordt gevoed via een vaste restrictie. De uitgangsdruk is evenredig met de kracht op de klep. Het krachtbereik moet in beginsel gelijk zijn aan de maximale aandrukkracht (2 N).

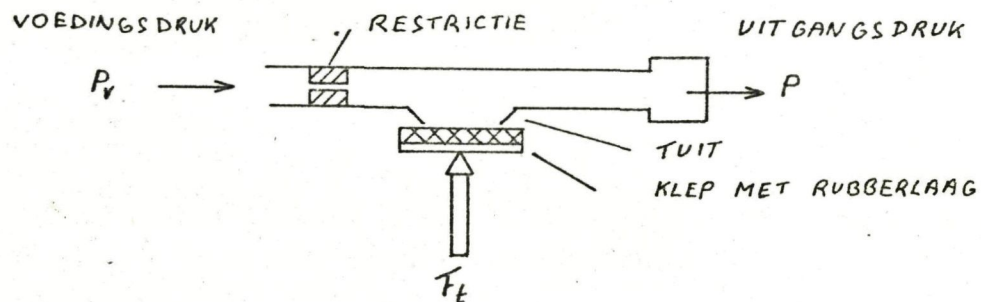


Fig. 5.1.1 Principe van de krachtomzetter.

De uitvoering is te zien in fig. 5.1.2. De restrictie heeft een opening van 0,1 mm. De verbinding wordt tot stand gebracht door het aansluitstuk in de opening met ingelijmde slang te duwen. Fig. 5.1.3 geeft de opstelling waarmee de omzetter getest is. In geval A werden statiese karakteristieken bepaald. Voor een gelijkmatige krachtoefening werd gebruik gemaakt van een foliemotor met bladveer. Geval B diende voor de

dynamische metingen. De kracht op de klep werd toen bepaald door een gewicht.

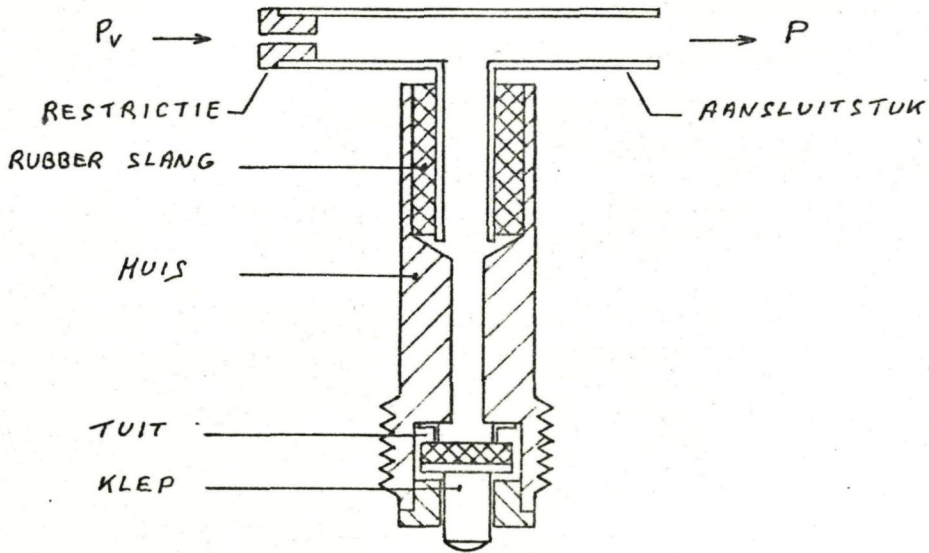


fig. 5.1.2 Uitvoering van de krachtomzetter.

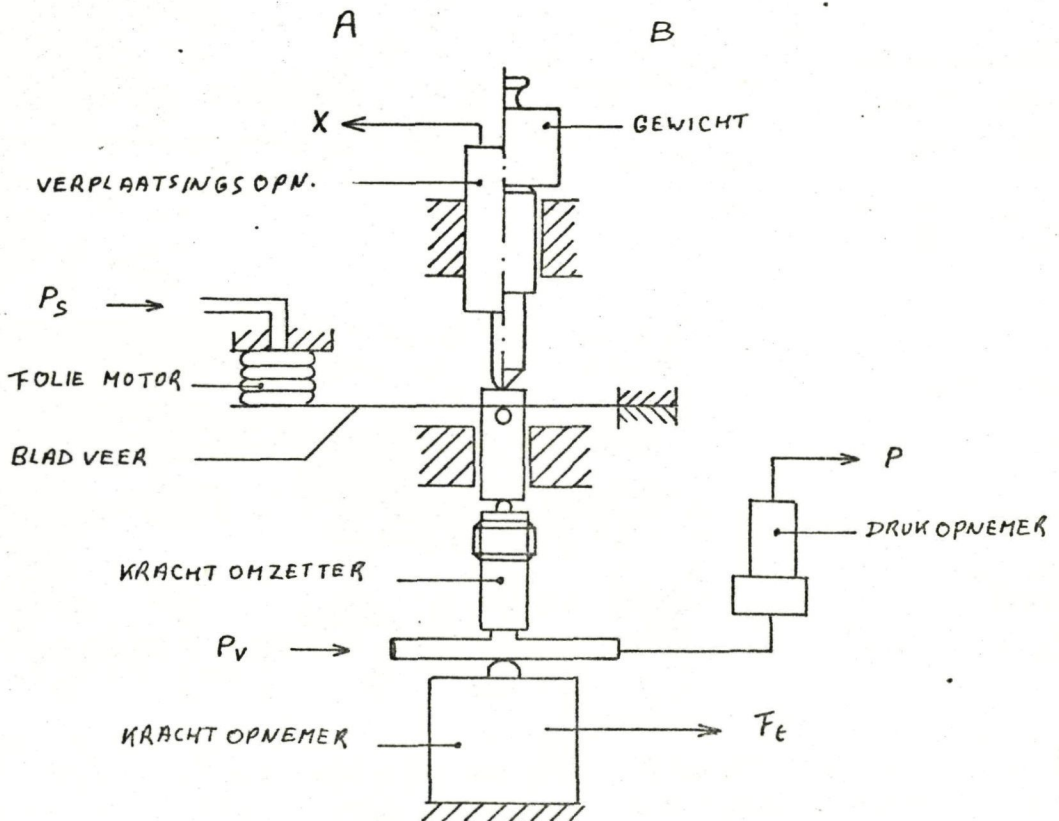


fig. 5.1.3 Proefopstelling voor de krachtomzetter.

Om te beginnen werd een beschikbare tuit met een opening van 1,2 mm. geprobeerd. Het krachtbereik wordt dan bepaald door de keuze van de voedingsdruk. Bij deze tuit trad bij drukken boven 0,8 MPa een niet-lineair effect op, omdat de hoogte van de tuit onvoldoende was om de vervorming van de rubberlaag op de klep op te vangen, zie fig. 5.1.4.

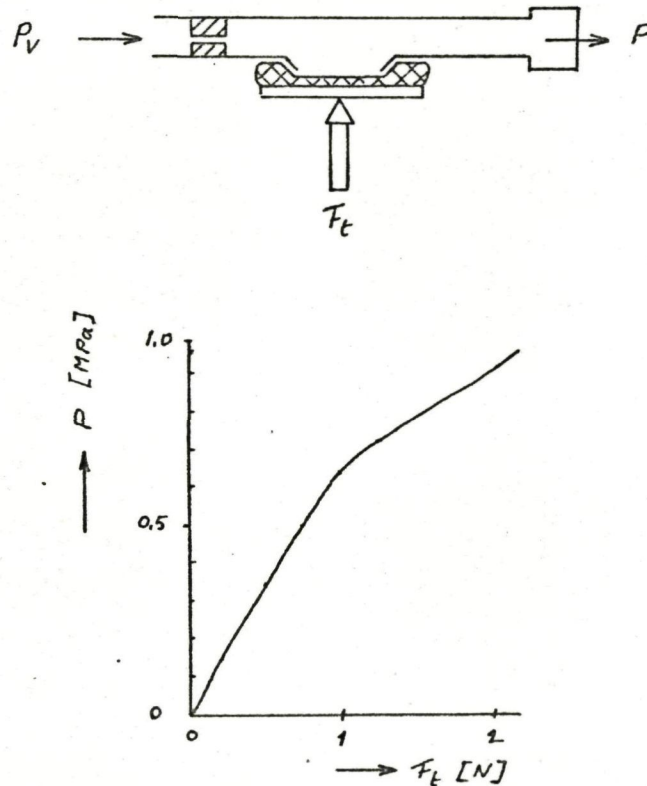


Fig. 5.1.4 Niet-lineair effect bij te grote klepvervorming.

Dit betekent een vergroting van het werkzame oppervlak, hetgeen overeenkomt met een lagere versterkingsfactor. Als verbetering kan men een hardere rubberlaag of een verhoogde tuit nemen. In eerste instantie werd besloten tot het laatste, omdat dan ook de tuitopening aan te passen was, waardoor met lagere voedingsdruk gewerkt kon worden. Dit was nodig i.v.m. het bereik van de beschikbare inductieve drukomzetter, dat 1 MPa bedroeg. De rubberhardheid

is bepalend voor de klepverplaatsing, dus voor de stijfheid van de omzetter. De stijfheid bij de gebruikte klep (rubber van 30⁰ Shore) was 6,6 N/mm. Dit werd te laag geacht, omdat de stijfheid van de spier in gespannen toestand ongeveer 1 N/mm bedraagt. Door een rubberlaag van 65⁰ Shore toe te passen werd de stijfheid verhoogd tot 16,6 N/mm. Fig. 5.1.5 geeft de statiese karakteristieken van de omzetter zoals deze toegepast is.

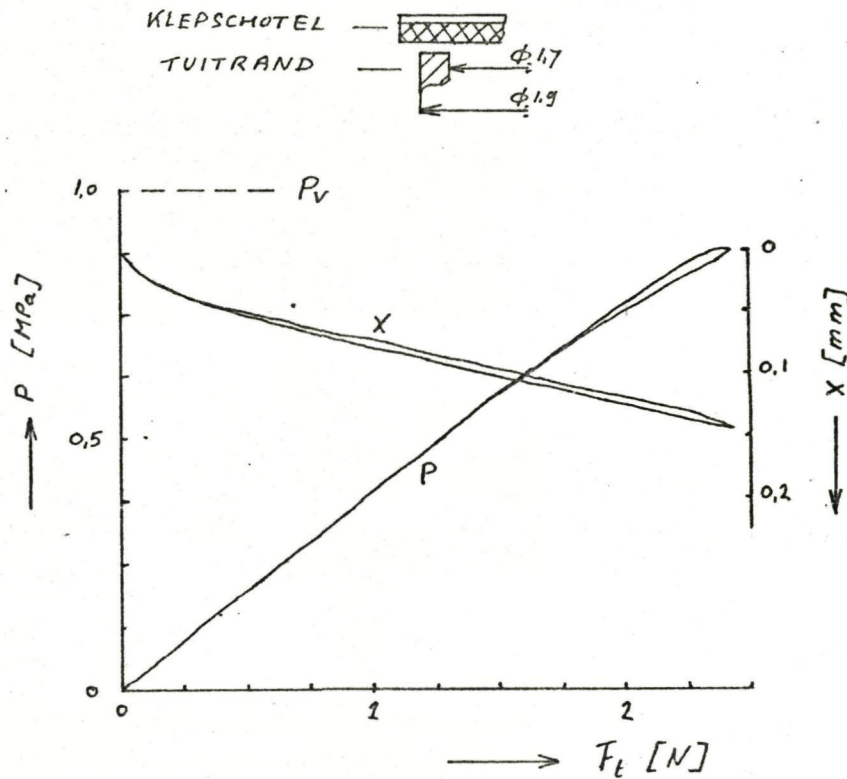


Fig. 5.1.5 Statiese karakteristieken $P_v = 1$ MPa.
Rubberhardheid 65⁰ Shore.

De werkzame tuitdiameter blijkt 1,78 mm te bedragen (oppervlak 2,5 mm²). De dynamiese eigenschappen zijn bekeken door:

- A. Sprongvormige verhoging van de voedingsdruk bij konstante aandrukkracht (gewichtsbelaasting).
- B. Sprongvormige verlaging van de aandrukkracht bij konstante voedingsdruk.

Het resultaat is te zien in fig. 5.1.6. In geval A een vrijwel lineair verloop over het gehele traject, in geval B een 1^e orde responsie met een tijdconstante van ongeveer 10 msec.

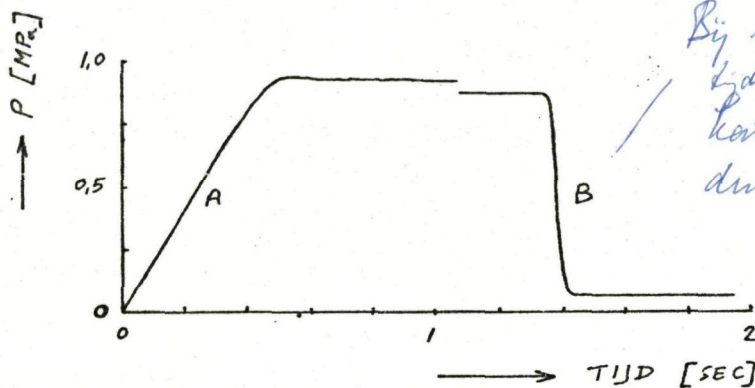


Fig. 5.1.6 Dynamische karakteristieken.

$$A: P_v : 0 \rightarrow 1 \text{ MPa} \quad F_t = 2,15 \text{ N.}$$

$$B: F_t : 2,15 \rightarrow 0,15 \text{ N} \quad P_v = 1 \text{ MPa.}$$

De dynamische eigenschappen worden dus voornamelijk bepaald door de flow in de restrictie, die konstant is tot de kritische drukverhouding bereikt wordt. Dit gebeurt bij ongeveer 0,6 MPa, waarna effect van hogere orde zichtbaar wordt. Na het bereiken van een maximum valt de uitgangsdruk enigszins terug. Dit doorschot is waarschijnlijk gevolg van de gewichtsbelasting. De snelheid waarmee de druk oploopt, is behalve van de restrictie, afhankelijk van het volume er na. De verbindingsslang draagt hiertoe in belangrijke mate bij. De gebruikte slang ("bruine" slang) had een lengte van 35 cm en de responsiesnelheid hierbij was 2,22 MPa/sec. Dit betekent voor signaalveranderingen van 0,5 N een bandbreedte van ongeveer 1,2 Hz. Dit werd voldoende geacht.

5.2 Het opnemergedeelte.

Het ontwerprobleem hield in het vinden van een manier om de taster zodanig in de buitenring op te hangen, dat beide onderling verstelbaar waren, terwijl de taster toch voldoende vrijheid had om de klep van de krachtomzetter in te drukken. De uiteindelijke uitvoering is te zien in fig. 5.2.1.

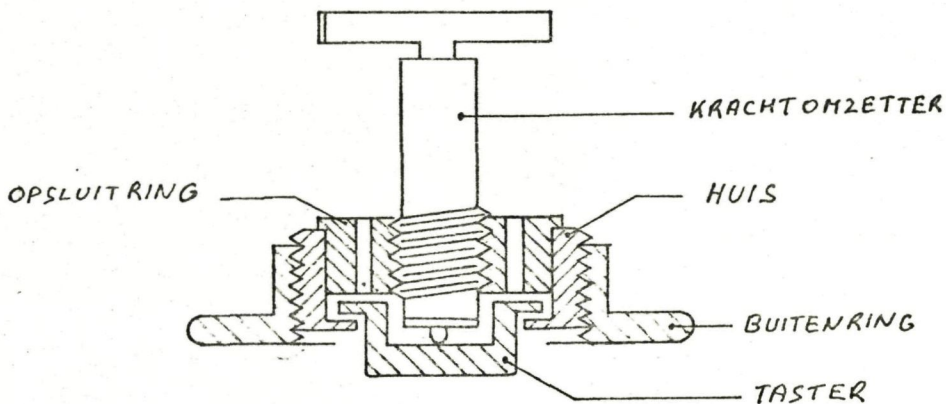


Fig. 5.2.1 Het opnemergedeelte met gemonteerde krachtomzetter.

De taster wordt eenvoudig opgesloten door de onderrand in het huis en een opsluitring, waarin de krachtomzetter geschroefd wordt. Ten behoeve van de ontluchting is de opsluitring voorzien van vier gaten. Deze maken tevens demontage van de krachtomzetter, die met vloeibaar borgmiddel vastgezet dient te worden, mogelijk. De tasterinstelling wordt verzorgd door verdraaiing van de buitenring. De schroefdraad heeft een spoed van 0,5 mm. Om het kantelen van de taster, dat nadelig is voor de werking van de krachtomzetter, tegen te gaan, lag het in de bedoeling om bij montage de krachtomzetter, met de taster tegen de opsluitring gedrukt, zover in te schroeven, dat de uitgangsdruk juist gelijk wordt aan de voedingsdruk. Dit geeft het geval van "bovenaanligging" (A in fig. 5.2.2).

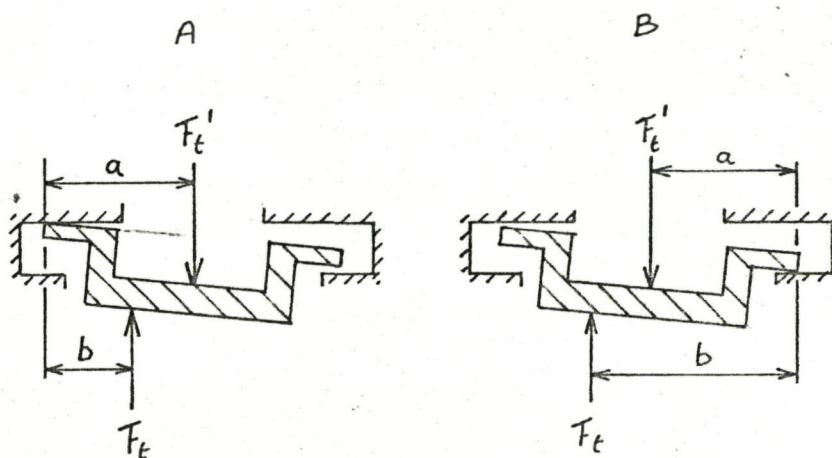


Fig. 5.2.2 A: Bovenaanligging $F_t' \leq F_t$.

B: onderaanligging $F_t' \geq F_t$.

In geval B wordt de krachtomzetter, met de taster tegen de onderrand, zover ingeschroefd, dat de uitgangsdruk juist begint op te lopen. Nadeel van beide vormen van aanliggen is, dat de gevoeligheid van de krachtomzetting door de hefboomwerking verandert. Het effect is te zien in fig. 5.2.3., waar de aandrukkraft in het midden en zover mogelijk uit het midden aangrijpt. De werking in onderaanligging bleek iets gunstiger, zodat hiervoor gekozen is. De vorm van de tasterrand was voor onderaanligging niet optimaal. Ook had de speling van de taster in het huis kleiner gekund. Fig. 5.2.4 laat een verbetering zien. Bij het spannen van de spier zal de hefboomverhouding waarschijnlijk niet konstant zijn. Er is echter van uitgegaan dat bij het meten op de arm een voldoende mate van reproduceerbaarheid zal bestaan.

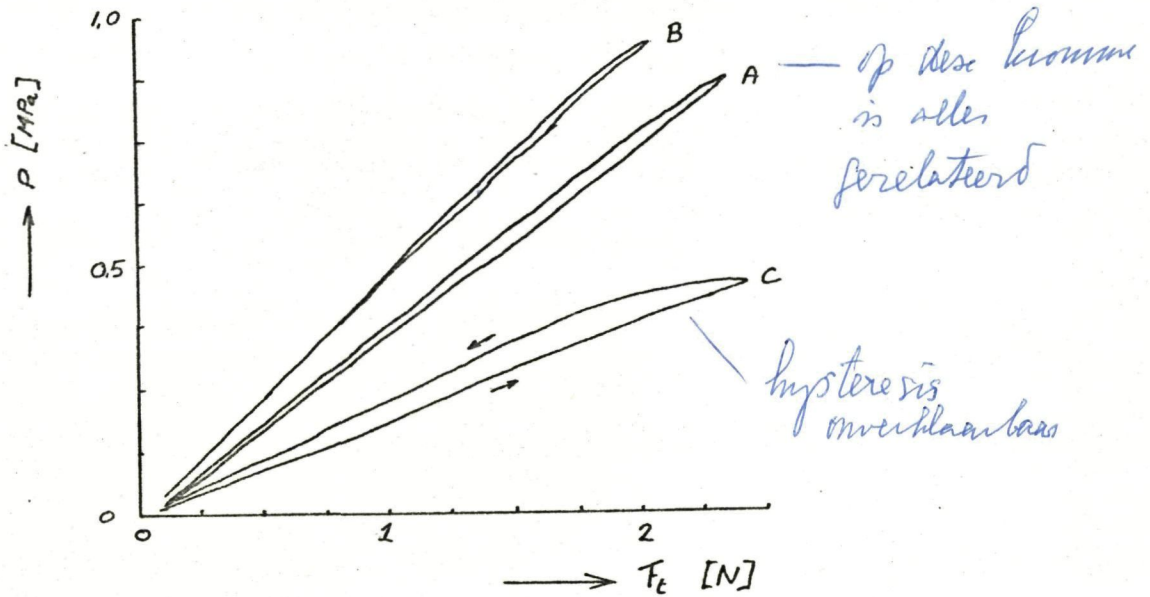


Fig. 5.2.3 A: F_t in het midden
 B: F_t uit het midden (onderaanligging).
 C: F_t uit het midden (bovenaanligging).

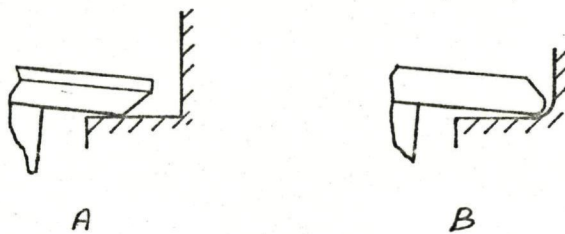


Fig. 5.2.4 Tasterrand
 A: Werkelijke uitvoering.
 B: Gewenste uitvoering.

5.3 Het aandrukmechanisme.

Er is gekeken naar veren en pneumatische motoren. In een praktische toepassing zal de voorkeur gegeven worden aan een veerconstructie, omdat deze geen energie vraagt. Om die reden is in eerste aanzet in de literatuur gezocht naar veerconstructies die konstante kracht leveren. Hierbij kwamen de volgende punten naar voren:

- of ze zijn slechts geschikt voor één bepaalde kracht
- of de bereikbare slag is te klein
- het meten van de kracht is lastig en vereist extra voorzieningen.

Twee mogelijkheden, die wel enig perspectief boden zijn vermeld in appendix A.

Voor dit onderzoek leek het daarom aantrekkelijker gebruik te maken van pneumatische motoren met geregelde druk (reducer), waarmee de kracht eenvoudig in te stellen is. Het energieverbruik is hier namelijk nog niet van belang. Bekeken zijn een cilinder met lichtlopende zuiger en een wrijvingsloze foliemotor. In het eerste geval bleek het niet mogelijk met eenvoudige middelen de zuigerwrijving voldoende laag te houden, waardoor de hysteresis ontoelaatbaar hoog was. De foliemotor had weliswaar een lagere hysteresis maar vertoonde ook stijfheid, wat deze mogelijkheid eveneens uitsloot. In appendix B is een nadere beschrijving gegeven.

Alvorens aan een betere krachtregeling te denken is de methode onderzocht, die ook in het vorige onderzoek gebruikt werd. D.w.z. de ophanging van de opnemer in een lange hefboom, waarbij in dit geval het moment opgewekt wordt door een slappe trekveer aan een kruk. Deze werkwijze bleek verrassend effectief te zijn. In principe kan door een gunstige hefboomverhouding de stijfheid willekeurig klein gehouden worden, terwijl de hysteresis uitsluitend bepaald wordt door wrijving in het draaipunt. De aandrukkracht is eenvoudig

te meten door rekstrookjes op de hefboom en in te stellen door verhogen van de veerkracht. Wel bleek voor voldoende lage stijfheid de beschikbare lengte voor hefboom en veer op de koker te klein, maar dit kon ondervangen worden door gebruik te maken van de vorm van de momentfunctie. Op het interval $0 < \varphi < \pi$ (zie fig. 5.3.1) zal deze een maximum vertonen. In de buurt van deze waarde van φ zal

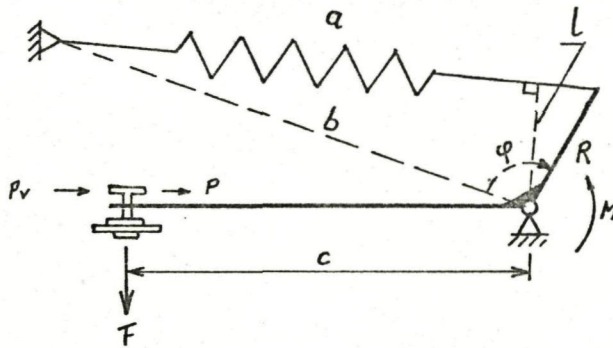


Fig. 5.3.1 Principe en geometrie van het aandrukmechanisme.

de resulterende stijfheid nul zijn en niet afhankelijk van de veerstijfheid. Bij een lineaire veer met $F_v = C(a - a_0)$ en kruk lengte R is voor het moment af te leiden:

$$M(\varphi) = C p R^2 \left(1 - \frac{q}{\sqrt{1+p^2 - 2p \cos \varphi}} \right) \sin \varphi$$

Hierin is $p = \frac{b}{R}$ en $q = \frac{a_0}{R}$, a_0 is de som van de rustlengte van de veer en de lengte van de verbindingen. Door nul stellen van de eerste afgeleide is de optimale hoek φ_0 bij bepaalde waarden van de parameters p en q berekend (zie appendix C). Dit is uitgezet in fig. 5.3.2. Bij het instellen van de aandrukkracht verandert p en/of q , waardoor ook de optimale hoek verandert. Deze verandering wordt onderdrukt door een kleine q en grote p . Een zo klein mogelijke q betekent een korte veer zonder verbindingen, die dus over de hele lengte a uitgerekt is. Dit impliceert, dat de krachtinstelling door verandering van p moet geschieden.

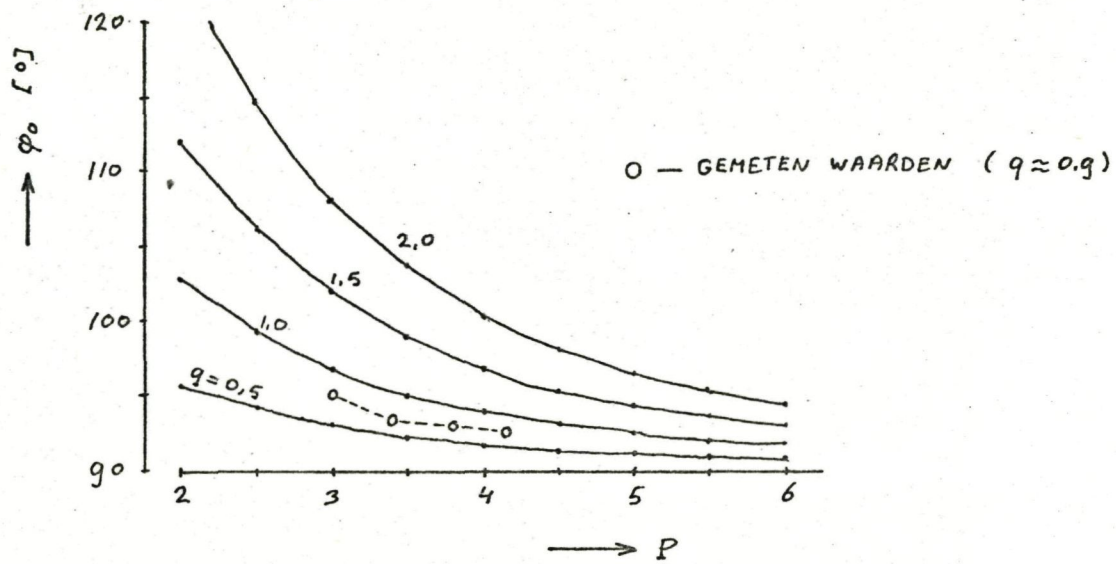


Fig. 5.3.2 Optimale hoek, als functie van p met q als parameter.

Degebruikte veer had de waarde $q = 0,9$ en het verloop van φ_0 met p is gemeten in de proefopstelling van fig. 5.3.3 door het ophangpunt van de veer met b als straal een cirkelboog te laten beschrijven.

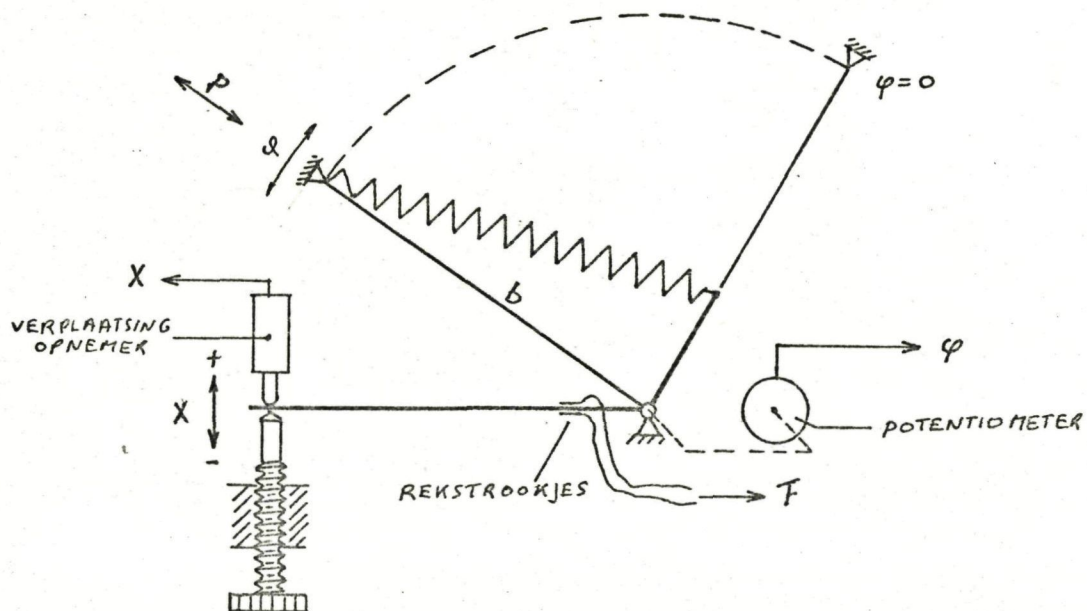


Fig. 5.3.3 Proefopstelling voor het aandrukmechanisme.

hysteresis 2% van uitgetrokken kracht.

$$F_{\text{uitgetrokken}} = 1,5 \text{ N}$$

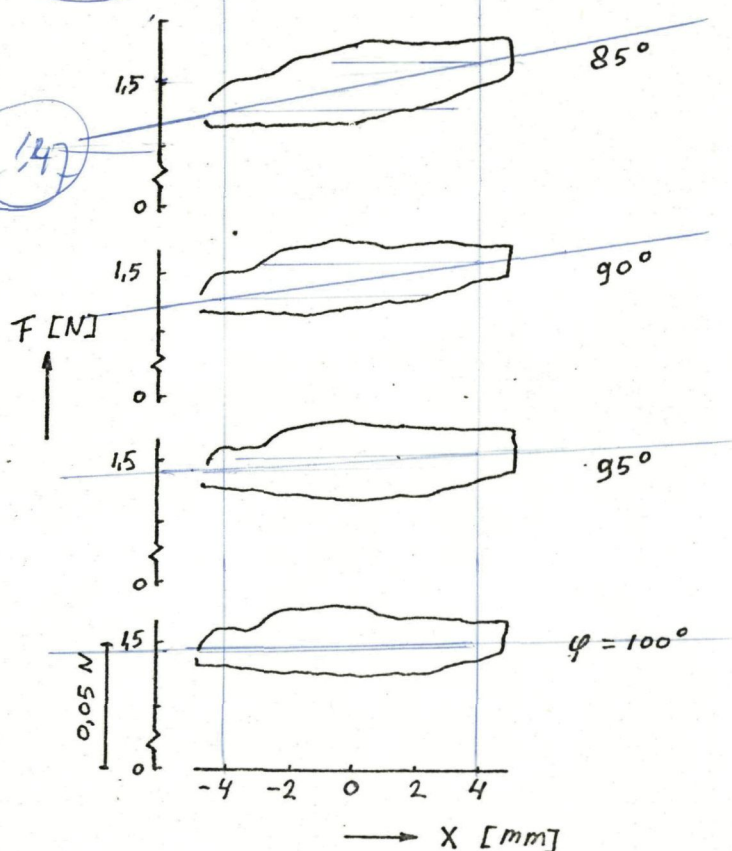
$$\text{hysteresis} = 2\% \cdot 1,5 = 0,03$$

$$\text{Den schiedvadeling} \quad 1,5 - 1,47 - 1,44 \quad \text{??}$$

~~Misschien 2 of 3?~~

Het maximum werd bepaald uit het verloop van F met φ . De gemeten waarden zijn aangegeven in fig. 5.3.2. De p -waarden komen overeen met een ingestelde kracht F van resp. 1,5, 1,75, 2,0 en 2,25 N.

Met dezelfde opstelling is het kracht-weg diagram bepaald. In fig. 5.3.4 is dit uitgezet voor een aantal waarden van φ . De stijfheid blijkt weinig gevoelig voor de hoek, zodat met een vrij grove instelling kan worden volstaan. De afwijking tengevolge van hysteresis blijkt ongeveer 2% van de ingestelde kracht te bedragen. Deze nauw-



Variatie van
 $c = 0 \text{ N/m}$ bij $\varphi = 100^\circ$
 $c \approx 9003 \text{ N/m}$ bij $\varphi = 85^\circ$

Fig. 5.3.4 Kracht-weg diagram van het aandrukmechanisme.
 Ingestelde kracht: $F = 1,5 \text{ N}$.

keurigheid werd voldoende geacht. Fig. 5.3.5 laat de complete uit-

voering van de myostaat zien.

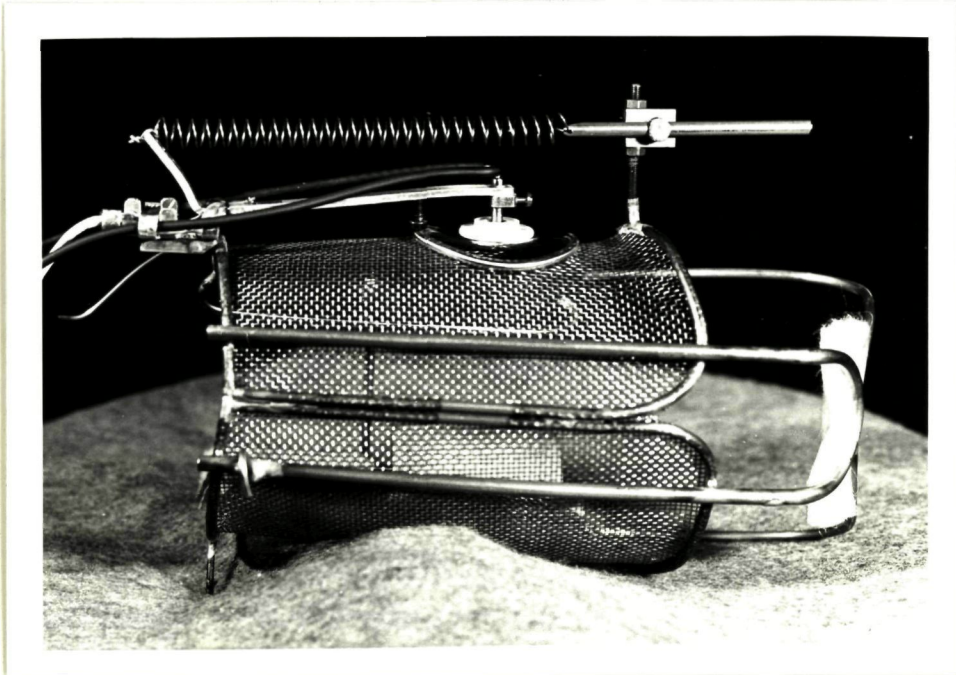


Fig. 5.3.5 Uitvoering van de myostaat.

6. De experimentele koker en handfitting.

Als belangrijkste keus gold, dat deze het karakter moest hebben van een condylenkoker. Aan de Hoogstraat werd advies gevraagd omtrent de eigenschappen en de wijze van vervaardiging van dit kokertype. Van belang voor dit onderzoek is vooral de beweeglijkheid ten opzichte van de stomp. D.w.z. verschuiving in langsrichting en rotatie om de stomp, hetgeen van invloed zal zijn op de positie van de myostaat t.o.v. de spier. Naar voren kwam, dat de condylenkoker in langsrichting nauwelijks verschuift. Over de rotatievrijheid kon men weinig zeggen. Verder bleek, dat de vervaardiging van dergelijke kokers nogal een omslachtige procedure vormt, terwijl men wat pessimistisch was over de uitvoerbaarheid bij gezonde proefpersonen. Naar aanleiding van dit gesprek werd besloten in eerste instantie een experimentele koker uit te voeren in rvs pijp en gaas, een methode, die op dit laboratorium toegepast wordt voor de vervaardiging van orthesen. Door deze keuze kon de vervaardiging binnen het laboratorium geschieden en werd een grote flexibiliteit t.o.v. eventuele wijzingen en aanpassingen verkregen. Het resultaat was bevredigend genoeg om van andere mogelijkheden af te zien. De konstruktie, die getoond wordt in fig. 6.1, bestaat eenvoudig uit een aan de onderzijde van de arm gelegen stijve beugel, die het olecranon omsluit. Op deze beugel zijn ter hoogte van de spierbuiken twee, met gaas ingelegde, halfronde schalen gesoldeerd. Deze sluiten aan de bovenzijde niet aan om het doorvoeren van de hand mogelijk te maken. De condylenomvatting wordt verzorgd door een beugel, die van het olecranon met een ruime bocht om de condylen naar de bovenzijde van de schalen loopt. Na het omdoen wordt de koker gesloten door aantrekken van velcro strips. De scharnierende draadstang dient om de juiste maat in te stellen en om de koker voldoende stijfheid te geven. De opnemeropening bevindt zich boven de m.e.d.c. ongeveer 6 cm vanaf de elleboog. De diameter van de opening bedraagt 40 mm en kan door inleggingen verkleind worden tot 32 en 26 mm. De koker werd aangepast aan de linkerarm van de experimentator. De vervaardigde handfitting is te zien in fig. 6.2.

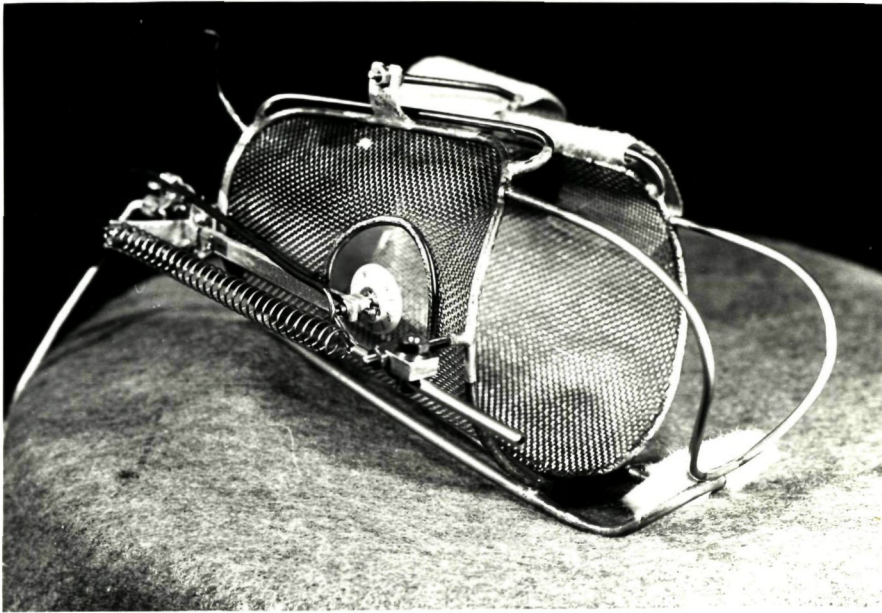


Fig. 6.1 De koker met gemonteerde myostaat.

Deze omsluit de palm van de hand en stabiliseert het polsgewricht.
 De krachtopnemer heeft een ruime verstelmogelijkheid boven de vingers.
 Om de rotatiestand van de pols te markeren is op de handfitting een
 verdeling en op de koker een pen aangebracht.

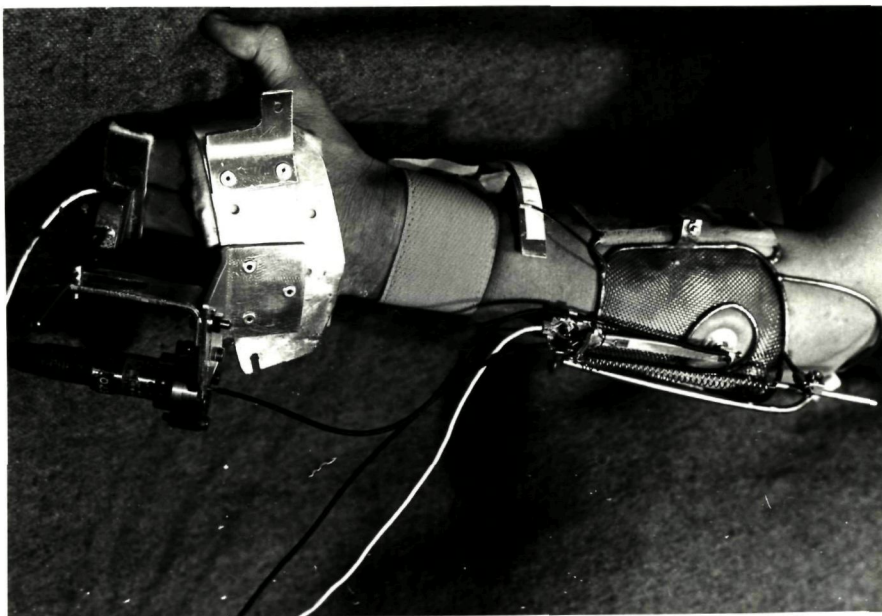


Fig. 6.2 Arm met handfitting, koker en myostaat.

7. De metingen.

7.1 Meetopzet.

De metingen zijn verdeeld in twee categorieën:

1. Met konstant resp. nul gehouden stoorgrootheden werd het verband bepaald tussen myostaatsignaal (F_t) en spieraanspanning (F_s) bij variatie van de systeemp parameters. Voor deze metingen werd gebruik gemaakt van een X-Y schrijver.
2. Bij bepaalde parameterinstelling werd de invloed van de stoorgrootheden op F_t gemeten met F_s als parameter. Hierbij werd gebruik gemaakt van een twee-kanaals tijdschrijver.

De eerste categorie had als doel vergelijking met de resultaten uit het vorige onderzoek en het bekijken van de invloed van het omsluiten van de spierbuiken. Gedurende deze metingen waren zowel arm als hand zorgvuldig ondersteund, zodat alle andere spieren in de arm ontspannen gehouden konden worden. Op grond van deze resultaten werd de parameterinstelling gekozen, die bij de tweede categorie metingen gebruikt is.

De stoorinvloeden zijn als volgt bekeken:

a. Positieverandering t.o.v. de spier.

Van belang is vooral de dwarsverschuiving. Dit werd teweeggebracht door resp. verdraaiing van de koker om de arm, en door pronatie-supinatie van de hand.

b. Positioneren van de arm.

Hier werd uitsluitend de invloed van het buigen en strekken van de elleboog bekeken.

Bij de metingen onder a en b werden ingangssignaal (F_s) en uitgangssignaal (F_t) geschreven door de twee-kanaal schrijver en de storing met diskrete stappen in de tijd veranderd. Bij elke waarde van de storing, d.w.z. stand van de koker, hand of elleboog, werd een aantal malen een pulsvormig ingangssignaal gegenereerd, dat 50% van de maximale waarde bedroeg. Deze methode werd gebruikt, omdat het erg lastig bleek te zijn om F_s gedurende langere tijd op een redelijk konstante waarde te houden.

c. Belasten van de koker.

Bekeken werden gewichtsbelasting en het uitoefenen van krachten. De gewichtsbelasting was een onderdeel van de metingen onder a en b, terwijl de belasting door krachten in een aparte meting gedaan werd. In het laatste geval werd de uitgeoefende kracht geschreven door kanaal I van de schrijver, i.p.v. het ingangssignaal.

d. Spannen van andere spieren.

Dit bleef beperkt tot het in totaliteit spannen van de handstrekkers, en het aanspannen van de buigers. De uitgeoefende kracht werd geschreven door kanaal I van de schrijver.

7.2 Proefopstelling.

In de schematische afbeelding van de proefopstelling (fig. 7.2.1) wordt het voorgaande in beeld gebracht. De arm is weergegeven in onderaanzicht met de hand in middenstand. De plaatsing van de krachtopnemers in de verschillende meetsituaties is aangegeven. Van belang is ook de richting van de uitgeoefende belasting op de koker t.o.v. de aandrukrichting van de myostaat.

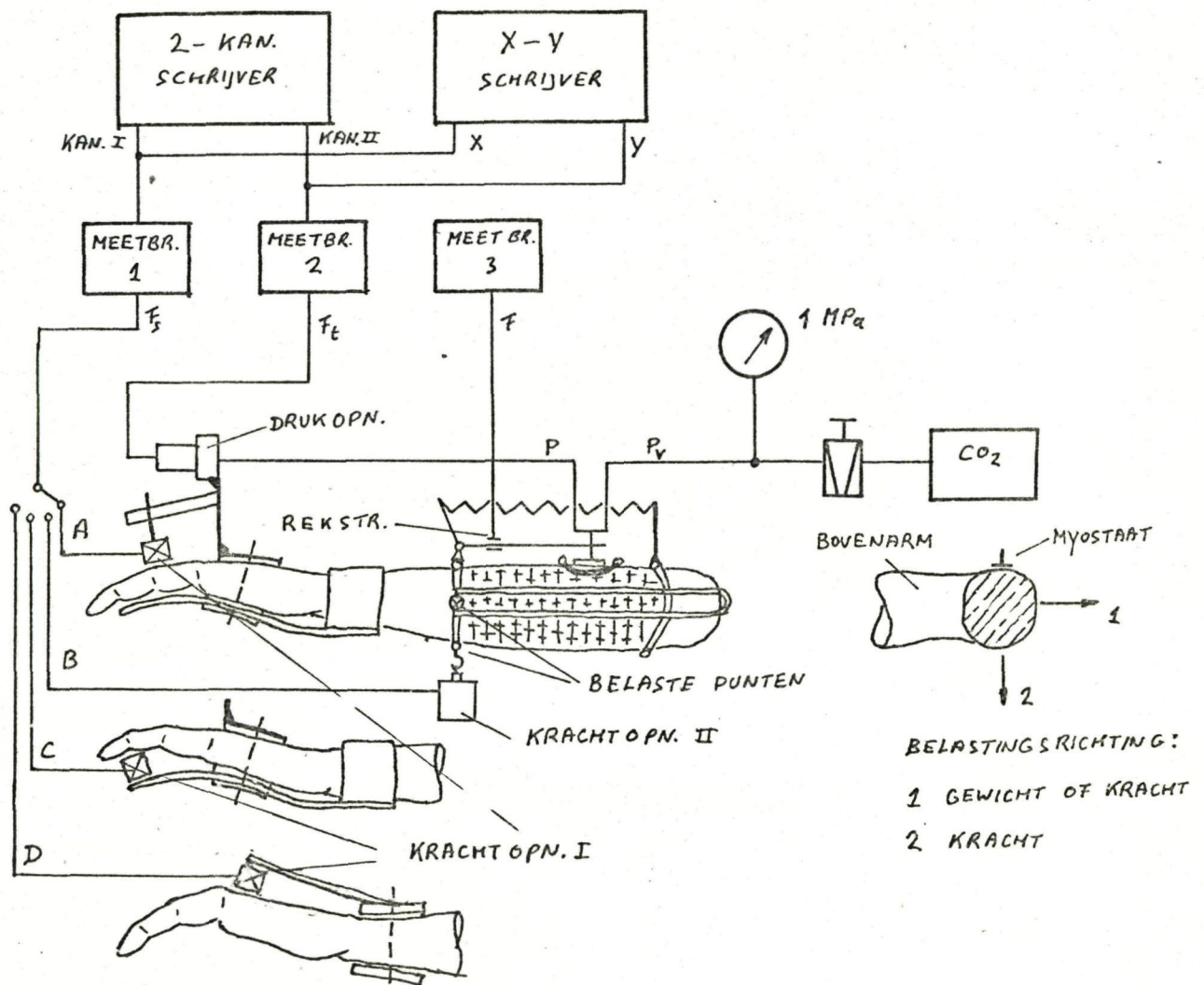


Fig. 7.2.1 Schema van de proefopstelling. Koker op de linkerarm.

- A: vingerstrekker.
- B: belasten van de koker.
- C: vingerbuigers.
- D: handstrekkingen.

7.3 Proefpersoongegevens.

| | | huiddikte | armomvang | lengte ellepijp | F _s max. |
|------------------|-----|-----------|-----------|--------------------|------------------------------|
| Vorig onderzoek: | | | | | |
| PP 1 | m. | 1,4 mm | 23,5 cm | | 185 N (m.e.c.r.b.) |
| PP 2 | m. | 2,25 mm | 26 cm | | 155 N (m.e.c.r.b.) |
| | | | | | 30 N (m.e.d.c.) |
| PP 3 | vr. | 3,3 mm | 23 cm | | 82,5 N (m.e.c.r.b.) |
| Dit onderzoek: | | | | | |
| PP 4 | m. | 2,2 mm | 26,5 cm | 26 cm | 15 N (m.e.d.c.) ^x |
| PP 5 | m. | 2,5 mm | 27 cm | 27,5 cm | 17 N (m.e.d.c.) ^x |

)^x Spannen middelvinger,

8. De meetresultaten.

8.1 Metingen uit de eerste categorie.

Bij deze metingen waren arm en hand ondersteund. De hand werd in de middenstand tussen pronatie en supinatie gehouden. Fig. 8.1.1 geeft het verband tussen F_t en F_s bij het afzonderlijk strekken van de vingers. De uitgeoefende kracht was maximaal. De opnemer blijkt het gevoeligst voor de vezels van de middelvinger en van de ringvinger. De ringvinger van PP 4 vertoonde het merkwaardige effect van signaalafname. Bij PP 5 was dit enigszins te zien bij de pink. Dit kan verklaard worden door het holler worden van het spieroppervlak: in dwarsrichting ter plaatse van de taster, waardoor de krachttoename op de taster weer te niet gedaan wordt. Dat dit effect bij PP 5 niet waargenomen is, is mogelijk het gevolg van zijn grotere armlengte, waardoor de opnemer relatief dichter bij de elleboog ligt. De opnemerpositie bij PP 4 zou zich dan meer in de buurt van de aanhechtingen tussen spier en pezen bevinden, waar deze invloed inderdaad verwacht mag worden. Mogelijk speelt ook het kanteleffect van de taster, zoals beschreven in 5.2, hierin een rol.

In fig. 8.1.2 is de invloed van verschuiving van de vezels in dwarsrichting waar te nemen. In geval A is de hand in maximale supinatie stand gebracht, bij B bevindt de hand zich in middenstand en in geval C is er sprake van maximale pronatie. In het laatste geval is er duidelijk verandering in het waargenomen beeld. Blijkbaar liggen nu de vezels van de ringvinger onder de taster. De signaalopbrengst is in de gevallen A en B bij het gezamenlijk aanspannen van de middelvinger en ringvinger duidelijk kleiner dan van de middelvinger apart. In de uiterste standen heeft het spannen van de huid een hoger rustsignaal tot gevolg. Op grond van deze waarnemingen is bij alle volgende proeven uitsluitend de middelvinger gebruikt voor het genereren van het ingangssignaal.

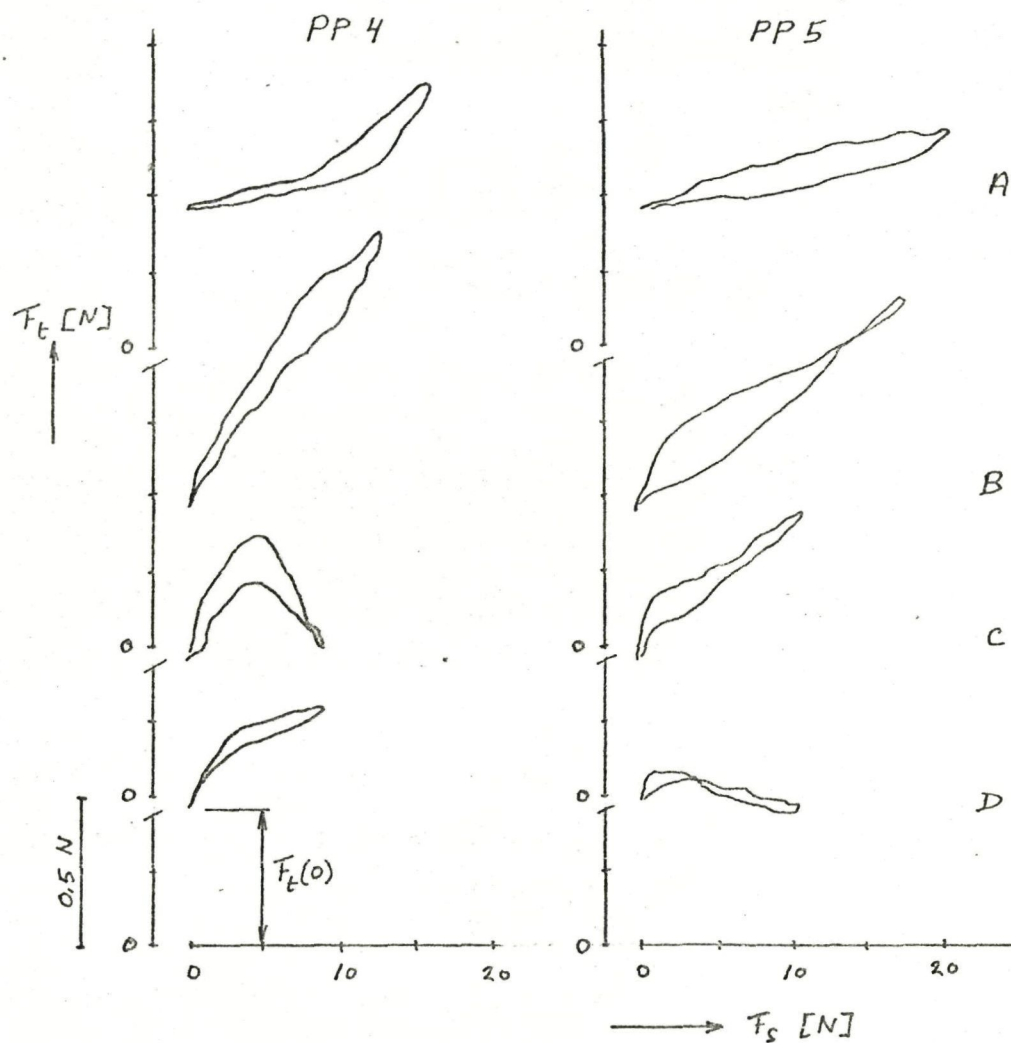


Fig. 8.1.1 Tasterkracht tegen spieraanspanning bij maximaal aanspannen van de vingers. $F = 1,75 \text{ N}$, $h = 1,4 \text{ mm}$, $D_g = 40 \text{ mm}$, $D_k = \text{nominaal}$.

A : wijsvinger.
 B : middelvinger.
 C : ringvinger.
 D : pink.

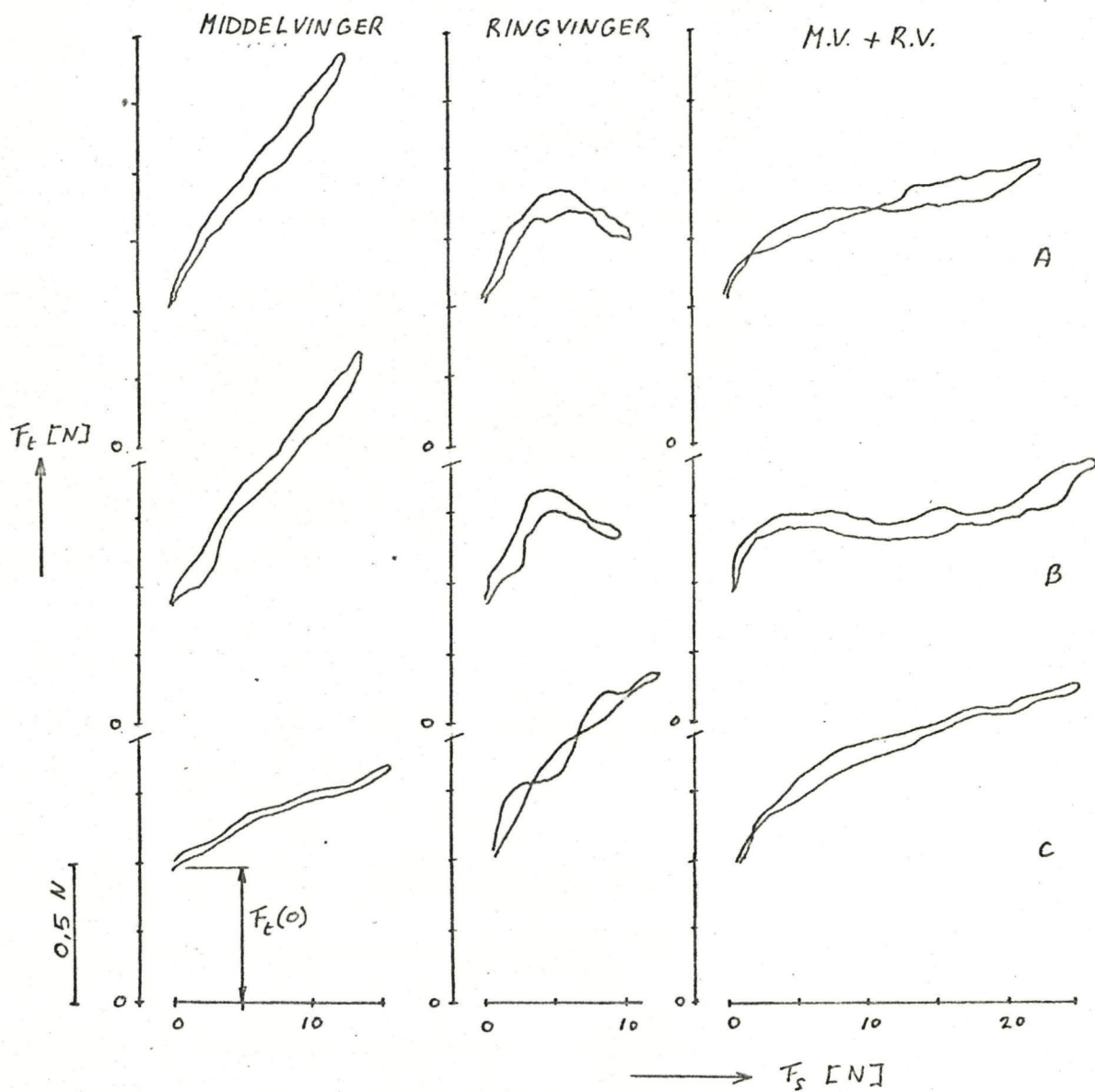


Fig. 8.1.2 Invloed van verschuiving van de spier. PP 4, $F = 1,75 \text{ N}$,
 $h = 1,4 \text{ mm}$, $D_g = 40 \text{ mm}$, $D_k = \text{nominaal}$.
 A : supinatie (-30°)
 B : middenstand (0°)
 C : pronatie ($+30^\circ$)

Fig. 8.1.3 geeft resultaten bij het aanspannen van de middelvinger met variatie van de aandrukkracht en de tasterinstelling. Uitgezet is nu alleen het rustsignaal en het signaalnivo voor $F_s = 12$ N. Deze meting gaf aanleiding tot de keuze $F = 1.75$ N en $h = 1,4$ mm.

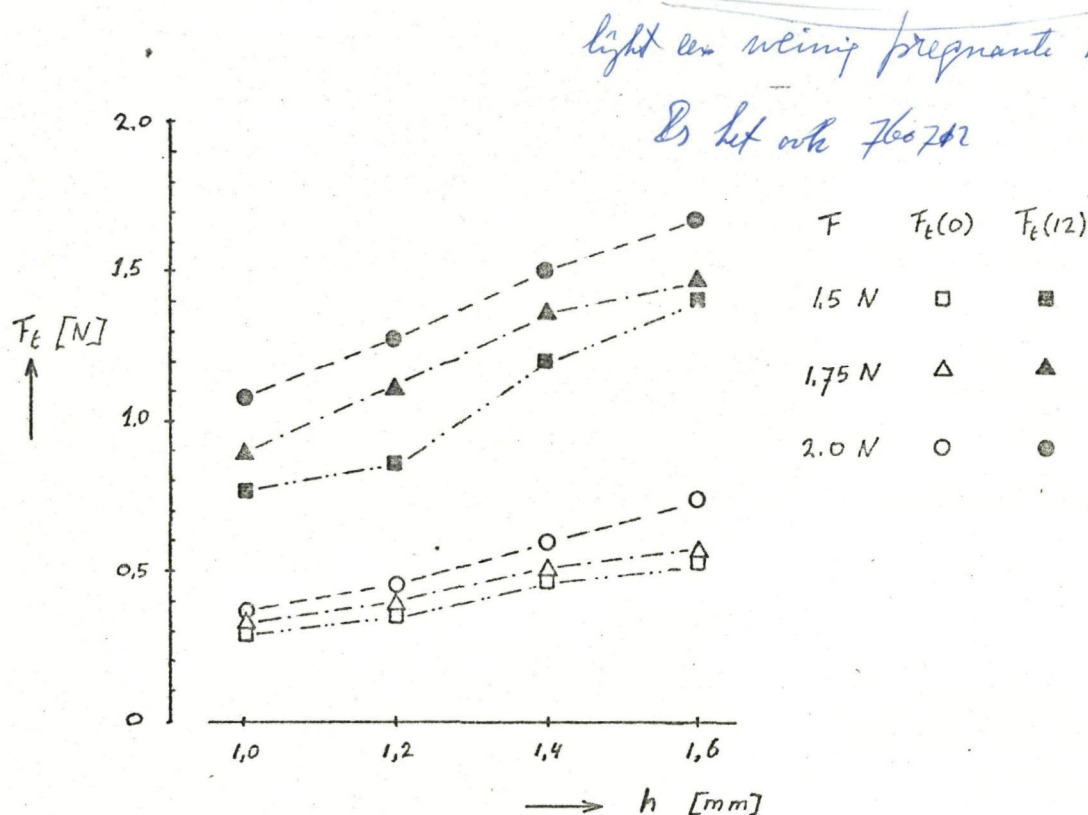


Fig. 8.1.3 Rustnivo en signaalnivo bij aanspannen van de middelvinger. PP 4, $D_g = 40$ mm, $D_k =$ nominaal.

In fig. 8.1.4 is een vergelijking gemaakt tussen PP 4 en PP 5 bij één waarde van de aandrukkracht en verschillende tasterinstellingen. PP 5 gaf bij de zelfde waarde voor F_s een veel kleiner signaal. Dit zou toegeschreven moeten worden aan de grotere huiddikte van deze proefpersoon. Mogelijk is ook de positie van de opnemer bij PP 5 van invloed geweest, waardoor deze minder profijt van vormverandering kan trekken (verder van de pezen af).

De waarden van het rustsignaal en het signaal bij $F_s = 12$ N voor verschillende opnemeropeningen en kokerdiameters^x zijn uitgezet in fig. 8.1.5. Op het rustsignaal is geen invloed merkbaar. Bij

^x In feite is de kokeromtrek gevarieerd.

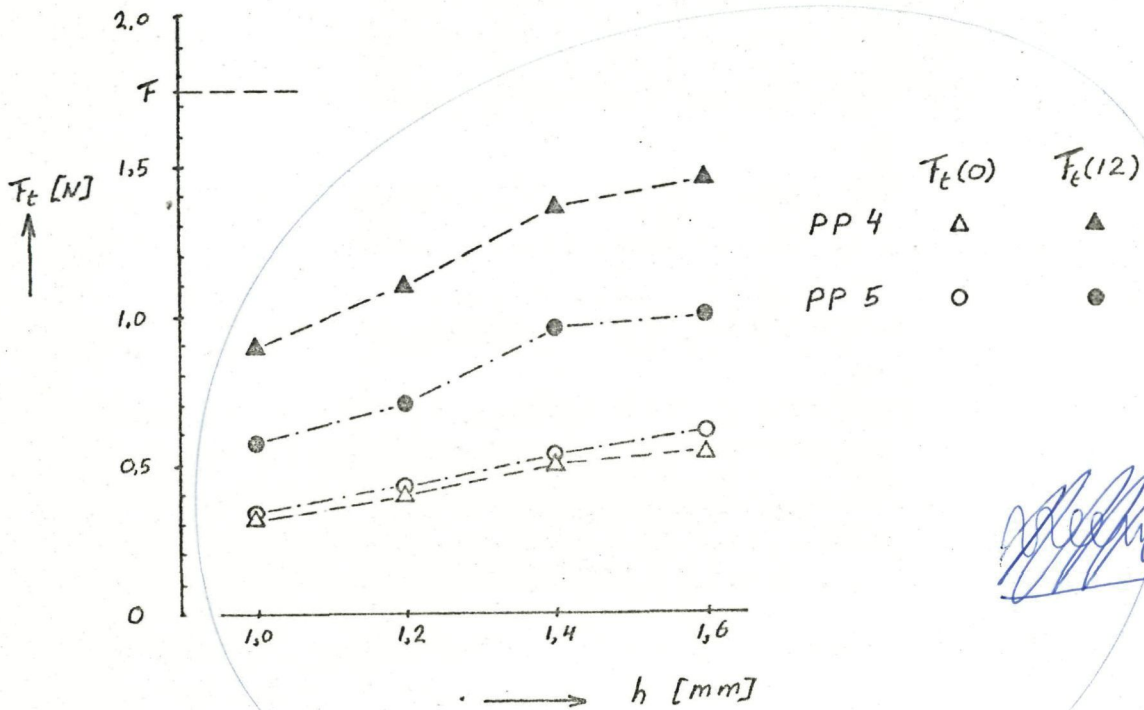


Fig. 8.1.4 Vergelijking tussen PP 4 en PP 5, $F = 1,75$, $D_g = 40$ mm,
 $D_k = \text{nominaal}$.

kleinere opening blijkt het signaalbereik enigszins af te nemen. De invloed van de kokeromtrek bleek tegen de verwachting niet significant. De kokeromtrek werd vanuit de nominale stand 2 mm verkleind en 2 mm vergroot. In de kleinste stand was reeds sprake van knellen, terwijl in de grootste stand de koker duidelijk te los zat. Blijkbaar kan de druk binnen de koker zich (bij ontspannen spieren) verdelen en wordt al snel de waarde van de bloeddruk bereikt.

Omdat de signaalopbrengst wat tegenviel, is in fig. 8.1.6 een vergelijking te zien tussen PP 2 (vorige onderzoek) en PP 4. Deze twee proefpersonen hebben overeenkomstige huiddikte en armomvang. Het rustsignaal ligt voor PP 4 wat hoger, wat verklaard kan worden door het omsluiten van de spieren, en het signaalniveau wat lager. Voor PP 2 betekent $F_s = 12$ N echter 40% van de maximale aanspanning en voor PP 4 80% van de maximale aanspanning. Over de opgegeven maximale

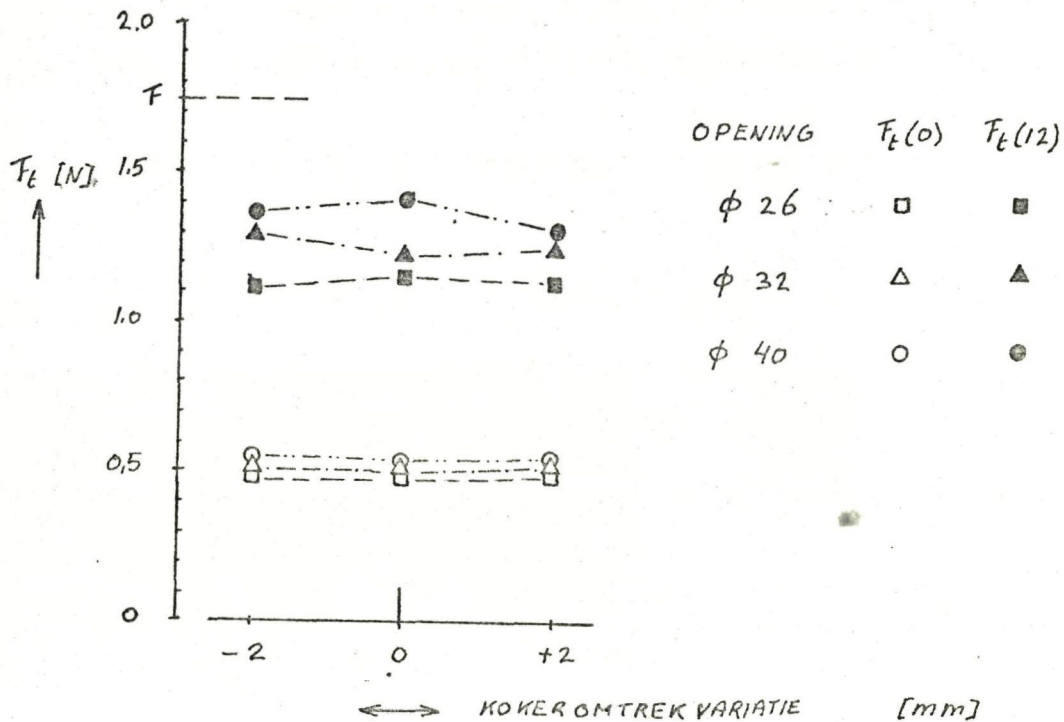


Fig. 8.1.5 Invloed van opnemeroopening en kokeromtrek.

PP 4, $F = 1,75$ N, $h = 1,4$ mm.

waarde van 30 N voor het spannen van de middelvinger, waarvan ook in het vorige onderzoek sprake was, rezen wat twijfels omdat deze waarde door PP 4 en PP 5 onmogelijk gehaald kon worden. In de in het vorige onderzoek gebruikte opstelling bestaat echter de mogelijkheid, dat ook de handstrekkingen bij maximaal aanspannen een bijdrage leveren. Uit deze veronderstelling zou afgeleid kunnen worden, dat bij de vermelde waarden van het signaalniveau (zie A 144, fig. 5.3.4), die uitgezet zijn in fig. 8.1.6, de vezels van de middelvinger ongeveer dezelfde aanspanning gehad hebben als in het huidige geval. Dit betekent, dat de resultaten van PP 2 en PP 4 toch goed vergelijkbaar zijn. Het lagere signaalniveau kan dan het gevolg zijn van de omsluiting van de spieren.

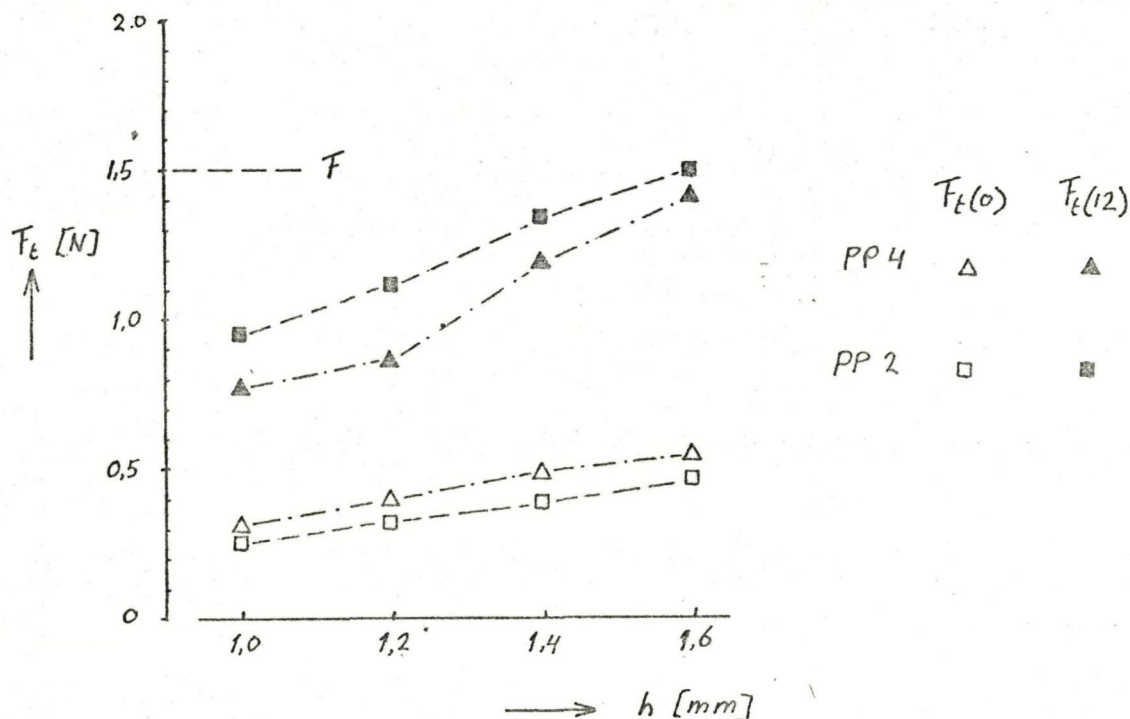


Fig. 8.1.6 Vergelijking tussen PP 2 en PP 4. $F = 1,5 \text{ N}$, voor PP 4:
 $D_g = 40 \text{ mm}$, $D_k = \text{nominaal}$.

8.2 Metingen uit de tweede categorie (twee-kanaals schrijver).

Bij deze metingen zijn de volgende parameterwaarden gebruikt:

$F = 1,75 \text{ N}$, $h = 1,4 \text{ mm}$, $D_g = 40 \text{ mm}$, $D_k = \text{nominaal}$.

Als voorbeeld van registratie in fig. 8.2.1 het buigen van de elleboog bij PP 4. Kanaal I geeft hetingangssignaal F_s en kanaal II het uitgangssignaal F_t , beide in procenten van de maximale waarde. Voor F_s is dat ongeveer 15 N en voor F_t $1,75 \text{ N}$ ($= F$). Ter vergelijking is aan het begin van de opname met ondersteunde hand het 100 % en het 50 % signaal gegenereerd. Daarna is de arm gestrekt (bovenarm verticaal en vervolgens maximaal gebogen. Te zien is, dat bij het strekken zowel het rustnivo als het 50 % nivo toeneemt. Bij het maximaal buigen, dat belemmerd wordt door de koker, neemt het rustsignaal plotseling sterk toe ten gevolge van het opbollen van de huid in het kokergat.

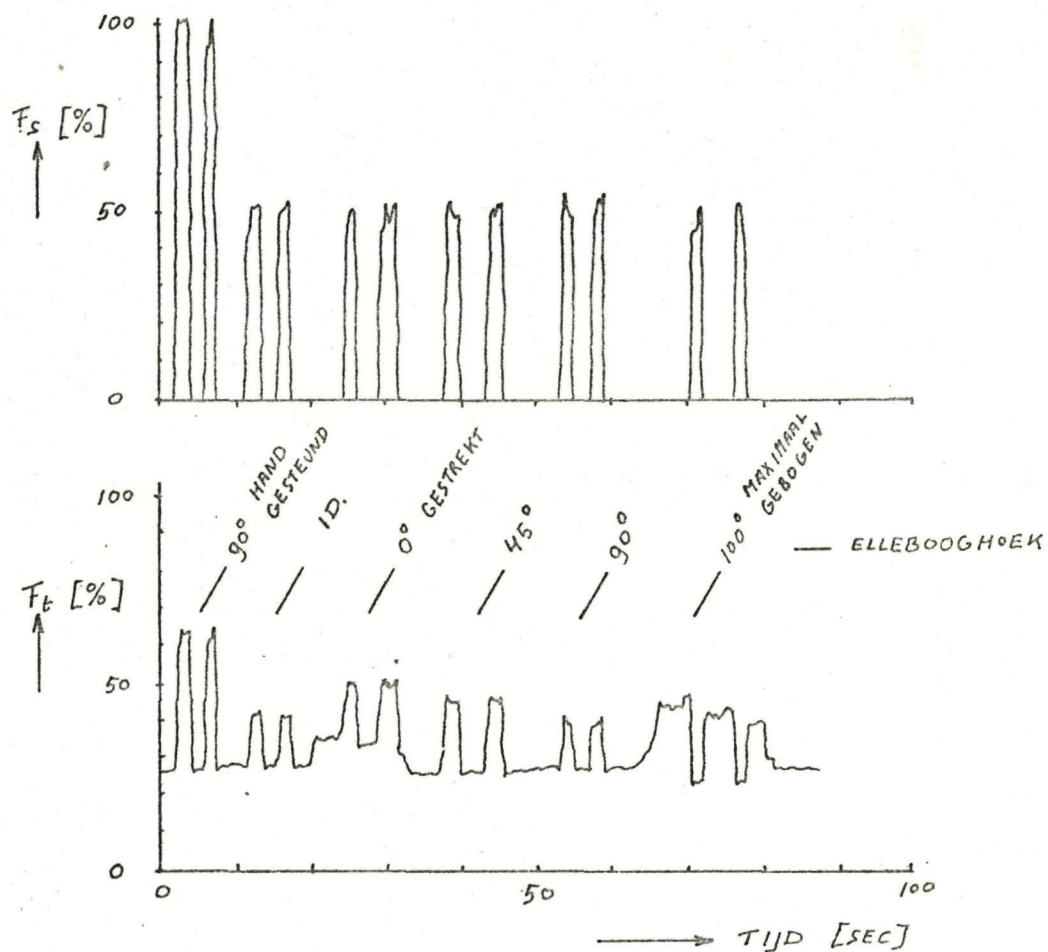


Fig. 8.2.1 Voorbeeld van de registratie met de twee-kanaal schrijver. bij het buigen van de elleboog. PP 4, hand in middenstand, koker onbelast.

Het spannen van de spier blijkt nu merkwaardigerwijs een negatief effect te hebben. Blijkbaar wordt door het aanspannen dit opbollen juist tegengegaan. Om de volgorde in de meetopzet niet te verstoren wordt op de verdere resultaten bij het elleboog buigen onder b ingegaan en zullen eerst de metingen betreffende de positieveranderingen besproken worden.

a. Invloed van de opnemerspositie t.o.v. de spier.

Met de hand in middenstand en de elleboog onder een hoek van ongeveer 90° is een verdraaiing van de koker om de arm veroorzaakt. Er was hierbij

geen relatieve beweging tussen huid en koker. De verdraaiing is gemeten in mm langs de armontrek (zie fig. 8.2.2). Bij het verder van de spier

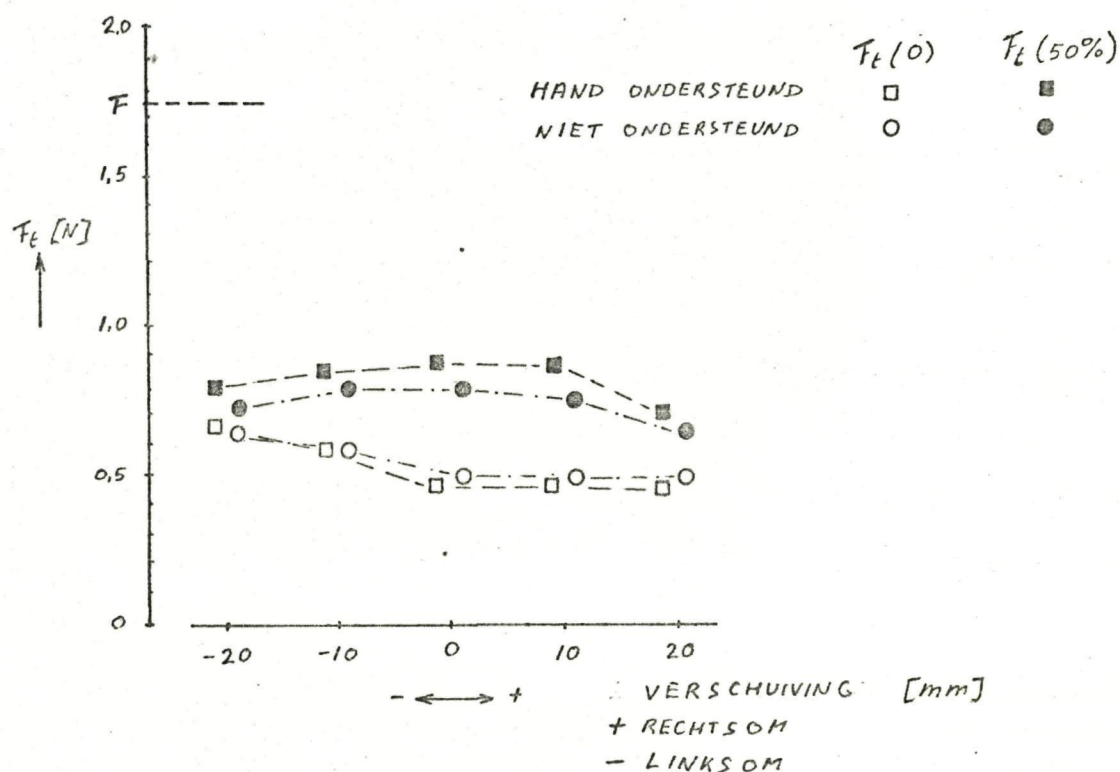


Fig. 8.2.2 Invloed van kokerverschuiving (rotatie), PP 4, koker onbelast

afraken neemt het signaalnivo af. De reden, waarom het rustsignaal bij linksom draaien vrij sterk toenam en bij rechtsom draaien nauwelijks, is niet duidelijk. De toelaatbare verschuiving blijkt ongeveer 10 mm te bedragen. Het gebied ligt rechts van de middenstand, waaruit geconkludeerd werd, dat de opnemerpositie niet optimaal was. De middenstand werd gecorrigeerd. Het heffen van de arm veroorzaakt afname van de signaalopbrengst.

Fig 8.2.3 geeft de invloed van polsverdraaiing. De relatieve verschuiving is nu veel kleiner en bedraagt ongeveer 30 % van de waarden in fig. 8.2.2 (aan de pols was de gemeten verdraaiing gelijk). Ook is hier

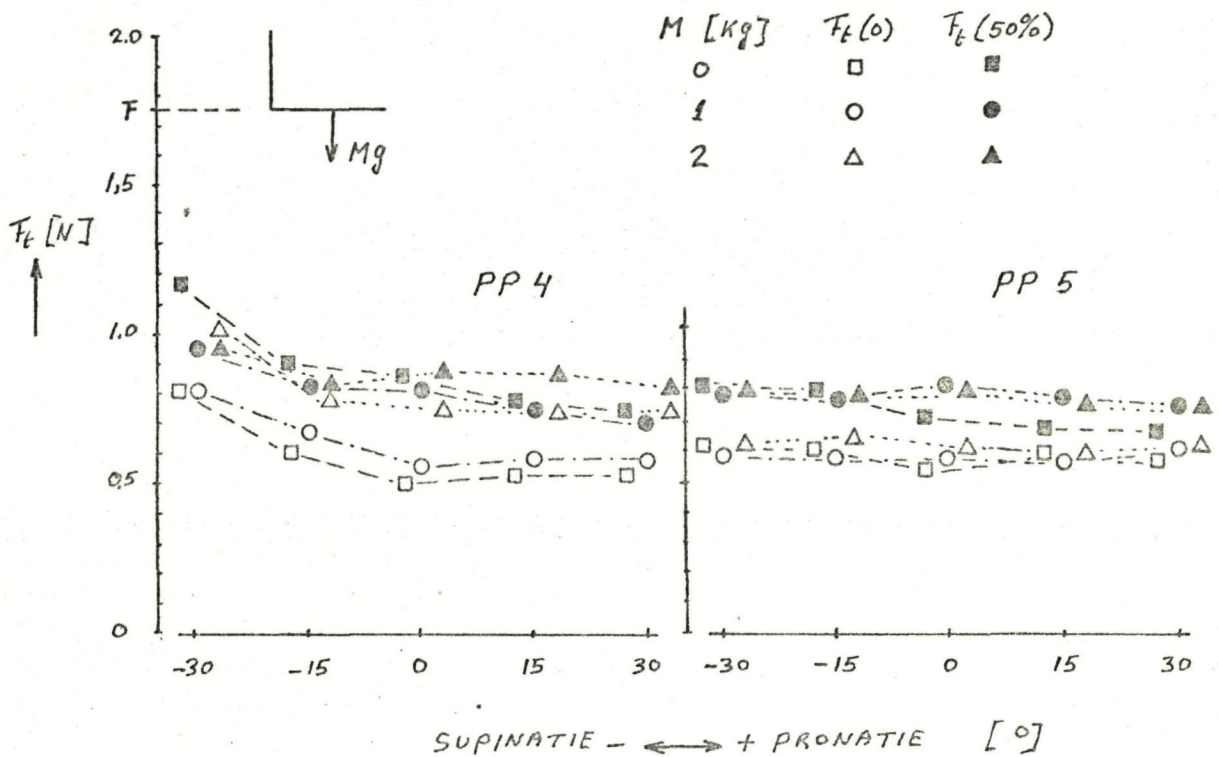


Fig. 8.2.3 Invloed van polsverdraaiing.

gekeken naar de invloed van gewichtsbelasting. De onderarm werd horizontaal gehouden. Bij PP 4 een duidelijk oplopen van van zowel nulnivo als signaalnivo bij supinatie. Dit zou verklaard kunnen worden door het aantrekken van de handstrekkingen bij sterke supinatie. Ook speelt het opbollen van de huid een rol. Bij PP 5 is hiervan echter vrijwel niets te zien. Belasten van de koker blijkt bij PP 4 funest te zijn voor de signaalopbrengst, terwijl dit bij PP 5 nauwelijks invloed heeft en eerder gunstig werkt.

b. Buigen van de elleboog.

Bij deze tests werd de hand in de middenstand gehouden. De resultaten, waarvan reeds een deel in fig. 8.2.1 te zien was, zijn samengevat in fig. 8.2.4. De invloed van de ellebooghoek is alleen in de uiterste standen relevant. Bij PP 4 valt de omgekeerde werking, die blijkbaar bij het vormen van huidplooiën kan ontstaan, op. Ook is er bij deze proefpersoon onder belasting van de koker weer afname

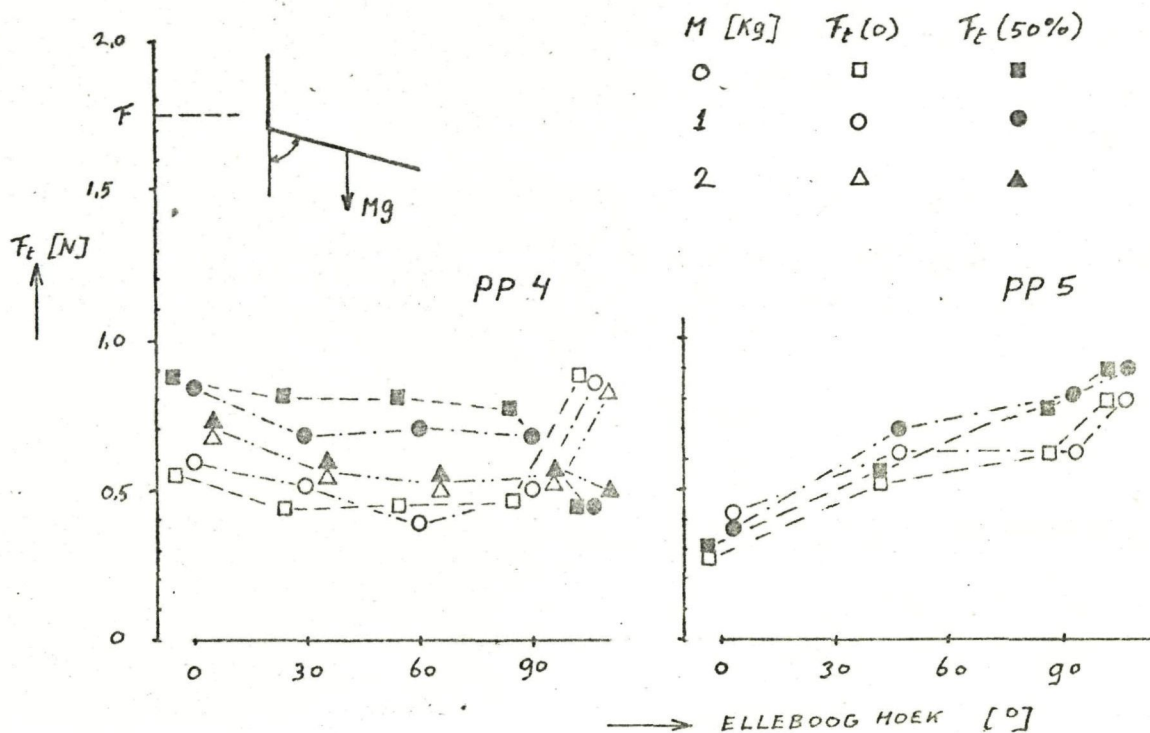


Fig. 8.2.4 Invloed van de ellebooghoek.

van de signaalopbrengst waar te nemen. PP 5 geeft een heel ander beeld, dat gekenmerkt wordt door het geringe signaalbereik. Van omkering, zoals bij PP 4, is alleen iets te zien in de gestrekte stand onder belasting.

c. Belasten van de koker.

Bij deze proeven is alleen de invloed op het rustsignaal bekeken. In fig. 8.2.5 geeft kanaal I de uitgeoefende kracht en kanaal II het myostaatsignaal. De belastingsrichting is in de figuur aangegeven en is steeds loodrecht op de koker (zie ook 7.2). Er is gemeten bij twee standen van de elleboog. Bij belasting in de aandrukrichting van de myostaat is deze vooral gevoelig voor trekken aan en nauwelijks voor duwen tegen de koker. Dit geldt zowel in haakse als in gestrekte stand. Voor belasting loodrecht op de aandrukrichting is de myostaat in haakse elleboogstand niet gevoelig. In gestrekte toestand treed echter weer gevoeligheid voor trekken aan de koker op. Deze effecten moeten hoofd-

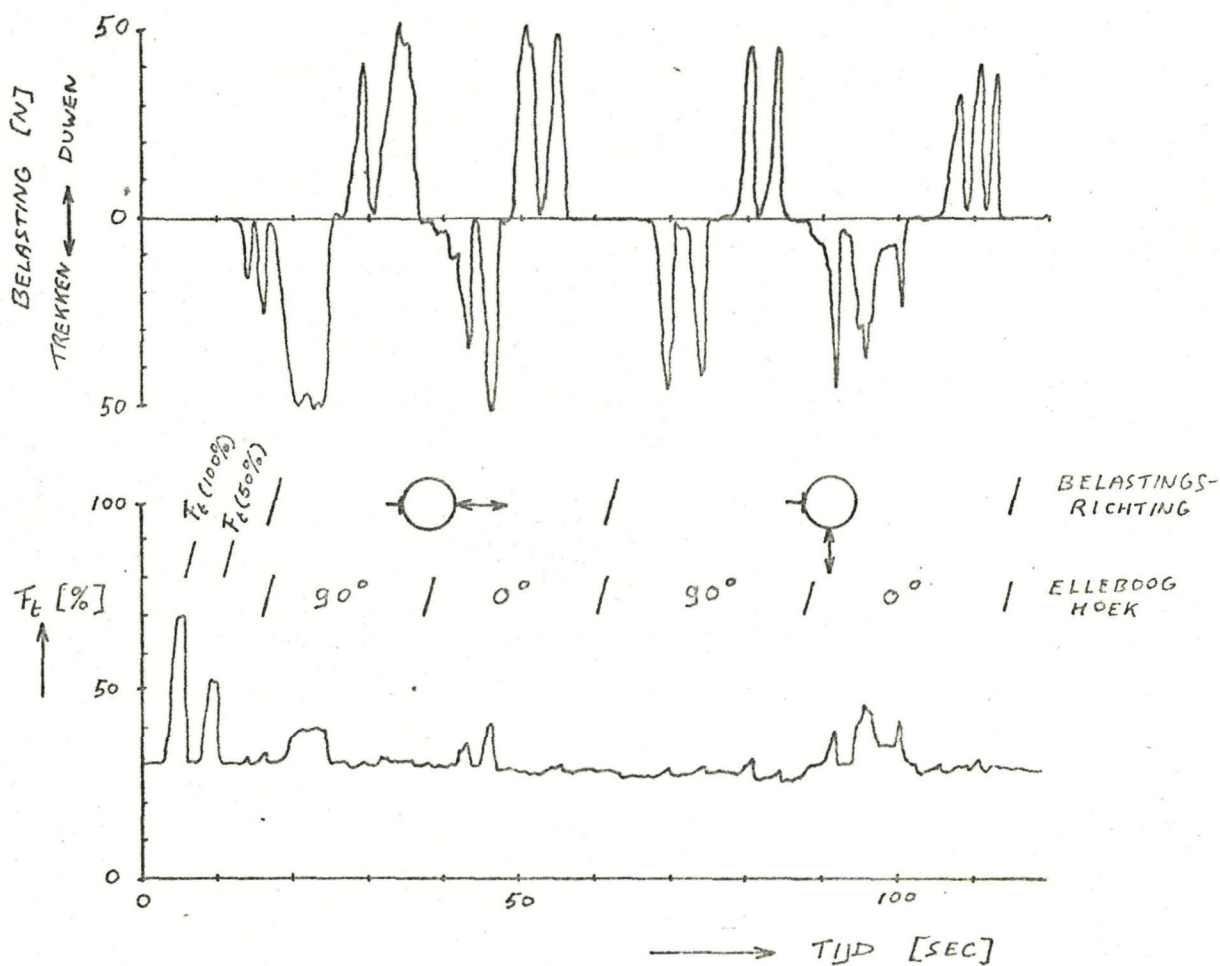


Fig. 8.2.5 Belasten van de koker bij $F_s = 0$. PP 4, hand in middenstand.

zakelijk toegeschreven worden aan het opbollen van het weefsel in de opnemeroening.

d. Spannen van andere spieren.

In fig. 8.2.6 is, eveneens in een tijdplaatje, de invloed van andere spieren in de onderarm te zien. De kracht, uitgeoefend door resp. de handstrekkers en de vingerbuigers werd geschreven door kanaal I (zie ook 7.2). Het blijkt, dat ook met het strekken van de hand en het buigen van de vingers uitstekend signalen gegenereerd kunnen worden. De oorzaak kan weer gezocht worden in het opbollen van het weefsel,

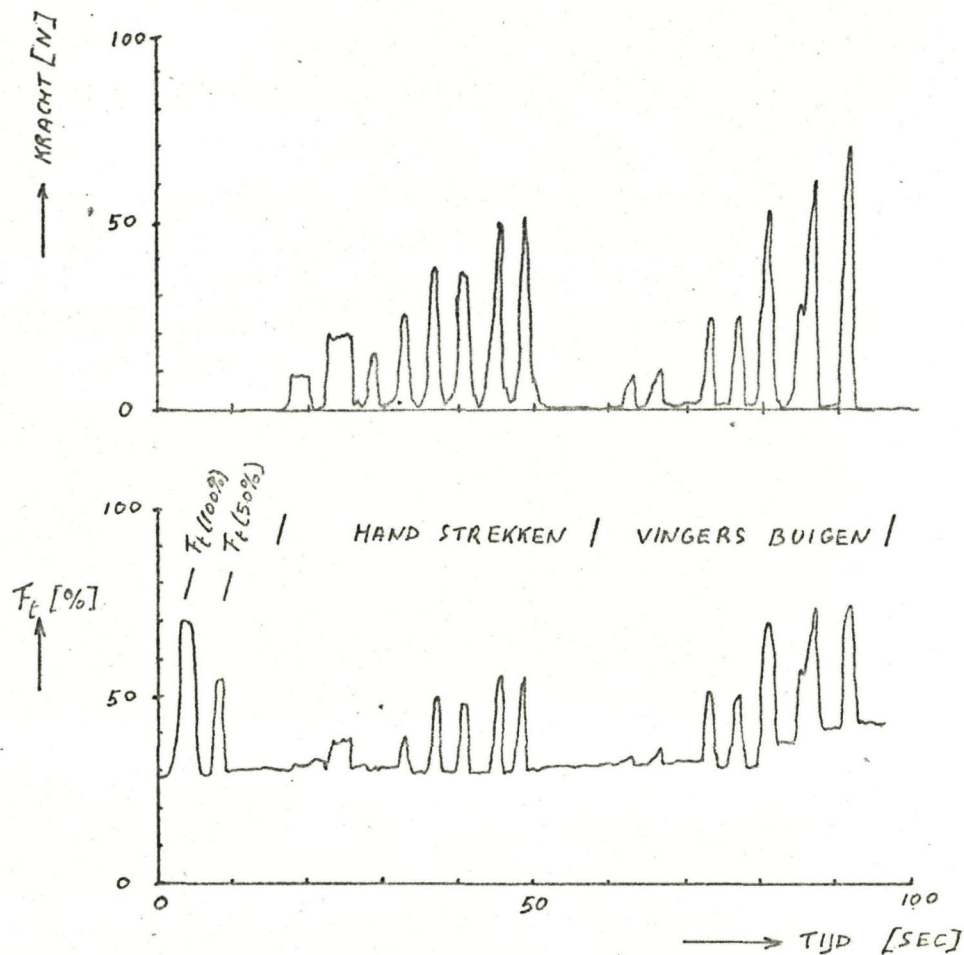


Fig. 8.2.6 Aanspannen van handstrekken en vingerbuigen. PP 4, koker onbelast.

maar de indruk bestaat, dat bij het zwaarder aanspannen de m.e.d.c. onwillekeurig méégeactiveerd wordt. Dit is ook waar te nemen bij EMG metingen. Er zou dan sprake zijn van een interne overspraak (op bestuurlijk nivo) en een externe overspraak (binnen de koker). In welke mate beide bijdragen is moeilijk te zeggen. Zowel de amplitude als de duur van de stoerpuls is van invloed. Een kleinere puls van langere duur sorteert meer effect op het uitgangssignaal dan een grotere puls van kortere duur. Bij het zwaarder aanspannen van de buigers blijkt het rustsignaal niet meer op de oorspronkelijke waarde terug te keren.

8.3 Aanvullende metingen.

Naar aanleidingen van de tegenvallende resultaten, vooral met betrekking tot de signaalgroottes, zijn aan PP 1, die nog beschikbaar was, enkele vergelijkende metingen verricht op de m.e.c.r.b. D.w.z. met de nieuwe myostaat in de oude situatie. PP 1 gaf in het vorige onderzoek het gunstigste resultaat. In fig. 8.3.1 een vergelijking tussen het gemeten

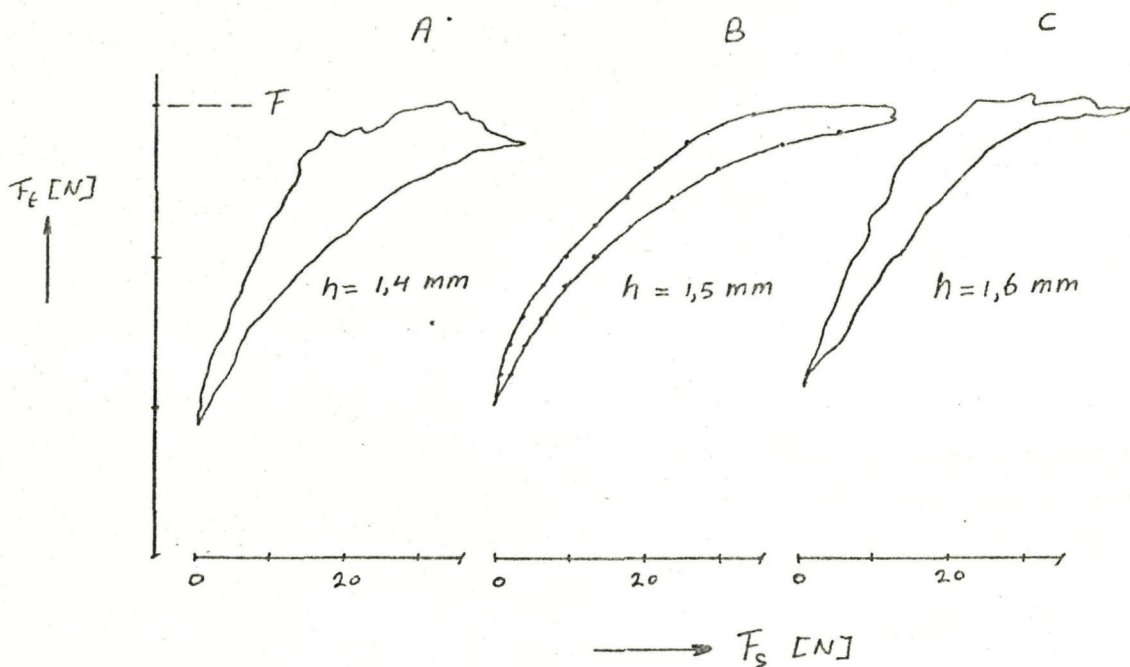


Fig. 8.3.1 Myostaatsignaal tegen spierkracht op de m.e.c.r.b. van PPI
 A,C : Nieuwe metingen.
 B : Gerekonstrueerde meting uit het vorige onderzoek.

verband van F_t en F_s . Bij de nieuwe myostaat is iets grotere versterking en wat meer hysteresis te zien. Beide kunnen het gevolg zijn van het kanteffect van de taster. In fig. 8.3.2 is het rustnivo en het signaalnivo bij $F_s = 25$ N uitgezet voor een aantal tasterinstellingen. De waarde van het signaalnivo, waarvoor het gemiddelde van de hystereselus genomen is, valt nu minder snel af met de tasterinstelling. Wat opvalt, is het veel grotere signaalbereik, dat reeds bij geringe aanspanning verkregen wordt (15 % van het maximum). Dit is in de eerste plaats gevolg van de geringere huiddikte, maar moet daarnaast voor een belang-

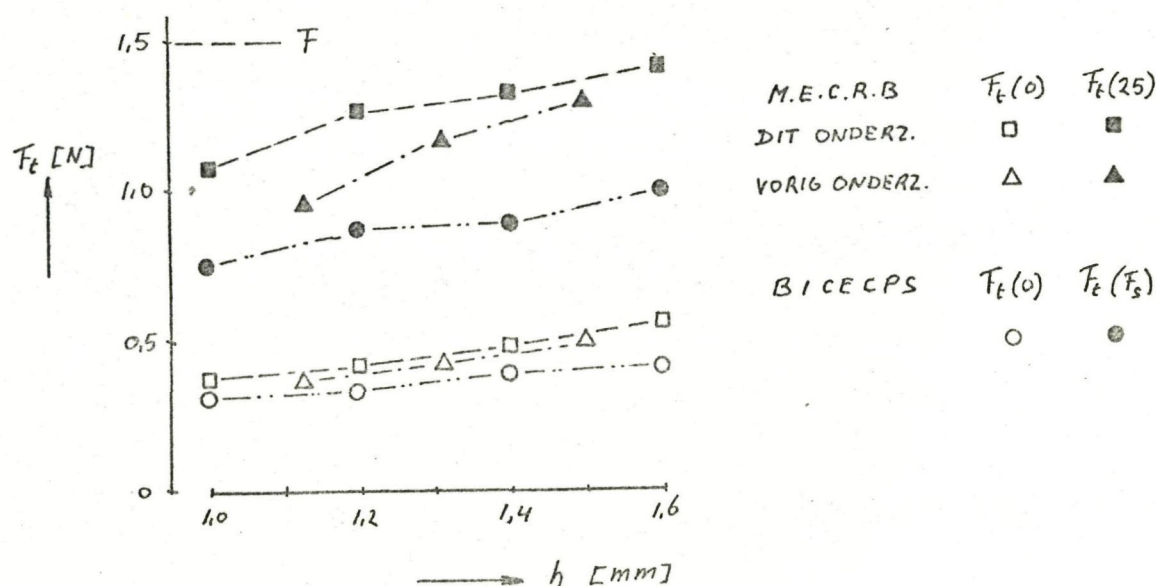


Fig. 8.3.2 Rustnivo en signaalnivo bij PP 1 in open opstelling.

rijk deel toegeschreven worden aan de vormverandering van de m.e.c.r.b. bij deze proefpersoon. In gespannen toestand lag de kromming in dwarsrichting in de orde van grootte van de buitenomtrek van de opnemer ($D = 20$ mm). Een idee over de invloed van de vormverandering wordt verkregen door de eveneens in fig. 8.3.2 aangegeven meting op de biceps, waarbij deze vormverandering een meer ondergeschikte rol speelt. Het aanspanningspercentage van de biceps is niet exakt bekend. Het ligt tussen 20 en 40 %.

De volgende metingen hebben als doel vergelijking met het EMG-signaal. Fig. 8.3.3 geeft steun aan de gedachte, dat de gekonstateerde overspraak bij het spannen van handstrekkingen en vingerbuigers voor een groot deel toegeschreven moet worden aan het niet ontspannen kunnen houden van de m.e.d.c. Bij het EMG-signaal ligt de overspraak namelijk in de zelfde orde van grootte. Uit de literatuur is bekend, dat het leren besturen van een EMG-protese, waarbij strekkers gespannen en buigers ontspannen moeten worden (en vice versa), vrij veel training kost. Een leerperiode is hier niet in acht genomen, zodat deze test geen afdoende antwoord kan geven.

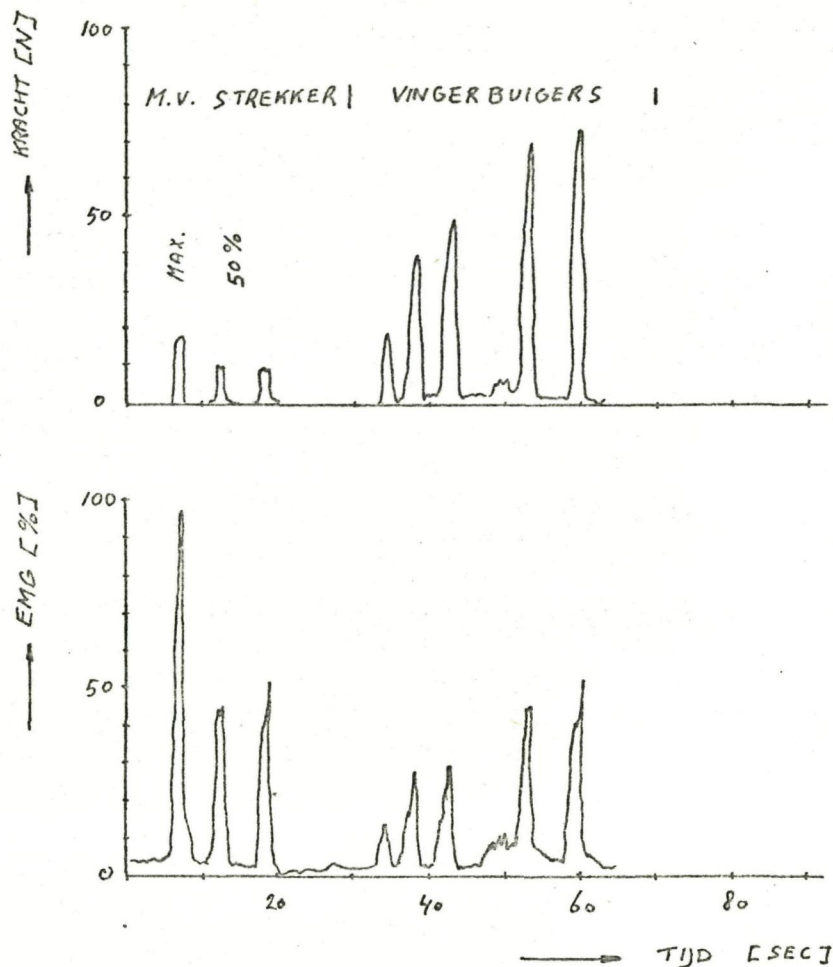


Fig. 8.3.3 Het EMG-signaal bij het strekken van de middelvinger en het spannen van de vingerbuigers. Elektroden op de m.e.d.c., PP 4.

Fig. 8.3.4 geeft een indruk van de doseerbaarheid van het myostaatsignaal. In geval A is het ingangssignaal (F_s) stapvormig verhoogd tot 50 % van de maximale waarde en in geval B is dit gedaan voor het uitgangssignaal. Het signaal $\Delta F_t = F_t(F_s) - F_t(0)$ is zodanig verwerkt, dat de aanwijzing voor $F_s = 0$ nul is en voor $F_s = 50\%$ maximaal (=50 mm). Dus $\Delta F_{t,max}$ is gesteld op 100 %, hetgeen overeenkomt met 0,7 N (40 % van F). Het myostaatsignaal blijkt even goed doseerbaar als de spierkracht.

In tamelijk schril contrast hiermee staat EMG-signaal, zoals te zien is in fig. 8.3.5. Kanaal I geeft weer de uitgeoefende spierkracht en kanaal II in dit geval het EMG-signaal. De elektroden waren gemonteerd in het aandrukmechanisme op de plaats van de myostaat. Het EMG-signaal werd gefilterd met een filtertijdconstante van 200 msec, hetgeen de bandbreedte

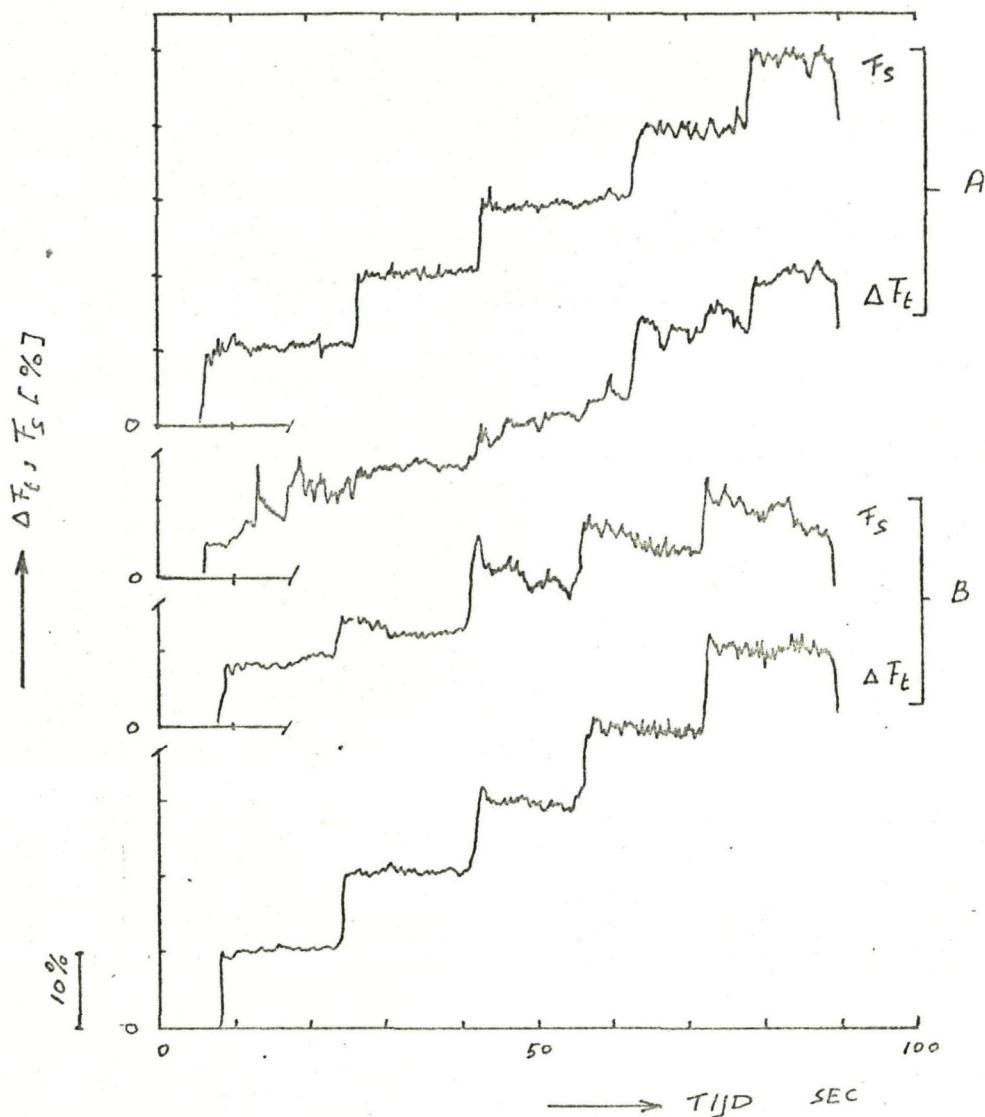


Fig. 8.3.4 Het myostaatsignaal bij visuele terugkoppeling. Spannen van de middelvinger, hand ondersteund, PP 4.

A : F_s teruggekoppeld.

B : F_t „

beperkt tot 0,8 Hz. (Voor de myostaat is bij signaalveranderingen van 10 % (0,07 N) de bandbreedte ongeveer 10 Hz.) De versterking was zodanig, dat de aanwijzing bij 50 % van de spierkracht ongeveer maximaal was. Bij het EMG-signaal blijkt de stapinformatie in geval A zelfs beter te zijn. De doseerbaarheid is echter duidelijk slechter (geval B). In het myostaatsignaal kunnen nivoverschillen van 3 % van de maximale waarde onderscheiden worden, terwijl dit voor het EMG-signaal op onge-

kleinere signalen en daardoor hogere hardheid dan op pag 18

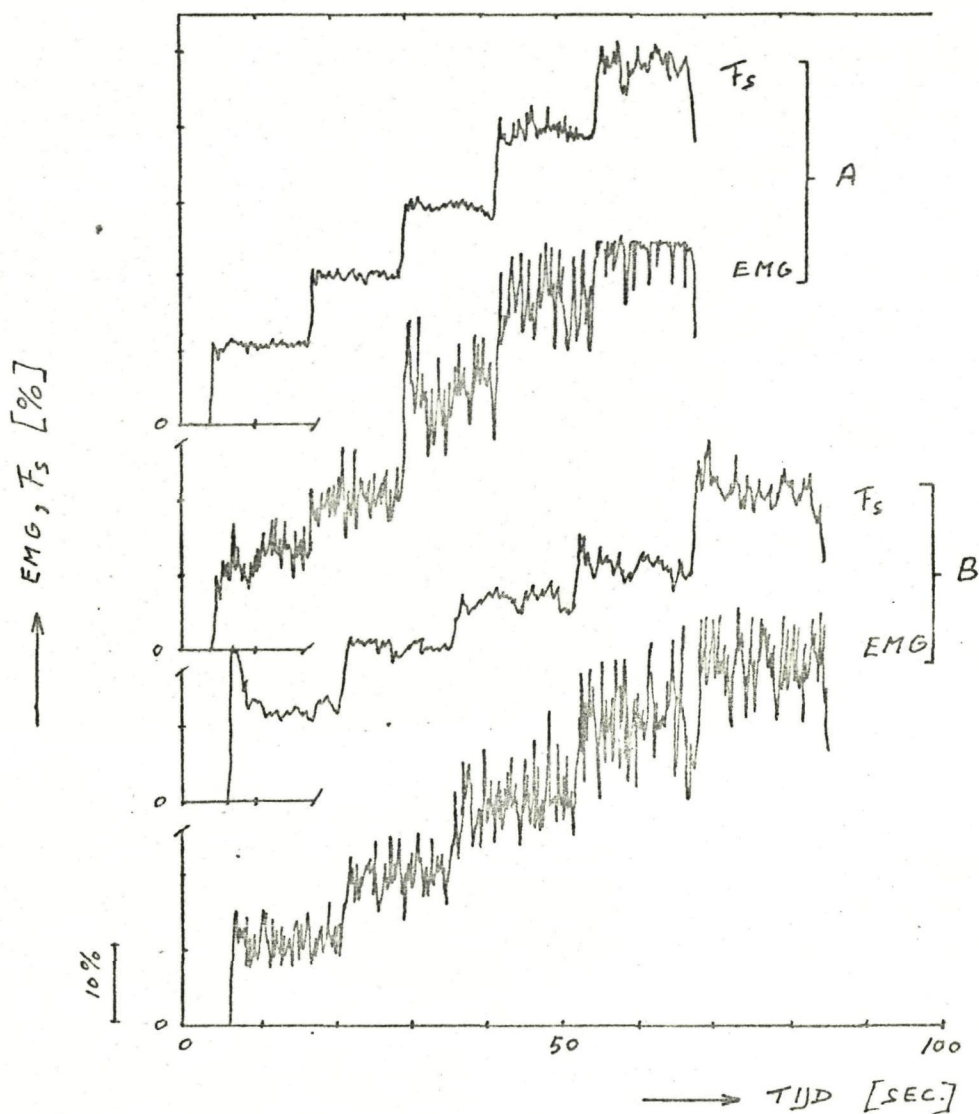


Fig.8.3.5 Het EMG-signaal bij visuele terugkoppeling. Spannen van de middelvinger, hand ondersteund. PP 4.

veer 15 % ligt (top-top waarde van de rimpel). Zowel bij het myostaat-signaal als bij het EMG-signaal is in geval B een teruglopen van de spieraanspanning op te merken.

9. Konklusies.

9.1 De konstruktie.

Deze voldeed goed voor de metingen. De tasterinstelling en de aandrukkracht konden eenvoudig op de arm gevarieerd worden. Van het kanteleffekt, waardoor de overdrachtsfaktor van de krachtomzetting verandert, werd geen aanwijsbare hinder ondervonden. Alleen het zijdelings verschuiven van de taster door de te grote speling in het onnemerhuis gaf soms wat problemen. In een besturingstoepassing zal de tasterophanging gekombineerd moeten worden met een rustkrachtkompensatie. In dat geval kan de konstruktie zodanig ontworpen worden, dat van speling geen sprake is. Voor een praktische toepassing is de uitvoering van het aandrukmechanisme vanwege de afmetingen en het ontbreken van afscherming uiteraard minder geschikt.

9.2 Storingsgevoeligheid.

Ten aanzien van de storingsgevoeligheid kwamen de volgende punten naar voren:

a. Positieveranderingen.

Bekeken is de relatieve verschuiving in dwarsrichting. Is deze het gevolg van verdraaiing van de koker om de arm, dan is een gebied aan te wijzen, waarin verschuiving weinig invloed heeft op zowel het rustnivo als het signaalnivo. Bij PP 4 bedroeg de toelaatbare verschuiving ruim 10 mm. Polsrotatie heeft in principe de zelfde invloed, maar hierbij doet zich het spannen van allerlei spieren voor, waardoor het resultaat niet vergelijkbaar is. De strekkers hebben een supinerende werking die zich in extreme stand doet gelden. De invloed hiervan was bij PP 4 te konkluderen uit de verhoging van het rustnivo. Pronatie-supinatie geeft de patient de mogelijkheid om de spier zonodig in een gunstiger positie t.o.v. de opnemer te brengen.

b. Positioneren.

Dit heeft betrekking op het buigen en strekken van de elleboog. Over een groot traject is de invloed klein. In feite geven alleen de uiterste

standen problemen. In gestrekte stand wordt de koker door de olecranon-omsluiting tegen de bovenzijde van de koker geduwd. Bij PP 4 veroorzaakte dit verhoging van het rustnivo, maar bij PP 5 bracht dit juist verlaging teweeg. In extreem gebogen stand ontstond door de vorming van huidplooiën in beide gevallen een sterke toename van het rustnivo. De koker verhinderde verder buigen dan ongeveer 100° vanuit de gestrekte stand.

c. Belastingen.

Wanneer de belasting door grootte en richting spannen van onderarmspiers en of opbollen van weefsel in de opnemeroening veroorzaakt, dan is verhoging van het rustnivo waar te nemen. Ook gaf PP 4 reeds bij geringe belasting afname van het signaalbereik te zien. PP 5 had hier minder last van. De belastingen werden op de koker halverwege de arm uitgeoefend, zodat aangenomen moet worden, dat protesebelasting ter plaatse van de hand door de momentwerking een veel grotere invloed zal hebben. De stomplengte en het gewicht van de protese zullen daarom van groot belang zijn.

d. Spannen van andere spieren.

De overspraak is in de bekeken situatie erg groot. Echter de geoefendheid van de proefpersoon in het spannen en ontspannen houden van zijn spieren speelt hierbij een rol. Daarom lijkt het nog niet gerechtvaardigd op grond van deze resultaten te konkluderen, dat op een amputatiestomp slechts één opnemer toegepast kan worden.

9.3 Algemene opmerkingen.

Het aantrekkelijke van het myostaatsignaal is, dat blijkbaar gebruik gemaakt wordt van beschikbare proprioceptieve terugkoppelingen, waardoor goede doseerbaarheid mogelijk is. Dit maakt het signaal in principe zeer geschikt voor proportionele sturingen. Helaas geldt dit alleen onder storingsarme omstandigheden, omdat door de aard van de signaaloverdracht de gevoeligheid voor mechaniese invloeden groot is. De myostaat reageert op een combinatie van hardheidsverandering en vormverandering. Hierin ligt de oorzaak, dat zowel toename als afname van het myostaatsignaal gekonsta-

teerd wordt en het gedrag per proefpersoon moeilijk te voorspellen is. Ruwweg gezegd prevaleert bij het sturen de hardheidsverandering en bij het storen de vormverandering. Wanneer 50 % van de maximale spieraanspanning toelaatbaar geacht wordt, bedraagt de signaalamplitude, d.w.z. toename van het rustnivo door kontraktie van de stuurspier, in het gunstigste geval 20 - 25 % van de aandrukkracht. De toename van het rustnivo tengevolge van de stoorinvloeden ligt, wanneer er sprake is van sterke ploëivorming en opbolling van de huid in de opnemeropening, eveneens in deze orde van grootte. Door dit onbetrouwbare rustnivo lijkt het realiseren van een proportionele sturing met de myostaat niet mogelijk.

Voor een aan-uit sturing zou een zekere rimpel op het rustsignaal toelaatbaar zijn. In het signaalbereik moet dan een schakelnivo gekozen kunnen worden, dat onder alle omstandigheden voldoet. Bij de in dit onderzoek verkregen resultaten is dit zeker niet het geval, hetgeen in de eerste plaats toegeschreven moet worden aan het signaalbereik, dat veel kleiner is dan op grond van het vorige onderzoek verwacht mocht worden. In vergelijkbare omstandigheden komen de resultaten van de nieuwe en de oude myostaat redelijk overeen. De oorzaak van de geringere signaalopbrengst moet daarom gezocht worden in het vrij vlak blijven van de m.e.d.c. ten opzichte van de m.e.c.r.b., die een veel rondere vorm aanneemt. Bij metingen op de m.e.c.r.b. werd, afhankelijk van de proefpersoon, een signaalbereik gehaald van 45 - 70 % van de aandrukkracht bij 40 % spieraanspanning. Op de m.e.d.c. worden deze waarden pas na maximaal aanspannen bereikt. Hieruit kan gekonkludeerd worden, dat de m.e.d.c. een minder geschikte stuurplaats vormt. Bij een signaalbereik van \pm 50 % van de aandrukkracht behoort aan-uit sturing tot de mogelijkheden. De toename van het rustnivo zou dan b.v. 30 % mogen bedragen. Het signaalnivo moet dan wel onder alle omstandigheden gehaald kunnen worden. De metingen tonen aan, dat dit in de bekeken situatie niet het geval zal zijn. Vooral de waargenomen afname van het signaalbereik met kokerbelasting is hierbij van belang.

Samenvattend kan gesteld worden, dat in een gesloten kokerfitting van het condylentype een proportionele sturing door te grote variaties in het rustnivo van het myostaatsignaal problemen zal geven. Aan-uit of

twee-standen sturing is mogelijk, wanneer de gekozen stuurplaats een voldoende groot signaal levert. Er zullen zich daarbij echter situaties voordoen, waarbij geen signaal gegenereerd kan worden.

9.4 Aanbevelingen voor verder onderzoek.

Omdat de vraag rijst in hoeverre de werkelijke situatie door deze laboratoriumopstelling benaderd wordt, zal eventueel verder onderzoek bij voorkeur aan geamputeerden moeten geschieden. Het is nu in de eerste plaats van belang om, in verband met de mogelijkheid van aan-uit sturing, te weten te komen of op een amputatiestomp wel plaatsen aan te wijzen zijn, waar de signaalopbrengst voldoende is, d.w.z. tenminste 50 % van de aandrukkracht. Bij het zoeken naar een optimale stuurplaats zal gelet moeten worden op een zo gunstig mogelijke vormverandering van de spier bij kontraktie. Met betrekking tot de proefpersonen zou gedacht kunnen worden aan patienten, die bedreven zijn in het gebruik van een EMG gestuurde handprotese.

Tegelijkertijd zou gekeken kunnen worden naar mogelijkheden om de rust-nivovariaties te onderdrukken, waardoor de eis ten aanzien van de signaalgrootten wellicht afgezwakt kan worden. Twee suggesties zijn:

a. Een aangepaste fitting, b.v. een meer open konstruktie, waardoor minder plooivorming en opbolling van de huid optreedt.

b. Aanzienlijke verhoging van de aandrukkracht. Verwacht wordt, dat dit de gevoeligheid voor plooivorming eveneens vermindert.

Het is bekend, dat de Otto Bock myostaat met een kracht van 4 N aangedrukt werd. Ten aanzien van de uitvoering van de myostaat zal dit konsekwenties hebben met name voor de afmetingen van de taster. Het verdient aanbeveling de taster een wat bollere vorm te geven om een betere verdeling van de vlaktedruk te verkrijgen. Voor de aandrukking zou gebruik gemaakt kunnen worden van de veren van het type flex'ator, zoals beschreven in appendix A. Hierdoor wordt een kompakte konstruktie verkregen en een beweeglijke ophanging van het opnemergedeelte bewerkstelligd. Dit heeft de voorkeur boven de starre verbinding, die in dit onderzoek toegepast is.

Appendix A.

Veerkonstrukties.

Uit een breed scala van meer of minder ingewikkelde mogelijkheden voor het opwekken van een konstante kracht over een bepaalde weg twee relatief eenvoudige voorbeelden, die als karakteristiek kunnen gelden.

- A.1 Als eerste een voorbeeld van een veer, die één bepaalde kracht levert over een lange weg. Deze veer, die aangeduid wordt als flex'ator (5) is in wezen een gewone trekveer met voorspanning, die op een bijzondere manier belast wordt. Zie fig. A.1.1. In navolging hiervan werden met

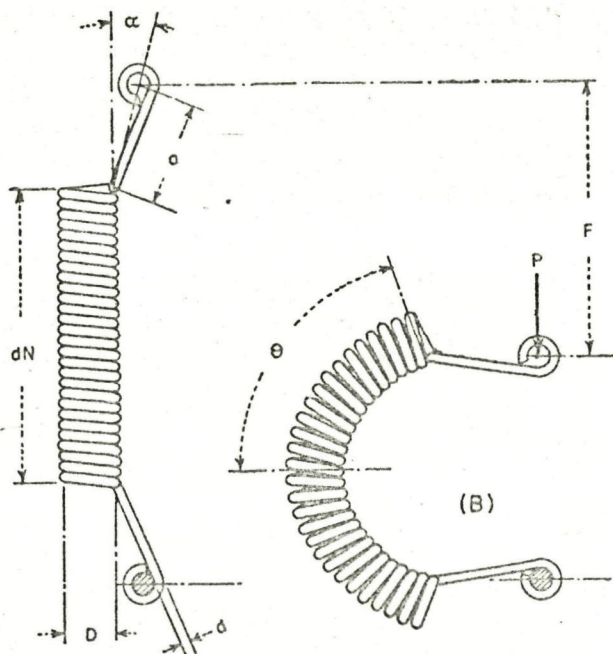


Fig. A.1.1 De flex'ator.

behulp van bestaande trekveren drie van dergelijke veren vervaardigd en beproefd. De veren waren daarbij bevestigd aan twee schijven, die evenwijdig naar elkaar toe bewogen werden, zoals aangegeven in fig. A.1.2. De door de veren uitgeoefende kracht als functie van de verplaatsing is te zien in fig. A.1.3. Het kiezen van ongelijke schijfdiameters (geval B) blijkt te resulteren in een vlakker verloop en minder hysteresis en heeft dus een gunstig effect. Ook heeft de onderschijf in dat geval minder neiging om zijdelings te verplaatsen. In geval B bedraagt de hysteresis

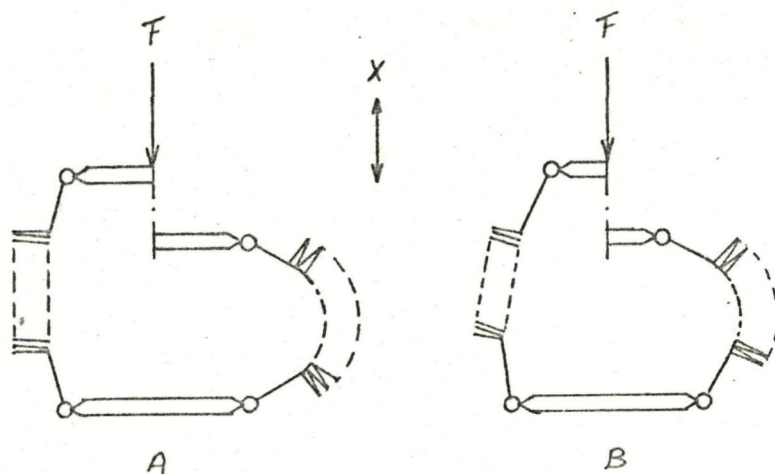


Fig. A.1.2 Wijze van beproeving van de flex'ator.

A : Bovenschiif en onderschiif 20 mm.

B : Bovenschiif 10 mm, onderschiif 20 mm.

ongeveer 7 % van de geleverde kracht. Door goede uitvoering van de schar-nierpunten is dit nog te verminderen. De afmetingen van de beproefde veren zijn (zie fig. A.1.1): $\alpha = \pm 10^\circ$, $a = 5$ mm, $n = 30$, $d = 0,5$ mm, $D = 4,2$ mm.

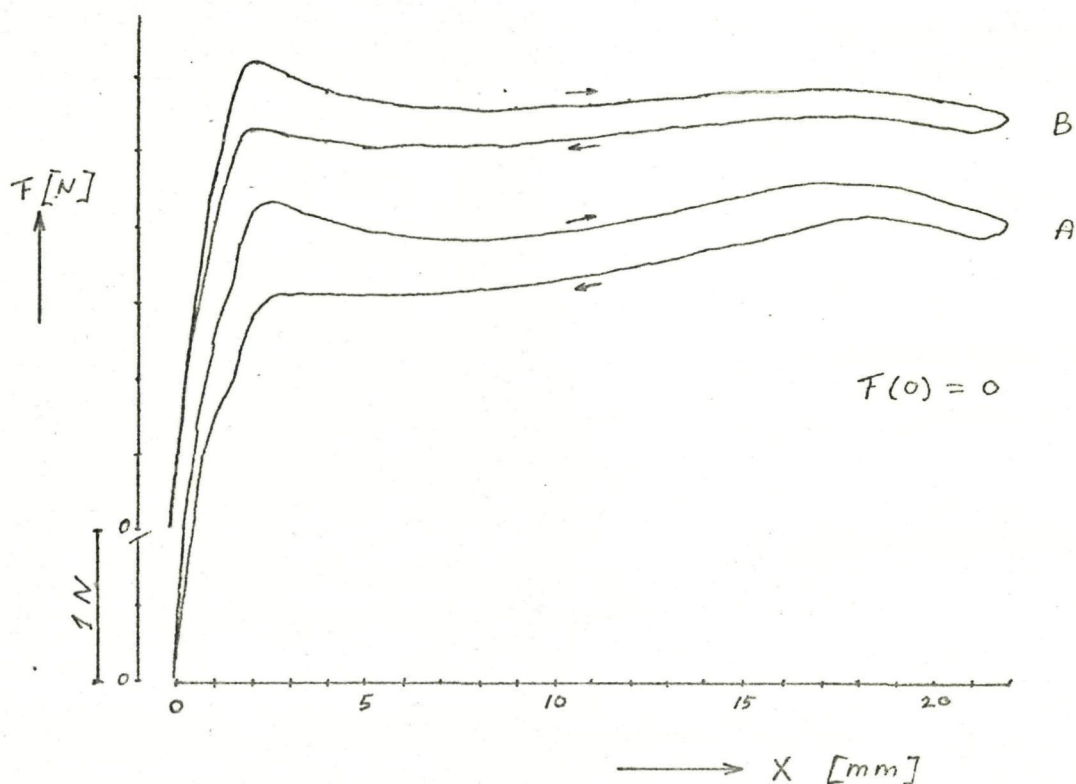


Fig. A.1.3 Kracht - weg diagram van een veerpakket bestaande uit drie flex'ators.

A.2 Een tweede mogelijkheid is het plaatsen van drie of meer drukveren in de configuratie van fig. A.2.1. De kracht is nu instelbaar door

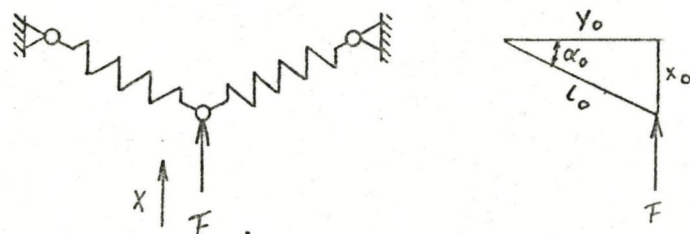


Fig. A.2.1 Plaatsing van de drukveren.

het veranderen van de initiële hoek, echter de bereikbare verplaatsing is klein. De konstruktie biedt enig perspectief als oplossing voor een tasterophanging met rustkrachtkompensatie. In fig. A.2.2 is het

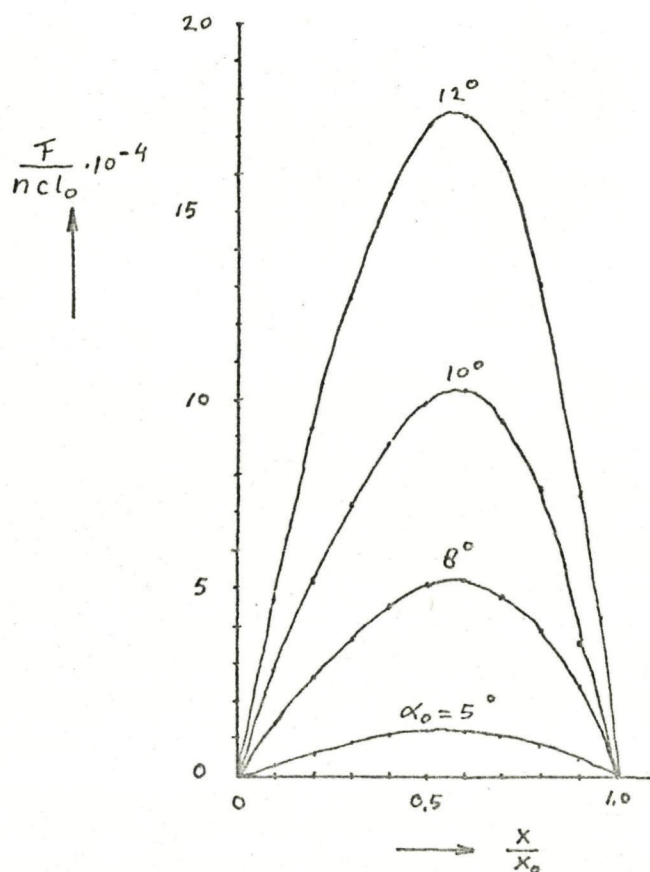


Fig. A.2.2 Het genormeerde verband tussen geleverde kracht en verplaatsing.

genormeerde kracht - weg diagram voor een aantal waarden van de initiële hoek weergegeven. Dit verband volgt uit onderstaande betrekking:

$$\frac{F}{n C l_0} = \frac{x}{x_0} \sin \alpha_0 \left(\frac{1}{\left(\frac{x}{x_0}\right)^2 \sin^2 \alpha_0 + \cos^2 \alpha_0} - 1 \right)$$

Hierin is n het aantal veren en C de veerstijfheid.

Appendix B.

Pneumatische motoren.

Er zijn twee mogelijkheden getest: een zuiger-cilinder en een folie-motor. In beide gevallen vertoonde de geleverde kracht veel afwijking.

B.1 Van de zuiger-cilinder werden twee versies vervaardigd, die schematies weergegeven zijn in fig. B.1.1. Versie A heeft een lekvrije zuiger

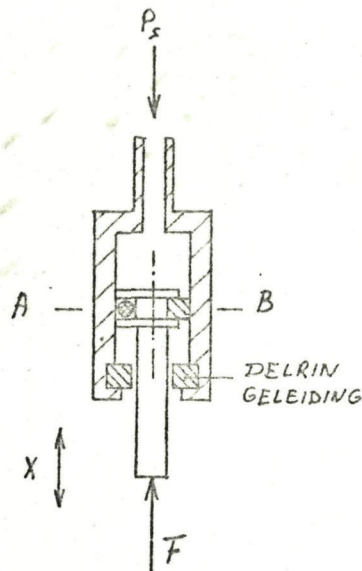


Fig. B.1.1 Uitvoering van de zuiger-cilinder.

A : Zuiger met o-ring.

B : Delrin zuiger.

met o-ring. De afmetingen van zuiger en cilinder werden zo gekozen dat de o-ring zo weinig mogelijk voorspanning had. De nominale cilinderdiameter is 3,5 mm. In versie B is de o-ring vervangen door een zuiver passende delrin ring. Het gemeten verband tussen geleverde kracht en verplaatsing is te zien in fig. B.1.2. In het gunstigste geval bedraagt de hysteresis nog ruim 30 % van de kracht. De nulstand komt overeen met het grootste volume in de cilinder.

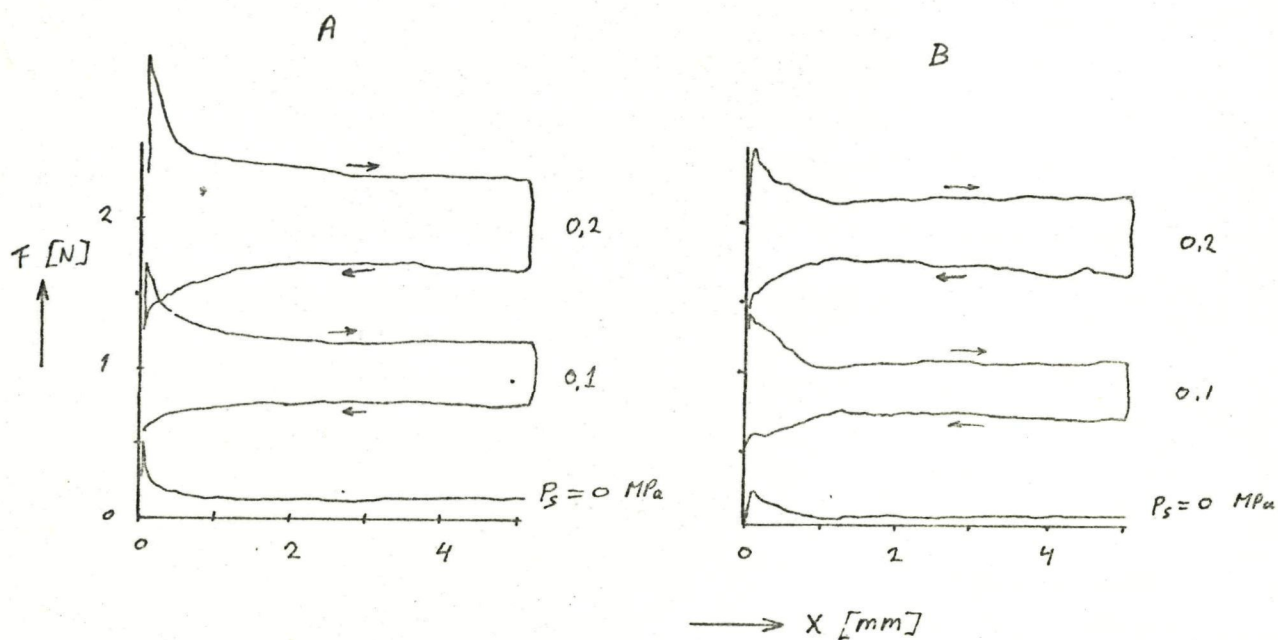


Fig. B.1.2 Verband tussen kracht en verplaatsing bij de zuiger-cilinder.

B.2 De foliemotor bestond uit zes kompartimenten van 15×15 mm. De kompartimenten waren aan vier zijden geseald om een zo soepel mogelijk geheel te krijgen (zie fig. B.2.1). Het verloop van de kracht met

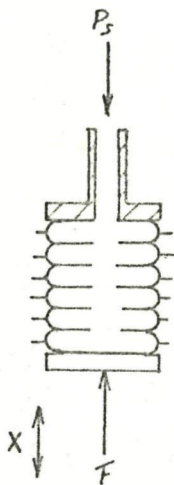


Fig. B.2.1 Schematische weergave van de foliemotor.

de indrukking is te zien in fig. B.2.2 en toont zowel stijfheid als hysteresis. De stijfheid wordt toegeschreven aan het toenemende kontaktoppervlak. De hysteresis blijkt afhankelijk van de uitgevoerde verplaatsing.

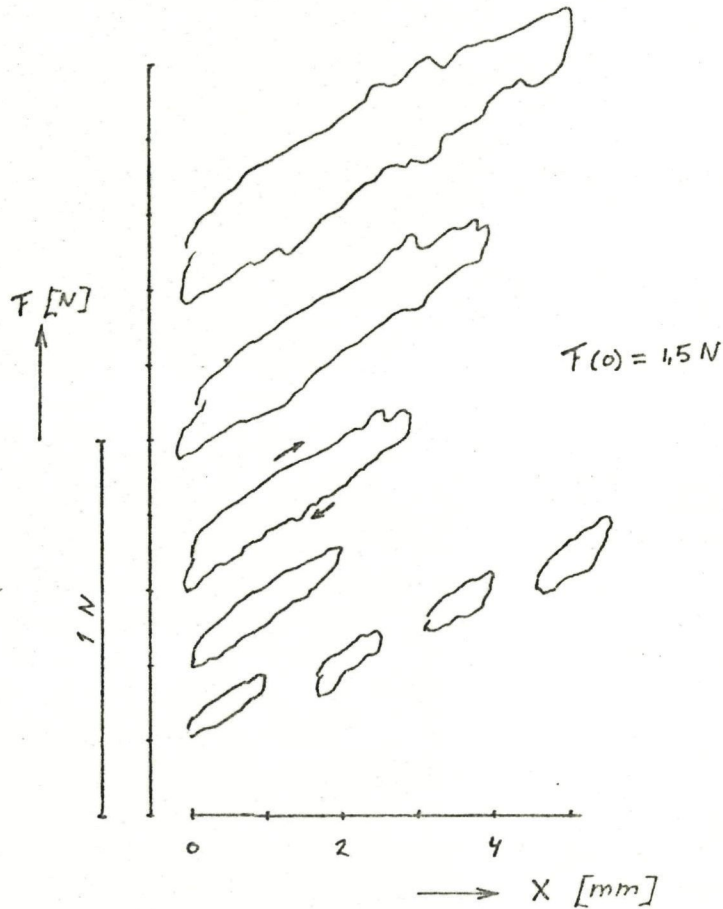


Fig. B.2.2 Kracht - weg bij de foliemotor. De ingestelde kracht aan het begin van de slag is 1,5 N.

Appendix C.

Berekening aandrukmechanisme.

C.1 Afleiding van de momentfunctie:

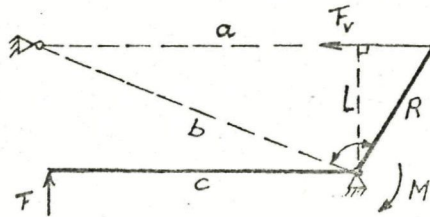


Fig. C.1.1 Geometrie van het aandrukmechanisme.

$$M(\varphi) = F_V(\varphi) \cdot L(\varphi)$$

$$\text{met: } F_V(\varphi) = C(a(\varphi) - a_0)$$

C = veerstijfheid

 a_0 = rustlengte veer + lengte verbindingen

Wanneer gesteld wordt: $b = pR$ en $a_0 = qR$, dan is met de bekende goniometrische betrekkingen af te leiden:

$$a(\varphi) = R\sqrt{1+p^2-2p\cos\varphi}$$

$$L(\varphi) = \frac{pR\sin\varphi}{\sqrt{1+p^2-2p\cos\varphi}}$$

Na enig rekenwerk is daarmee voor het moment te schrijven:

$$M(\varphi) = CpR^2 \sin\varphi \left(1 - \frac{q}{\sqrt{1+p^2-2p\cos\varphi}} \right) \quad (1)$$

We beschouwen alleen het interval $0 \leq \varphi \leq \pi$ met $F_V > 0$, d.w.z. $q < p-1$. In dat geval is op genoemd interval $M(\varphi) \geq 0$. De optimale hoek is de hoek, waarvoor het moment extreem is. Differentieren van (1) naar φ levert:

$$\frac{\partial M}{\partial \varphi} = CpR^2 (\cos\varphi - q\cos\varphi(1+p^2-2p\cos\varphi)^{-0,5} + pq\sin^2\varphi(1+p^2-2p\cos\varphi)^{-1,5})$$

Door nul stellen en enige bewerking vinden we:

$$\cos\varphi_0(1+p^2-2p\cos\varphi_0)^{1,5} - q\cos\varphi_0(1+p^2-2p\cos\varphi_0) + pq(1-\cos^2\varphi_0) = 0 \quad (2)$$

Hieruit is φ_0 te berekenen. Dit is gedaan voor een aantal relevante waarden van de parameters p en q , met behulp van de Regula Falsi. Het gebruikte programma is opgenomen in deze appendix. De gevonden waarden voor φ_0 zijn uitgezet in fig. 5.3.3. 5.3.2

Voor de kruk lengte R werd 28 mm gekozen. Door de keuze van p en q ligt de optimale hoek bij ongeveer 95° , zodat de effectieve moment-arm met goede benadering eveneens 28 mm is. De lengte c van de hefboom wordt bepaald door de koker afmeting en bedraagt 75 mm. De hefboomverhouding is 2,68.

C.2 Hysterese in het draaipunt.

Uitgaande van een as-gat konstruktie is een schatting gemaakt van de te verwachten hysterese. De totale lagerbelasting is:

$$F \cdot 2,68^2 + 1 = 2,86F \text{ N}$$

Bij een wrijvingscoëfficiënt van 0,2 en een asdiameter van 1 mm is het wrijvingsmoment:

$$0,2 \cdot 0,5 \cdot 2,86F = 0,286F \text{ Nmm}$$

Dit is 0,38 % van het geleverde moment ($75F \text{ Nmm}$), zodat de verwachte hysterese binnen 1 % blijft. Dit werd voldoende geacht. De toegepaste asdiameter is 0,8 mm. De hysterese bleek ongeveer 2 % te bedragen. De lageruitvoering is te zien in fig. B.2.1. In de berekening is eventuele wrijving tussen kruk en afstandbus verwaarloosd.

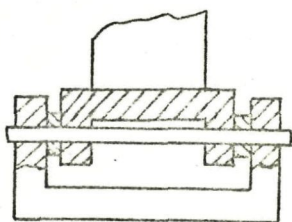


Fig. C.2.1 Uitvoering van het draaipunt.

C.3 Hefboom met rekstroken.

Gestreefd moet worden naar voldoende stijfheid en een redelijk rekstrooksignaal. Dit zijn tegenstrijdige eisen. De lengte van de hefboom is 75 mm en de afstand van rekstrookhartlijn tot het uiteinde is 60 mm. Hefboom en kruk werden vervaardigd uit aluminiumplaat van 2 mm dikte. Voor de breedte werd i.v.m. rekstrookafmetingen 6 mm gekozen. Bij deze afmetingen is het traagheidsmoment $I = 4 \text{ mm}^4$ en het weerstandsmoment 4 mm^3 . De kracht aan het uiteinde bedraagt 1,5-2 N. Dit geeft ter plaatse van de rekstrookjes een minimale buigspanning

van $1,5 \cdot 60/4 = 22,5 \text{ N/mm}^2$ en een maximale van $2 \cdot 60/4 = 30 \text{ N/mm}^2$.

Met $E = 0,77 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ volgt hieruit voor de rek $292 - 390 \mu\text{rek}$.

Op de gevoeligste schaal hebben de Hottinger meetbruggen een bereik van $100 \mu\text{rek}$, zodat dit voldoende geacht kan worden. De maximum zakking aan het uiteinde bedraagt $2,75^3/3 \cdot 0,77 \cdot 10^5 \cdot 4 = 0,9 \text{ mm}$.

C.4 De veer

De maximaal door de veer te leveren kracht: $2 \cdot 2,68 = 5,36 \text{ N}$. De rustlengte moet klein zijn en de uitrekking per winding groot voor een gunstige keuze van de parameters p en q . De beschikbare lengte voor de maat a bedroeg 100 mm . Bij een gekozen rustlengte a_0 van 25 mm is de maximale uitrekking 75 mm . De veerstijfheid moet dan tenminste $5,36/75 = 0,071 \text{ N/mm}$ bedragen. Bij een gekozen draaddikte $d_v = 0,6 \text{ mm}$ en een gekozen aantal windingen $n = 31$ volgt de windingdiameter uit:

$$D_v = \frac{G \cdot d_v^4}{8 \cdot n \cdot C} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0,6^4}{8 \cdot 31 \cdot 0,071} = 8,36 \text{ mm}.$$

De optredende wringspanning bij de maximale kracht is:

$$w = \frac{8 \cdot D_v \cdot F_v}{d^3} = \frac{8 \cdot 8,36 \cdot 5,36}{0,6^3} = 528 \text{ N/mm}^2.$$

Dit is toelaatbaar. De vervaardigde veer heeft een windingdiameter $D_v = 8,45 \text{ mm}$. De veerstijfheid bleek $0,073 \text{ N/mm}$ te bedragen. Zie fig. C.4.1.

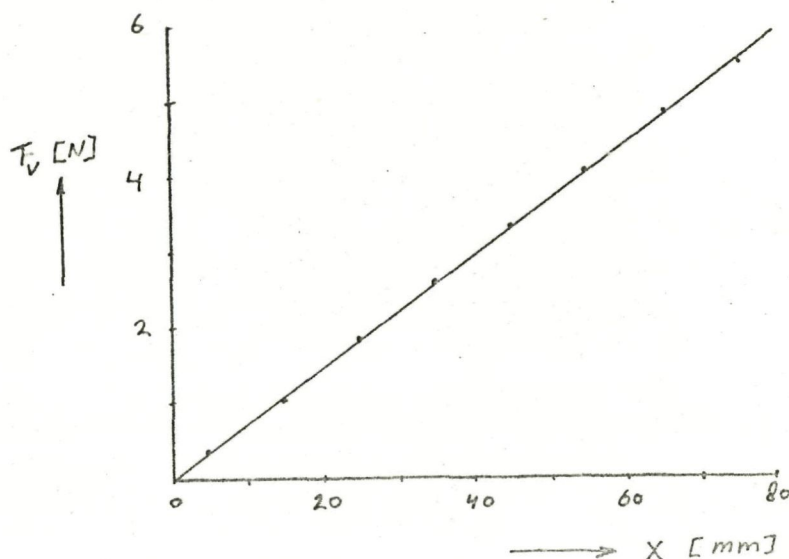


Fig. C.4.1 Gemeten veer karakteristiek.

RAN V05.13 13.50.00 02-MAY-76 PAGE 1

```

C****HIJVER, BEREKENT OPTIMALE GEOMETRIE VAN NYOSTAAT AANDRUKMECHANISME
C # KRUKLENGTE: R
C # PARAMETERS: AFSTAND DRAAIPUNT-OPHANGPUNT VEER: P*R
C # MATH RUSTLENGTE TREKVEER: Q*R
1 DIMENSION DA(9),KA(9),PHIA(9),AF2A(9),SA(9)
2 DO 400 IP=1,5
3 P=1.5+IP*.5
4 DO 300 ID=1,5
5 Q=IQ*.25
C****STARTWAARDEN REGULA FALSI: XA, XB
6 XA=-1
7 XB= 5
8 IF(FX(P,Q,XB).LE.0)XB=(P*P-Q+D+1)/2/P
9 FA=FX(P,Q,XA)
10 FB=FX(P,Q,XB)
11 DO 100 ITE=1,100
12 XC=XA+FA*(XB-XA)/(FA-FB)
13 FC=FX(P,Q,XC)
14 IF((FC-FA)90,200,80
5 80 FA=FB
6 KA=XB
7 90 CRI=ABS(XB-XC)
8 FB=FC
9 XB=XC
10 IF((CRI-.0001)200,200,100
1 100 CONTINUE
2 200 KA(ID)=ITE
3 DA(ID)=0
4 XT1=1-KC*XC
5 XT2=SQRT(XT1)
6 XT3=SQRT(1+P*P-2*P*XC)
7 PHIA(ID)=ATAN2(XT2,XC)*180/3.1416
8 IF(PHIA(ID)LT.0)PHIA(ID)=PHIA(ID)+180
9 SA(ID)=P*XT2*(1-Q/XT3)
10 AF2A(ID)=-P*XT2*(1-Q/XT3-3*P+Q*XC/XT3**3+3*P*P*Q*XT1/XT3**5)
1 300 CONTINUE
2 WRITE(5,710)P,DA,KA,PHIA,SA,AF2A
3 710 FORMAT(T33,'P = ',F3.1//T4,'Q=' ,9F8.2//T4,'K=',9I8/
4 #T2,'PHI=',9F8.2//T4,'M=',9F8.2//T2,'AF2=',9F8.2//)
4 400 CONTINUE
5 END

```

ROUTINES CALLED:

FX ABS SQRT ATAN2

OPTIONS =/DF,1

| BLOCK | LENGTH |
|-------|---------------|
| MAIN | 688 (002548)* |

```

**COMPILER ---- COPE**
PAGE 0320 FREE
DECLARATIVES 00703 10010
EXECUTIBLES 01023 09770
ASSEMBLY 01460 17091

```

FORTRAN V06.13

13.50.43

02-MAY-76

PAGE

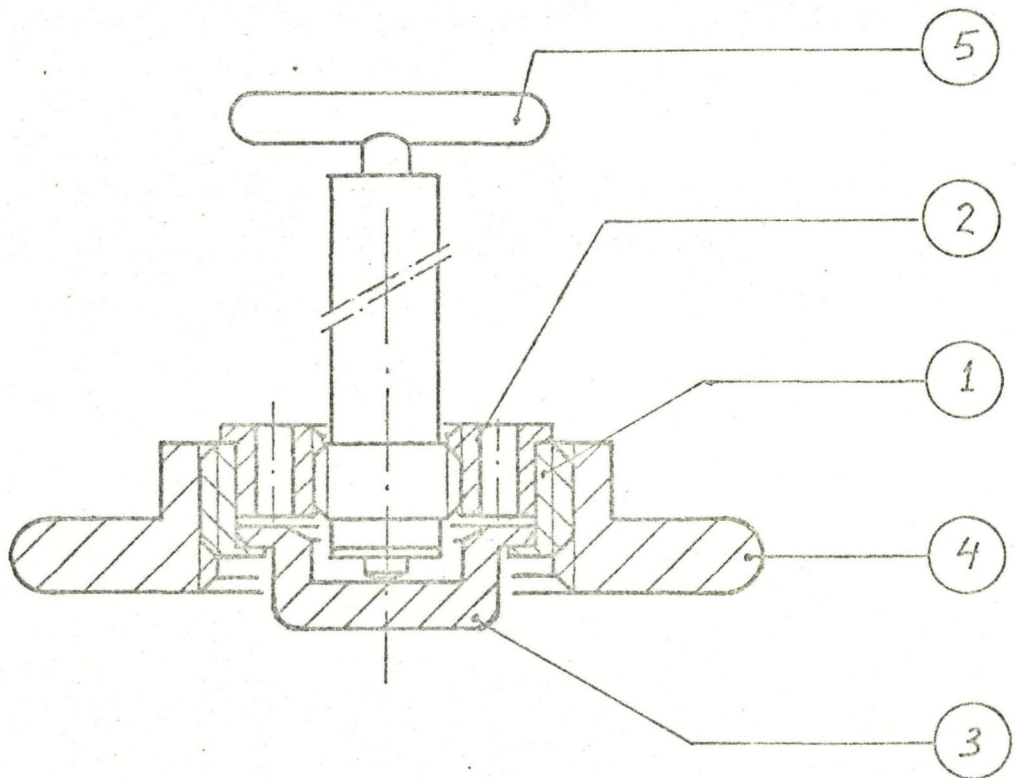
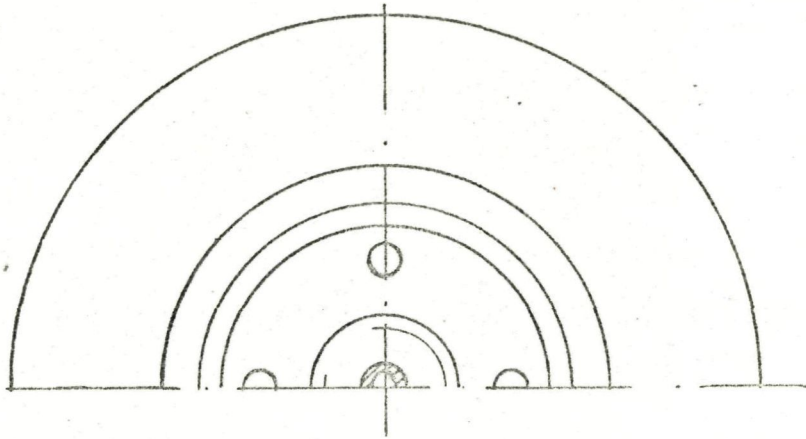
1

```
0001      REAL FUNCTION FX(P,Q,X)
0002      XT=1+P*P-2*P*X
0003      FX=X*XT**1.5-C*X*XT+Q*P*(1-X*X)
0004      RETURN
0005      END
```

OPTIONS =/BP:1

| BLOCK | LENGTH |
|-------|--------------|
| FX | 34 (000274)* |

| *COMPILER ---- CORE* | | |
|----------------------|-------|-------|
| PHRASE | USED | FREE |
| DECLARATIVES | 00632 | 10179 |
| EXECUTABLES | 00702 | 10099 |
| ASSEMBLY | 00928 | 14513 |



| | |
|---|----------------|
| 5 | KRACHTOMZETTER |
| 4 | BUITENRING |
| 3 | TASTER |
| 2 | OPSLUITRING |
| 1 | HUIS |

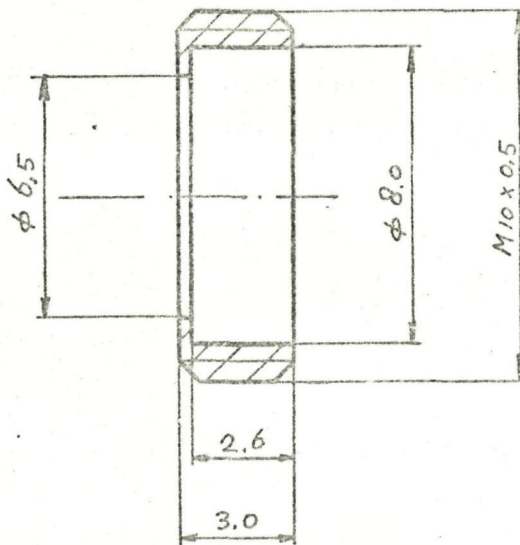
TECHNISCHE HOGESCHOOL
 Laboratorium v. Werktuigkundige
 Meet- en Regeltechniek
 Mekelweg 2 - Delft

OPNEMER

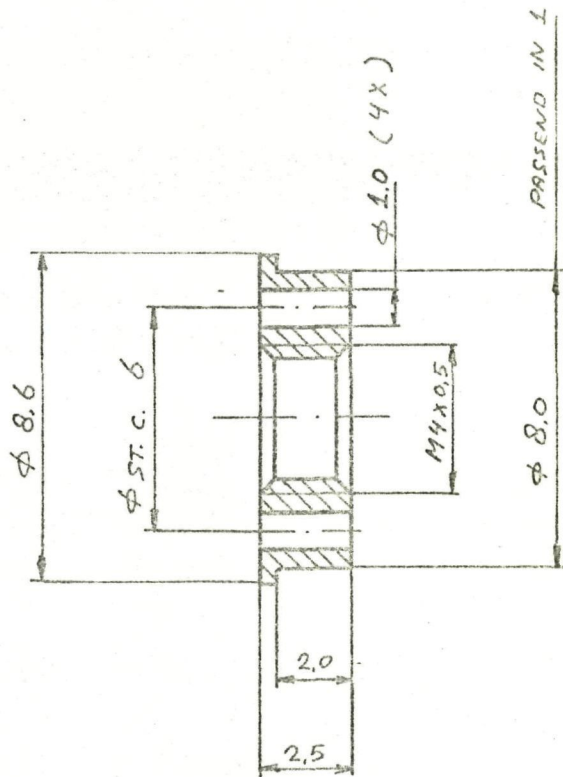
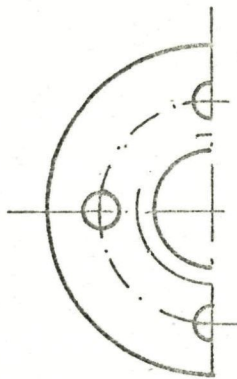
Get.: V. Dijk
 Dat.: 751024
 Schaal: 5:1

Gecontr.:
 15

Mat.:
 Nr: 3.0

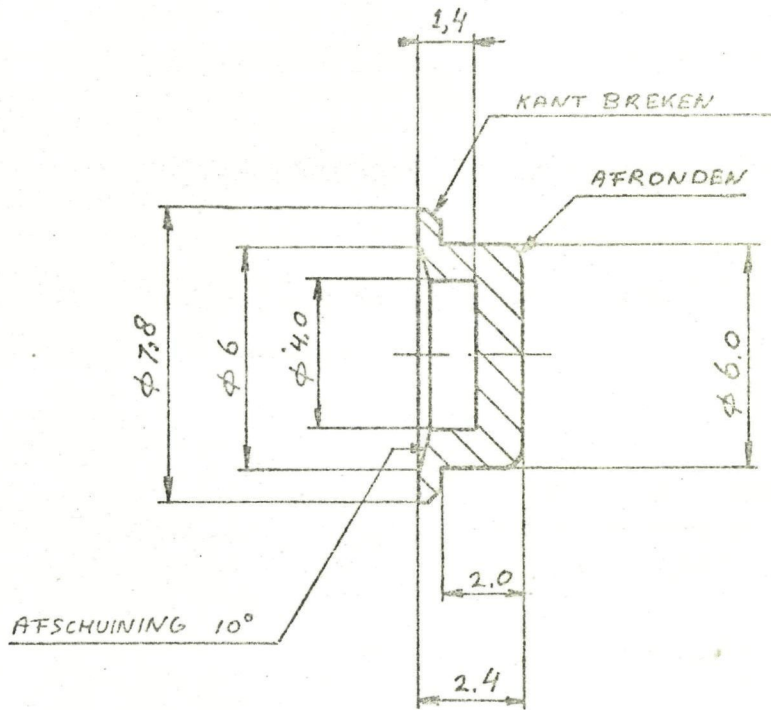


| | | | | |
|--|-------------|---|-------------------------|--------------------------------|
| <p>TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft</p> | <p>HUIS</p> | <p>Get.: v. Dijk Dat.: 751024 Schaal: 5:1</p> | <p>Gecontr.: 64</p> | <p>Mat.: ALU. Nr.: 3.1</p> |
|--|-------------|---|-------------------------|--------------------------------|

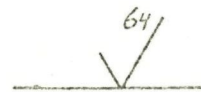
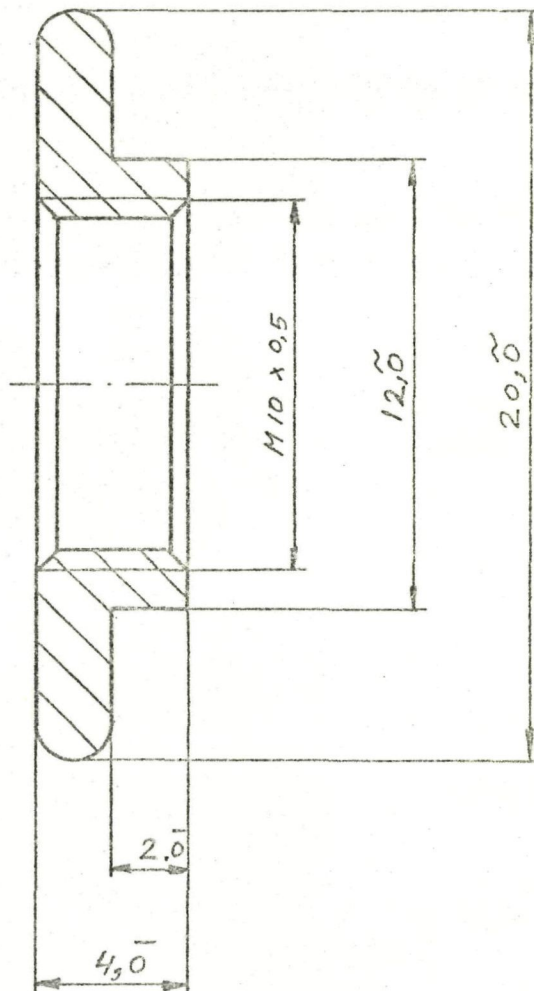


64/

| | | | | |
|--|--------------------|---|------------------------|------------------------------|
| <p>TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft</p> | <p>OPSLUITRING</p> | <p>Get.: V.Dijk Dat: 751024 Schaal: 5:1</p> | <p>Gecont.: 15</p> | <p>Mat: ALU. Nr: 3.2</p> |
|--|--------------------|---|------------------------|------------------------------|



| | | | | |
|--|---------------|---|----------------------|--------------------------------|
| <p>TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft</p> | <p>TASTER</p> | <p>Get: v. Dijk Dat: 751024 Schaal: 5:1</p> | <p>Contr.: Y</p> | <p>Mat: DELRIW Nr: 3.3</p> |
|--|---------------|---|----------------------|--------------------------------|



TECHNISCHE HOGESCHOOL
Laboratorium v. Werktuigkundige
Meet- en Regeltechniek
Mekelweg 2 - Delft

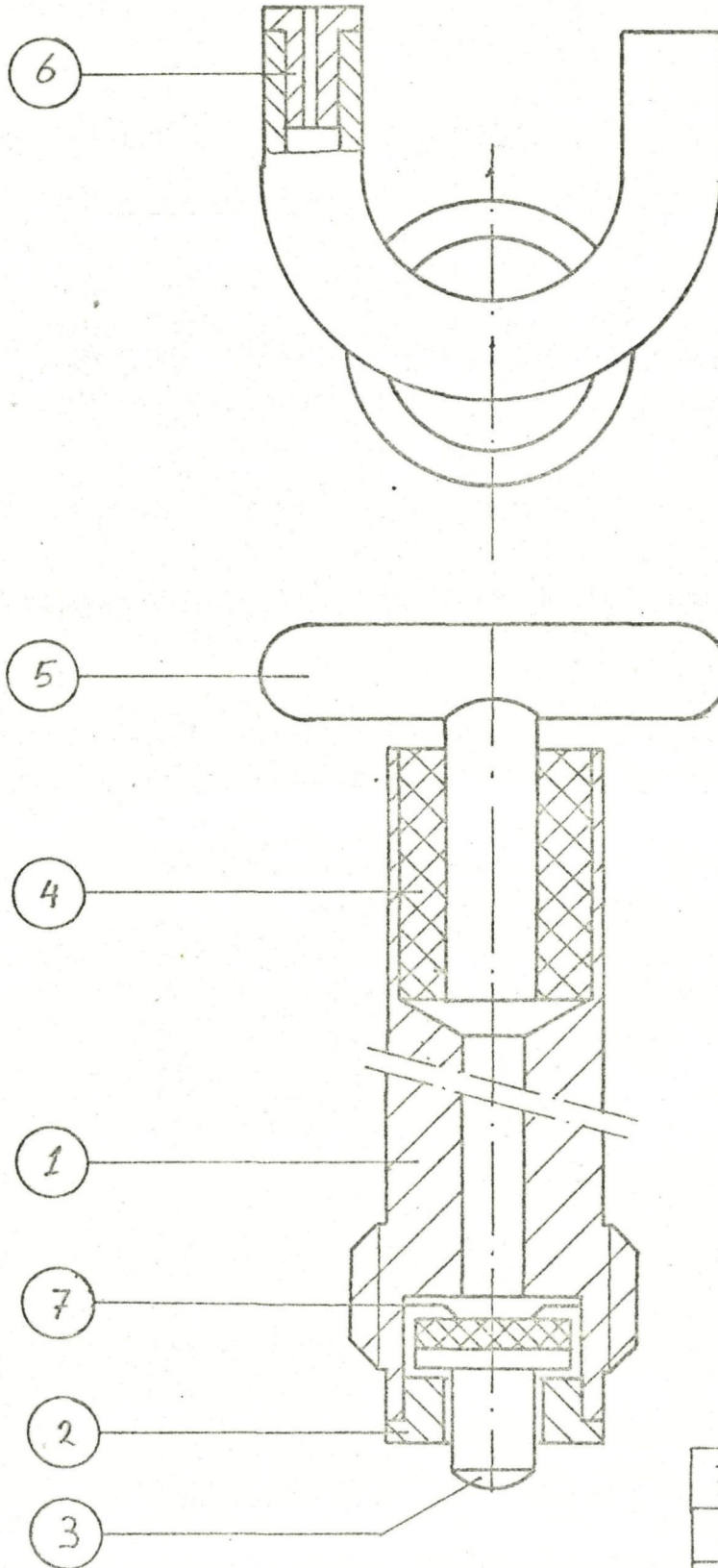
BUITENRING

Get.: v. Dijk
Dat.: 751024
Schaal: 5:1

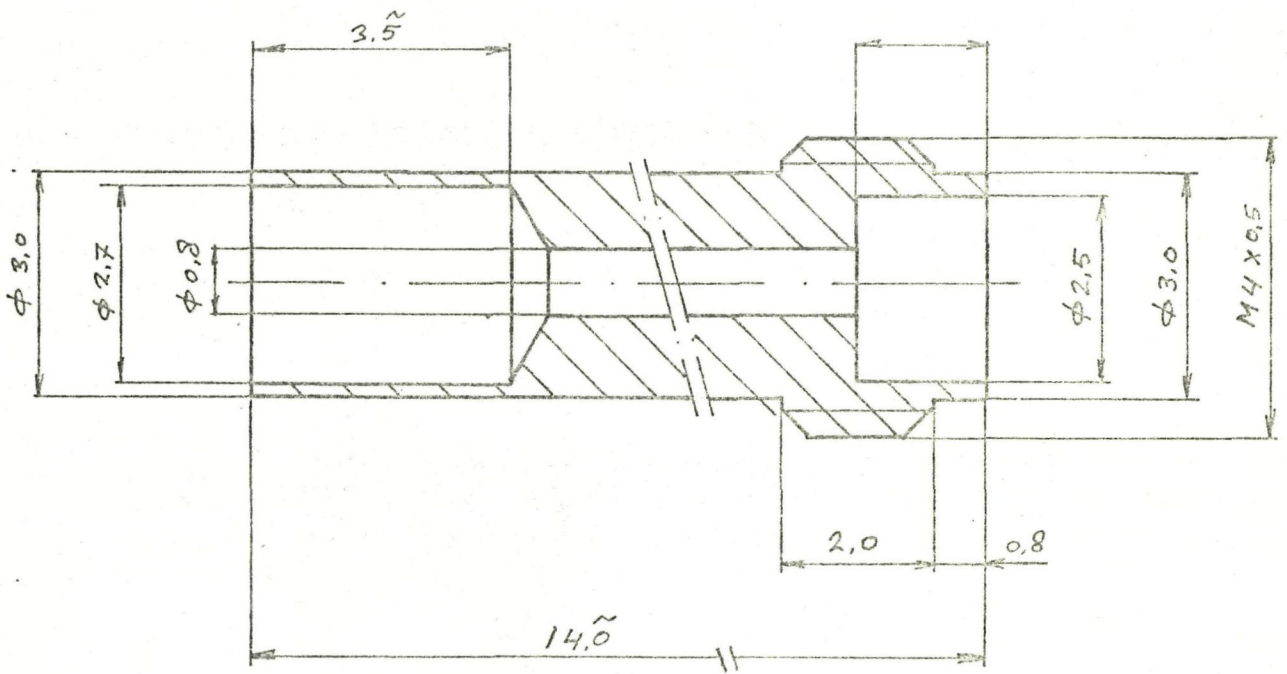
Gecontr.:

11

Mat.: DELRIN
Nr.: 3.4

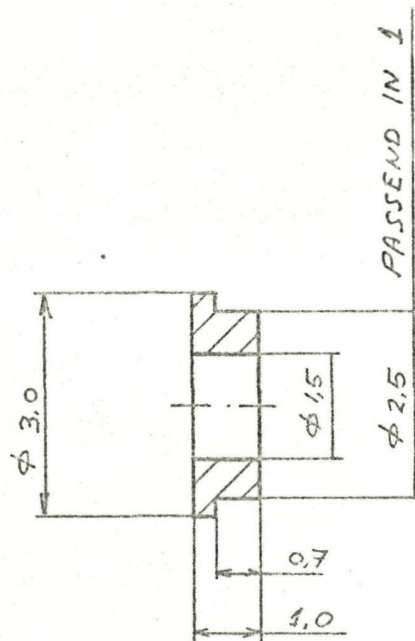


| | |
|---|--------------|
| 7 | TUIT |
| 6 | RESTRICTIE |
| 5 | AANSLUITSTUK |
| 4 | RUBBER SLANG |
| 3 | KLEP |
| 2 | DEKSEL |
| 1 | HUIS |



64

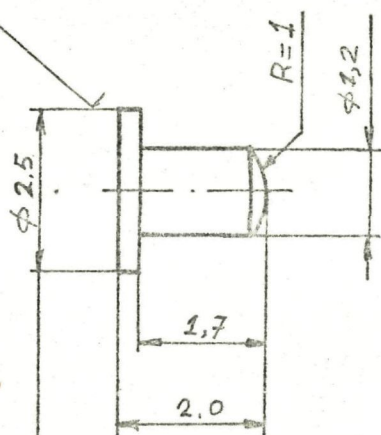
| | | | | |
|--|-------------|---|-------------------------|-------------------------------|
| <p>TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft</p> | <p>HUIS</p> | <p>Get.: v. Dijk Dat: 751111 Schaal: 10:1</p> | <p>Gecontr.: 12</p> | <p>Mat.: RVS Nr.: 2,1</p> |
|--|-------------|---|-------------------------|-------------------------------|



64/

| | | | | |
|---|---------------|--|------------------------------|---------------------|
| <p>TECHNISCHE HOOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft</p> | <p>DEKSEL</p> | <p>Get.: v Dijk Dat: 751023 Schaal: 10:1</p> | <p>Gecontr.: Nr: 2.2</p> | <p>Mat: HESSING</p> |
|---|---------------|--|------------------------------|---------------------|

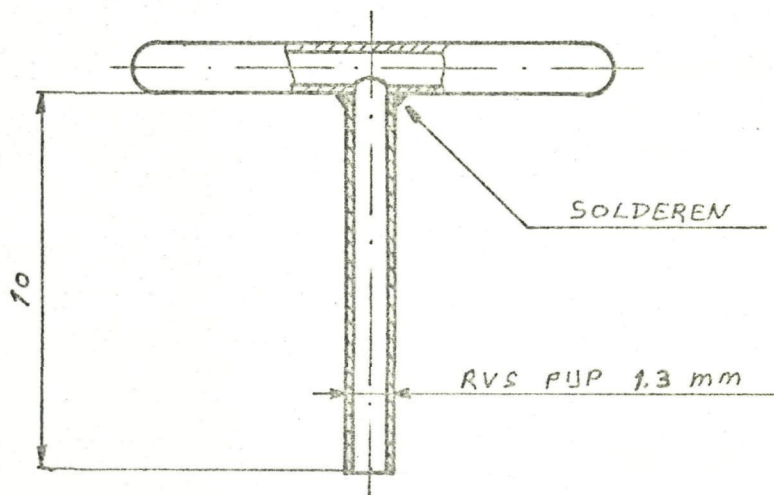
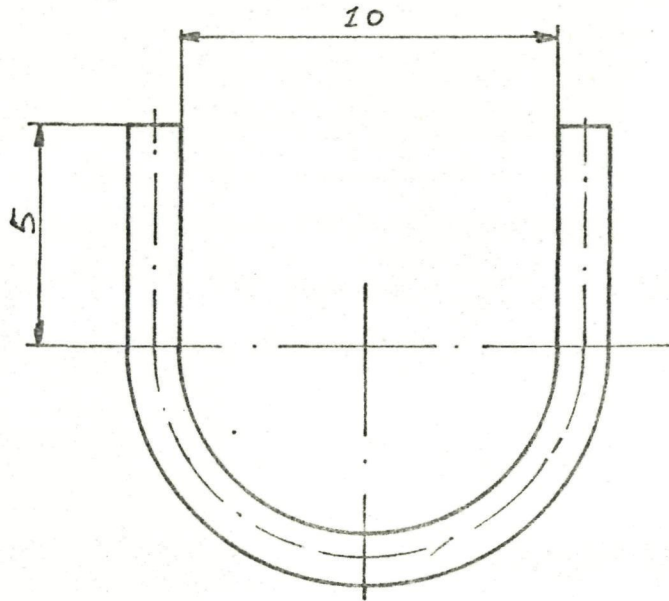
NA HET LIJMEN VAN DE RUBBERLAAG (0,5 m

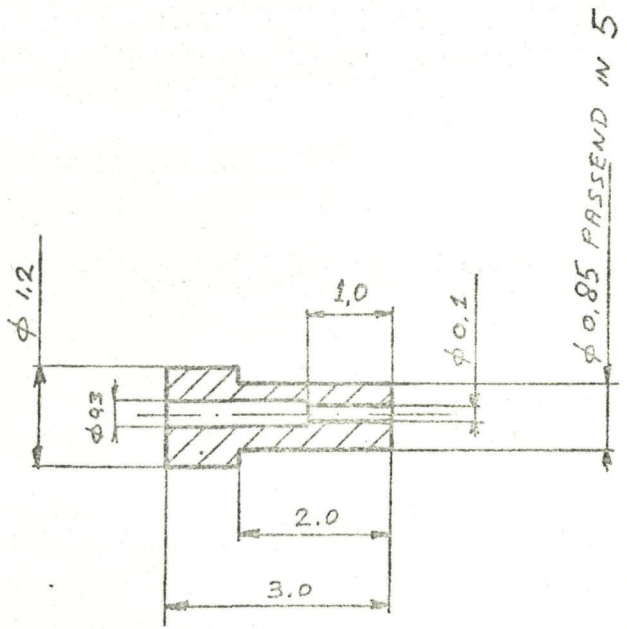


DEZE MAAT MET DE
RUBBERLAAG (65° SHORE,
0,5 mm) DOOR SLIJPEN
OP ϕ 2,3 BRENGEN

64/

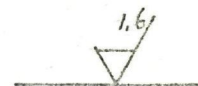
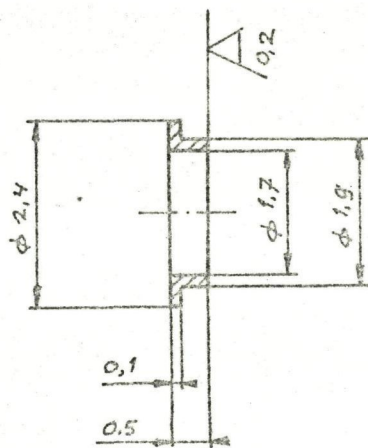






64/

| | | | | |
|--|-------------------|---|-----------------------|---------------------------------|
| <p>TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft</p> | <p>RESTRICTIE</p> | <p>Get.: v. Dijk Dat: 751024 Schaal: 10:1</p> | <p>Gront.: 11</p> | <p>Mit: HESSING Nr: 2.6</p> |
|--|-------------------|---|-----------------------|---------------------------------|



Gebruikte apparatuur.

| Instrument | Fabrikaat | Lab.no. |
|----------------------|-----------------------|---------|
| X-Y schrijver | Hewlett Packard | E 1261 |
| 2-kan. schrijver | Sanborn | E 733 |
| Oscilloskoop | Tektronix | E 1295 |
| Krachtopnemer | volgens v. Hooreweder | - |
| „ | Hottinger | E 1163 |
| „ | „ | E 1331 |
| Drukopnemer | „ | E 707 |
| Verplaatsingsopnemer | „ | - |
| „ | Sanborn | - |
| Potentiometer | Bourns | - |
| Voeding | Delta | E 1311 |
| Meetbrug | Hottinger | E 622 |
| „ | „ | E 952 |
| „ | „ | E 955 |
| Manometer | Avedko | P 275 |
| CO2 voeding | | |
| EMG versterker | ISV 04 | |

Afkortingen en symbolen.

- MMS = mens-machine systemen.
 EMG = elektromyogram.
 m.e.c.r.b. = musculus extensor carpi radialis brevis.
 m.e.d.c. = musculus extensor digitorum communis.
 a = afstand tussen de ohangpunten van de veer.
 a_0 = rustlengte van de veer.
 b = afstand tussen het vaste ohangpunt van de veer en het draaipunt van de kruk.
 c = lengte van de hefboom.
 C = veerstijfheid.
 d = diameter van de taster.
 D = diameter van de buitenring.
 d_v = draaddikte van de veer.
 D_v = windingdiameter van de veer.
 D_g = diameter van de opnemeroopening in de koker.
 D_k = kokerdiameter.
 E = elasticiteitsmodulus.
 F = aandrukkracht.
 F_r = resultante van de drukverdeling op de buitenring.
 F_s = gemeten spieraanspanning.
 F_t = resultante van de drukverdeling op de taster.
 F_v = veerkracht.
 G = glijdingsmodulus.
 h = tasterinsteldiepte.
 L = momentarm.
 p = verhouding tussen b en R.
 P = uitgangsdruk van de krachtomzetter.
 P_s = stuurdruk.
 P_v = voedingsdruk.
 q = verhouding tussen a_0 en R.
 R = kruk lengte.
 S = spierkontraktie.
 x = verplaatsing.
 = hoek tussen R en b.

Literatuur.

1. Fa. Otto Bock
"Derzeitiger Stand der Entwicklung des Otto Bock Myostat Systems".
Orthopädie Technik 12,1970, 337-340.
2. Gerbranda T.
"Elasticiteitsaspecten van een spierhardheidsopnemer".
Skriptie TH Delft, S-144, mei 1973.
3. Gerbranda T.
"Onderzoek naar de realisatiemogelijkheden van een spierhardheids-
opnemer".
Afstudeerverslag TH Delft, A-144, maart 1974.
4. Cool J.C., Pisteccky P.V.
"A miniature gas pressure valve".
Med.& Biol. Eng. nov. 1973, 771-779.
5. Boerner E.H.
"Constant Force Compression Springs".
In: Spring design an application, ed. Chironis N!P., McGraw Hill, 1961.
6. van Dijk E.J.
"Het EMG als stuursignaal voor protesen".
Skriptie TH Delft, S-184, april 1975.
7. Benninghoff -- Goerttler.
Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Urban & Schwarzenberg, 1964.