

# TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

LABORATORIUM VOOR  
WERKTUIGKUNDIGE MEET- EN REGELTECHNIEK

Schrijver: G.J.O.G. Van Hooreweder

Titel: Studie en ontwerp van een miniatuur  
piëzo-keramische elektro-pneumati-  
sche omzetter.

Rapport nr.: A-195

Datum: 1 maart 1975

**Samenvatting:** De verschillende stadia van het onderzoek om uiteindelijk tot een succesvol ontwerp te komen van een elektro-pneumatische omzetter zijn weergegeven. Het toepassingsgebied, de elektrische sturing van pneumatisch bekrachtigde pro- en orthesen, stelt bijzondere eisen voorop zoals kleine responsiesnelheid, laag stuurvermogen, geringe afmetingen en laag gewicht. Door het toepassen van een piëzo-keramisch bimorf als klepmotor met wisselspanningsturing en de combinatie voorstuurklep-schakelklep is grotendeels aan de eisen voldaan. Er is aangegeven welke oplossingen zijn gevonden voor de nadelige eigenschappen van het bimorf piëzo-element zoals relaxatie en kruip. De klepeigenschappen zijn :

een nodig stuurvermogen vanaf 20 mW, een responsiesnelheid van 150 ms en beter, afhankelijk van de geleverde stuurspanning  $> 5$  Volt en een maximum debietslevering  $> 800$  nl/h.

Totaal aantal pagina's: 75  
tekeningen: 8

laboratorium voor Werktuigkundige  
Meet- en Regeltechniek  
Mekelweg 2  
Delft.

Ingenieursopdracht voor de heer G.J.O. Van Hooreweder,  
Dirk Langedwarsstraat 20, Delft.

---

Door S. Roodbergen is naar middelen gezocht om het energieverbruik van elektrische kleppen te verminderen. Hij kwam tot de konklusie dat door de toepassing van piëzo-elektrische materialen een aanzienlijke besparing op het energieverbruik zou zijn te bereiken. Met de door hem gebouwde proefopstelling is aangetoond dat een bevredigende werking mogelijk is.

Door U is een oscillatorische aandrijving van de klep voorgesteld. Allereerst wordt gevraagd deze oscillatorische aandrijving te vergelijken met de reeds beproefde gelijkspanningsaandrijving; in deze vergelijking zowel de benodigde elektrische spanning, de benodigde afmetingen, het geluidsniveau en de responsietijd te betrekken.

Voorts wordt van U verwacht dat U een prototype bouwt van een voor protesebesturing geschikte klep voorzien van het door U verkozen aandrijfsysteem. De benodigde pneumatische servoklep behoort in het ontwerp te zijn opgenomen. Aan het prototype enige voorlopige metingen te verrichten.

Deze opdracht is in voorlopige vorm mondeling verstrekt voorjaar 1974.

Gezien,

Delft, 14 februari 1975,



Prof. ir. R.G. Boiten



Ir. J.C. Cool



<u>INHOUDSTAFEL</u>	<u>blz.</u>
Titelblad	1
Opdracht	2
Inhoudstafel	3
Inleiding	5
Hfst. 1 : Vaststelling van de karakteristieke eisen van de klep.	7
Hfst. 2 : Piëzo-elektrische keramische elementen.	10
2.1. Eigenschappen.	
2.2. Het bimorf.	
Hfst. 3 : Het bimorf als klepmotor.	14
3.1. Statisch gedrag van het bimorf.	
3.2. De invloed van kracht en tijd op de ver- plaatsing.	
3.3. Responsiesnelheid.	
3.4. De geschiktheid van het bimorf als klepmotor.	
Hfst. 4 : Metingen aan de bestaande "U" klep.	17
4.1. De "U" klep.	
4.2. Klepgedrag o.i.v. gelijkspanning.	
4.3. Klepgedrag o.i.v. wisselspanning.	
4.4. Meetopstelling.	
4.5. Meetresultaten.	
4.6. Konklusies.	
Hfst. 5 : Vereenvoudigde proefklep gestuurd met wisselspanning.	25
5.1. Opbouw van de proefklep.	
5.2. Metingen.	
5.3. Samenvatting.	
5.4. Elektrische sturing.	

	<u>blz.</u>
Hfst. 6 : 'De membraanklep-proefopstelling.	37
6.1. Probleemstelling.	
6.2. Opbouw.	
6.3. Metingen.	
6.4. Konklusie.	
Hfst. 7 : De uitvoering van de elektro-pneumatische omzetter.	45
7.1. De schakelklep.	
7.2. Principiële uitvoeringen voorstuurklep-schakelklep.	
7.3. De konstruktie van de E-P omzetter.	
7.4. Montage.	
7.5. Metingen.	
7.6. Konklusie.	
Besluit.	66
Appendix.	68
Gebruikte apparatuur.	73
Gebruikte symbolen.	73
Geraadpleegde litteratuur.	74
Tekeningen.	76



## INLEIDING

De te ontwerpen klep is bedoeld als regelklep bij de besturing van pneumatisch bekrachtigde pro- en orthesen. Specifieke eisen treden dan ook naar voor als : laag gewicht, kleine afmetingen, geruisloze werking, lekvrij, hoog rendement, hoge responsiesnelheid, laag stuurvermogen en reproduceerbaarheid.

De sturing is elektrisch. De klep heeft een elektrische ingang en een pneumatische uitgang. Gezien de huidig gevolgde filosofie m.b.t. pro- en orthesesturing binnen de sectie instrumenten is een aan - uit klep met als uitgang 0 of 600 kPa en een debietlevering > 400 normaalliter/h bij 600 kPa drukval over de klep gewenst.

Momenteel is reeds een elektrisch-pneumatische "hittedraadklep" (zie Pisteky A 133) beschikbaar met een benodigd stuurvermogen van 600 mV bij een klep<sup>masse</sup>gewicht van 1,3 gram.

Verdere optimalisering van deze klep werd na uitvoerige studie (zie o.a. Roodbergen verslag A 158) moeilijk realiseerbaar geacht.

De hittedraadklep vereist een kontinu stuurvermogen dat omgezet wordt in een verplaatsing en als gevolg hiervan een klepopening en gasstroom.

Deze omzetting vereist nog (te) veel energie en daarom worden andere manieren gezocht waarbij een hoeveelheid energie wordt omgezet in een verplaatsing.

Een oplossing, die de aanleiding vormde tot deze opdracht, kan worden gezocht in de toepassing van piëzo-elektrische elementen.

De bruikbaarheid van dit element als klepmotor werd nagegaan door mijn voorganger S. Roodbergen die tot de volgende resultaten kwam :

- een bimorfe opstelling nodig
- hoge elektrische spanning nodig (gelijkstroom)
- laag stroomverbruik tijdens "opladen"
- kleine responsietijd  $< 10$  ms
- redelijk gewicht en nog vrij grote afmetingen
- bij gebruik van lage spanningsbron (batterijen) is optransformeren nodig met als gevolg : rendementsverlies, groter gewicht, groter volume
- de configuratie voorstuurklep - hoofdklep is wenselijk.

Deze resultaten vormden een aanleiding om verder te gaan met het piëzo-element, indien een alternatieve sturing en klepkonstruktie de bezwaren van een hoge stuurspanning en "gewichtige" transformatorchakeling zouden kunnen vermijden.



Hfst. 1 : VASTSTELLING VAN DE KARAKTERISTIEKE EISEN VAN DE KLEP.

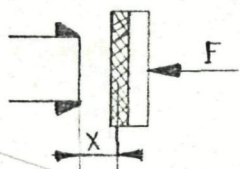
Het piëzo-element, als motor, moet enerzijds de kracht leveren om de klep af te dichten en anderzijds de klep voldoende kunnen openen om het vereiste debiet te bereiken.

Uitgaande van de, reeds succesvol beproefde, klepuitvoering van een metalen zitting met scherpe rand (tuit) en een klep met een dunne rubberlaag, zijn de volgende relaties bekend :

- De afdichtkracht = vervormingskracht om het rubber in te drukken (is evenredig met de tuitdiameter D) + de kracht veroorzaakt door het drukverschil over de klep (is evenredig met D<sup>2</sup>)
- De verplaatsing = verplaatsing bij het indrukken van het rubber tot afdichten + verplaatsing nodig om het debiet te leveren :

*Handwritten note:*  $F_{afd} = F_r$

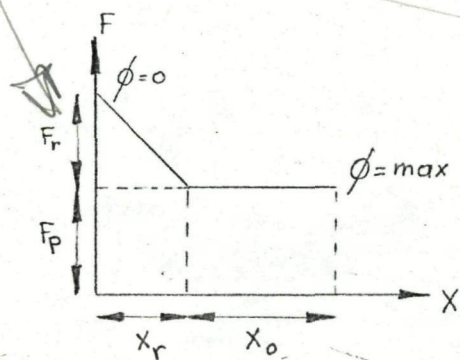
$$\frac{F_{afd.}}{C_{klep}} + X_{openen} = X$$



$C_{klep}$  : veerconstante van het rubber

$X_{openen}$  : spleetspleet

- De relatie kracht F en weg X :



$F_r$  : vervormingskracht rubber

$F_p$  : kracht te wijten aan de drukval

$X_r$  : indrukking in het rubber

$X_0$  : spleetruimte

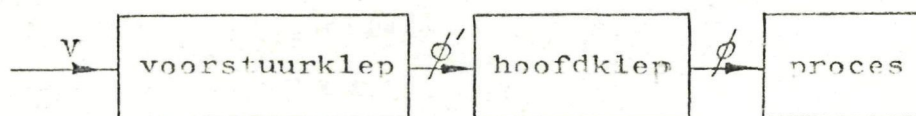
De klepafmeting is <sup>hoofdsakelek</sup> klein gehouden om ervoor te zorgen  
dat geen drinkkompensatie benodigd is!



Gezien de eis van kleine klepafmetingen is de grootte van het piëzo-element bij voorbaat beperkt, wat resulteert in een kleine verplaatsing en kleine kracht. Hierdoor is naar een kleinere klepafmeting uitgeweken (nl.  $D = 0,35$  mm) waardoor de afdichtkracht zo klein mogelijk wordt gehouden.

De afdichtkracht is bijgevolg :  $0,20$  N =  $0,15$  N (voor de rubbervervorming) +  $0,05$  N (voor de drukval over de klep) (voor berekening en bepaling : Roodbergen A 184).

Om de verplaatsing klein te houden werd uitgeweken naar de configuratie voorstuurklep - hoofdklep. De voorstuurklep wordt gevormd door de elektro-pneumatische omzetter.



$V$  : spanning

$\phi'$  en  $\phi$  : debiet

Het pneumatische uitgangssignaal van de E - P omzetter kan klein zijn wat betreft het te leveren debiet, een en ander gekoppeld aan de benodigde stuurdruk voor de hoofdklep en de vereiste responsiesnelheid.

Een miniatuur schakelklep is reeds in de sectie instrumenten ontwikkeld met een minimum aanspreekdruk van  $50$  kPa.

De totale vereiste responsietijd ( $< 100$  ms) voor het geheel van voorstuurklep en hoofdklep is bepalend voor het te leveren debiet door de voorstuurklep.

De tijd, nodig om de aanspreekdruk van de schakelklep te bereiken wordt op ca 80 ms gesteld daar de tijdconstante van de voorstuurklep, naar verwachting, binnen de 10 ms ligt.

Het debiet, nodig om de schakelkamer binnen 80 ms op 50 kPa druk te brengen, is berekend op 0,5 nl/h (voor de berekening zie appendix A.)

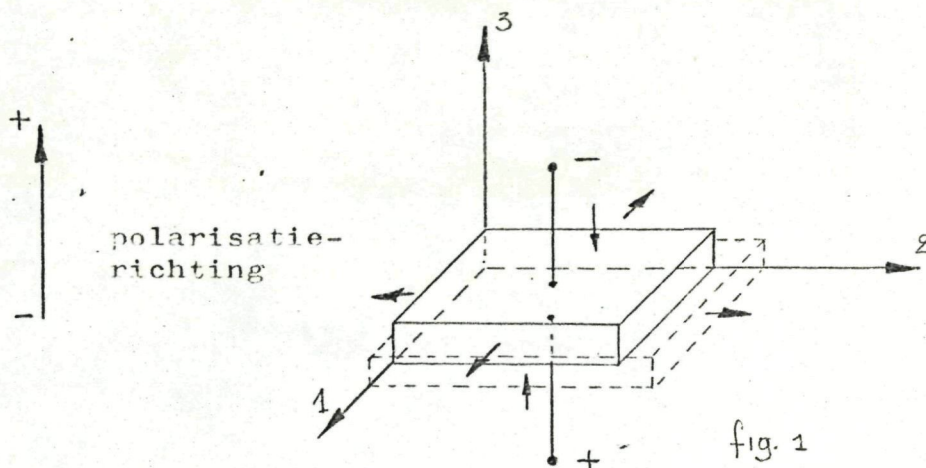


Hfst. 2 : PIEZO-ELEKTRISCHE KERAMISCHE ELEMENTEN.2.1. Eigenschappen.

Het keramische materiaal, zoals het  $\text{PbTi}_{(1-x)}\text{Zr}_x\text{O}_3$  welke we hier gebruiken, bestaat uit een verzameling ferro-elektrische mikrokristallen, elk met eigen polarisatie, die willekeurig georiënteerd zijn t.o.v. elkaar. Globaal echter is geen dipolair moment aanwezig. Door een opgelegde polarisatie onder hoge elektrische spanning en bij een temperatuur nabij het Curiepunt wordt aan de mikrokristallen een polarisatierichting opgedrongen. Na koeling en afschakelen van de polarisatiespanning verkrijgen we de zogenaamde remanente polarisatie van het keramisch materiaal. Het keramisch materiaal is ferro-elektrisch geworden en hierdoor piezo-elektrisch.

Het piezo-element, bv. een plaatje, zal nu korter of langer worden (zie figuur 1) wanneer een elektrische spanning, tegengesteld of gelijkgericht aan de polarisatierichting, wordt aangelegd. Omgekeerd wekt een vervorming een elektrische spanning op, een eigenschap die zijn toepassing vindt in o.a. pick-up elementen en aanstekers.

In ons geval maken we gebruik van de volumeverandering van het element onder invloed van een elektrische spanning (zie figuur 1).

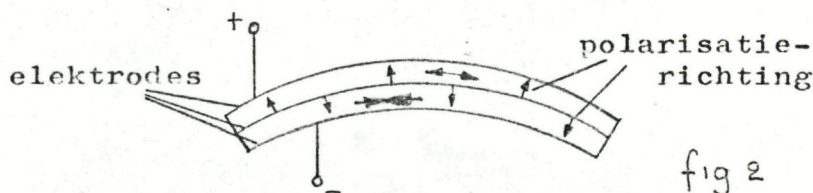


de pijltjes geven de vervormingswijze aan.

## 2.2. Het bimorf.

De volumeverandering van een piëzo-element is betrekkelijk gering (ca  $1/\mu$ mlengteverandering bij een plaatje  $10 \times 10 \times 0,3$  mm en een spanning van 150 Volt). Om grotere verplaatsingen te bekomen is men overgegaan op de bimorfconstructie in analogie met het bekende bimetaal.

Door nl. twee piëzo-plaatjes, voorzien van ongedampte zilveren elektroden, aan elkaar te lijmen bekomt men een samenwerking van een verlengend en verkortend plaatje wanneer een elektrische spanning op een bepaalde manier wordt aangelegd. Dit gebeurt als op de respectievelijke elektrodeoppervlakken een spanning wordt aangelegd die voor het ene plaatje in dezelfde zin en voor het andere in tegengestelde zin georiënteerd is aan hun polarisatierichting. Dit effect veroorzaakt in de dwarsrichting op de lengteassen een versterkte verplaatsing (zie figuur 2).

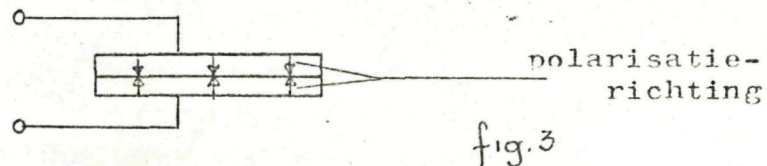




Dit verschijnsel maakte het bimorf geschikt als motor voor de te konstrueren klep.

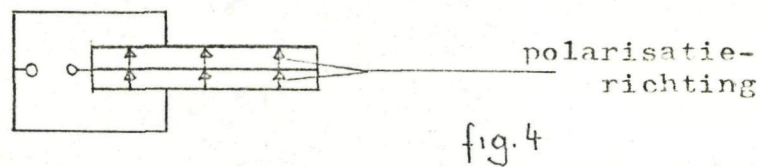
Hier zijn echter twee rangschikkingmogelijkheden van de elementen aanwezig.

a. Serie.



De totale elektrische spanning wordt ongedeeld tussen de twee plaatjes die zodanig aan elkaar zijn gelijmd dat hun polarisatie-richting tegengesteld is.

b. Parallel.



De totale elektrische spanning wordt via de tussenelektrode enerzijds en de gezamenlijke buitenelektroden anderzijds aangebracht.

De plaatjes zijn aan elkaar gelijmd zodanig dat hun polarisatierichting gelijk gericht is.

Beide opstellingen hebben hetzelfde resultaat met dien verstande dat voor eenzelfde uitwijking in het parallel-geval de halve spanning (maar dubbele laadstroom) van het serie-geval nodig is.

Afhankelijk van de technische mogelijkheden en de configuratie die leverbaar is wordt in het onderzoek zowel de serie- als parallelschakeling toegepast. De parallelschakeling werd waar mogelijk geprefereerd omwille van het spanningsvoordeel.

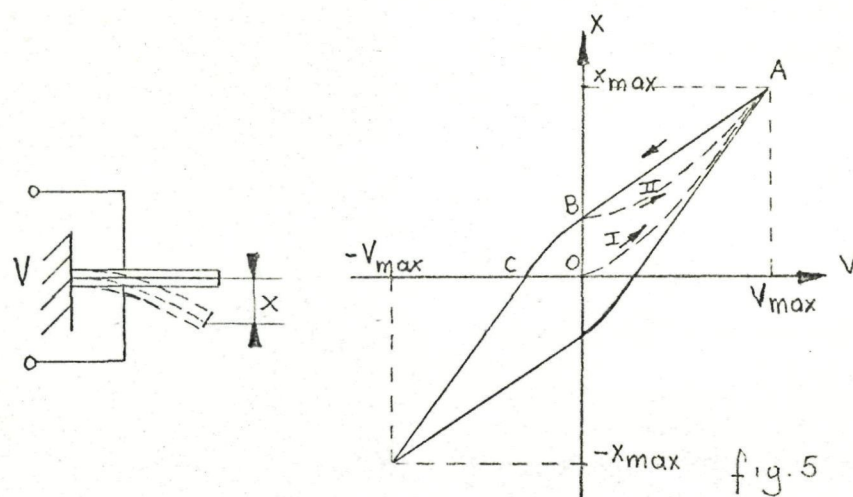


### Hfst. 3 : HET BIMORF ALS KLEPMOTOR.

Met de in het begin van het onderzoek beschikbare piëzo-keramische bimorfelementen nl. PXE5 serieëlement (Philips; afmetingen : 8 x 8 x 0,6 mm) en een onbekend parallelelement (geleverd door de R.U. Groningen met afmetingen 12 x 1,4 x 0,5 mm) werden een eerste serie metingen verricht.

#### 3.1. Statisch gedrag van het bimorf.

De meting werd verricht aan het eenzijdig ingeklemd seriebimorf PXE5 (8 x 8 x 0,6 mm) en is ook representatief voor het gedrag van de overige onderzochte elementen. De verplaatsing  $X$  van het vrije uiteinde werd met behulp van een inductieve verplaatsingsopnemer gemeten in functie van de aangelegde spanning.



Er ontstaat een hysteresislus symmetrisch t.o.v. het gezamenlijke nulpunt  $O$ .

Het verloop is als volgt : Vanuit het nulpunt  $O$  wordt bij het verhogen van de spanning de weg I doorlopen tot punt  $A$ . Wordt vervolgens de spanning verlaagd tot nul, dan blijft het

element bij een positieve verplaatsing O-B als het ware "hangen".

Na langdurige rust (ca 2 uur) is het element vanzelf teruggekeerd naar zijn uitgangspositie. Wordt echter na de terugkeer in B de spanning opnieuw verhoogd dan verandert de verplaatsing via de weg II tot de oorspronkelijke maximale waarde A.

Dit brengt met zich mede dat, voor het bereiken van de oorspronkelijke nulstand in de verplaatsing, een negatieve spanning nodig is (weg B-C). Het verschijnsel van de zich wijzigende nulstand wordt verder gemakshalve relaxatie genoemd.

De relatie tussen de gemiddelde verplaatsing X en aangelegde spanning wordt in de literatuur weergegeven met de formule :

$$X = Al^3F + \frac{Bl^2V}{h}$$

met : V = elektrische spanning

F = kracht geleverd op het uiteinde

l = lengte tot de inklemming

h = dikte van het element

A en B = konstanten afhankelijk van doorsnedeafmetingen en piëzo-elektrische en elastische eigenschappen van het element.

### 3.2. De invloed van krachten/tijd op de verplaatsing.

Reeds in het vorige is er sprake van een soort relaxatie (wat betreft de verplaatsing) in de tijd nadat het element werd opgeladen en ontladen. Wordt nu het element op zijn mecha-



nische eigenschappen getoetst in functie van de tijd dan blijkt dat, onder invloed van een konstante kracht, de verplaatsing, die daarvan het gevolg is, verandert in de tijd. Een kruipverschijnsel is hier blijkbaar duidelijk aanwezig. Het is duidelijk dat hierdoor ook de kracht, geleverd door het element nadat het een zekere konstante vervorming is opgedrongen, met de tijd verandert.

### 3.3. Responsiesnelheid.

De gemeten responsiesnelheid was ca 2 ms. en werd nauwelijks beïnvloed door de aanwezigheid van kracht.

### 3.4. De geschiktheid van het bimorf als klepmotor.

Het spreekt voor zich dat bij de konstruktie van een klep waarvan een reproduceerbaar gedrag is vereist, de hogergenoemde relaxatie en kruipverschijnselen ongewenst zijn. De responsiesnelheid daarentegen is uitstekend. Aan de hand van enkele klepuitvoeringen werden deze eigenschappen op hun gevolgen t.a.v. het klepgedrag onderzocht.

Hfst. 4 : METINGEN AAN DE BESTAANDE "U" KLEP.

4.1. De "U" klep.

Deze klep, een "erfenis" van mijn voorganger S. Roodbergen, is opgebouwd uit 2 PXE5 sriebimorfjes (8 x 8 x 0,6 mm) die tegenover elkaar werden gemonteerd.

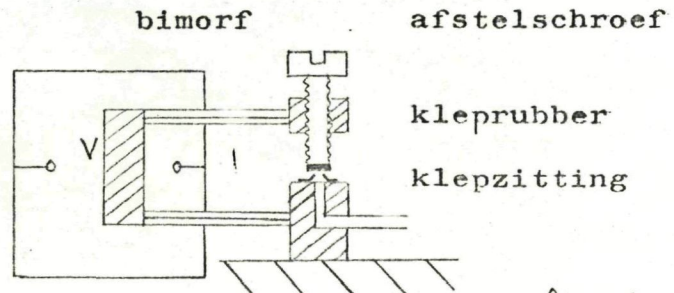


fig.6

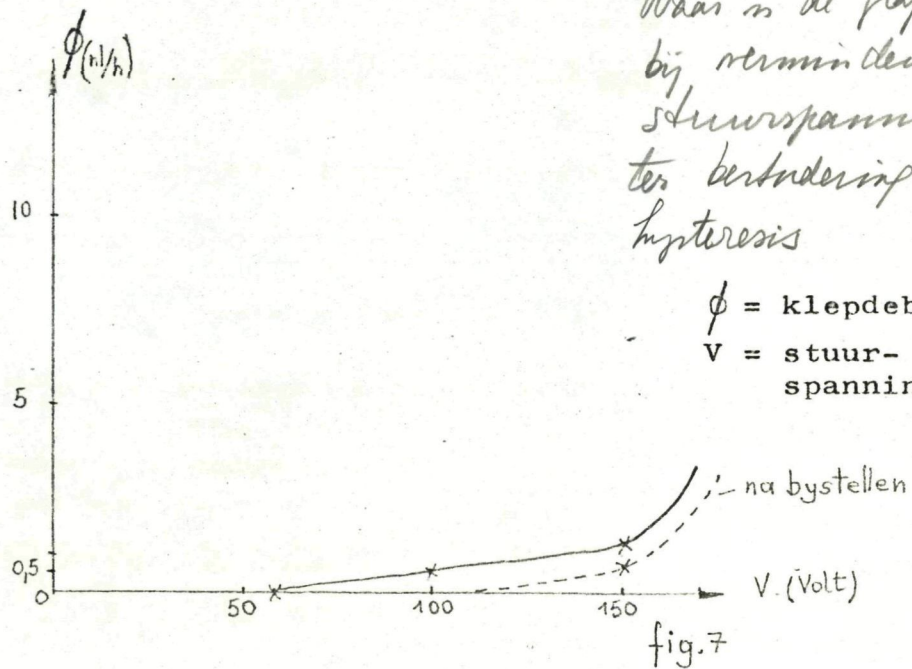
Tussen de uiteinden van beide plaatjes bevinden zich de reeds besproken klepplaat en -zitting. De afstelling gebeurt via een stelschroef.

Door de wijze waarop de spanning wordt aangebracht zó te kiezen, dat de plaatjes tegengesteld van elkaar weg bewegen, ontstaat een tweemaal grotere verplaatsing dan met een enkel bimorf element.

4.2. Klepgedrag o.i.v. gelijkspanning.

Het verloop van het debiet in functie van de stuurspanning is weergegeven in het diagram.





Waars in de grafiek  
 bij vermindende  
 stuurspanning  
 ter bestudering van  
 hysteresis

$\phi$  = klepdebiet  
 V = stuur-  
 spanning

De, voor ons interessante, debietwaarde van 0,5 nl/h wordt bereikt bij een stuurspanning van ca 100 V. De invloed van de hysteresis is duidelijk te zien.

← Waars?

Nadat de klep lekvrij was afgesteld werd het klepgedrag gedurende een ruime tijd gevolgd. Na ongeveer één dag (in ruststand) ontstond een kleine lekstroom (ca 0,2 nl/h) als gevolg van de reeds gevreesde kruipeigenschappen van het keramisch materiaal. De relaxatie van het nulpunt bij op- en ontladen kon slechts gekompenseerd worden door na ontladen een tegengestelde negatieve lading op het element aan te brengen. Werd dit niet gedaan dan was bijstellen van het nulpunt ( $\phi = 0$ ) noodzakelijk. Wanneer enige tijd later de klep geactiveerd werd, bereikte deze echter slechts bij een veel hogere spanning (150 V) de gewenste waarde (0,5 nl/h). Dit is echt

wel te gek, temeer daar meer dan 80 % van de spanning benodigd werd om de afdichting te compenseren (zie diagram). Het klepgedrag is daarenboven niet reproduceerbaar. Het is duidelijk dat naar andere oplossingen gezocht moest worden.

#### 4.3. Klepgedrag o.i.v. wisselspanningsturing.

Het is mogelijk d.m.v. de wisselspanning het piëzo-element in resonantie te brengen wat in veel grotere verplaatsingen resulteert t.o.v. gelijkspanningsturing o.a. door de geringe demping van de elementen. (Bij een eenzijdig ingeklemd bimorf element was de gemeten dempingswaarde ( $\beta = 0,06$ ), Zie o.a. graf. nr 1

Bij voldoende hoge frequentie verdwijnt dan tevens het nadeel van de relaxatie daar het element dan als het ware uittrilt rond zijn oorspronkelijke nulstand.

Het klepgedrag o.i.v. de wisselspanning werd in een ruim frequentiegebied nagegaan.

#### 4.4. Meetopstelling.

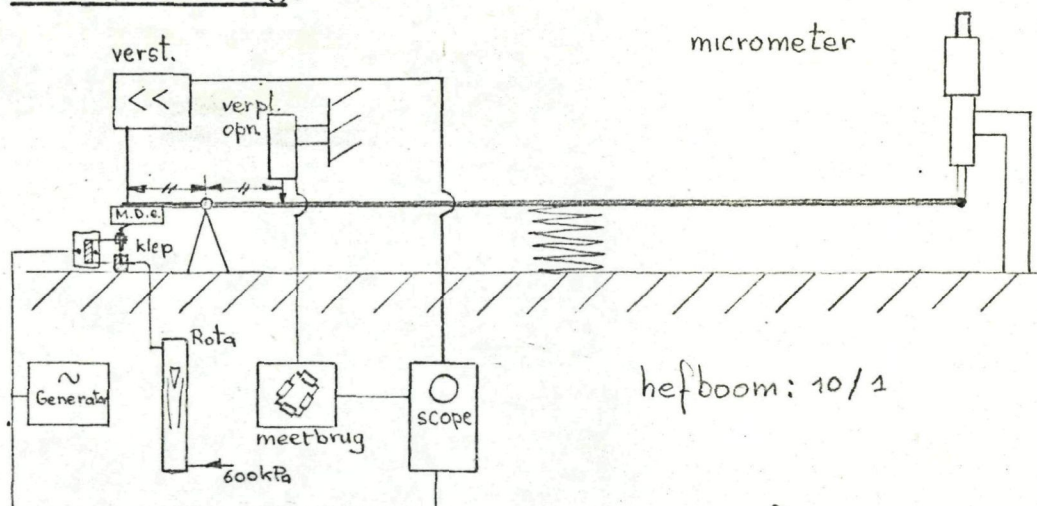
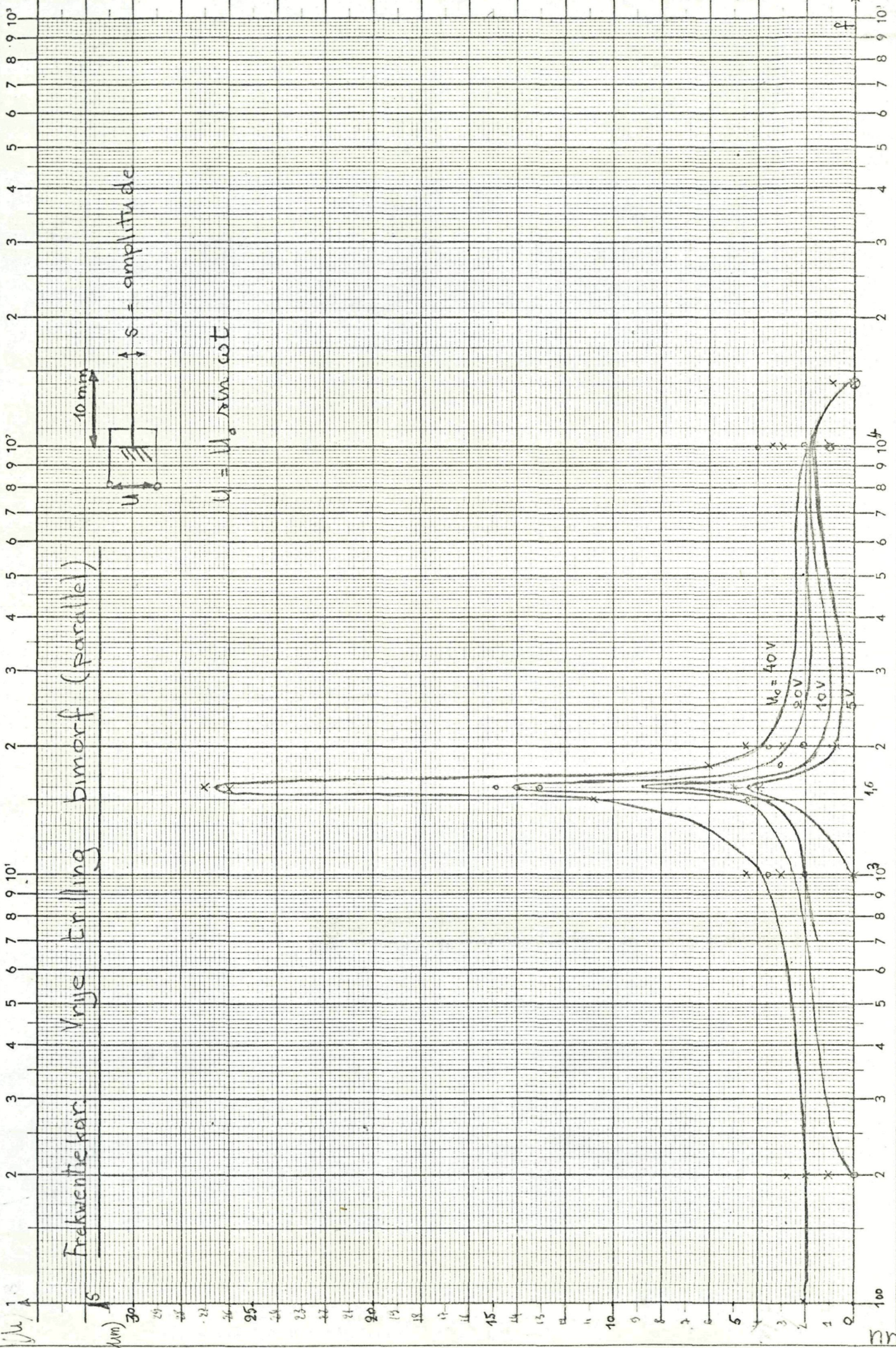


fig. 8







De verplaatsing van de elementen moest kontaktloos gemeten worden anders zou de klepbeweging beïnvloed kunnen worden. Daar de absolute grootte van de verplaatsing slechts enkele  $\mu\text{m}$  bedroeg en de werkfrequentie meestal boven de 1000 Hz kwam waren de beschikbare opnemers voor deze taak niet toepasbaar. Met behulp van een magneto-dynamisch pick-up element werd dit probleem uit de wereld geholpen.

De verplaatsing van de naald van het M.D. element werd ingesteld met een micrometer-schroef via een hefboomoverbrenging 1:10 en werd geregistreerd m.b.v. een inductieve verplaatsingsopnemer. Het aanrakingspunt van pick-up naald en bewegend klepgedeelte werd op de scope zichtbaar gemaakt, waardoor het niveau kon worden bepaald waarbij naald en klep elkaar niet meer raakten. Aldus werd de amplitude van de verplaatsing per frequentie bekeken. De rotameter gaf hierbij de debietwaarde aan. De aangeboden stuurspanning was opgebouwd uit een wisselspanning waar een gelijkspanning ter grootte van de wisselspanningsamplitude bij opgeteld werd. De gelijkspanningskomponent leverde nl. een voordeel op van ca 25 % extra debiet. Een bijkomend voordeel was de geringe slijtage. — *slijtage waaraan*

#### 4.5. Meetresultaten.

De minimale spanning waarbij de klep bij de resonantiefrequenties zich opende was  $20 \text{ V}_{\text{~}}(\text{top top}) + 10 \text{ Volt} = .$  Gemeten werd bij een stuurspanning  $30 \text{ V}_{\text{~}}(\text{top top}) + 15 \text{ Volt} = .$



Het resultaat werd vastgelegd in de grafieken 2 en 3 waarin zowel de verplaatsing als het debiet in funktie van de fequentie is weergegeven.

Het optreden van meerdere resonantiefrequenties is te wijten aan de kompleksiteit van de opbouw (2 massaveersystemen in serie) en de verschillen in de inklemming van beide bimorfjes.

#### 4.6. Konklusies.

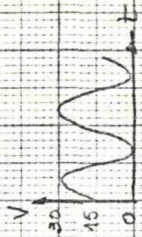
1. De wisselspanningsturing van de klep in zijn resonantiegebied levert een bruikbare klepwerking. Een groot voordeel t.o.v. de gelijkstroomsturing is het feit dat de benodigde spanning belangrijk lager ligt.
2. Het nadeel van de relaxatie is verdwenen. De kruip blijft vervelend.
3. Het gebruikte kleprubber vertoont weinig slijtageverschijnselen na langdurig (10 uur) gebruik.
4. De geluidstrillingen, veroorzaakt door de klep, zijn hinderlijk.
5. De klepafmetingen zijn vrij groot en het gewicht is hoog.
6. Afwezigheid van hysteresis.



# Amplitude - Frequentie diagram "U" klep

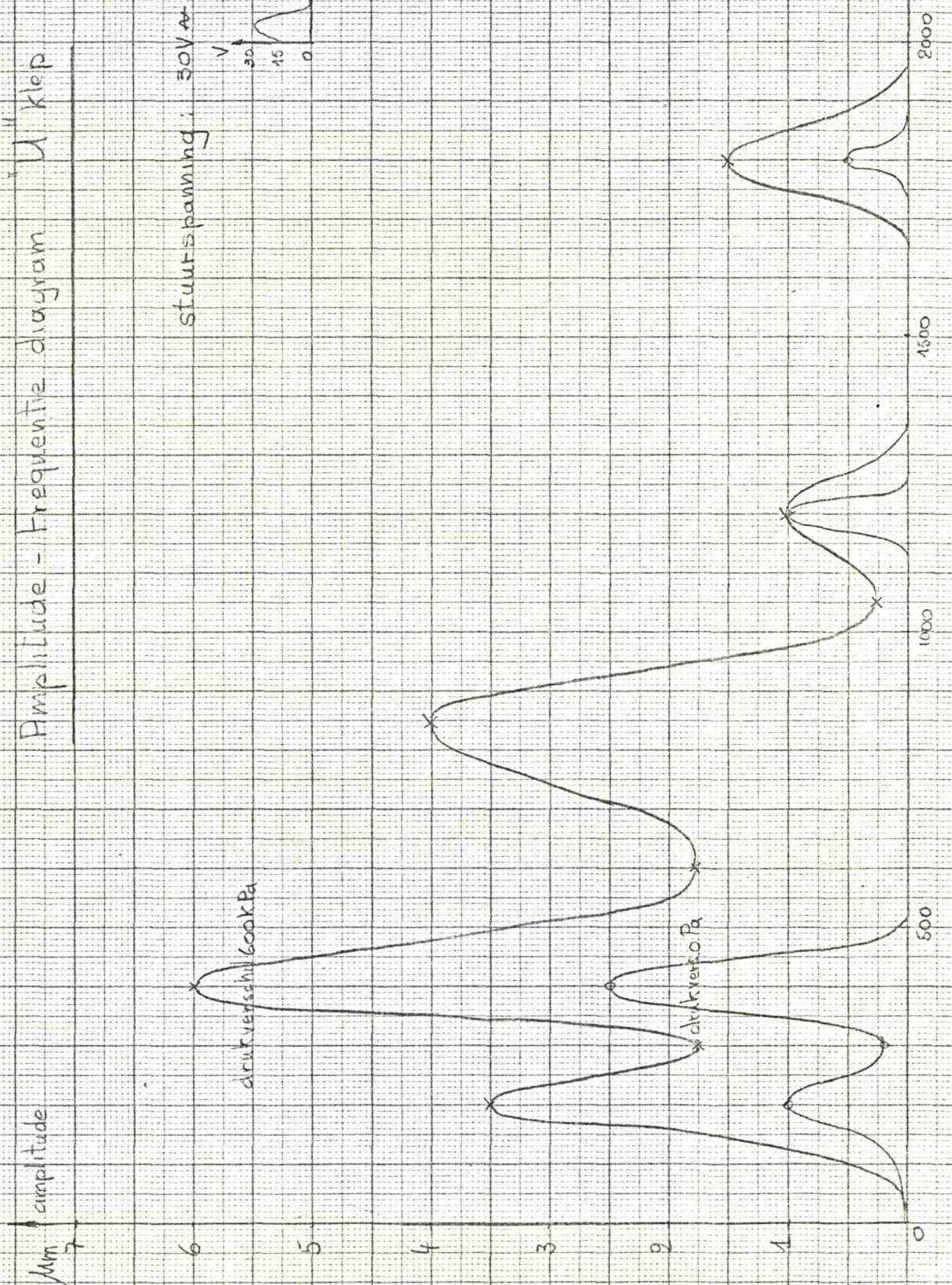
mm amplitude

stuurspanning: 50V<sub>~</sub> (top top) + 15V =



drukverschillen 600kPa

drukverschillen 200kPa

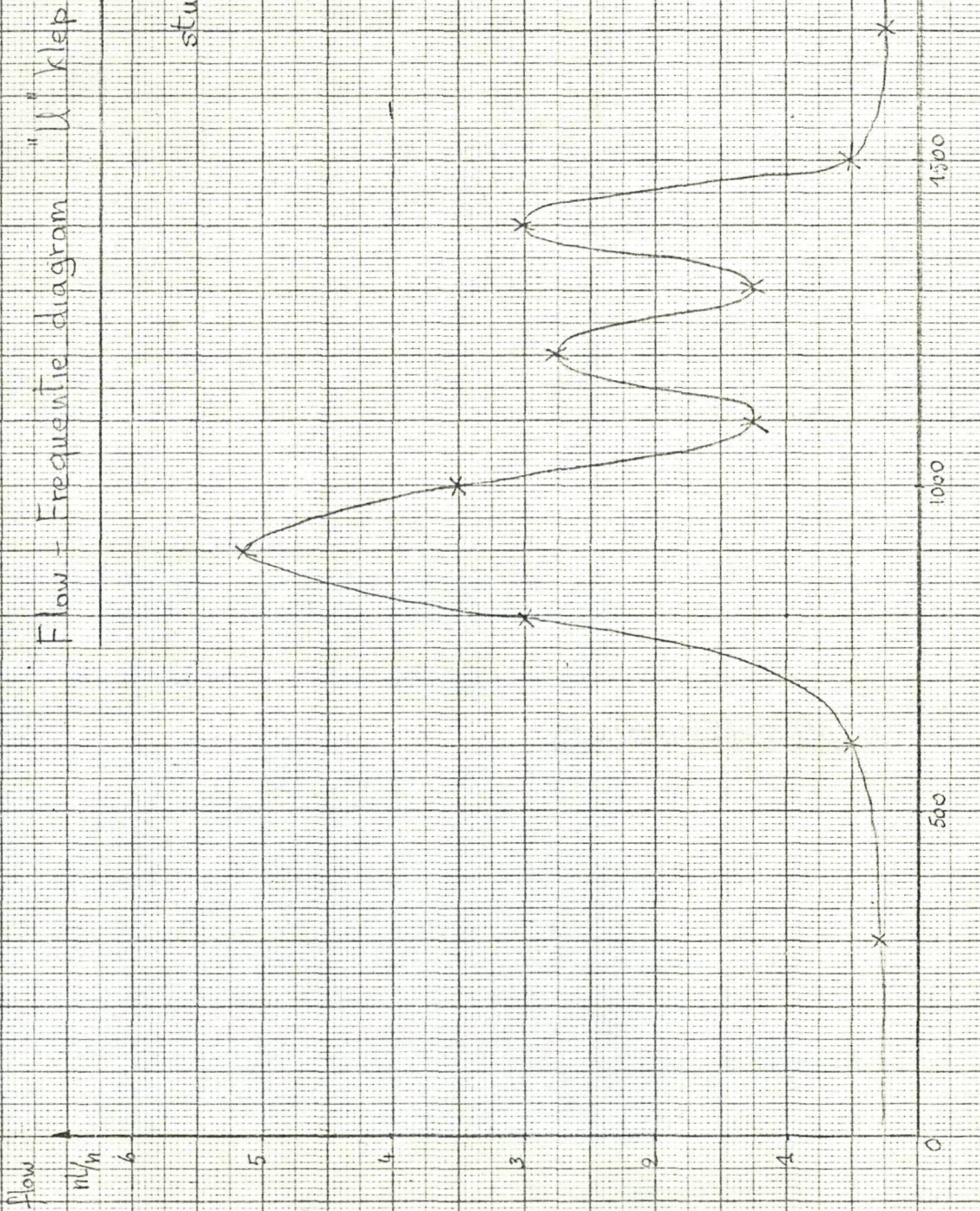
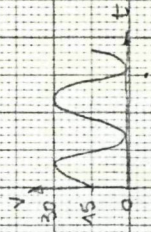


f (Hz)  
stuurfreq.



# Flow - Frequentie diagram "U" klep

stuurspanning: 50V  $\omega$  (top-top)  $\pm 15V =$



stuurfred



## Hfst. 5. VEREENVOUDIGDE PROEFKLEP GESTUURD MET WISSELSPANNING.

Daar de "u" klep door haar complexe opbouw allerlei nevenverschijnselen introduceerde, werd naar een eenvoudiger opzet uitgeweken om zodoende een aantal extra invloedsparameters te weren.

### 5.1. Opbouw van de proefklep.

Een eenzijdig ingeklemd bimorf serieplaatje PXE5 (8 x 8 x 0,6 mm), waaraan op het uiteinde een rubberlaagje als klepzitting werd gelijmd, deed dienst als bekrachtigde vaan. De tuit (met  $\phi$  0,35 mm) vereiste een nauwkeurige haakse positionering t.o.v. de rubberen klepplaat (zie figuur 3).

De grofinstelling van de tuit werd via een schroefbeweging (1) gerealiseerd; de fijnafstelling met twee konisch gepunte schroefjes (2), inwerkend op de schroefdraad, leverde de mogelijkheid in te stellen op ca 1  $\mu$ m per 3° verdraaiing van de schroefjes. Het geheel kon lekvrij opgesloten worden in een huis, waarbij instellen van buitenaf mogelijk bleef. De O-ring (3) zorgde voor de afdichting van tuit-as. De voedingsdruk kon zowel via het huis als via de tuit aangesloten worden.



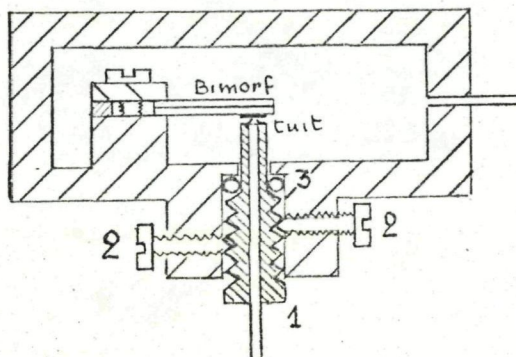


fig. 9

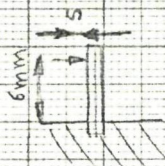
## 5.2. Metingen.

### a. De vaan los van de tuit.

Met behulp van de reeds beschreven pick-up-aantikmethode werd eerst de maximale uitwijking i.f.v. de frequentie gemeten. Zoals de grafiek nr 4 laat zien, verkrijgen wij drie opslingerfrequenties waarvan de twee hoogste frequenties (ca 25 kHz en ca 35 kHz) het gevolg zijn van twee serie resonantiefrequenties. Deze kunnen aan de hand van het elektrisch vervangingschema verklaard worden (zie appendix B). Daar het hier een eenzijdig ingeklemde plaat betreft, waren er twee specifieke serieresonanties: één waarbij de inklemming de stijfheid sterk beïnvloedde nl. in de richting evenwijdig aan de inklemming, en één waarbij de inklemming nauwelijks van invloed was nl. in de richting dwars op de inklemming.



Amplitude - Frequentiediagram vrij ingeklemd bimorf PXE5 (8x8x96mm)

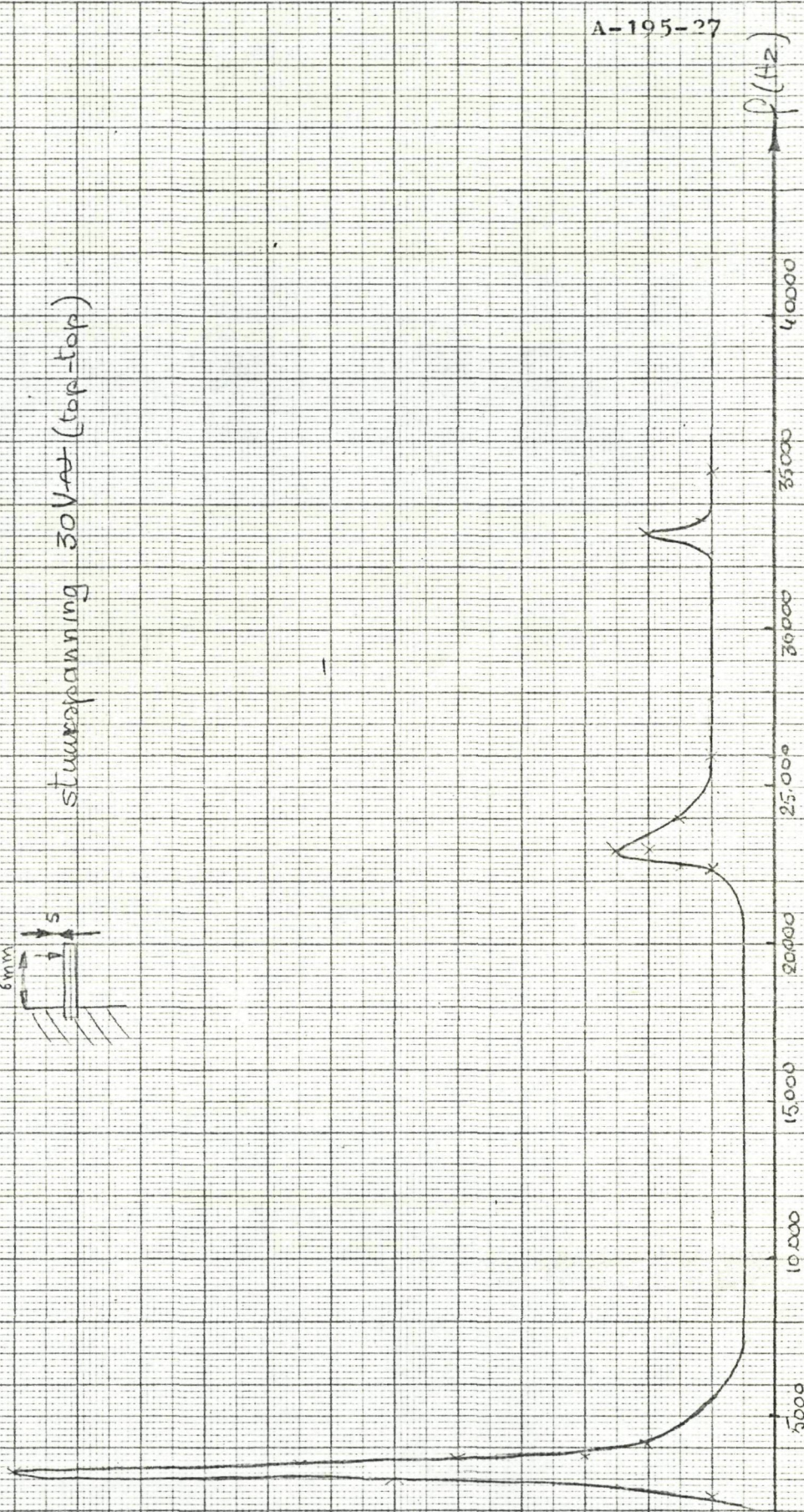


stuurspanning 30V<sub>eff</sub> (top-top)

$\mu m$

10

5



f (Hz)

stuurfreq.



De laagst gemeten resonantie was wellicht te wijten aan een combinatie van beide trillingswijzen doch speelt bij het verder onderzoek geen rol. ~~Om deze reden werd een nader onderzoek hieromtrent achterwege gelaten.~~

b. Het klepgedrag.

De te leveren afdichtkracht door de van op de tuit in de ruststand is bepaald door de zin en grootte van de drukval en de vervormingstoestand (oppervlaktedruk) van het rubber. Om meer inzicht te verkrijgen in het klepgedrag bij verschillende stromingsrichting en rubberlaagdikte van de zitting werden vier gevallen onderzocht.

Het verloop van het debiet i.f.v. de frequentie werd vastgelegd in grafieken 5-8 bij verschillende stuurspanningen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij deze klep de verschuiving van de wisselspanning tot boven de nullijn geen bijzonder voordeel opleverde en dus niet toegepast werd.

De klep produceerde in een aantal gevallen, ondanks de onhoorbare stuurfrequenties, duidelijk hoorbare neventrillingen. Deze werden langs akoestische weg en via een filter bepaald en, indien optredend, bij de karakteristieke punten, op de grafieken aangegeven.

*in functie van?*

*Is hier een verklaring voor?*

Voedingsdruk (500 kPa)- zijde	Kleprubberdikte (mm) (hardheid 70°Sh)	Grafiek nummer
1. tuit	0,16	5
2. huis	0,16	6
3. tuit	0,09	7
4. huis	0,09	8

### 5.3. Samenvatting.

- a. In alle gevallen bleek de klep niet te werken bij de lagere frequenties ( $< 20.000$  Hz) zodat bij de eerder gemeten krachtige opslinging (bij ca 3200 Hz) geen klepwerking mogelijk bleek. Dit is te verklaren door het rubbergedrag dat bij deze relatief lage frequentie als veer werkt en met zijn verende uitzetting de verplaatsing compenseert. De dempende invloed van het rubber werkt tevens een opslinging tegen.
- b. De twee serieresonanties lagen bij de klep iets hoger dan bij het vrije bimorfplaatje het geval was. Dit was wellicht te wijten aan een verlaagde kompliantie van de vaan tijdens die perioden van de trilling waarbij de tuit voor een extra oplegging zorgde (zie vervangingsschema in de appendix).
- c. Het dunnere rubber (0,09 mm dik) bood duidelijk voordelen wat betreft het debiet bij een bepaalde spanning.



*hierboven deze  
gegevens niet met  
de profiel in s.b.f. 8  
te maken?*

*Deze volgorde is  
afwijkend van pag 29  
tabel. Dat is niet  
erg handig!*

Voedings- druk- zijde	Debiet (nl/h)	Rubber- dikte (mm)	Spanning (Volt) (top-top)
tuit	0,5	0,16	30
tuit	0,5	0,09	20
huis	0,45	0,16	30
huis	0,4	0,09	25

Bovendien was de klep, uitgevoerd met rubberdikte 0,16 mm, niet open te krijgen onder de 30 Volt (top-top).

- d. Het spanning-flow diagram nr 9 toont dat ca 12 Volt (top-top) nodig was om de afdichtkracht te overwinnen bij stromingsrichting tuit-vaan en ca 18 Volt (top-top) bij omgekeerde stromingsrichting (waarden behorend bij een kleprubberdikte van 0,09 mm).
- e. Een hysteresislus m.b.t. de flow-spanning werd niet waargenomen.

*Bij  
afnemende  
spanning  
i.v.m.  
hysteresis.*

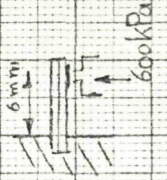
Verder was het debiet (lineair ?) afhankelijk van de amplitude van de spanning bij de resonantiefrequenties.

- f. Tijdens het verloop van de proeven werd nog wel last ondervonden van de reeds vermelde kruipeigenschappen van het bimorf. Dit veroorzaakte een lek (0,1 nl/h) na een periode van drie dagen.
- g. De neventrillingen (die binnen de gehoorgrenzen van de mens liggen) konden elektrisch weggefilterd worden door het aan-



flow  $\phi$   
n/kA

rubberdikte: 0,16 mm  
tuit  $\phi$ : 0,35 mm



(geen klepwerking by  $V < 30V$ )

PXE 5 8x8x0,6 mm

0p

05

04

03

02

01

0

20.000

25.000

30.000

35.000

40.000

f (Hz)

stuur-freq

+12.500 Hz

+18.600 Hz

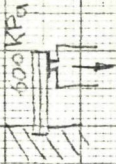
+9200 Hz

50V AT (Top-top)



rubberdikte: 0,16 mm  
tuit  $\phi$ : 0,35 mm

(geen klepwerking by  $V < 30V$ )



PXE 5 8x8x0,6 mm

flow  $\phi$   
m<sup>3</sup>/h

0,6  
0,5  
0,4  
0,3  
0,2  
0,1  
0

25.000

25.000

30.000

35.000

40.000

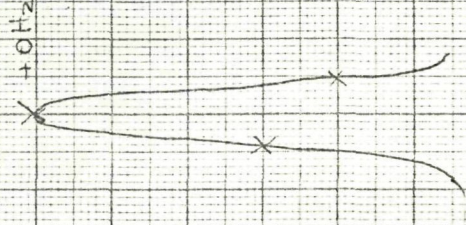
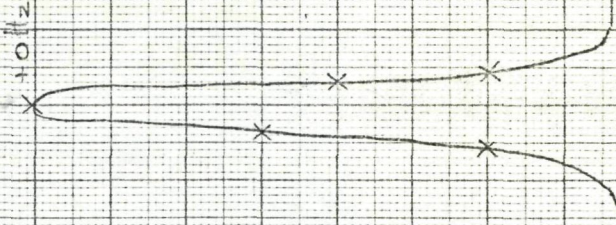
stuurfreq.  $f$  (Hz)

X +0 Hz

X +0 Hz

30V  $\rightarrow$  (top-top)

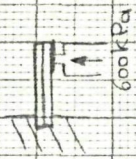
nr.6





f (Hz)  
stuurfreq.

PXE 5 8x8x0,6 mm | rubber dikte: 0,09 mm  
tuit  $\phi$ : 0,35 mm



27.000 Hz  
± 9000 Hz

27.000 Hz  
± 9000 Hz

27.000 Hz  
± 9000 Hz

38.000 Hz  
± 9000 Hz

38.000 Hz  
± 9000 Hz

38.000 Hz  
± 9000 Hz

(top top) at 20V, 25V  $\pm$   
15  $\Omega$

20 mV

25.000

30.000

35.000

40.000

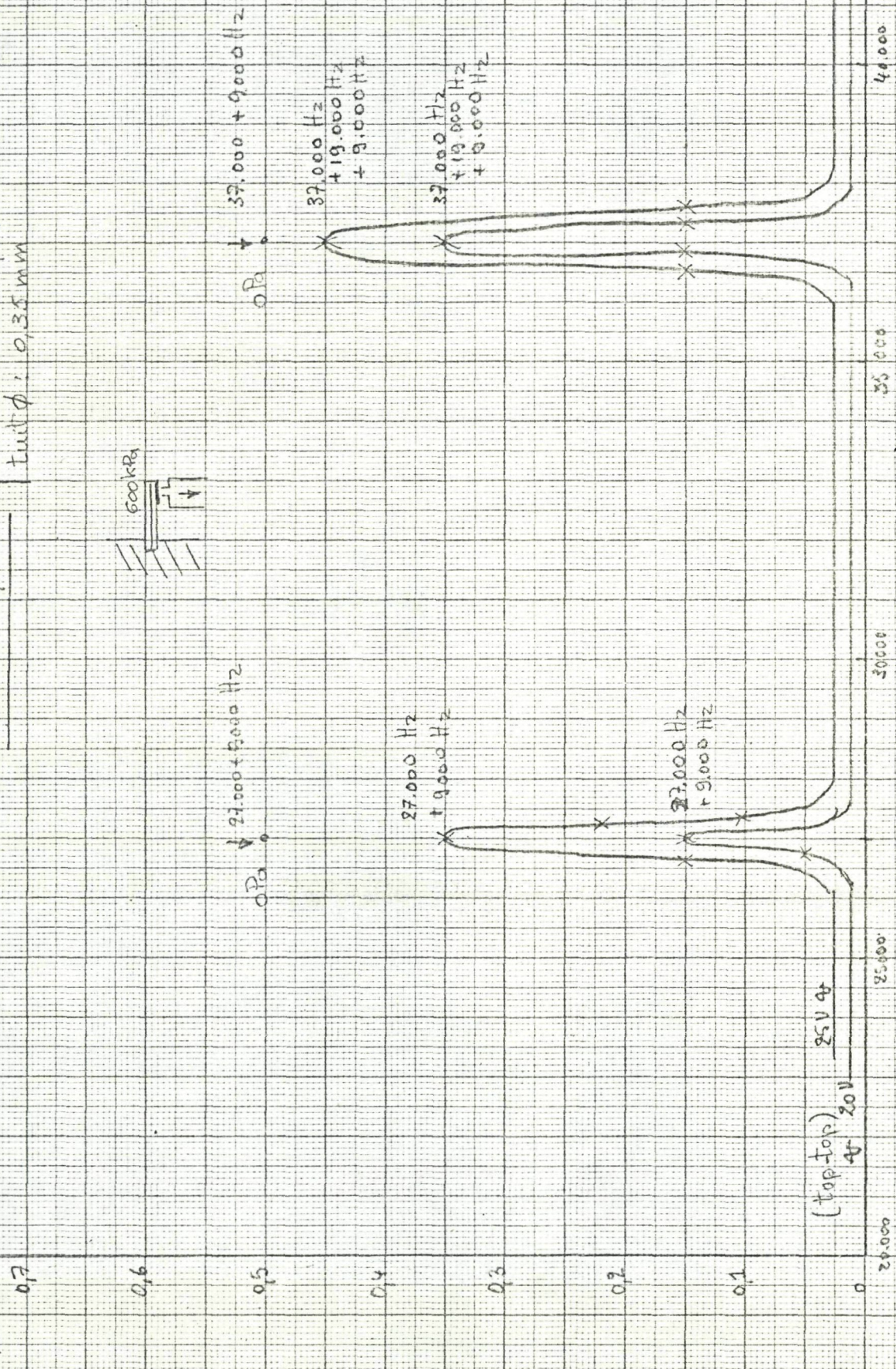
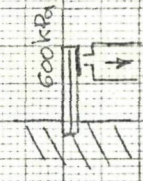
$\phi$  flow  
0,7  
0,6  
0,5  
0,4  
0,3  
0,2  
0,1  
0



9-12-74

flow  $\phi$  h

PXE 58x8x0,6 mm  
rubberdikte: 0,09 mm  
tuit  $\phi$ : 0,35 mm



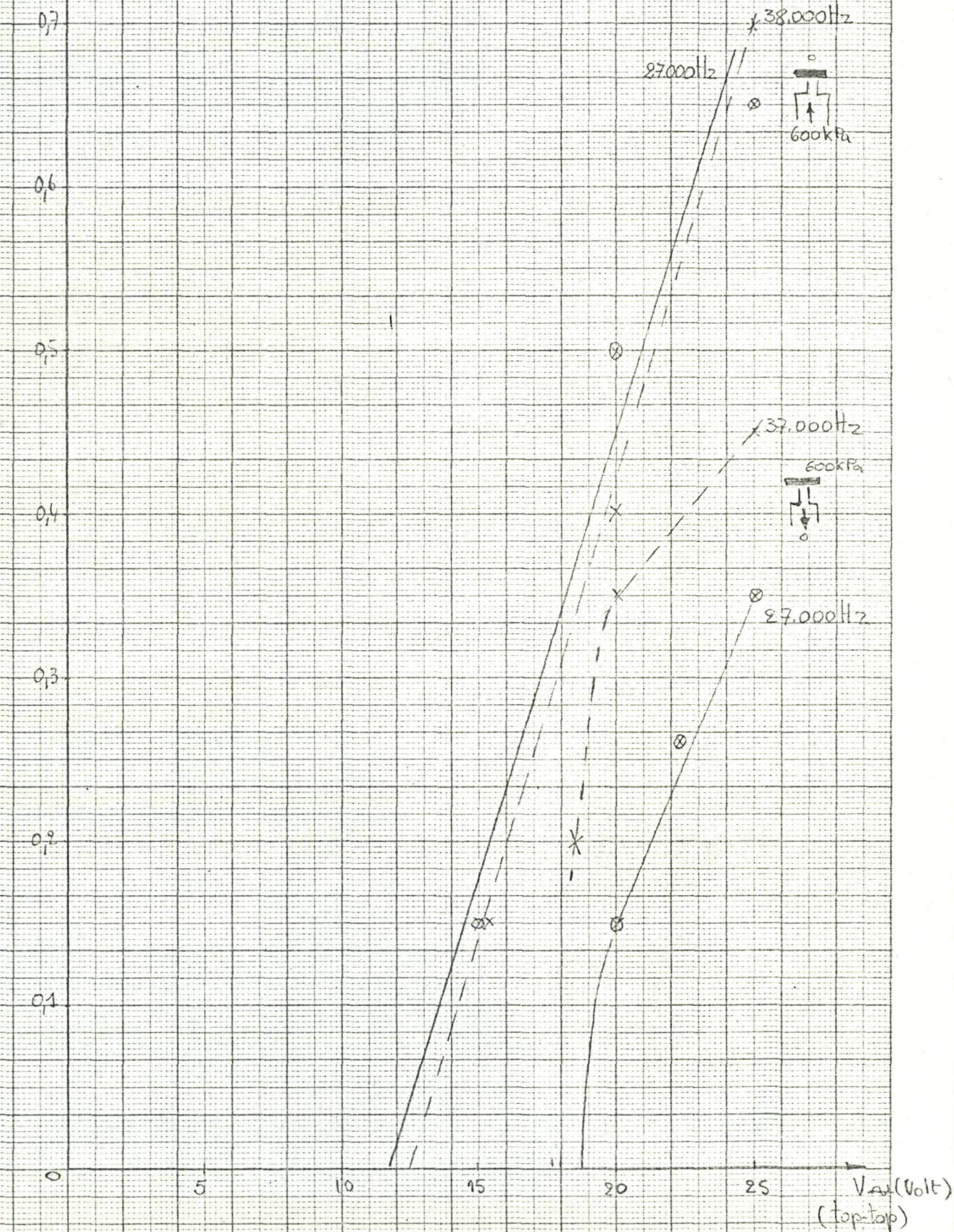
f (Hz)  
stuurfrequentie



Spanning-Flow diagram proefklep

(rubberdikte 0,09mm)

$\phi$  flow  
n/h





brengen van een capaciteit (ca 450 pF in dit geval) parallel aan het bimorf.

#### 5.4. Elektrische sturing.

Aangezien deze proefklep bij gebruik als stuurklep voor bekrachtigde pro- en orthesen ook een elektrische oscillator nodig heeft, is ook het gewicht en de grootte daarvan van belang. Er werd daarom nagegaan welke elektronische componenten nodig zouden zijn bij deze proefuitvoering. Een eenvoudig multivibratorkringetje werd gebouwd en experimenteel zo goed mogelijk aangepast aan het bimorf, waarbij het equivalente schema (zie appendix C) noodzakelijkerwijze diende berekend te worden. Het resultaat (zie appendix C) was in zoverre bevredigend dat afmetingen, gewicht en verbruik erg meevielen, zodat ook van deze zijde gunstige perspectieven t.a.v. de wisselspanningsturing verwacht kunnen worden.

Voorlopige resultaten :

ingangspanning oscillator : 15 V=

stroomverbruik 7 mA

uitgangspanning oscillator : 12 V (blokspanning top-top) bij 35.800 Hz

klepdebiet : 0,5 nl/h

## Hfst. 6. DE MEMBRAANKLEP-PROEFOPSTELLING.

### 6.1. Probleemstelling.

Hoewel door de wisselspanningsturing het nadeel van de relaxatie kon worden vermeden en de stuurspanning belangrijk kon verminderd worden in tegenstelling tot de gelijkstroomklep, bleef het probleem van de kruip nog aanwezig. Hierdoor kon de klep nog steeds niet beantwoorden aan de eis van totale afdichting in ruststand, evenmin als aan de eis van reproduceerbaarheid.

Om hieraan te voldoen werd naar een oplossing gezocht, waarbij het keramisch materiaal ontlast wordt van zijn afdichttaak in rusttoestand. Het aanbrengen van een metalen veer, vrij van kruipverschijnselen, bleek een mogelijke oplossing. Omwille van de konstruktieve eenvoud werd een stalen membraan verkozen, geactiveerd door piëzo-elementen.

### 6.2. Opbouw.

Twee cirkelvormige piëzo-keramische plaatjes (PXE5  $\phi$   $D_1$  en dikte  $t_1 = 0,2$  mm) voorzien van opgedampte elektrodevlakken werden centrisc aan weerszijden van een verenstalen membraan (dikte  $t_2$ ) gelijmd.

De dikte van de schijfjes PEX5 werd minimaal (0,2 mm) gekozen om een zo klein mogelijke klep te kunnen bouwen. Om een voldoende elastisch membraan en een supersone resonantiefrequentie te verkrijgen was de keuze beperkt. Een en ander werd bepaald met de formules uit "Philips application book for Piezo-electric ceramics".



De polarisatierichting van de plaatjes werd zo gekozen dat een parallel bimorf element ontstond waarvan het membraan de ene pool vormde en de beide buitenoppervlakken van de schijfjes samen de andere pool.

Het membraan werd cirkelvormig ingeklemd zodanig dat de piëzo-keramische schijfjes geen zijdelings contact maakten met de inklemmingswanden (de inklemdiameter  $D_2$  was 0,2 mm groter dan de schijfdiameter  $D_1$ ) zie figuur 10.

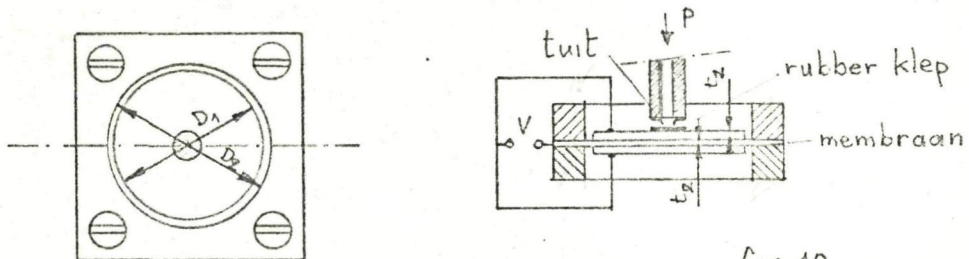


fig. 10

Na het lijmen van een rubberen schijfje ( $\phi$  3 mm dikte 0,09 mm), als kleprubber, centraal op de bovenzijde van het bimorf en na instellen van de tuit ( $\phi$  0,35 mm) zuiver haaks op het membraan was de proefklep klaar voor beproeving.

De stuurspanning werd aangelegd tussen het membraan enerzijds en de beide buitenelektroden van de schijfjes anderzijds.

(Een detailbeschrijving van de lijmmethode en de nodige voorbereiding is te vinden in de appendix D.)

### 6.3. Metingen.

Er zijn, uitgaande van de gekozen dikte  $t_1$  (0,2 mm) van de PXE5 schijfjes, nog twee variabele parameters nl. de membraandikte  $t_2$  en de diameter  $D_1$ . Een compromis tussen voldoende afgegeven kracht door de plaatjes



en de beoogde miniaturisering van de klep beperkte de membraandiameter  $D_1$  tot een maximumwaarde van 10 mm.

Het gebruik van  $CO_2$  als gas i.p.v. perslucht bleek dezelfde resultaten te geven en is niet van invloed op de klepprestaties. Daarom werd het medium niet als invloedsparameter opgenomen.

*Had je dan  
andere  
resultaten  
verwacht?  
Zija, waarin?*

Daar de te bouwen miniatuuroscillator, nodig voor de sturing, meestal een blokvormig uitgangssignaal bezit, werd de elektrische sturing in blokvorm aangeboden. De stuurblokspanning is met haar ampl. waarde in de tabel opgenomen. (Alleen die stuurspanningen die resulteerden in een effectieve klepwerking zijn hierbij opgenomen.)

Voor de experimenten werd de Wave-tek oscillator gebruikt om de stuurspanningen te leveren en met een rotameter in de toevoerleiding werd het debiet gemeten.

Een eerste serie proeven werd opgezet met de parameter  $D_1$  konstant op 10 mm en de membraandikte  $t_2 = 0,05; 0,10$  en  $0,15$  mm als variabele parameter.



a. Het klepgedrag bij konstante  $D_1 = 10$  mm

( $D_2 = 10,2$  mm).

-  $t_2 = 0,05$

resonantiefrequentie zonder tuit (bij 4 V $\Delta$ ) =  
10.000 Hz

Stuurspanning (V)	Stroom (mA)	Frequentie (Hz)	Debiet (nl/h)
6		15 700	0
8		15 250	0,4
10	15	15 050	0,9

-  $t_2 = 0,10$

resonantiefrequentie zonder tuit (bij 4 V $\Delta$ ) =  
14.000 Hz

Stuurspanning (V)	Stroom (mA)	Frequentie (Hz)	Debiet (nl/h)
2		15 100	0
3	6	15 060	0,9
<u>4</u>		<u>14 970</u>	<u>1,3</u>
5		14 900	2
6		14 810	2,5
8		14 650	4
10		14 400	5,5

-  $t_2 = 0,15$

resonantiefrequentie zonder tuit (bij 4 V $\Delta$ ) =  
16.000 Hz

Stuurspanning (V)	Stroom (mA)	Frequentie (Hz)	Debiet (nl/h)
2		17 500	0
3		17 240	0,26
4	5,5	16 780	0,66
5	8	16 640	1
6		16 500	1,5
8		16 460	2,6



Uit deze eerste serie metingen kwam de klep met  $D_1 = 10$  mm en  $t_2 = 0,10$  mm het gunstigst naar <sup>voor</sup> met in acht genomen de geleverde flow van 0,9 nl/h een stuurspanning (ampl. waarde) van 3 Volt bij 6 mA en een frequentie van ca 15.000 Hz.

Echter na langdurige rust (1 uur) bleek de klep pas aan te spreken bij een stuurspanning van 4 Volt waarbij wel de flow van 1,3 nl/h, behorend bij deze spanning zich opnieuw instelde. Dit heeft als gevolg dat, voor een goede reproduceerbaarheid de minimale spanning bij 4 Volt lag.

oorzaak?

Voorlopig samengevat :

- benodigde stuurspanning : 4 Volt
- benodigde stroom : 9 mA
- werkfrequentie : 14.970 Hz
- $D_1 = 10$  mm,  $t_2 = 0,1$  mm en rubberdikte = 0,09 mm
- flow : 1,3 nl/h
- een nadeel van deze klep was echter de grote geluidshinder, daar de werkfrequentie binnen het hoorbare gebied van de mens lag wat, gezien het toepassingsgebied ontoelaatbaar was.
- de nadelige invloed van de kruip en de relaxatie was, zoals verwacht, verdwenen.

Een tweede serie proeven werd opgezet met de diameter  $D_1$  als variabele parameter en de membraandikte  $t_2 = 0,10$  mm als konstante. Deze kwam immers als gunstigste dikte naar <sup>voor</sup> in de eerste serie.



b. Het klepgedrag bij konstante  $t_2 = 0,10$  mm.

-  $D_1 = 8$  mm

resonantiefrequentie zonder tuit (bij 4 V) =  
21.470 Hz

Stuurspanning (V)	Stroom (mA)	Frequentie (Hz)	Debiet (nl/h)
4		22 020	0
5		21 960	0,45
6	6,5	21 940	0,7
8	!	21 760	1,05
10		21 740	1,58

-  $D_1 = 9$  mm

resonantiefrequentie zonder tuit (bij 4 V) =  
17.590 Hz

Stuurspanning (V)	Stroom (mA)	Frequentie (Hz)	Debiet (nl/h)
3		19 050	0
<u>4</u>	<u>6</u>	<u>18 730</u>	<u>0,8</u>
5	7,5	18 560	1
6	8,6	18 400	1,3
8		18 240	2,2
10		18 060	3,3

-  $D_1 = 10$  mm zie vorige tabel.

Opmerking.

Ten overvloede werden nog andere uitvoeringen getest zoals  $D_1 = 8$  mm met  $t_2 = 0,05$  mm en  $D_1 = 8$  mm met  $D_2 = 9$  en 10 mm bij  $t_2 = 0,10$  mm, echter met beduidend slechtere re-



sultaten zodat een gedetailleerde weergave van deze metingen achterwege werd gelaten.

#### 6.4. Konklusie.

Aangezien een zo geruisloos mogelijke werking een dwingende eis is in de pro- en orthese-wereld en anderzijds de miniaturisering erg gewenst is, werd als beste parameterkeuze gesteld :  $D_1 = 9$  mm,  $D_2 = 9,2$  mm en  $t_2 = 0,1$  mm met als werkfrequentie ca 18.800 Hz (ondanks het verlies van geleverd debiet per Volt t.o.v. de meer optimale afmetingen  $D_1 = 10$  mm en  $t_2 = 0,1$  mm).

Deze parameters verschuiven immers de werkfrequentie buiten het hoorbare gebied.

Deze uitvoering doorstond glansrijk de duurproeven ook t.a.v. kleprubberslijtage en vertoonde een goed reproduceerbaar klepgedrag.

De responsiesnelheid lag hoog maar kon wegens de capaciteit in leidingen en opnemers niet nauwkeurig bepaald worden. (Tijdens de verdere behandeling wordt hierop teruggekommen.)

De nadelen van de relaxatie en de kruip kwamen ook hier niet voor.

Terugblikkend op de vorige proefklepuitvoeringen blijkt de membraanklep met  $D_1 = 9$  mm en  $D_2 = 9,2$  mm en  $t_2 = 0,1$  mm aan de gestelde eisen te voldoen, nl. :



- lage stuurspanning (4V)
- laag stuurvermogen (24 mW)
- reproduceerbaar
- leklicht in ruststand
- kleine afmetingen, laag gewicht
- relatief eenvoudige opbouw-en inbouwmo-  
lijkheid
- geruisloos.

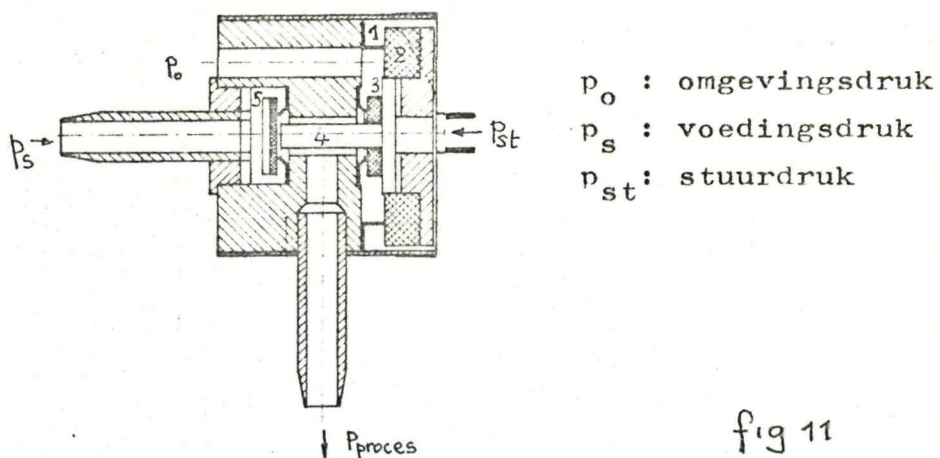


Hfst. 7. DE UITVOERING VAN DE ELEKTRO-PNEUMATISCHE  
OMZETTER.

Het oorspronkelijke uitgangspunt van een voorstuurklep gekoppeld aan een schakelklep wordt nu nader bekeken.

7.1. De schakelklep.

De in de sectie instrumenten door ir. Pistecy ontwikkelde miniatuurschakelklep werkt als volgt (voor de schematische opbouw zie figuur 11)



De stuurdruk veroorzaakt een indrukking van het bedieningsmembraan in zijn zitting. De hierbij ontstane verplaatsing zorgt voor het sluiten van de klep (3) en het openen via het stiftje (4) van de klep (5) waardoor de voedingsdruk op de uitgang wordt geschakeld. De drempelwaarde van de bedieningsdruk bedraagt ca 50 kPa.

Zakt de bedieningsdruk onder 50 kPa, dan wordt klep (5) gesloten en klep (3) geopend. Hier-



door wordt de uitgang van de klep met de omgevingsdruk verbonden.

Verdere gegevens van de schakelklep :

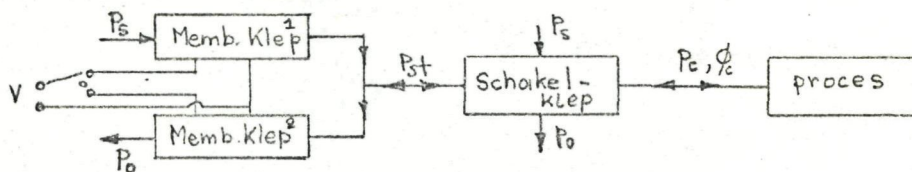
- afmeting :  $\varnothing$  6,2 x 6 mm
- ~~gewicht~~ <sup>massa</sup> : 1,3 gram
- maximaal debiet (bij een drukval van 600 kPa)  
is  $>$  800 nl/h.

## 7.2. Principiële uitvoeringen voorstuurklep-schakelklep.

Een aantal mogelijkheden om met behulp van de reeds beschreven membraanvoorstuurklep de schakelklep te sturen worden nu vergeleken. Hierbij is tevens het verloop van het elektrisch ingangssignaal van de voorstuurklep aangegeven in relatie tot het uitgangssignaal van de schakelklep. Het gewenste signaalverloop is nl. sterk afhankelijk van de te sturen pro- en orthese en de stuurmogelijkheden van de patiënt.

### a. Toepassing van twee membraankleppen.

Eén klep zorgt voor het opbouwen van de stuurdruk en één klep voor het verlagen van de stuurdruk. schematisch

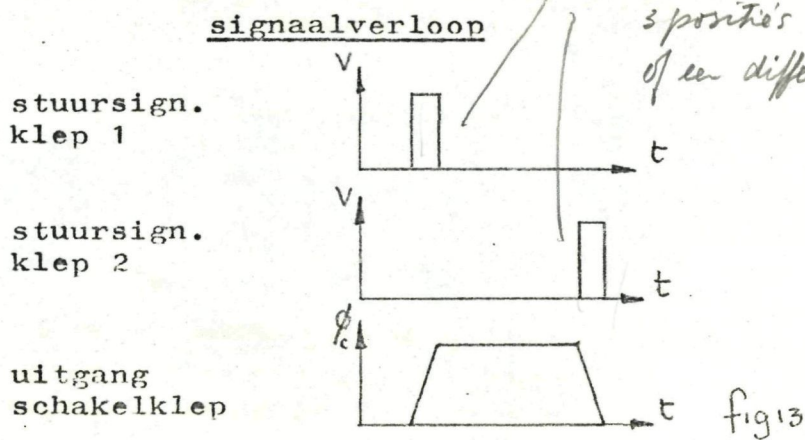


met :  $p_s$  : voedingsdruk  
 $p_{st}$  : stuurdruk  
 $p_o$  : atmosfeerdruk  
 $p_c$  : procesdruk  
 $\varnothing_c$  : debiet

fig. 12

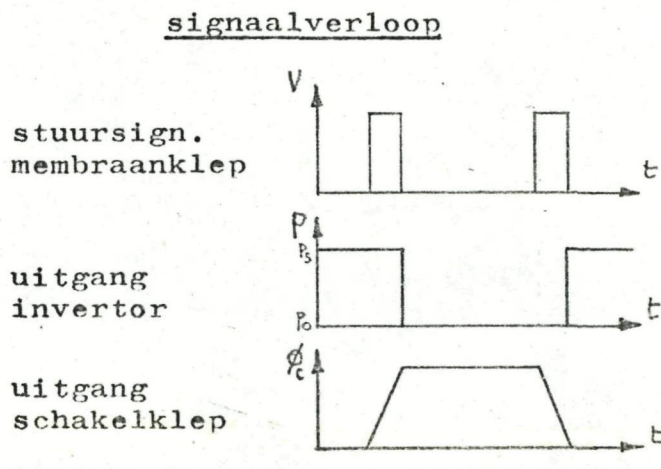
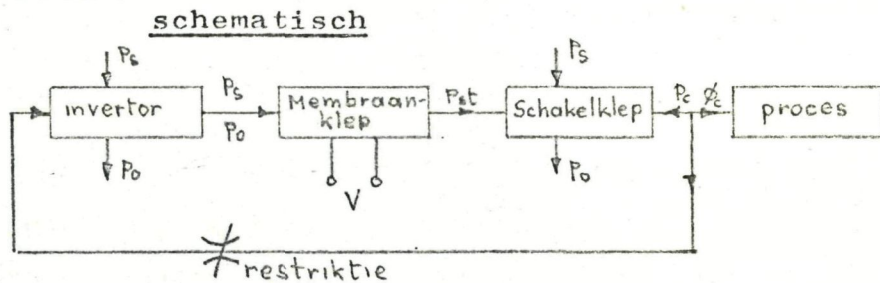


*Dit zou betekenen dat schakelaar uit schema 3 positie zou moeten hebben of een differentiatie toevoegt.*



b. Eén membraanklep, één invertor en één restriktie.

Hierdoor vervalt één membraanklep en wordt vervangen door een pneumatische invertor (reeds ontwikkeld en beschikbaar) die, afhankelijk van de procesdruk, de druktoevoer voor de membraanklep op 600 of 0 kPa schakelt. De restriktie voorkomt een te vroegtijdig omschakelen van de invertor.





c. Eén membraanklep en één restriktie.

Wanneer de membraanklep geopend is, ontstaat, naast een drukstijging in de schakelkamer van de schakelklep, een lekstroom naar de omgeving. Deze lekstroom zorgt voor de drukdaling in de schakelkamer bij het sluiten van de membraanklep.

schematisch

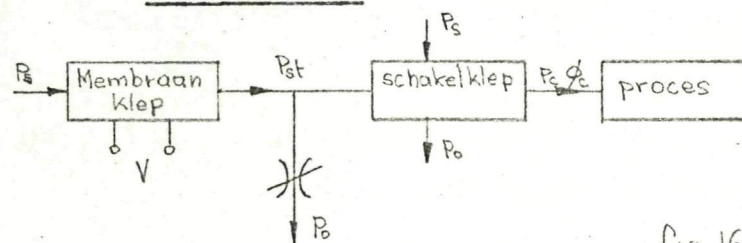


fig.16

signaalverloop

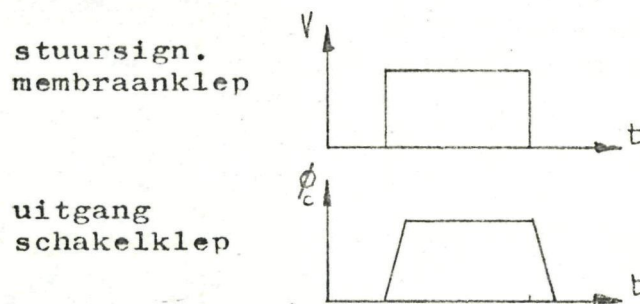


fig.17

Keuze.

Gekozen werd voor de derde uitvoering (1 membraanklep + restriktie + schakelklep) omwille van de konstruktieve eenvoud, het gering aantal componenten en de gelijkvormigheid van het in- en uitgangssignaal.

De gelijkvormigheid is het meest wenselijk voor de huidige prothesebesturing en is eenvoudiger qua stuurpatroon voor de patiënt.



De normaal voorkomende stuurtijd van 0,5 sek. in acht genomen woog het gasverlies, via de restrictie, op tegen het extra gasverbruik dat de invertor vergde in het tweede geval. Daarbij kwam nog het bezwaar dat in het tweede geval een nauwkeurige sturing was vereist vooral bij het afschakelen van de stuurdruk. De eerste oplossing (2 membraankleppen) werd deels door de gevolgen voor gewicht en afmetingen en deels de de complexere sturing verworpen.

### 7.3. De konstruktie van de E-P omzetter.

(Zie tekeningen achteraan) Voor de duidelijkheid bij de uitleg is één der klepdoorsneden in verkleinde vorm weergegeven.

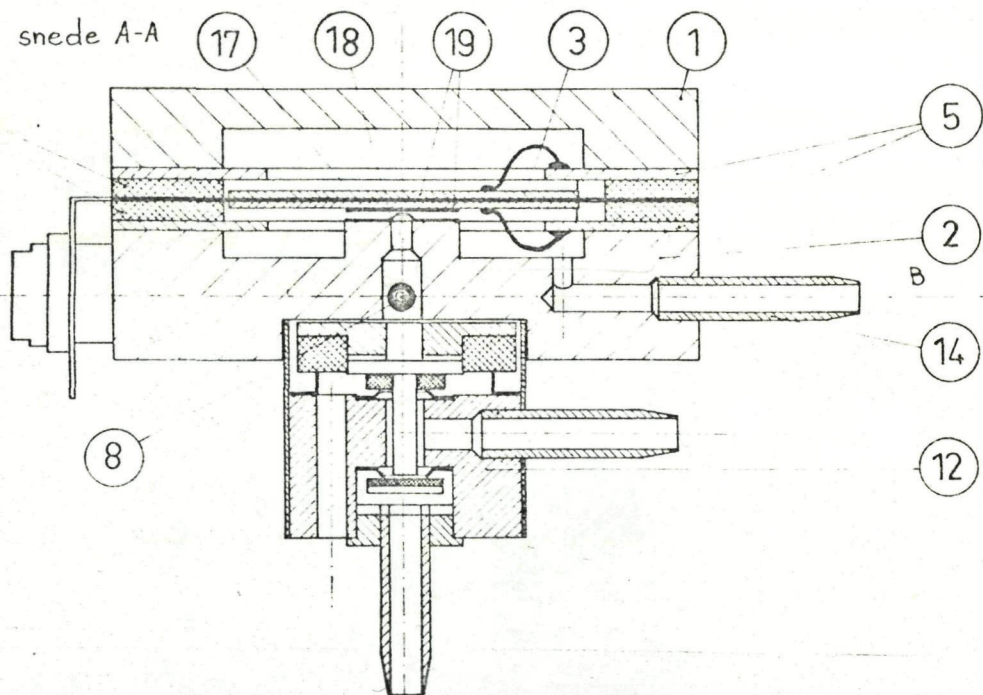


fig 18



a. De stromingsrichting.

Om de te vullen schakelruimte zo klein mogelijk te houden (kleine capaciteit = grote responsiesnelheid) werd de stromingsrichting in de voorstuurklep gekozen vanuit de membraankamer naar de tuit toe. De voedingsdruk heerst aan beide zijden van het membraanoppervlak, met uitzondering van het tuitoppervlak. De drukval over de klep is, in rusttoestand, 600 kPa en resulteert in een bijdrage voor de afdichtkracht (0,15 N) van 0,05 N.

b. De afstelling van de tuit t.o.v. de zitting.

Via de vervorming van de twee rubberlagen, waartussen het membraan geklemd is, werd de klep afgesteld. De geringe spoed (0,4 mm) van de inklemschroefjes liet een nauwkeurige positionering toe van de klepplaat t.o.v. de zittingtuit. De rubberhardheid van beide rubberlagen werd op 55° Sh. bepaald i.v.m. de nodige stijfheid van de inklemming.

c. De afdichting en elektrische isolatie.

De rubberlaag, met de ene zijde gelijmd aan het membraan en met de andere zijde aan een kontaktring, zorgt tevens voor afdichting en elektrische isolatie van het membraan. Op hun beurt zijn kontaktringen gelijmd aan het kleppendeksel en -huis zodanig dat afdichting en elektrische isolatie verzekerd is.



d. De elektrische aansluiting.

De buitenelektroden van de piëzo-keramische schijfjes worden via draadjes met hun kontaktringen verbonden. Via de uitvoerstrippen van membraan en kontaktringen en hun aansluitnippels wordt de stuurspanning op het bimorf overgebracht.

e. De klep en klepzitting.

De klepzitting bestaat uit de reeds eerder vermelde tuit met diameter 0,35 mm, vervaardigd volgens de beproefde sectiemethode [zie J.C. Cool en P.V. Pisteccky "a miniature gas-pressure valve", Medical and Biological Engineering, November 1973] zie figuur :

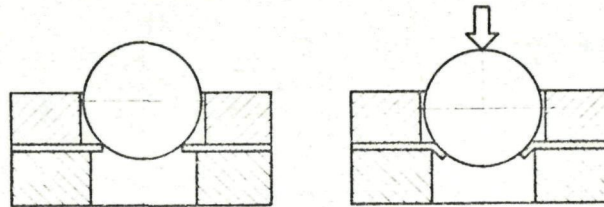


fig 19

De klepplaat is een "buna" rubberlaagje (diameter 3 mm, dikte 0,09 mm, hardheid 55° Shore) dat centraal op het desbetreffende PXE5 schijfje werd gelijmd.

f. De bimorfe klepmotor.

Deze bestaat uit twee schijfjes PXE5 met diameter 9 mm en dikte 0,2 mm (fabrikaat Philips) die met de nodige voorzorgen aan weerszijden van het membraan worden gelijmd.



g. De restriktie.

De relatief grote weerstand enerzijds en de kleine afmetingen anderzijds resulteerden in een combinatieuitvoering van een uiterst kleine spleet en een lange weg m.b.v. een labyrint. Proefondervindelijk leverde dit een konstruktie op met kapilaire buisjes en stiftje (zie figuur 20.)

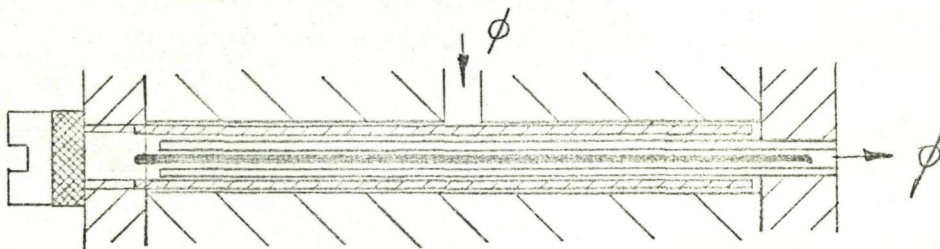
h. De schakelklep.

fig 20

Deze werd in ongewijzigde vorm overgenomen van de bestaande succesvolle konstruktie en samengevoegd met de voorstuurklep.

7.4. Montage.

Het lijmen van de piëzo-elektrische schijfjes aan het membraan bezorgde aanvankelijk moeilijkheden wat betreft goede hechting en elektrisch kontakt. Door het aanbrengen van een aandrukkracht tijdens het lijmen en het in acht nemen van een langere uithardingstijd (ca 12 uur) kon dit verholpen worden. Het lijmen van de verschillende onderdelen m.b.v. dubbelklevend plakband diende zeer zorgvuldig te geschieden omwille van het kortsluitgevaar tussen de respektievelijke spanningsdragers.



De schakelklep gaf aanvankelijk problemen door een lek via de tuit van zijn bedieningsmembraan daar deze in ruststand vrij kwam te liggen. Hierdoor bleek het zeer moeilijk de aanspreekdruk op te bouwen. Na een gewijzigde afstelling van de schakelklep werkte deze probleemloos. Daar de afstelbaarheid via het aandrukken van de rubber afdichtringen twijfels opriep omtrent de te bereiken verplaatsing werd eerst geprobeerd met een zacht rubber (50° Shore). De klep bleek echter totaal niet te werken, zodat harder rubber werd gebruikt (65° en 95° Shore) dat wel voldeed.

#### 7.5. Metingen.

Om een beeld te verkrijgen van de klepwerking werd eerst de voorstuurklep (E-P omzetter) alleen bekeken waarbij de klepkarakteristiek getoetst werden aan de verwachtingen. Nadien werd het geheel van voorstuurklep en schakelklep bestudeerd m.b.t. de responsiesnelheid met gesloten en afgestelde restrictie waarna de statische karakteristiek werd gemeten. Als tijdconstante  $\tau$  werd de tijd bepaald waarbinnen het uitgangsdebiet van de schakelklep een waarde van ca 63 % van zijn maximum waarde bereikte. De vermelde "looptijd" geeft de tijd weer tussen het begin van het ingangssignaal en het aanspreken van de schakelklep. Daar het proces inde bekrachtigde pro- en orthese wereld meestal berust op het vullen van een ruimte en het op druk brengen ervan, zal in de realiteit de tijdconstante  $\tau$  nog kleiner kunnen zijn, afhankelijk van de toepassing.



De sprongresponsie van de voorstuurklep alleen werd niet bepaald, enerzijds omdat bij het ontwerp vooral de responsiesnelheid van het totale systeem van belang is, en anderzijds omdat deze responsiesnelheid moeilijk technisch meetbaar was.

De voor de metingen gebruikte meet opstelling is weergegeven in figuur 21.

#### Opmerking.

De registraties hebben betrekking op de klep-uitvoering met rubber afstelringen met een hardheid van 65° Shore.

#### a. Meetopstelling.

Daar de te verwachten tijdconstante  $\tau$  klein was, werden hoge eisen aan de meetapparatuur gesteld. Voor de debietmeting aan de uitgang werd daarom gebruik gemaakt van de "Disa Constant Temperature Anemometer". Hiermede wordt langs elektrische weg het vermogen gemeten nodig om een minuscuul hittedraadje ( $\phi$  5  $\mu$ m, lengte 1 mm) op een konstante temperatuur te houden. De langsstromende lucht veroorzaakt nl. een afkoeling en deze is afhankelijk van de luchtsnelheid. Met behulp van een lineariser wordt het verband debiet-anemometeruitgang gelineariseerd. De tijdconstante van deze meetapparatuur is in de orde van enkele  $\mu$ s wat ruim voldoet. De rotameters dienden voor de afstelling, de ijking en de statische metingen. Het elektrisch ingangssignaal werd via een



frequentiegenerator (Wavetek) toegevoerd en de frequentie werd hierbij gemeten m.b.v. een teller.

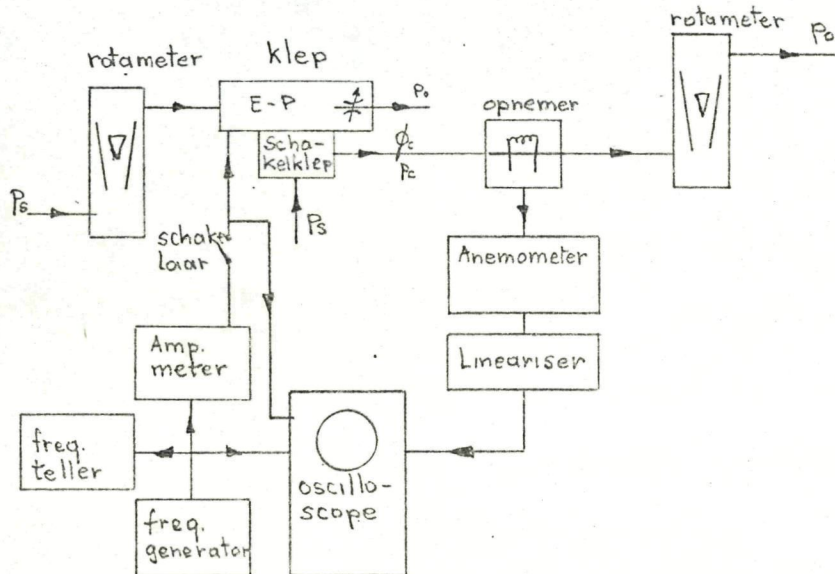


fig. 21

b. Meetresultaten bij de voorstuurklep  
(E-P omzetter) alleen.

De resonantiefrequentie werd bepaald en bedroeg ca 11.000 Hz. Het verband tussen de elektrische stuurspanning (blokvormig) en het debiet (bij  $f = 11.300$  Hz), dus de statische karakteristiek, is vastgelegd in tabelvorm :



Bij de metingen op pag 42 ligt de  
aanwezigheid van de tint en verhoging van  
de resonantie frequentie te weeg te hebben  
gebracht. En nu is er ineens een  
verhoging ??


Is dit alleen ten gevolge van de geringe  
inklemming - Zie zie pag 63 onder 7.6.2



Stuurspanning (Volt)	Debiet (nl/h)
3	0
5	0,4
8	1
10	1,5

Het frequentiegebied waarbinnen de E-P omzetter als klep werkt bij een stuurspanning van 8 Volt :

Frequentie (Hz)	Debiet (nl/h)
9 800	0
10 400	0,2
10 600	0,4
10 800	0,5
10 900	0,8
11 300	1,0
11 500	0,8
11 600	0,5
11 900	0,4
12 200	0,2
13 000	0

  
 Waarom kloppen  
 deze waarden zo  
 verschillend  
 Slecht met de  
 meetgegevens op  
 pag 42 volgens de  
 tekening op pag 30

Zoals reeds vermeld werd de sprongresponsiemeting, van de (E-P) omzetter alleen, achterwege gelaten aangezien in wezen het responsiegedrag van de totale omzetter (+ schakelklep) van belang is.

onderzoektechnisch had wel  
 handig te weten. Argumentato  
 pag 54 bovendien in verband.

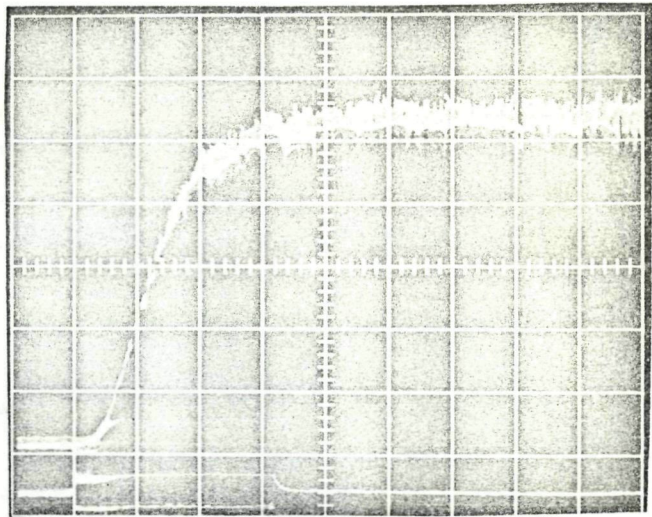


c. De responsie van de totale omzetter (E-P omzetter + schakelklep) op een sprongvormige stuurspanning.

De stuur(wissel)spanning werd sprongvormig aangebracht op het bimorf bij gesloten restriktie om een eerlijke vergelijking met de hittedraadklep mogelijk te maken. Het maximale debiet van de schakelklep was ca 800 nl/h. De polaroidfoto's van het oscilloscopebeeld geven het schakelverloop (ingangssignaal van de E-P omzetter) weer (onderaan de foto) en het verloop van het uitgangsidebiet (uitgangssignaal van de schakelklep) in functie van de tijd. De tijdbasis was 0,1 s/div., de stuurspanningen 5,8 en 10 Volt en de frequentie 11.300 Hz. Bij de foto's werd de tijdkonstante  $\tau$  aangegeven.

- Sprongresponsie met stuurspanning 5 Volt (restriktie gesloten)

$\tau$ : 150 ms  
 waarvan  
 looptijd  
 40 ms



X Ingangssignaal : in uit  $\longleftarrow$  0,1 s/div  $\longrightarrow$  tyd

uitgangs-  
debiet

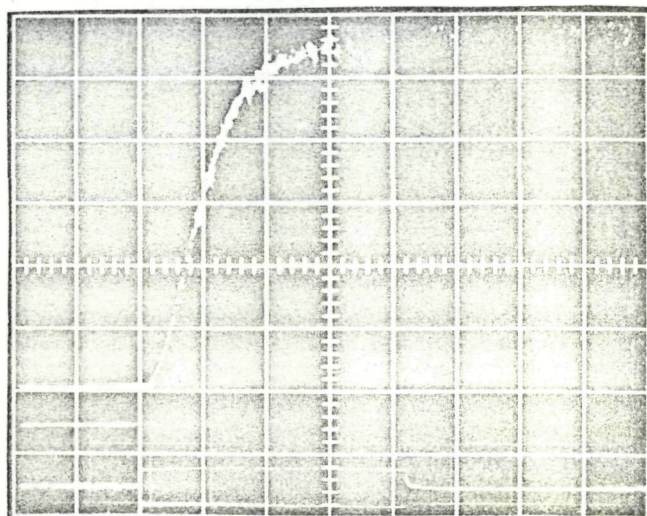
140 nl/h/div

tyd



- Sprongresponsie met stuurspanning 8 Volt  
(restriktie gesloten)

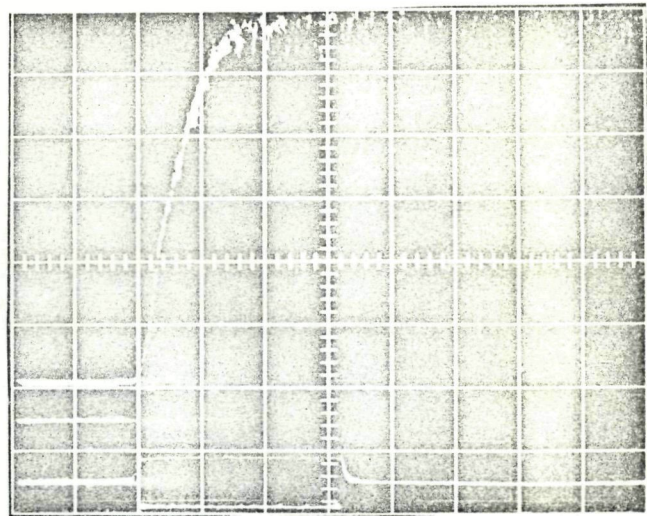
$\tau$ : 120 ms  
 waarvan  
 looptijd  
 20 ms



Ingangssignaal : in uit  $\longleftarrow$  0,1 s/div  $\longrightarrow$  tyd

- Sprongresponsie met stuurspanning 10 Volt  
(restriktie gesloten)

$\tau$ : 75 ms  
 waarvan  
 looptijd  
 onmeetbaar

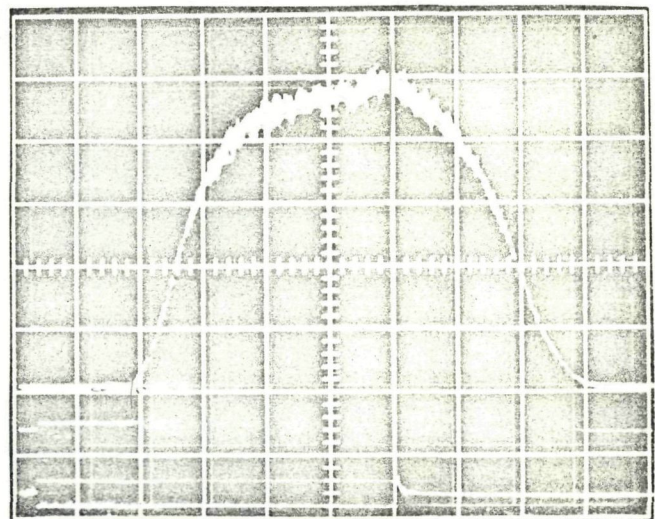


Ingangssignaal : in uit  $\longleftarrow$  0,1 s/div  $\longrightarrow$  tyd



Vervolgens werd de labyrintrestriktie zo afgesteld dat bij de verschillende stuurspanningen 5,8 en 10 Volt een symmetrisch debietverloop in de tijd ontstond. Ook hier werd het verloop van het uitgangssignaal t.o.v. het ingangssignaal in de tijd geregistreerd m.b.v. polaroid foto's van het oscilloscopebeeld. De tijdbasis was 0,1 s/div. en de frequentie 11.300 Hz. De tijdkonstanten behorende bij in- en uitschakelen werden bij de foto's vermeld.

- 2-zijdige sprongresponsie met stuurspanning 5 Volt



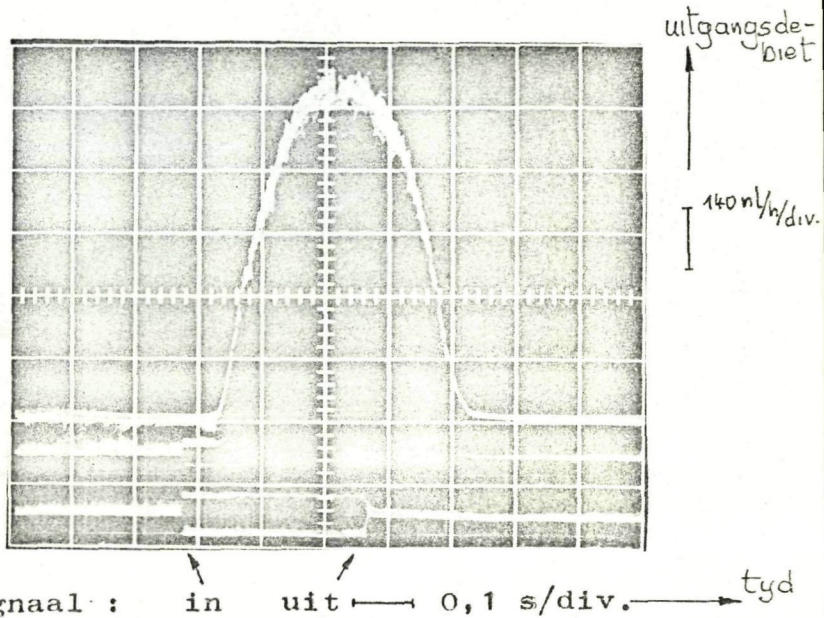
Ingangssignaal : in uit  $\longleftarrow$  0,1 s/div.  $\longrightarrow$  tyd

$\tau_{\text{open}}$  : 260 ms  
looptijd : 140 ms

$\tau_{\text{dicht}}$  : 200 ms  
looptijd : 0 ms



- 2-zijdige sprongresponsie met stuurspanning 8 Volt



Ingangssignaal : in uit  $\longleftarrow$  0,1 s/div.  $\longrightarrow$  tyd

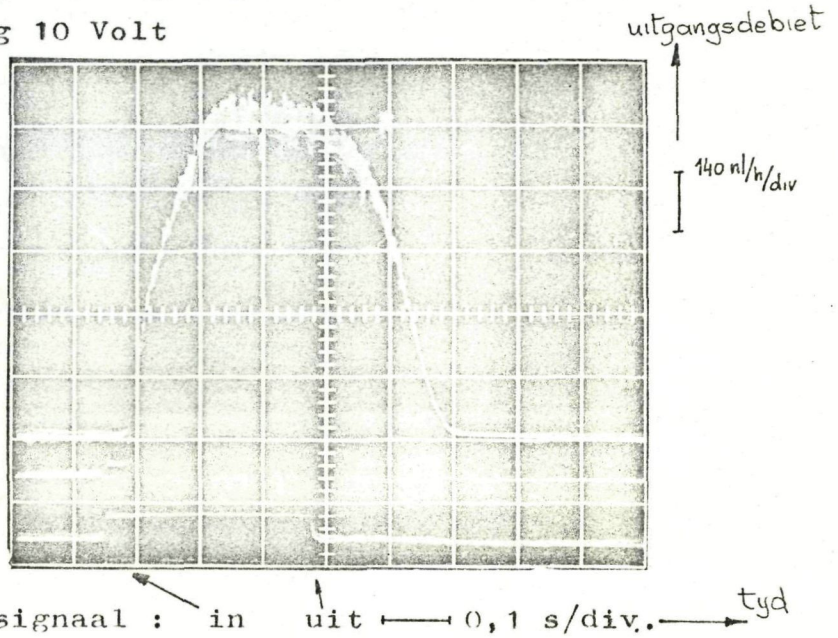
$\tau_{open}$  : 125 ms

looptijd : 60 ms

$\tau_{dicht}$  : 120 ms

looptijd : 0 ms

- 2-zijdige sprongresponsie met stuurspanning 10 Volt



Ingangssignaal : in uit  $\longleftarrow$  0,1 s/div.  $\longrightarrow$  tyd

$\tau_{\text{open}}$  : 100 ms  
looptijd : 30 ms

$\tau_{\text{dicht}}$  : 150 ms  
looptijd : 0 ms

d. De statische karakteristiek van de totale omzetter.

Er werd nagegaan in hoeverre de E-P omzetter als proportionele klep bruikbaar was met het oog op eventuele toepassingen waarbij een proportionele sturing gewenst is. Gemeten werd bij een half geopende restrictie en de resonantiefrequentie van 11.300 Hz. Het debiet werd bepaald met een rotameter aan de uitgang.



Verloop van het debiet i.f.v. de stuurspanning :

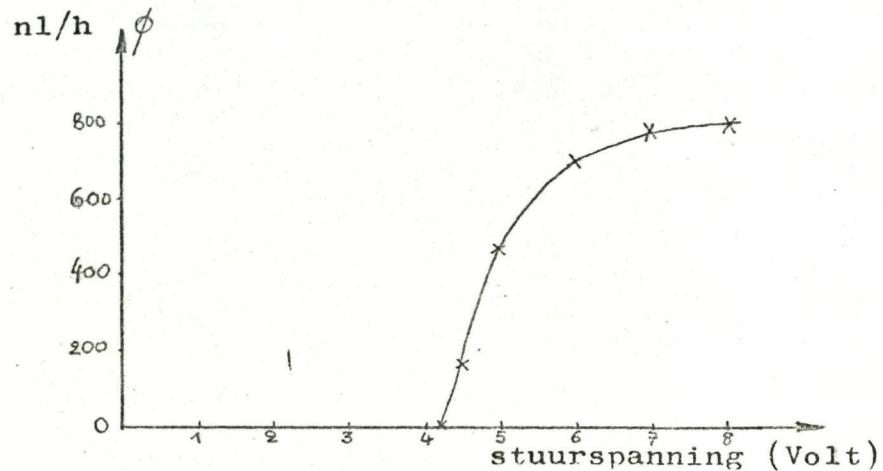


fig 22

e. Het benodigde vermogen.

Bij de verschillende stuurspanningen werd de stroom die het bimorf verbruikt opgemeten. Dit leverde ons het vereiste vermogen:

Spanning (Volt)	Stroom (mA)	Vermogen (mW)
5	4,5	22,5
8	6,5	52,0
10	8,0	80,0

*belasting is niet thuis  
Vermogenfuldigheid is niet toegestaan  
Dit zijn V.H.*

Ten slotte werd het klepgedrag bepaald bij gelijkspanningsturing. De gelijkspanning werd sprongvormig aangebracht en de E-P omzetter werkte hierbij vanaf 50 Volt = met een gemiddeld stroomverbruik van 2,4 mA wat resulteert in een benodigd vermogen van 120 mW.

*lekkervast?*

f. De invloed van de rubberhardheid van de afstelafdichtringen.

De "buna"afstel-afdichtringen met hardheid 65° Shore werden vervangen door "adiprene" afdichtringen met hardheid Shore 95°. Dit leverde nagenoeg dezelfde klepkarakteristieken op maar wel bij een hogere resonantiefrequentie nl. ca 14.000 Hz.

g. De slijtage van het kleprubber.

Bij demonteren van de klep na ca 3 bedrijfsuren was geen beschadiging waarneembaar. Ter plaatse van tuitafdichting was een gave en geringe indrukking te zien.

7.6. Konklusies.

- a. De werkfrequentie van 11.000 Hz is duidelijk hoorbaar en is lager dan bij de proefklep het geval was. Dit is te wijten aan de veel lagere stijfheid van de inklemming (65° Shore rubber) t.o.v. de eerder behandelde proefklep. Het voordeel van een onhoorbare werkfrequentie werd hier spijtig genoeg geruimd voor een eenvoudige klepafstelbaarheid. De poging om deze werkfrequentie te verhogen door toepassing van een hardere rubbersoort (95° Shore adiprene rubber) resulteerde in een verschuiving van de resonantiefrequentie naar 14.000 Hz. Dit lag nog binnen de gehoorgrens zodat naar andere oplossingen, met nog stijvere



inklemming, gezocht dient te worden wil de werkfrequentie voldoende onhoorbaar zijn, zoals dit bij de proefklep het geval was.

- b. De gewenste totale responsiesnelheid ( $\tau < 100$  ms) wordt net niet bereikt bij de stuurspanning van 8 Volt maar wel ruimschoots bij 10 Volt ( $\tau = 75$  ms).

De snelheid waarmee de klepuitgang het elektrische ingangssignaal volgt is zeer bevredigend, gezien de toepassing van de voorstuurklep-restriktie configuratie. Zelfs de waarden van  $\tau_{\text{open}} = 125$  ms en  $\tau_{\text{dicht}} = 120$  ms bij een stuurspanning van 8 Volt zijn voldoende acceptabel voor prothesebesturing. In acht genomen dat aan een vrije uitgang werd gemeten kunnen deze tijdkonstanten belangrijk kleiner worden, doch steeds ten minste de tijdsduur van de aangegeven looptijden.

- c. Het vereiste vermogen was zeer laag: bv. 8 Volt 52 mW en was ruim binnen de eis.
- d. Als proportionele klep was de klep slechts binnen enge grenzen (4 en 8 Volt) te sturen waarbij deze, zeker tijdens de eerste fase (4 tot 5 Volt) een zeer gevoelige sturing vereiste. Voor proportionele sturing is de schakelklep dus ongeschikt. Een ander type hoofdklep zou dan toegepast moeten worden.

- e. De klep was goed reproduceerbaar en lek-vrij, alhoewel enkele keren nastelling nodig was door de vormverandering (uitdeinen) van de onder druk staande rubberen afstelafdichtringen.
- f. De nadelen van de relaxatie en de kruip waren door de toepassing van het verenstalen membraan voor goed verdwenen. Zelfs de gelijkspanningssturing bleek goed mogelijk al is in dit geval het vermogen (120 mW) belangrijk hoger.
- g. De restrictie in labyrintvorm voldeed volledig aan de verwachtingen en kon zeer nauwkeurig afgesteld worden.

Hoe?



BESLUIT

Als gevolg van de verschillende proeven en metingen om tot een elektro-pneumatische omzetter te komen met o.a. laag stuurvermogen, voldoende responsiesnelheid, laag gewicht, reproduceerbaar gedrag ... is een omzetter geboren met volgende eigenschappen :

- stuurvermogen : 22,5 tot 80 mW afhankelijk van de stuurspanning en gewenste responsiesnelheid
- minimale stuurspanning : 5 Volt (blokvormig)
- responsiesnelheid :  $\tau = 75$  (bij 10 Volt) tot 120 ms (bij 5 Volt)
- ~~gewicht~~ <sup>massa</sup> : 5 gram (waarvan de schakelklep 1,3 gram)
- afmetingen : (zonder schakelklep  $\phi$  6 x 6 mm)  
15 x 15 x 7 mm
- stuurfrequentie : 11.000, 14.000 Hz (afhankelijk van de stijfheid van de inklemming)
- maximum uitgangsdebiet :  $\phi = 800$  nl/h
- reproduceerbaar gedrag
- gelijkvormigheid in- en uitgangssignaal zeer redelijk.

Hoewel de klep hoorbaar trilt, is het geluidsniveau zo laag en de schakelduur zo kort dat geen grote hinder veroorzaakt werd. Zoals reeds aangetoond kan deze storende invloed bij toepassing van een stijvere membraaninklemming vermeden worden. Naar verwachting kan de klep nog kleiner en lichter uitgevoerd worden dan nu het geval is, daar een aantal instelmogelijkheden kunnen verdwijnen. Deze klep is zeker nog voor optimali-

*Hoe te realiseren? Voorstel?*

Deze vergelijking is ook anders mogelijk. De thermische klep is  
ook als voorstapelklep te gebruiken. Dan vergelijkbare  
resultaten

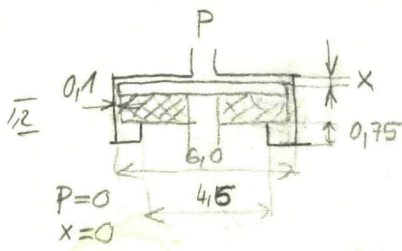


sering (eventueel via theoretische weg) vatbaar daar door de complexiteit van de desbetreffende theorieën en het gebrek aan tijd deze mogelijkheid onvoldoende benut werd.

In ieder geval is reeds een grote winst bekomen wat betreft het benodigde elektrische vermogen nl. 22,5 mW voor de piëzo-elektrische tegenover 600 mW voor de thermo-elektrische klep met daarbij nog een hoger uitgangsdebiet nl.  $\phi = 800$  nl/h tegenover 300 nl/h. De stuurspanning is zeer laag (5 à 10 Volt), zodat gunstigere perspectieven ontstaan voor batterijvoeding met laag gewicht. Een "lichtgewicht" oscillator (zie bv. appendix) completeert dan de besturingsuitrusting.

De mogelijkheden die de piëzo-keramische elementen bieden als klepmotoren voor bekrachtigde pro- en orthesen verdienen verder onderzocht te worden. Zo zou het in de toekomst zeker mogelijk kunnen zijn de nu al toegepaste pneumatische logikaelementen te vervangen door elektronische, daar het benodigde stuurvermogen van de piëzo-keramische motoren zeer gering blijkt te zijn en wellicht nog lager kan worden. Aldus kan het gewicht en de afmetingen van de besturingskomponenten belangrijk verlaagd worden en de voordelen van de sterk geminiaturiseerde elektronika benut worden.

Hopelijk is deze elektro-pneumatische omzetter een voorbode van een elektronische besturing van de pneumatisch bekrachtigde pro- en orthesen.



$$P=60 \text{ kPa} \quad x=0,05$$

$$P=600 \text{ kPa} \quad x=0,15$$

Volume zandkleef

$$\pi \cdot 6 \cdot 0,1 \cdot 1,2 = \underline{2,26} \text{ mm}^3$$

Volume vervoormte kammen

$$\frac{\pi}{4} (6^2 - 4,5^2) \cdot 0,75$$

$$= \frac{\pi}{4} 10,5 \cdot 0,75 =$$

$$= \pi \cdot 5,3 \cdot 0,7 \cdot 0,75 = \underline{8,74} \text{ mm}^3$$

Schijfvolume bij 60 kPa.

$$\frac{\pi}{4} \cdot 6^2 \cdot 0,05 = \frac{\pi}{4} \cdot 36 \cdot 0,05$$

$$= \pi \cdot 9 \cdot 0,05 = \pi \cdot 0,45 = \underline{1,41} \text{ mm}^3$$

Volume verbindingkanaal

$$\left\{ \frac{\pi}{4} \cdot 1^2 \cdot 1,5 + \frac{\pi}{4} \cdot 0,5^2 (3,5 - 1,0 - 1,5) \right\}$$

$$\Rightarrow \frac{\pi}{4} (1,5 + 0,25 \cdot 1,5) = \frac{\pi}{4} \cdot 1,75 = \underline{1,37} \text{ mm}^3$$

Hein zijn al  $\ell/h$  uitgedrukt omdat do is ingevuld in plaats  $do \cdot 10^{-3}$  (moet in sek. worden ingevuld.  $\varnothing$ )

$$\approx 0,4 \ell/h \text{ in fact}$$

$$\text{Totaal volume: } 2,26 + 8,74 + 1,41 + 1,37 = 13,78 \text{ mm}^3$$

$$\text{Benodigde gasvolume } 1,5 \cdot 13,78 = 20,67 \text{ mm}^3$$

$$\text{Bij } do \text{ msec dan benodijft } \phi = 20,67 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{3600}{80 \cdot 10^{-3}} = 20,67 \cdot 45 \cdot 10^{-6} \frac{3}{h} = 20,67 \cdot 45 \cdot 10^{-3} \ell/h$$

$$\phi = 930 \cdot 10^{-3} = 0,93 \ell/h$$

Neem  $\phi = 1 \ell/h$ . Dan wordt benodijft snelheid klep  $V \left[ \frac{\text{mm}}{\text{sek}} \right]$  (bij  $p = \text{konstant}$ )

$$\frac{\pi}{4} \cdot 6^2 \cdot v \cdot 10^{-9} \cdot 3600 = 1,40 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow v = \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 36 \cdot 10^{-9} \cdot 3600} = \frac{10^6}{\pi \cdot 9 \cdot 36 \cdot 10^3} = \frac{10^3}{\pi \cdot 9 \cdot 36} = 9,82 \text{ mm/sek}$$

Schijfvolume bij 600 kPa.

$$\text{Dan slag } \phi \text{ is } 20 \text{ maal, dan } V = 3 \cdot 1,41 = 4,23 \text{ mm}^3$$

$$\text{Totaal volume } 2,26 + 8,74 + 4,23 + 1,37 = 16,60 \text{ mm}^3$$

$$\text{Benodijft gasvolume } 6 \cdot 16,60 = 99,6 \text{ mm}^3 \approx 100 \text{ mm}^3$$

$$\text{Met } \phi = 1 \ell/h \text{ vlijt hiermit } t = \frac{100 \cdot 3600}{10^6} = \underline{0,36} \text{ sekonde}$$



APPENDIX A.

Berekening van de benodigde flow ten behoeve van de schakelklep.

Het schakelkamertje van de schakelklep heeft als afmetingen :  $\phi$  6 mm

$h \approx 0,15$  mm (we kiezen 0,2 mm). ←

*onjuiste waarde. zie opgave Peter hiernaast*

De minimale aanspreekdruk is 50 k Pa.

We kiezen als maximum schakeltijd voor de schakelklep 80 ms (totale schakeltijd < 100 ms).

Het schakelvolume (bij 150 kPa absolute druk) is

$$\frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 10^{-6}}{4} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ bij } 100 \text{ kPa (absolute$$

druk) en met P.V. = konstant dus 1,5 x het volume bij 150 kPa.

*Onjuiste berekening*

Voor het opbouwen van de schakeldruk in het kamertje binnen de tijd van 80 ms. is de benodigde flow :

$$\frac{1,5 \cdot 3,14 \cdot 6^2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-9}}{4} \cdot \frac{3600}{80} \text{ m}^3/\text{h}$$

of  $\approx 0,4$  nl/h minimaal.

We kiezen voor de zekerheid (het bijkomend volume van het aanvoerkanaal meegerekend)  $\phi = 0,5$  nl/h.

*Deze berekening is opgezet om het vullen van de schakelruimte tot de aanspreekdruk. Dit is niet juist:*

- 1<sup>o</sup> omdat tijdens de schakelweg de druk in de schakelkamer moet oplopen van 50 kPa tot 600 kPa
- 2<sup>o</sup> omdat slechts met een deel van de schakelruimte is gerekend.

Reële tijd

A- De voortplantings tijd te berekenen met het schakelvolume bij het begin van de slag (overeenkomende met de aanspreekdruk). (zie pag 56)

Dit is hiernaast gedaan. Zij valt kort de voortstuwklep  $\approx 1 \text{ cm}^2$ , hierbij zou behoeven een tijd van 80 ms. Gemiddeld wordt echter  $t_v \approx 20 \text{ ms}$  (pag 58).

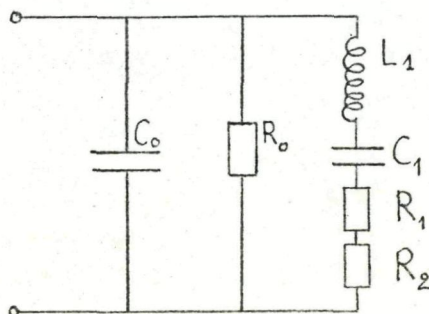
Waarschijnlijk is het zo dat door de mechanische spanning op het rubber dat uitgedrukt is tegen de wand waardoor bij lage drukken (< 50 kPa) de onvormige kamers in openloten.

B- de max tijd te berekenen met het vullen van de schakelkamer aan het einde van de slag (overeenkomende met vullingsdruk)

Dit is hiernaast berekend. De berekende  $t_{v \text{ max}} = 0,36$  sec komt redelijk overeen met de metingen (pag 58). Waarschijnlijk wordt bij hogere drukken de zijwandafsluiting opgeheven.

APPENDIX B.

Het vervangingsschema van een bimorf element geactiveerd in de buurt van zijn resonantiefrequentie:



Hierbij is :  $C_0$  = de capaciteit van het kristal of beter de capaciteit van een condensator waarvan het diëlectricum eenzelfde permittiviteit bezit als het kristal.

$R_0$  = de weerstand die de diëlektrische verliezen weergeeft. (De zeer hoge waarde van  $R_0$  leidt in de meeste gevallen tot verwaarlozing.)

De derde tak geeft het dynamisch gedrag weer met :

$L_1$  = zelfinductie, proportioneel met de massa van het kristal.

$C_1$  = capaciteit, proportioneel met de kompliantie.

$R_1$  = de weerstand waarin zich de energie dissipeert gelijk aan de uitgestraalde energie.

$R_2$  = de weerstand die de mechanische verliezen in het materiaal weergeeft.



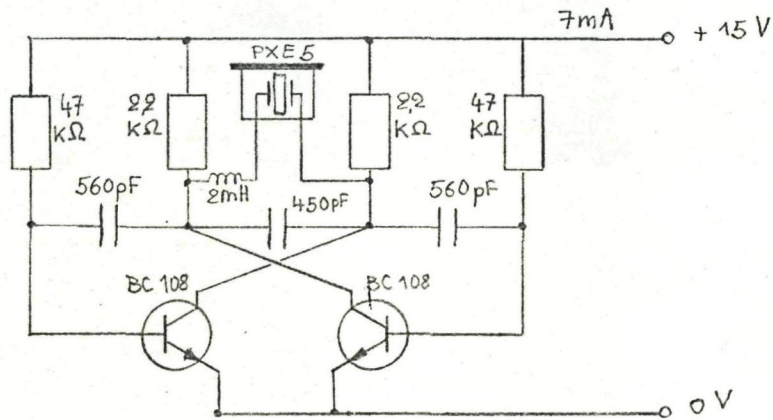
De serie- en parallelresonantie worden nu benaderend weergegeven met de formules :

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}$$

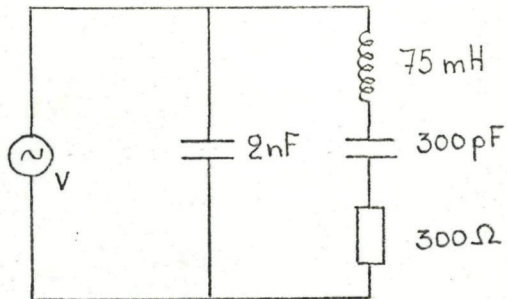
$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_0 + C_1}{L_1 C_0 C_1}}$$

APPENDIX C.Elektrische sturing proefklep (Hfst. 5).

- experimentele multivibratorkring :



- vervangingschema piëzo-keramische klep :

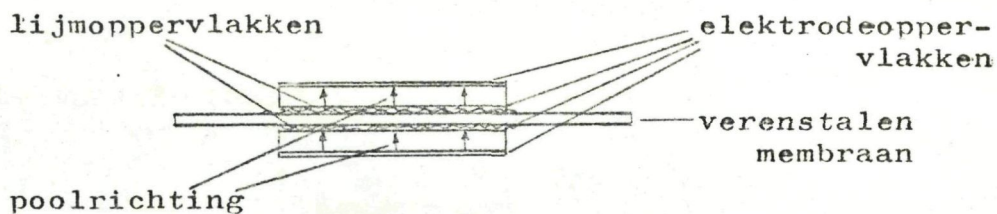




APPENDIX D.Het vervaardigen van het membraanbimorf (parallel).

Met behulp van de in de handel verkrijgbare PXE5 schijfjes piëzo-keramisch materiaal kon vrij eenvoudig een bimorf element, in samenstelling met een metalen membraan, gebouwd worden.

Na het ruwen en het ontvetten van de desbetreffende lijmoppervlakken (de met zilver opgedampte elektrodeoppervlakken van de schijfjes en de membraanoppervlakken) kon worden gelijmd. De gebruikte lijm was Saba twee-komponentenlijm, die goede mechanische eigenschappen bezit. De ruwheid van beide oppervlakken was vereist voor het elektrisch contact tussen membraan- en elektrodevlakken dat wordt bereikt door opstaande braampjes die door het ruwen zijn ontstaan. Deze zijn nl. in staat, door het lijmvlak heen, elektrisch contact met elkaar te maken.



Voor de nauwkeurige positionering van de beide piëzo-keramische plaatjes t.o.v. elkaar werd gebruik gemaakt van een lijmmalletje.

GEBRUIKTE APPARATUUR.

<u>Naam</u>	<u>Laborato- rium nr</u>	<u>Fabrikaat</u>	<u>Type</u>
Analoge bouwdoos	CBP02/Mu106/ OPT25		
Anemometer	E 779	Disa	55A01
Dig. Multimeter	E 1193	Philips	PM2421
Dig. Teller	E 1214	Venner	TSA6636/ 2M
Freq. Generator	E 1307	Wavetek	Model 133
Linearizer	E 779B	Disa	55D10
M.D. pick-up element		Audio Technica	AT55
Meetbrug	E 955	Hottinger	KWS/T-5
Oscilloscope	E 1158	Tektronix	700454
Rotameters	H 50	Rota	LO,025/1,9- 433
	H 49	Rota	L63/2400 - 7729
Voeding	E 1287	Delta	EO300-0,1

GEBRUIKTE SYMBOLEN.

A, B	piëzo-elektrische konstanten
C	veerconstante
D, D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , $\phi$	diameter
F	kracht
h	hoogte
l	lengte
P, P <sub>st</sub> , P <sub>c</sub> , P <sub>o</sub> , P <sub>s</sub>	gasdruk
, c	debiet
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub>	dikte
V	elektrische spanning
X	verplaatsing
$\tau$	tijdkonstante

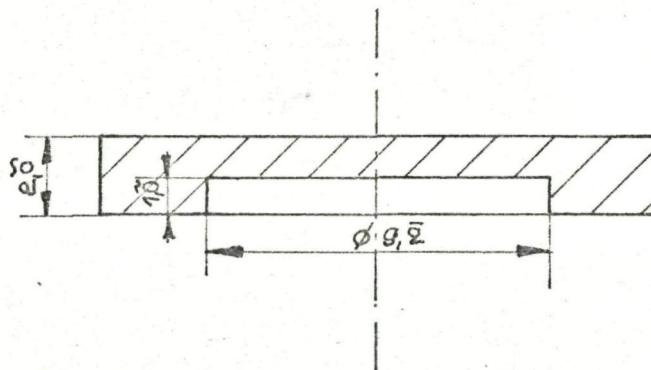
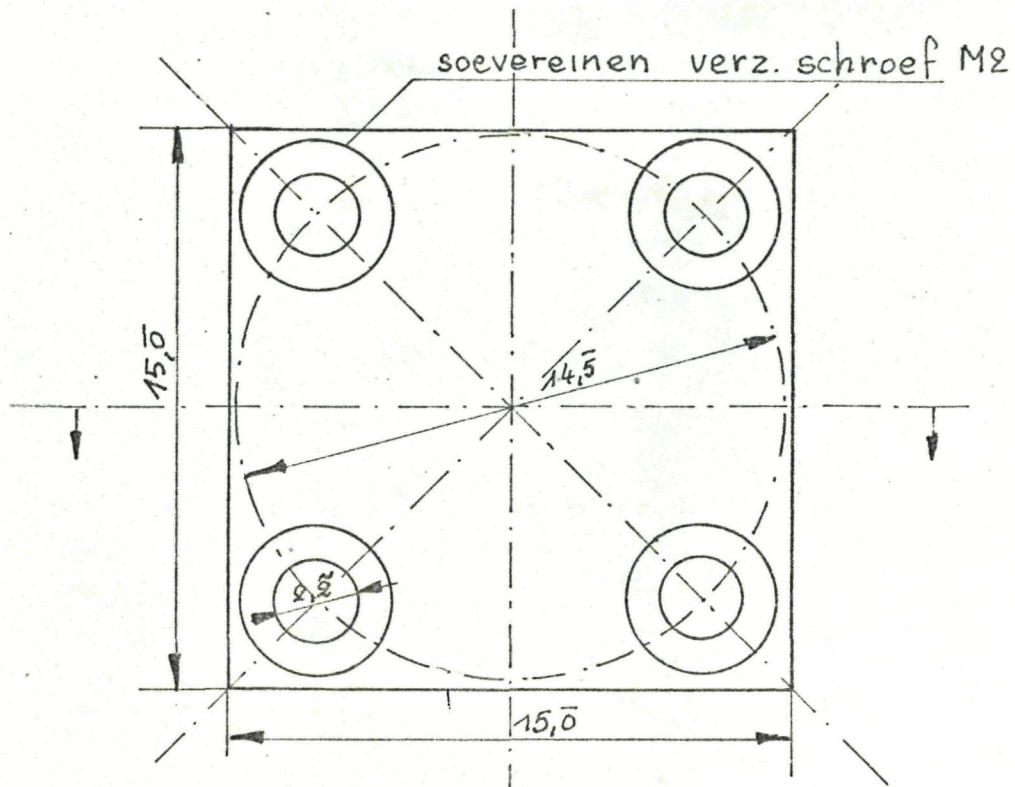


LIJST VAN GERAADPLEEGDE LITTERATUUR.

- 1 - Budig P.-K., KDT, "Piezoelektrischer Relais"  
Elektrie 27 1973, p. 427 - 430.
- 2 - Cool J.C. en Pistecy P.V. "A miniature gas-  
pressure valve" Medical and Biological Engineering,  
Nov. 1973 p. 771 - 779.
- 3 - Cool J.C., Schijff F.J., Viersma T.J. "Regeltechniek"  
Agon Elsevier Amsterdam/Brussel, 1969.
- Keunig D.H. "On the theory of incomplete, piezo-  
electric bimorphs with experimental verification"  
R.U. Groningen 1970.
- Lenk A prof. dr. ing. "Elektromechanische Systeme  
I & II" VEB Verlag Technik Berlin, 1971.
- Mason Warren P., Ph. D. "Elektromechanical Trans-  
ducers and Wave Filters", D. Van Nostrand Company  
Inc. 1958.
- Palmans, "Piëzo électricité, Théorie et Pratique"  
Ed. Palmans, Leuven 1946.
- Philips Application Book, "Piezoelectric Ceramics"  
Philips Eindhoven, 1974.
- Pistecy, P.V. "Optimalisatie van een elektro-  
thermische klep", afstudeerverslag A-184,  
T.H. Delft, 1974.
- Quartz & Silice, "Céramiques Ferroélectriques"  
Paris, 1972.
- Roark, R., "Formulas for Stress and Strain".
- Roodbergen S., "Onderzoek naar middelen ter ver-  
mindering van het elektrisch stuurvermogen bij  
een elektro-pneumatische omzetting", afstudeer-  
verslag A-184, T.H. Delft, 1970.

- Technisch Repertorium II, Elsevier, Amsterdam/  
Brussel, 1961.





1

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

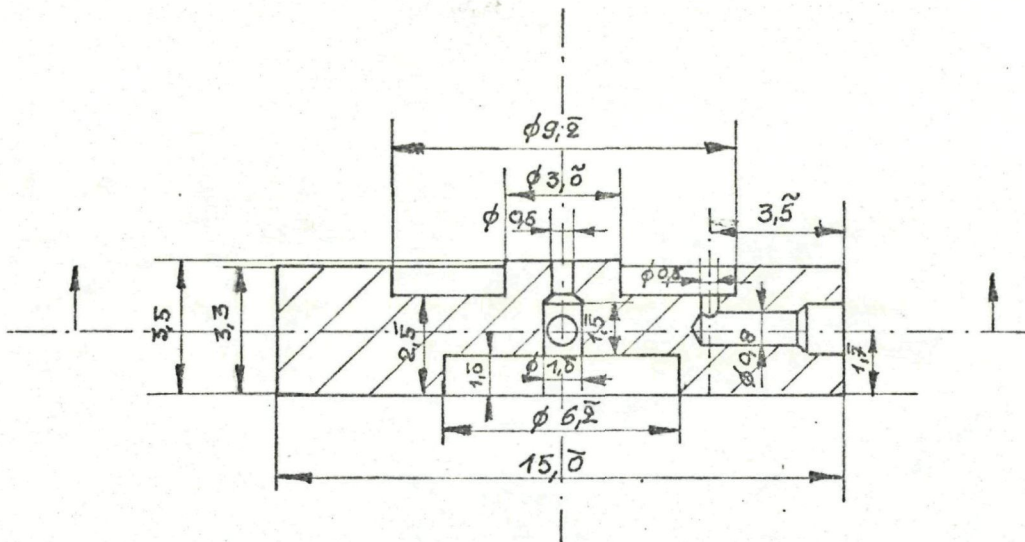
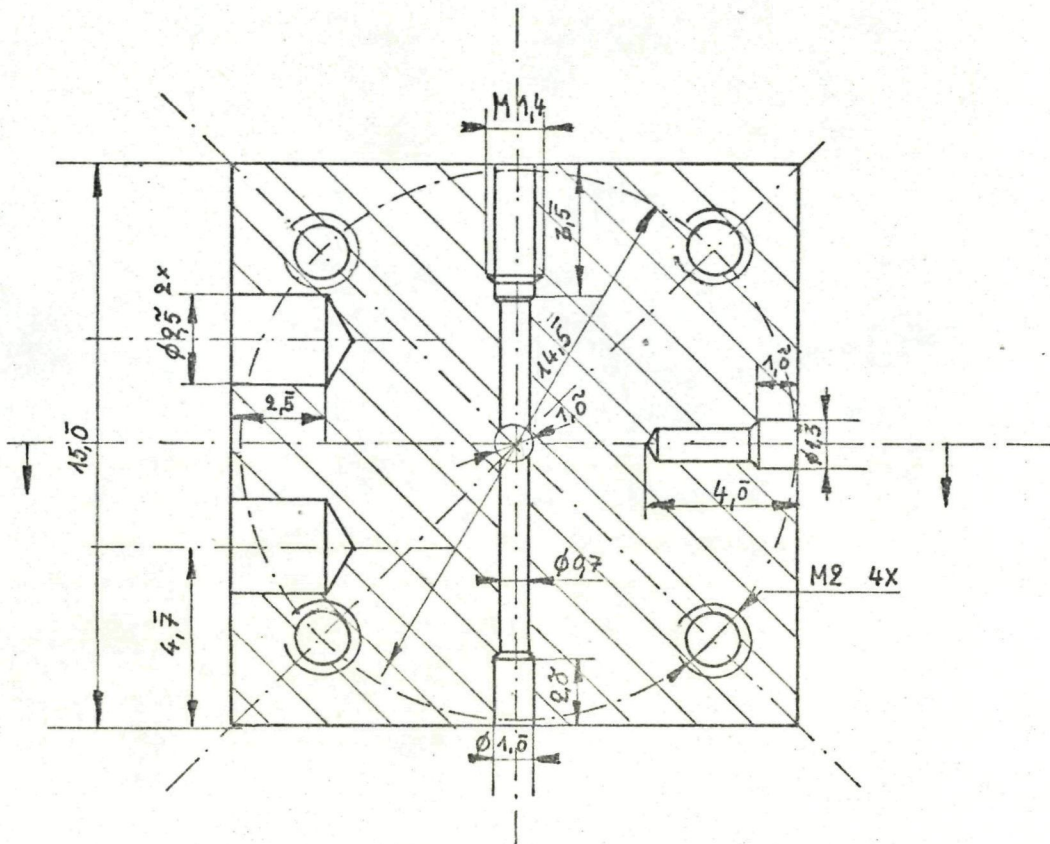
Deksel

Get.: V. Hooreweder  
Dat.: 30-1-75  
Schaal: 5:1

Gecontr.:

Mat.: AL

Nr.: A-195-1



2

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

Klephuis

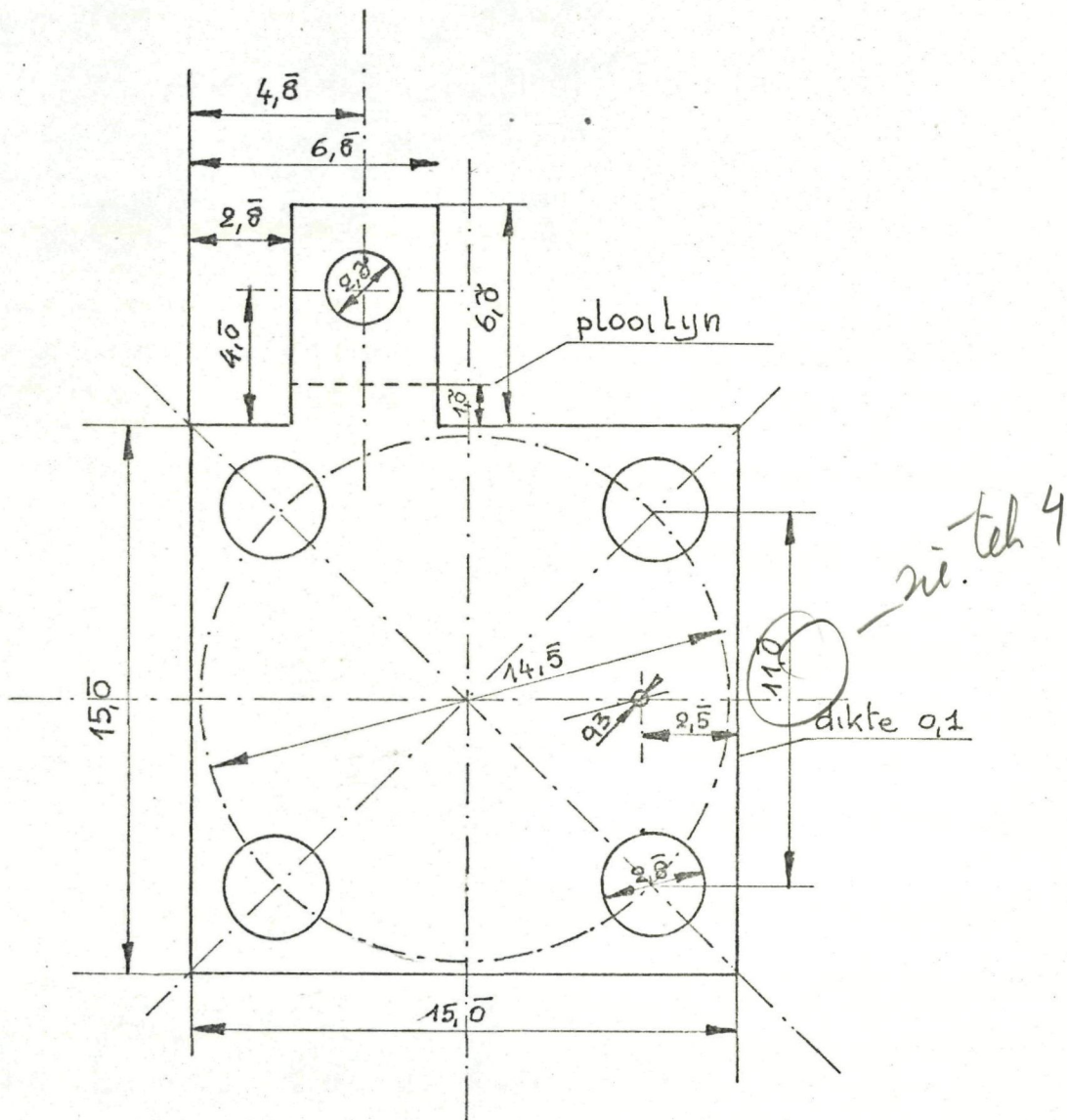
Get.: V. Hooreweder  
Dat.: 30-1-75  
Schaal: 5:1

Gecontr.:

Mat.: AL

Nr.: A-195-2





3

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

klepmembraan

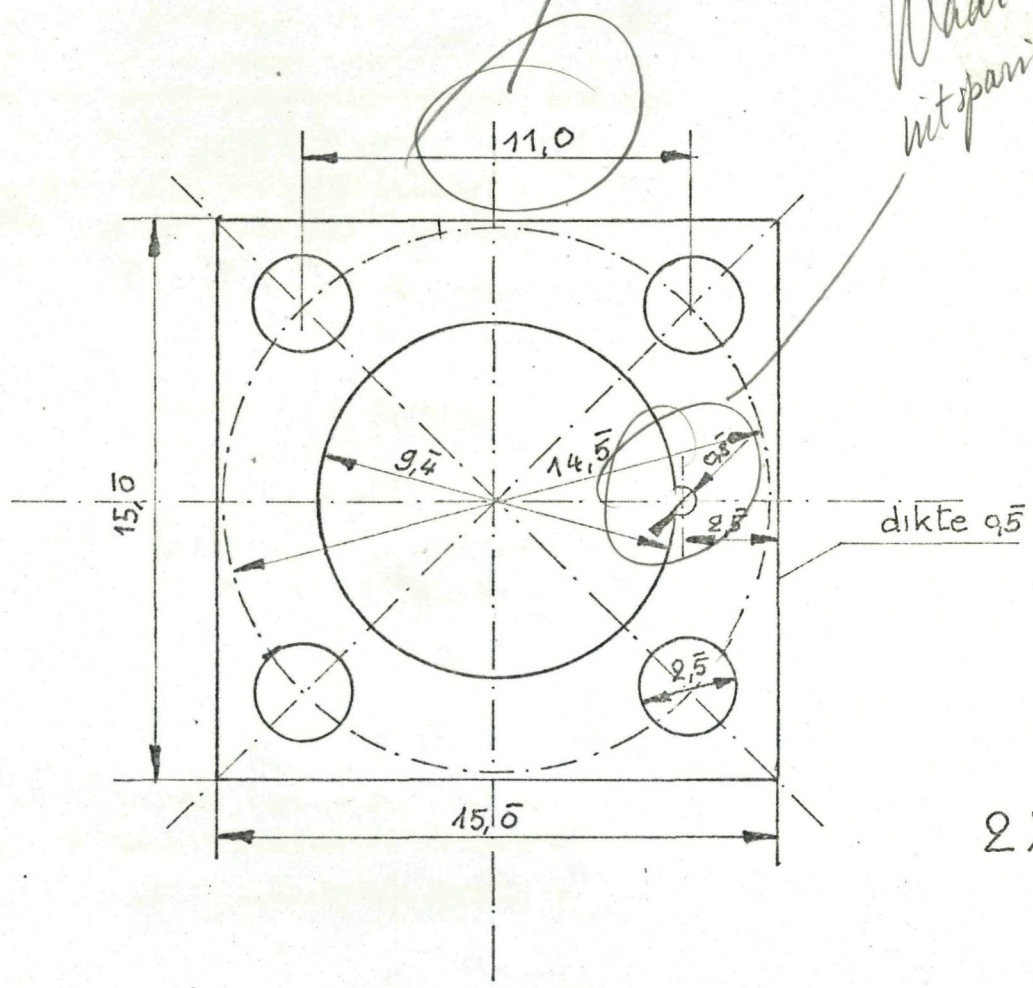
Get.: V. Hooreweder  
Dat.: 30-1-75  
Schaal: 5:1

Gecontr.:

Mat.:  
verenstaal  
Nr.: A-195-3

*aan met*  
 $\frac{14,5}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{10,253048}}$

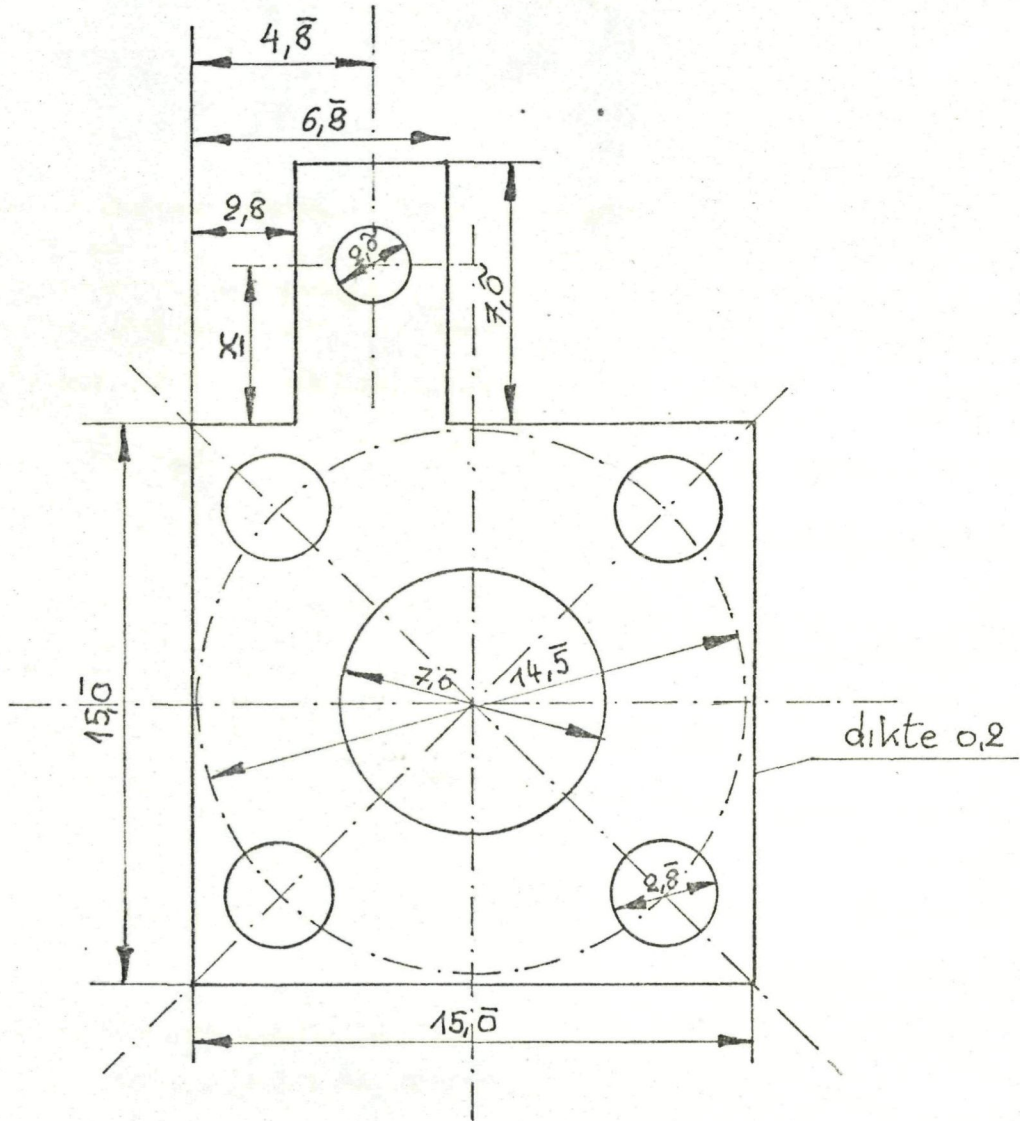
*Waar is deze uitspanning voor*



4

TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft	Afstemmembraam	Get. v. Hoorewer der Dat.: 30-1-75 Schaal: 5:1	Gecontr.:	Mat.: rubber sh 55° Nr.: A-195-4
--	----------------	---	-----------	--

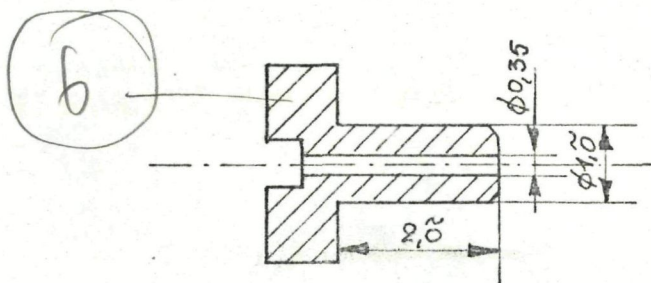
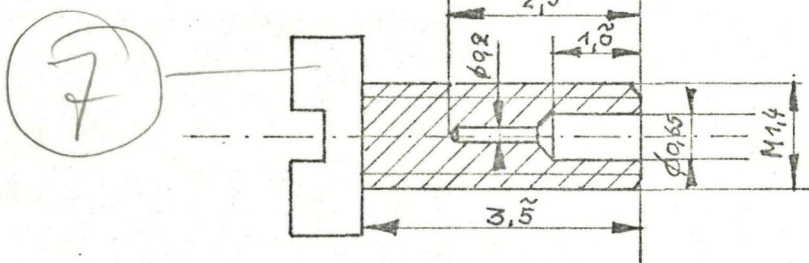




1 x met  $x = 3$   
 1 x met  $x = 4$

5

TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft	Kontaktring	Get.: V. Hooreweder Dat.: 30-1-75 Schaal: 5:1	Gecontr.:	Mat.: Messing Nr.: A195-5
--	-------------	---	-----------	------------------------------



6

7

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

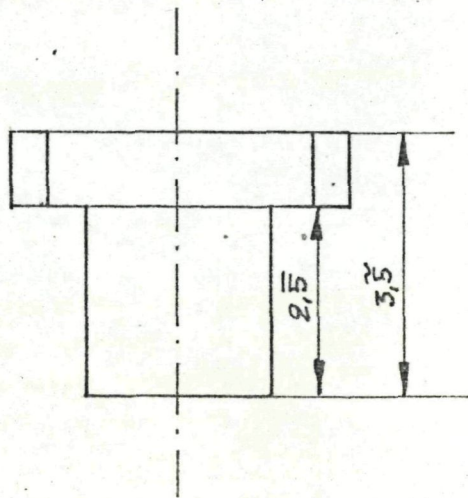
kapilairstelschroef  
Afsluitprop

Get.: V. Hoorewe  
der  
Dat.: 30-1-75  
Schaal: 10:1

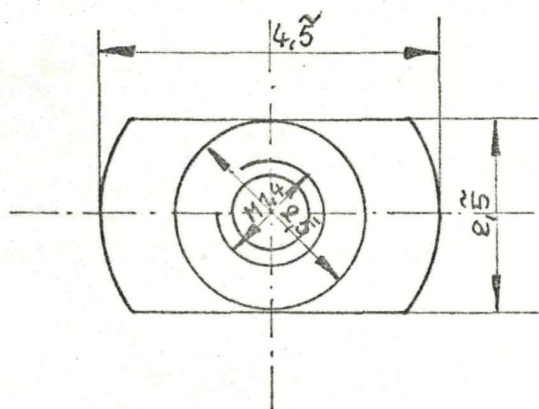
Gecontr.:

Messing cil.  
Mat.: kop Schroef  
M1,4  
Nr.: A-195-  
6/7



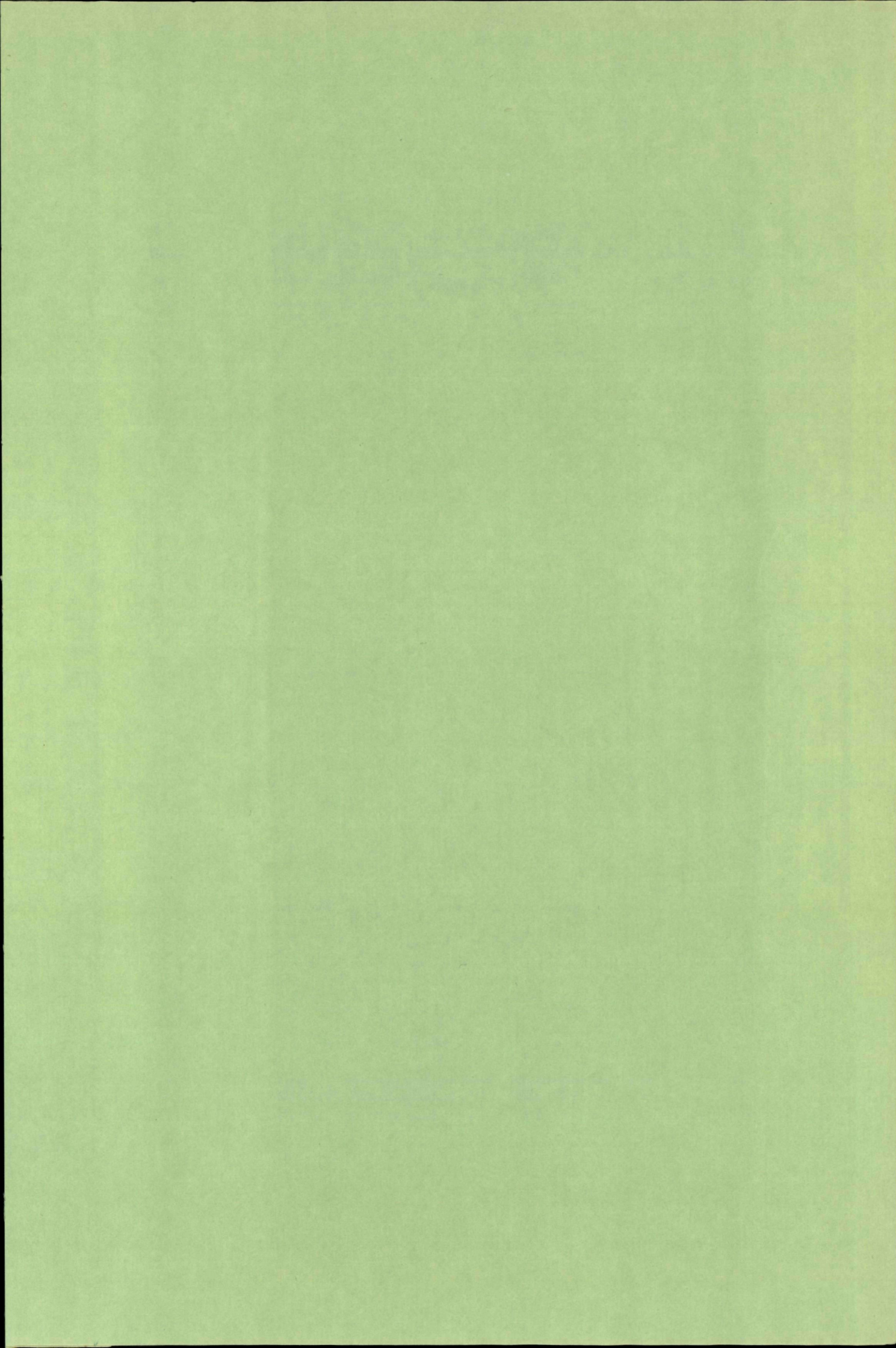


2X

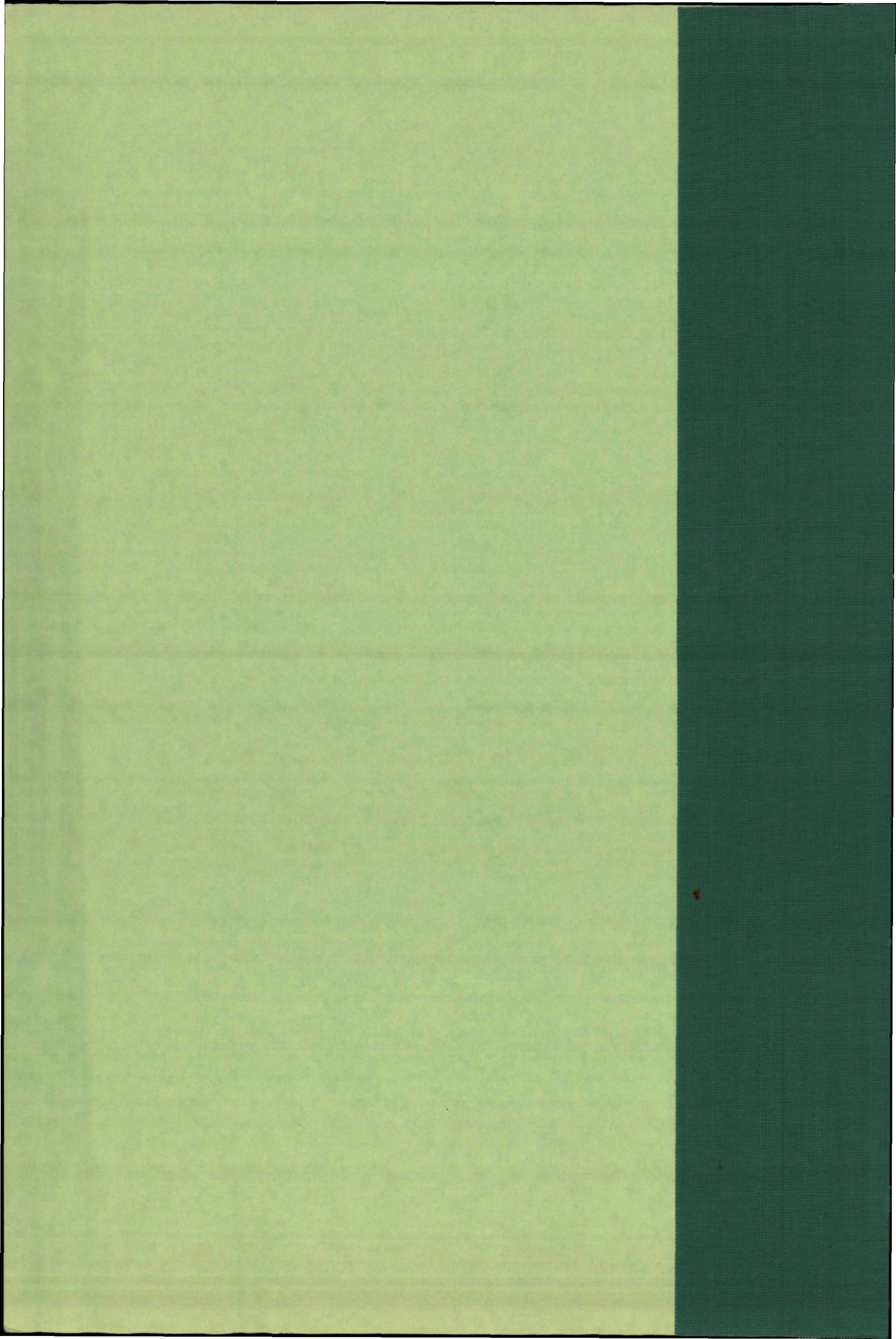


11

TECHNISCHE HOGESCHOOL Laboratorium v. Werktuigkundige Meet- en Regeltechniek Mekelweg 2 - Delft	Spanningsbus	Get.: V. Hoorewe Dat.: 30-1-75 Schaal: 10:1	Gecontr.:	hard Mat.: PVC
				Nr.: A-195- 8

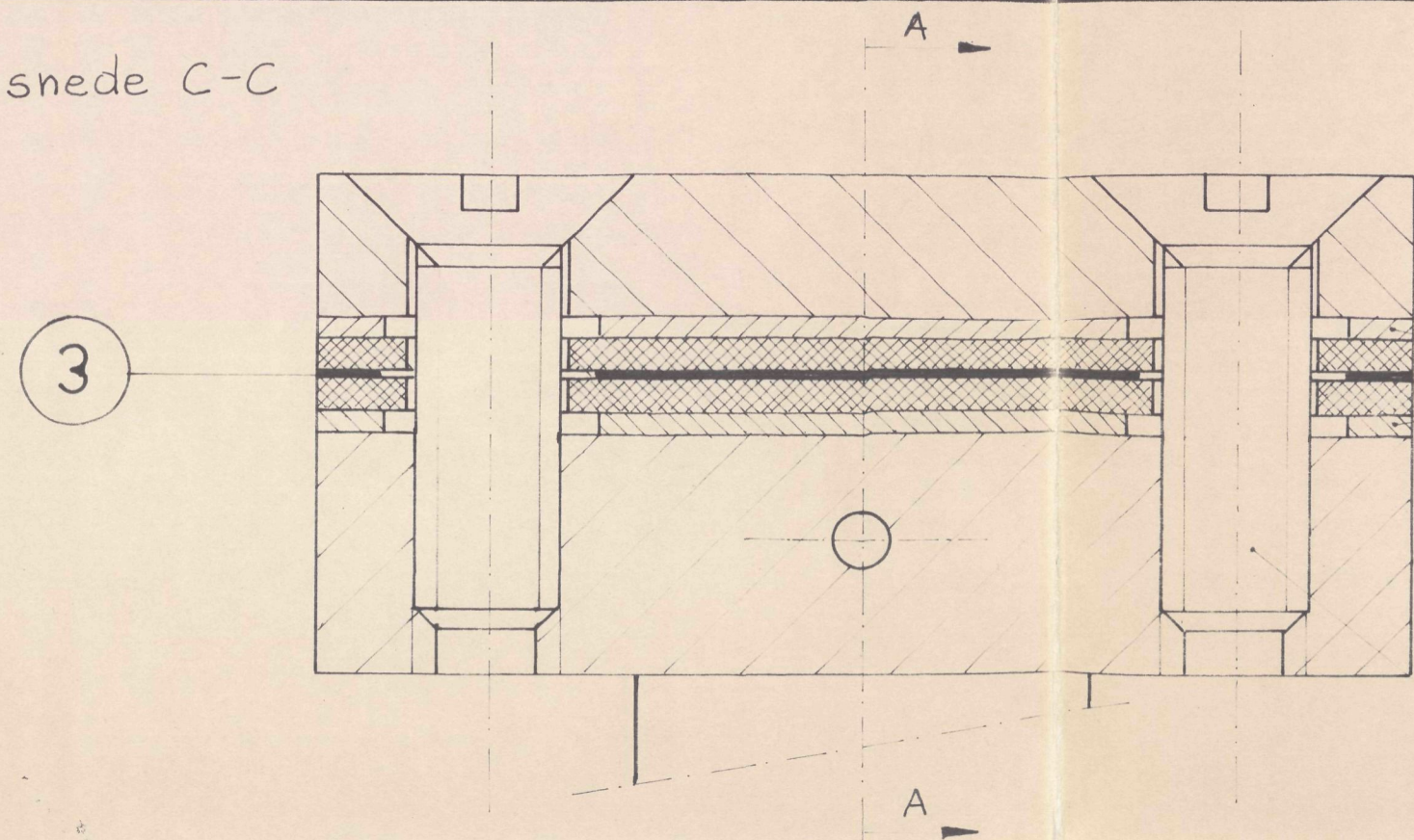




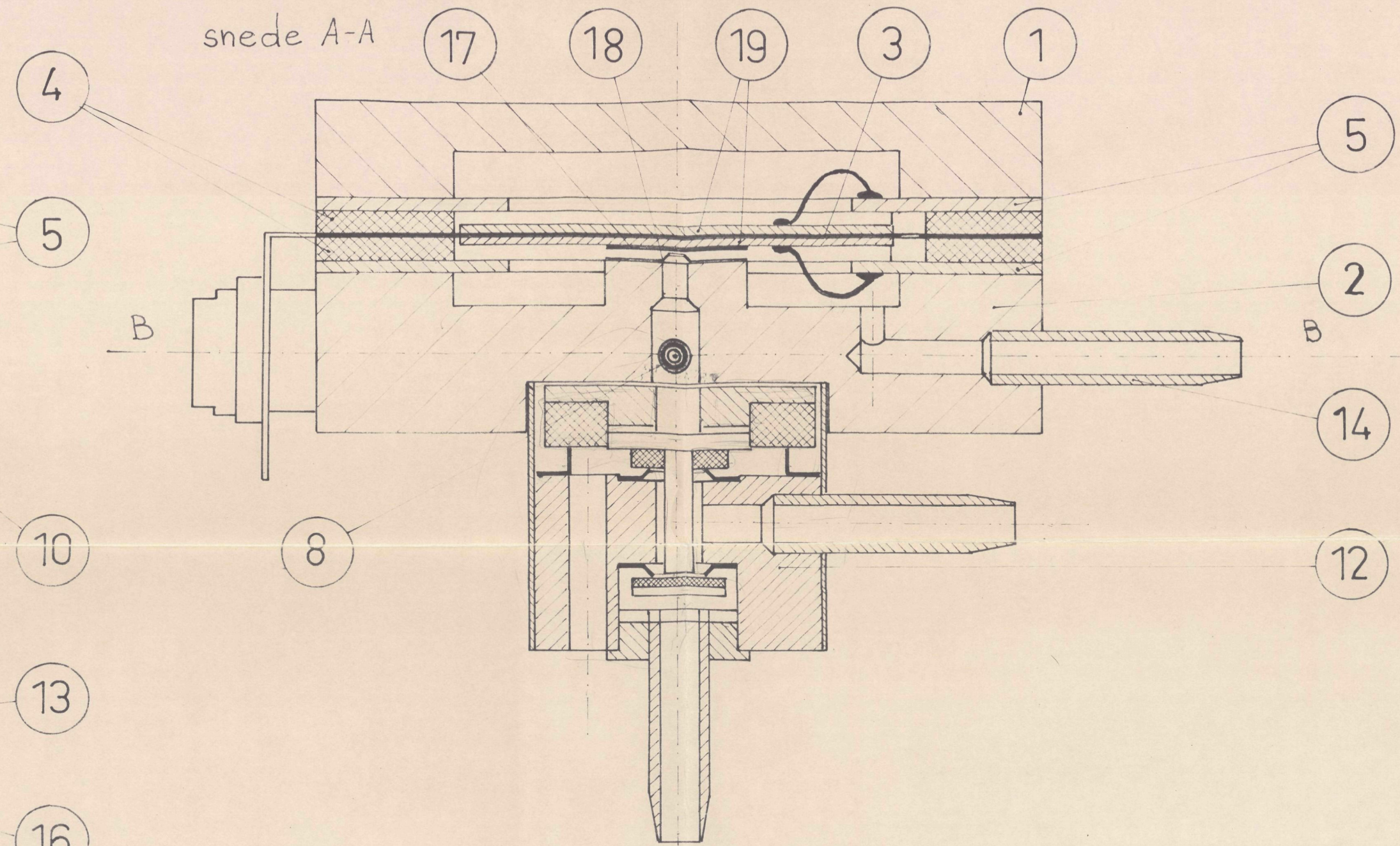




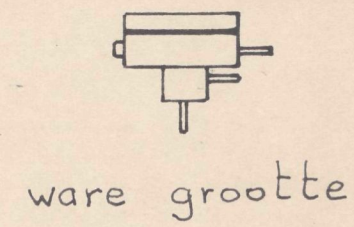
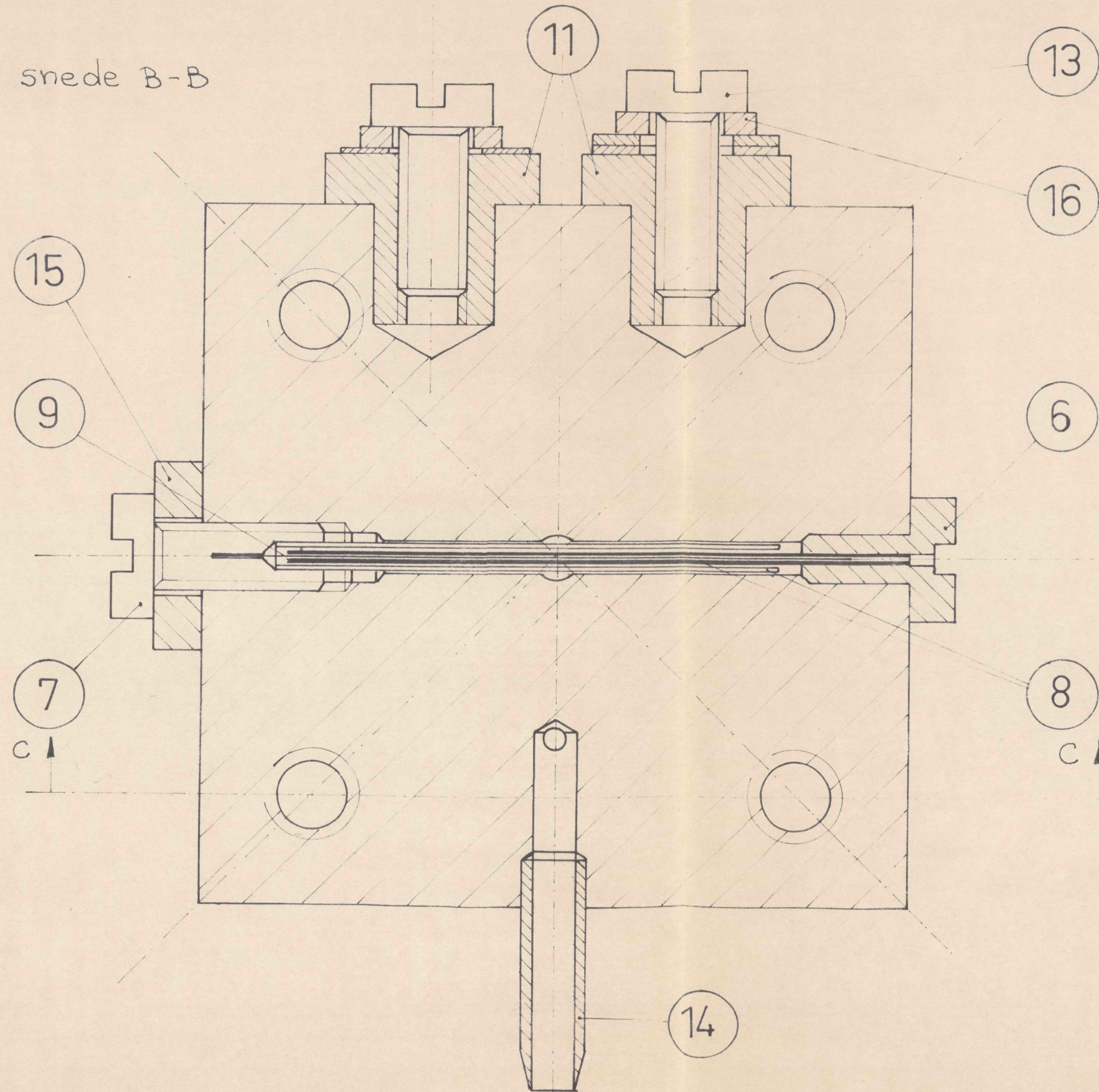
snede C-C



snede A-A



snede B-B



Aan-tal	Stuk-nr.	Benaming	Materiaal	Tek. nr.	Opmerkingen
2	19	piezo-keramisch plaatje	PXE5		$\phi 9 \times 0,2$ fabr. Philips
1	18	tuit	messing		$\phi 0,35$ plaatdikte 0,03 mm
1	17	kleprubber	buna		75° Sh. $\phi 3 \times 0,09$ mm
2	16	sluitring	messing		$\phi 1,6 \times 3 \times 0,5$ mm
2	15	afdichtring	buna		55° Sh $\phi 1,6 \times 4 \times 1$ mm
1	14	aansluitnippel	R.V.S.		$\phi 0,8 \times 1,3 \times 5$ mm
2	13	schroef	messing		cil.kop M 1,4 x 4 mm
1	12	schakelklep		72-5-00	
2	11	spanningsbus	PVC hard	A-195-8	persverbinding
4	10	klemschroef	messing		verz.kop M 2 x 5 mm
1	9	staaldraad			$\phi 0,14 \times 13$ mm
2	8	labyrintpijpes	R.V.S.		$\phi 0,60 \times 0,35 \times 19,5$ en $\phi 0,3 \times 0,15 \times 13$
1	7	kaplairstelschroef	messing	A-195-7	uitel.kop M 1,4
1	6	afsluitprop	messing	A-195-6	
2	5	kontaktring	messing	A-195-5	
2	4	afstelmembraan	buna	A-195-4	55° Sh.
1	3	klepmembraan	Verenstaal	A-195-3	
1	2	klephuis	AL	A-195-2	
1	1	deksel	AL	A-195-1	

Schaal	10 : 1	Datum	10 = 10 ± 0,5 10,0 = 10 ± 0,2 10,0 = 10 ± 0,1 10,0 = 10 ± 0,05 10,00 = 10 ± 0,02 10,00 = 10 ± 0,01	Projectie	
Getekend	Van Hooreweder G.J.O.	20-1-75			
Akkoord werkgr.	Instrumenten				
Gezien					

Benaming  
**Piezo-elektro-pneumatische Omzetter**

TECHNISCHE HOGESCHOOL Lab. voor werkt. meet- en regeltechniek Stevinweg 1 Delft Tel. 3 32 22 toestel 64 00	Formaat	Tekeningnummer
	A2	A-195-0
Auteursrecht voorbehouden	Verslag blz.	