

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

LABORATORIUM VOOR
WERKTUIGKUNDIGE MEET- EN REGELTECHNIEK

<i>Cumtuchief</i>	8
<i>afsludeeswoord</i>	7
<i>rapportage</i>	6
<i>mondeling</i>	7
<i>lindcijfer</i>	7

Schrijver: A. Harrewijne

Titel: De ontwikkeling van een miniatuur
pneumatisch logika-element met kleppen.

Rapport nr.: A-63

Datum: januari 1968

Samenvatting: Als voortzetting van de activiteiten in de pneumatische logika van het laboratorium voor meet- en regeltechniek is een miniatuur logika-element geconstrueerd en gefabriceerd.

De benodigde onderdelen kunnen met eenvoudige middelen vervaardigd worden. De noodzakelijke hoge nauwkeurigheid kan zonder veel moeite verkregen worden. De zeer nauwkeurige onderlinge afstand van de kleppen wordt bereikt met een bijzondere montagemethode.

Het element heeft één bewegend onderdeel. De massa van dit kleplichaam is 5 mgr. Het volume van het prototype zonder aansluitingen en dergelijke is 100 mm³.

De schakeltijd is 1 millisek. In een schakeling met gelijksoortige elementen is de schakeltijd evenwel 2 millisek., als gevolg van de interactie tussen de elementen.

Het element is in principe geschikt voor iedere voedingsdruk. De kleinste schakeltijden treden echter op in het gebied van 100 tot 300 mm Wk. De Fan-Out van het prototype bedraagt 3.

Tijdens de levensduur van 3 à 4 miljoen schakelingen is het element zeer betrouwbaar.

Totaal aantal pagina's: 64

Aantal pagina's bijlage: 4

5e jaars opdracht voor de heer A. Harrewijne, Kon. Emmalaan 104,
Delft.

Gevraagd wordt de mogelijkheden te onderzoeken voor de constructie van een pneumatisch logica-element met bewegende delen voor extreem lage drukken.

De principiële opbouw is gedacht te bestaan uit twee gekoppelde zwevende plaatklepjes met ongelijke effectieve oppervlakten. Het laat zich aanzien dat hiermede een element met minimaal luchtverbruik kan worden gebouwd zonder dat hierbij membranen behoeven te worden gebruikt. Tevens zal dan een klep met minimale bewegende massa zijn gerealiseerd.

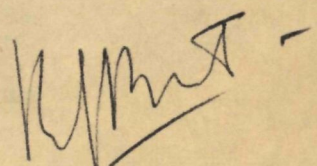
Bij het ontwerp aandacht te geven aan de volgende punten:

1. Goede afdichting van de klep in gesloten toestand. Wellicht is het noodzakelijk enige inleidende metingen te verrichten teneinde optimale vorm van klep en zitting te bepalen.
2. Opbouw zo mogelijk in lagen.
3. Aansluitverbindingen van het element aan één zijde. Eventueel geïntegreerd met de elementconstructie.
4. Tenminste 2 ingangssignalen, liefst meer.
5. Indien mogelijk constructie-materialen met een beperkt temperatuurgebied verkrijgen. Alternatieve mogelijkheden voor andere bedrijfscondities beschouwen.
6. Voedingsdruk maximaal 100 mm W.K.
7. Te streven naar minimale afmetingen. Wellicht is het mogelijk voor de grootste discus een diameter van ca. 3 mm aan te houden.

Aan het te realiseren prototype de navolgende metingen te verrichten:

1. Luchtverbruik in statische toestand en per schakeling.
2. Afhankelijkheid van positionering in de ruimte.
3. Maximaal bereikbare frequentie.
4. Statisch en dynamisch gedrag bij lagere voedingsdrukken.

Delft, 31 oktober 1966.


Prof.Ir. R.G. Boiten.

Inhoud:

Opdracht.	
Inhoud.	blz.
1. Kritische beschouwing.	A-63-5
1.1. De uit te voeren logische operaties.	A-63-5
1.2. Overige eisen.	A-63-9
1.3. Samenvatting.	A-63-9
2. Uitvoering van de kleppen.	A-63-10
3. Fabricage van onderdelen bij kleine afmetingen.	A-63-11
4. Keuze van de afmetingen en de slag.	A-63-12
4.1. Schakeldruk en Fan-Out.	A-63-12
4.2. Afmetingen van de bollen.	A-63-14
4.3. Afmetingen van de overige delen.	A-63-14
4.4. Bepaling van de slag.	A-63-15
5. Prototypes van de inverter; diode.	A-63-16
5.1. Prototype no.1.	A-63-16
5.2. Prototype no.2.	A-63-20
5.3. Prototype no.3.	A-63-23
5.4. Diode.	A-63-25
6. Metingen.	A-63-26
6.1. Controle van de afmetingen.	A-63-26
6.2. Statische metingen.	A-63-27
6.3. Dynamische metingen.	A-63-31
7. Berekeningen.	A-63-40
7.1. Opzet van het rekenschema.	A-63-40
7.2. Stijgtijd.	A-63-41
7.3. Schakelen van open naar dicht.	A-63-43
7.4. Schakelen van dicht naar open.	A-63-45
7.5. Leeglopen van de leiding.	A-63-47
7.6. Luchtverbruik per schakeling.	A-63-49
7.7. Opgenomen vermogen.	A-63-50

	blz.
8. Slotopmerkingen.	A-63-52
8.1. Samenvatting resultaten.	A-63-52
8.2. Voortgezette ontwikkeling.	A-63-52
8.3. Conclusie.	A-63-53
9. Instrumentarium e.d.	A-63-54
9.1. Lijst van gebruikte apparatuur.	A-63-54
9.2. Gietharsen en lijmen.	A-63-55
9.3. Symbolen.	A-63-55
9.4. Constructietekeningen van prototype no.3.	A-63-56

Figuren:

1. Principe van de inverteror.	A-63-5
2. Weerstanden aan de ingang.	A-63-5
3. Plaatsing van de diodes aan de ingang van de inverteror.	A-63-7
4. Invertoren gescheiden door een diode.	A-63-7
5. NOR bestaande uit invertoren.	A-63-8
6. Diverse uitvoeringsvormen van zittingen en kleppen.	A-63-10
7. Element 1 drijft n gelijksoortige elementen aan.	A-63-12
8. Verband tussen drukverschil en volumestroom (element C).	A-63-13
9. Verband tussen Fan-Out faktor en de schakeldruk (element C).	A-63-14
10. Element met 4 ingangen.	A-63-15
11. Prototype no.1.	A-63-17
12. Principe van het vrij bewegende klepje.	A-63-16
13. Stempel voor plaatklep.	A-63-19
14. Stempel voor klepje met steel.	A-63-57
15. Opstelling voor de montage van de kleppen.	A-63-20
16. Prototype no.2.	A-63-22
17. Prototype no.3.	A-63-24
18. Diode.	A-63-25
19. Meetopstelling ,statische gegevens.	A-63-27
20. Vloeistofmanometer.	A-63-28

	blz.
21. In- en uitgangsdruk als functie van de tijd, element D.	A-63-30
22. Hystereselus, element D.	A-63-30
23. Oscillator.	A-63-31
24. Drukverloop als functie van de tijd, element C.	A-63-32
25. Hystereselus van element C in de oscillator.	A-63-32
26. Druk als functie van de tijd.	A-63-31
27. Drukverloop als functie van de tijd, element C, lage druk.	A-63-34
28. Snelheid van de oscillator als functie van de druk.	A-63-35
29. Oscillator van één element.	A-63-33
30. Rechte keten.	A-63-36
31. Meetopstelling luchtverbruik.	A-63-37
32. In- en uitgangsdruk, element G, rechte keten, 20 Hz.	A-63-38
33. Idem, 100 Hz.	A-63-38
34. Hystereselus, element C, rechte keten, 20 Hz.	A-63-34
35. Aluminiumsporen op de onderzitting.	A-63-39
36. Gelineariseerde karakteristieken van element C.	A-63-40
37. Drukverloop.	A-63-41
38. Weerstanden en capaciteiten.	A-63-41
39. Drukverloop voor en tijdens het schakelen.	A-63-44
40. Afgelegde weg, snelheid en versnelling van de klep	A-63-46
41. Weerstanden en capaciteiten.	A-63-47
42. Drukverloop tijdens en na het openen van de klep.	A-63-48
43. Grafiek opgenomen vermogen-schakeltijd.	A-63-51
44. Voorstel lichtere klepconstructie.	A-63-53

Tabellen:

I. Statische gegevens van de serie elementen A t/m G.	A-63-29
II. Luchtverbruik van de elementen.	A-63-37

1. Kritische beschouwing van de eisen, teneinde globaal vast te stellen wat er gemaakt dient te worden.

1.1 De uit te voeren logische operaties.

Het te construeren element moet de NOR-operatie kunnen uitvoeren. Deze operatie kan in twee delen gesplitst worden.

- a. De Niet-bewerking.
- b. De Of-bewerking.

1.1.a De Niet-operatie.

In de opdracht is al aangegeven, hoe deze operatie in principe uitgevoerd moet worden: twee klepjes van ongelijk effectief oppervlak (zie fig. 1).

Men kan op dit principe nog wel andere uitvoeringsvormen bedenken, maar daar zal dit verslag zich niet mee bezig houden.

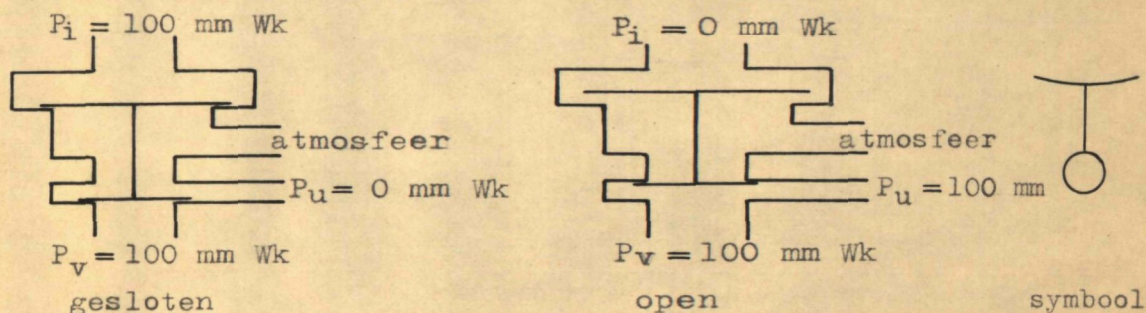


fig.1, principe van de invertor.

1.1.b De Of-bewerking.

De Of-bewerking komt tot stand wanneer uit een aantal aangeboden signalen a, b, c, - - - -, n een signaal s ontstaat, zodanig dat $s = a + b + c + \dots + n$.

Wanneer we dit op eenvoudige wijze willen doen met pneumatische elementen, dan kan dit op twee manieren:

- a. met behulp van weerstanden.
- b. met behulp van diodes.
- c. met een logische schakeling, bestaande uit invertoren.

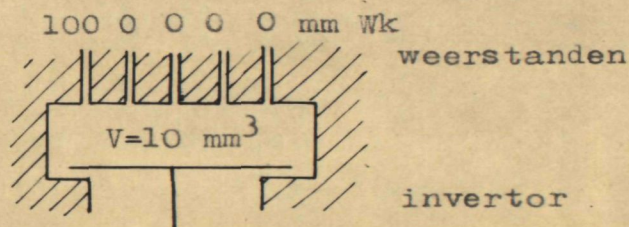


fig.2, weerstanden aan de ingang.

1.1.b.a Weerstanden.

Pneumatische weerstanden hebben verschillende nadelen, zoals de gevoeligheid voor vervuiling, moeilijke dimensionering, "onhandige" afmetingen (relatief lange pijp met kleine binnendiameter). Het grootste bezwaar is misschien nog wel dat een weerstand samen met de leidingcapaciteit RC-tijden oplevert die bij een wat sneller systeem hinderlijk worden. Rekenvoorbeeld (zie fig. 2): neem aan dat maximaal 1 l/hr ($0,355 \times 10^{-6}$ kg/sec) lek mag optreden door een weerstand wanneer er een drukverschil van 100 mm Wk over de weerstand staat. ($100 \text{ mm Wk} = 10^3 \text{ N/m}^2$) Dit bepaalt de weerstand volgens

$$R = \frac{P_i - P_u}{\phi_m} = \frac{10^3}{0,355 \times 10^{-6}} \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/sec.}}$$

$$= 2,6 \times 10^9 / \text{msec.}$$

Deze waarde is bepalend voor de afmetingen van de weerstand. Wanneer nu een signaal door deze weerstand komt, gaat dit gepaard met een lek door de andere weerstanden, waardoor de druk niet de maximale waarde van 100 mm Wk haalt.

Hierbij komt nog de lek die de invertor aan de ingang heeft. Stelt men het volume na de weerstand op 10 mm^3 , dan volgt een capaciteit:

$$C = \frac{\rho V}{P_u} = \frac{1,28 \times 10 \times 10^{-9}}{10^5} \frac{\text{kg/m}^3 \cdot \text{m}^3}{\text{N/m}^2}$$

$$= 1,28 \times 10^{-13} \text{ msec}^2$$

De RC-tijd bedraagt dan:

$$\tau = 2,6 \times 10^9 \times 1,28 \times 10^{-13} = 3,3 \times 10^{-4} \text{ sek.}$$

De druk wordt dan:

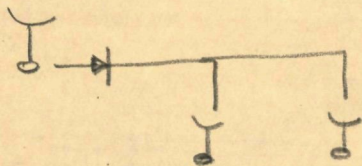
$$P = \frac{10^3}{K} (1 - e^{-\frac{K}{\tau} t}) \text{ N/m}^2$$

Hierin is $K = \frac{\text{aantal ingangen} \times R}{R} = \text{aantal ingangen}$

(voor bewijzen zie men hoofdstuk 7.2.)

Bij 5 ingangen wordt de einddruk slechts 20 mm Wk. Dit is al te weinig om het element te laten schakelen (zie onder 4.1.).

Wel indien ee uitgang met twee ingangen verbonden wordt, zodat dat
de ingangen andere aansluitingen krijgen



1.1.b.b Diodes.

Diodes zijn te beschouwen als weerstanden van variabele grootte, afhankelijk van de richting van de luchtstroom. Ze zijn meer bekend als terugslagkleppen.

De uitvoering kan zeer eenvoudig zijn.

De plaatsing van een dergelijke klep blijkt moeilijk te zijn. Binnen de in de opdracht genoemde diameter van 3 mm blijkt het onmogelijk te zijn 3 of meer terugslagklepjes onder te brengen (zie fig. 3).

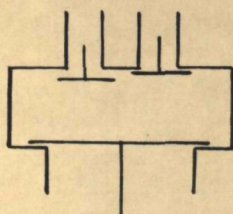


fig.3, plaatsing van diodes aan de ingang van de invertor.

Het is echter niet beslist nodig ze juist daar te plaatsen. Aan de uitgang van de invertor blijkt meer ruimte te zijn. Plaatst men de diode daar dan wordt het constructieve probleem kleiner maar schakeltechnisch geeft het enerzijds beperkingen, anderzijds meer mogelijkheden. Voordelen: meer ruimte, in theorie oneindig veel ingangen.

Nadeel: Aftakkingen na de diode zijn niet toegestaan. || X

Dit beperkt het aantal uitgangen tot 4 (op constructieve gronden).

1.1.b.c De Of-bewerking met invertoren.

De onder b. genoemde diodekleppen kunnen zeker gemaakt worden. De toepassing in een logische schakeling kan echter tot moeilijkheden aanleiding geven.

Bezien we de schakeling volgens fig. 4.

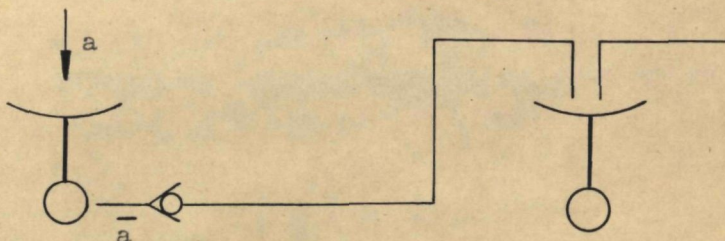


fig.4, invertoren gescheiden door een diode.

Stel dat ingang a nul is. De uitgang is dan $\bar{a} = 1$.

De tussenliggende leiding naar het volgende element is dan op het hogedrukniveau (100 mm Wk). Schakelt a van 0 naar 1 dan gaat \bar{a} van 1 naar 0. De lucht in de leiding tracht weg te lekken naar atmosfeer maar wordt daarbij belemmerd door de nu gesloten diode. Er treedt wel lek op maar een vrij aanzienlijke tijdvertraging kan het gevolg zijn. Rekenvoorbeeld: stel een totale lek van $0,5 \text{ l/hr} = 1,78 \times 10^{-7} \text{ kg/sec}$.

Het volume van de te ontluchten leiding: $10\text{mm}^3 = 10 \times 10^{-9} \text{ m}^3$.

$$R = \frac{\Delta P}{\rho_m} = \frac{10^3}{1,78 \times 10^{-7}} \text{ /msec} = 0,56 \times 10^{10} \text{ / msec}$$

$$C = \frac{\rho V}{P} = \frac{1,28 \times 10 \times 10^{-9}}{10^5} = 1,28 \times 10^{-13} \text{ msec}^2$$

$$\begin{aligned} \tau &= RC = 0,56 \times 1,28 \times 10^{10} \times 10^{-13} \text{ sec} \\ &= 0,7 \times 10^{-3} \text{ sec} = 0,7 \text{ milliseec.} \end{aligned}$$

Dit is een vrij grote waarde.

Afgezien van dit getal is het principiëel onjuist een constructie te baseren op de lek van een klep.

Een oplossing kan gevonden worden door schakelingen van invertoren. Met deze actieve componenten kunnen de ingangen volledig gescheiden worden. Er zijn echter veel meer elementen nodig.

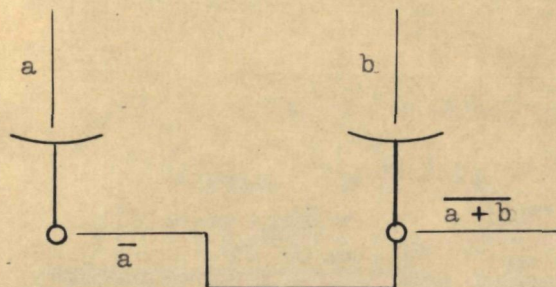


fig.5, NOR bestaande uit invertoren.

1.2 Overige eisen.

Het ziet er naar uit dat eis no.1 uit de opdracht de moeilijkste zal zijn.

De eisen no. 4, 6 en 7 lijken ook zeer belangrijk en zullen als primaire eisen behandeld worden.

De no's 2, 3 en 5 lijken me secundair voor een prototype. Er zal waar mogelijk aan voldaan worden, maar wanneer ze in conflict komen met de primaire, zullen deze voorrang krijgen. X

1.3 Samenvatting.

Gezien het voorgaande zal een inverterend element geconstrueerd worden. De diode zal apart bekeken worden.

2. Uitvoering van de kleppen, zowel voor de diode, als voor de inverter.

Wanneer we de vormen bekijken, waaruit de meeste door de mens gemaakte voorwerpen zijn samengesteld, dan blijkt dat vrijwel alles is terug te brengen tot slechts twee grondvormen: de rechte lijn en de cirkel.

Hieruit zijn o.a. samen te stellen:

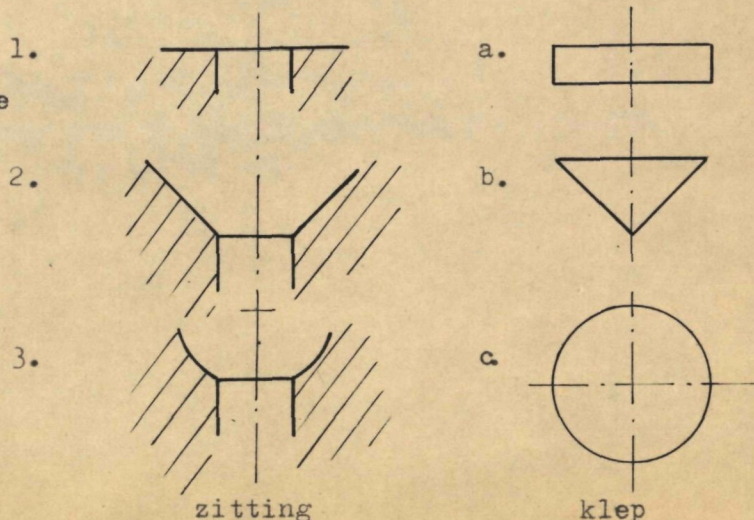
- a. het platte vlak, door twee elkaar snijdende lijnen.
- b. de rechte cirkelcylinder, rechte lijnen door en loodrecht op een cirkel.
- c. bollen, door wentelen van een cirkel om een middellijn (vervaardiging op draaibanken).
- d. kegel uit rechte lijnen en de cirkel.
- e. evolventes door afwikkelen van een rechte lijn van een cirkel.

Zo zijn er nog meer oppervlakken, die door combinatie van cirkels en rechte lijnen zijn ontstaan. Bij vormen als schroefdraden en spiralen spelen bovendien de rotatie- en translatiesnelheden van het bewerkingswerktuig een rol.

Wijkt men hiervan af, dan verviel men vroeger in moeizaam handwerk. Nu is dit vaak gemechaniseerd, maar de nauwkeurigheden zijn lager als bij de onder a t/m e genoemde vormen.

Daar we een eenvoudig te vervaardigen klep en klepzitting wensen in verband met de afmetingen, dienen we een keus te maken uit de combinaties tussen cilinder, bol en kegel. Deze drie lichamen kunnen zowel zitting als klep zijn. Het verschil tussen zitting en klep is daarin gelegen, dat bij de zitting de materie buiten het scheidingsvlak ligt en bij de klep erbinnen. (zie fig. 6)

fig.6, diverse uitvoeringsvormen van zittingen en kleppen.



zitting

Wep

Er zijn nu negen combinaties mogelijk:

1-a. Cilinder-cilinder (afdichting op de eindvlakken).

Dit is heel moeilijk te maken. Door een fabrikant aangeboden glazen plaatjes waren duur en onvoldoende vlak.

1-b. Cilinder-kegel. Lek bij scheefstelling van de kegel.

1-c. Cilinder-bol. Goede combinatie.

2-a. Kegel-cilinder. Lek bij scheefstelling van de cilinder.

2-b. Kegel-kegel. Kan goede combinatie zijn. Groot contactvlak.

2-c. Kegel-bol. Goede combinatie.

3-a. Bol-cilinder. Kan goed zijn. Dunne plaatjes zijn evenwel moeilijk zuiver rond te maken.

3-b. Bol-kegel. Niet mogelijk.

3-c. Bol-bol. Goede combinatie, evenwel een breed contactvlak.

We zien dat 1-c, 2-b, 2-c en 3-c overblijven. Daar we graag een smalle contactrand hebben, vanwege de geringere kans op vervuiling en de kleinere weerstand, blijven 1-c en 2-c over. Beide combinaties zijn toegepast.

3. Fabricage van onderdelen met kleine afmetingen.

Wanneer constructies met afmetingen van maximaal 2,5 mm, zoals hier, gemaakt moeten worden, kan men dit op twee manieren doen:

a. Alles op werktuigmachines maken.

b. Stempels maken, die de gewenste onderdelen fabriceren.

Het is een goede regel om voor prototypes slechts voor die onderdelen stempels te maken, die niet op andere wijze te vervaardigen zijn. Stempels zijn namelijk duur. De andere delen worden dan door draaien, frezen enz. vervaardigd. Dit principe is in het begin toegepast, maar het bleek, dat alle onderdelen beslist met stempels en matrijzen moesten worden gemaakt. De conventionele bewerkingsmethodes schoten duidelijk te kort.

4. Keuze van de afmetingen en de slag.4.1 Schakeldruk en Fan-Out.

De diameter van de grootste discus was al vastgelegd, zodat het geheel al min of meer bepaald was.

Zeer belangrijk voor de werking van het element zijn de diameters van ingangs- en uitgangszittingen. Zij bepalen namelijk de druk waarbij het element schakelt volgens het krachterevenwicht:

$$P_i \times \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 = P_v \times \frac{\pi}{4} d_u^2$$

Alhoewel onbekend is, met welke maten we eigenlijk moeten rekenen, vanwege het drukverloop in de vreemd gevormde spleten, geven de maten 2 en 1 mm diameter redelijke resultaten.

Dit geeft voor P_i , bij $P_v = 100$ mm Wk :

$$P_i = \frac{d_i^2}{d_u^2} \times 100 = \frac{1^2}{2^2} \times 100 = 25 \text{ mm Wk.}$$

Deze waarde is betrekkelijk laag gekozen om de Fan-Out zo groot mogelijk te maken.

In een schakeling volgens fig. 7 geldt namelijk:

$$\phi_{ul} = f_1 (P_v - P_u)$$

en
$$\phi_{ia} = f_2 (P_u)$$

$$\phi_{ib} = f_2 (P_u)$$

|
|
|
|

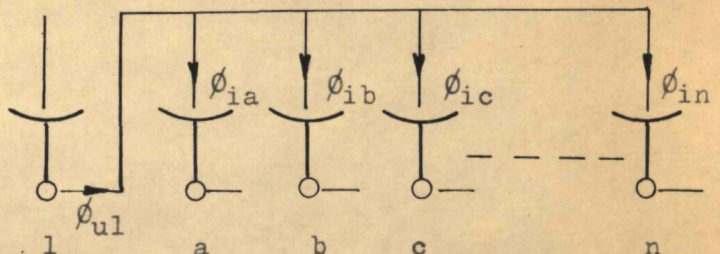


fig.7, element 1 drijft n gelijksoortige elementen aan.

$$+ \phi_{ia} + \phi_{ib} + \dots = n f_2 (P_u).$$

Nu moet gelden:

$$\phi_{ul} > \phi_{ia} + \phi_{ib} + \dots + \phi_{in}$$

$$\text{of } f_1 (P_v - P_u) > n f_2 (P_u)$$

De functies f_1 en f_2 zijn niet lineair. (zie fig. 8)

Het is duidelijk dat een verandering van de diameter van de ingangszitting eveneens een verandering van de functie f_2 tengevolge heeft.

Hoe kan dat? [?]

Moet met $\Phi_i \approx 2 \cdot \Phi_u$ bij dezelfde
drukval (bij w.o.m.w.k.)

De inlaat is heel vel 2x zo groot

Heeft hier misschien de Lussen zitting gelekt? [?]

Hoe in precies gemeten?
Jez relatie van meetopstelling

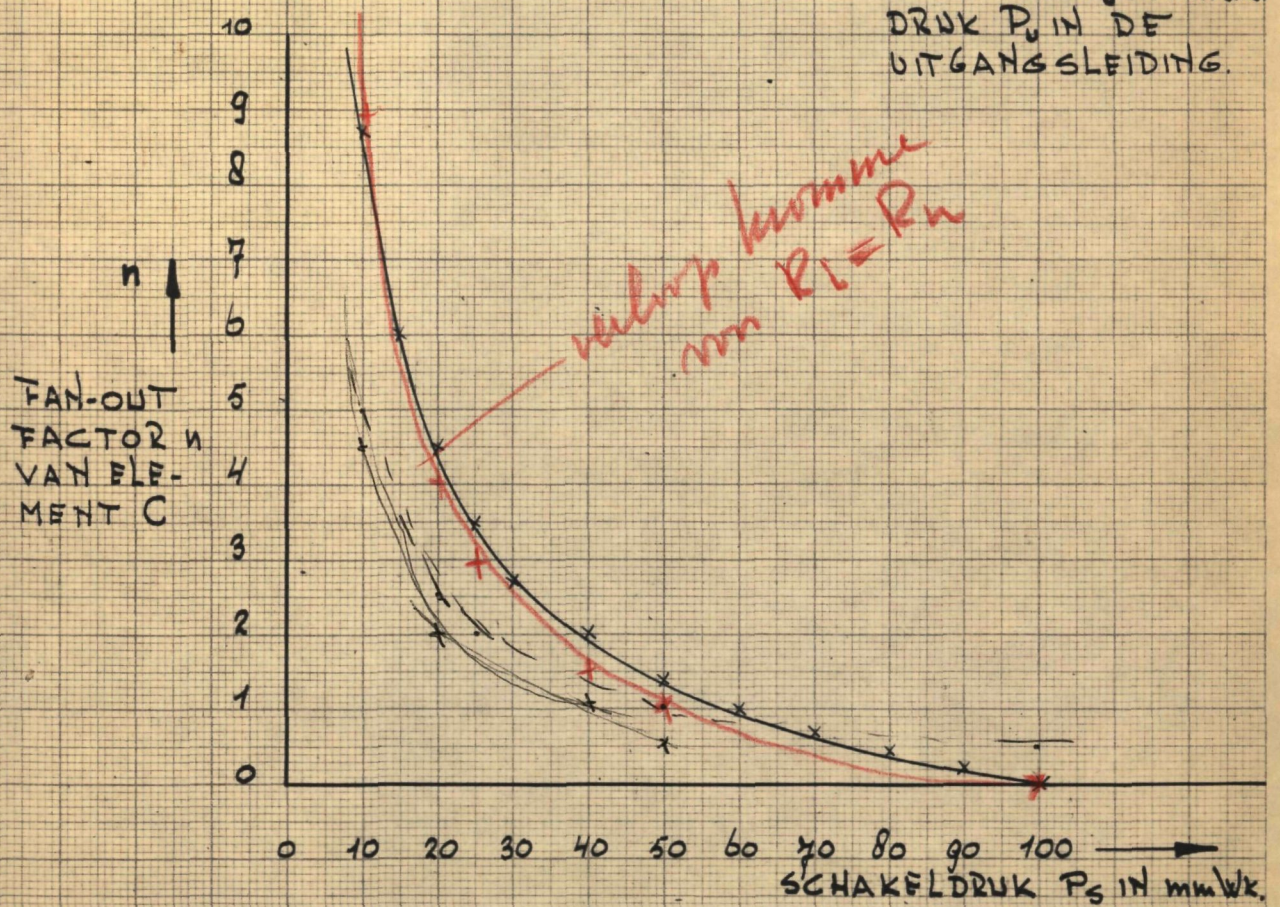
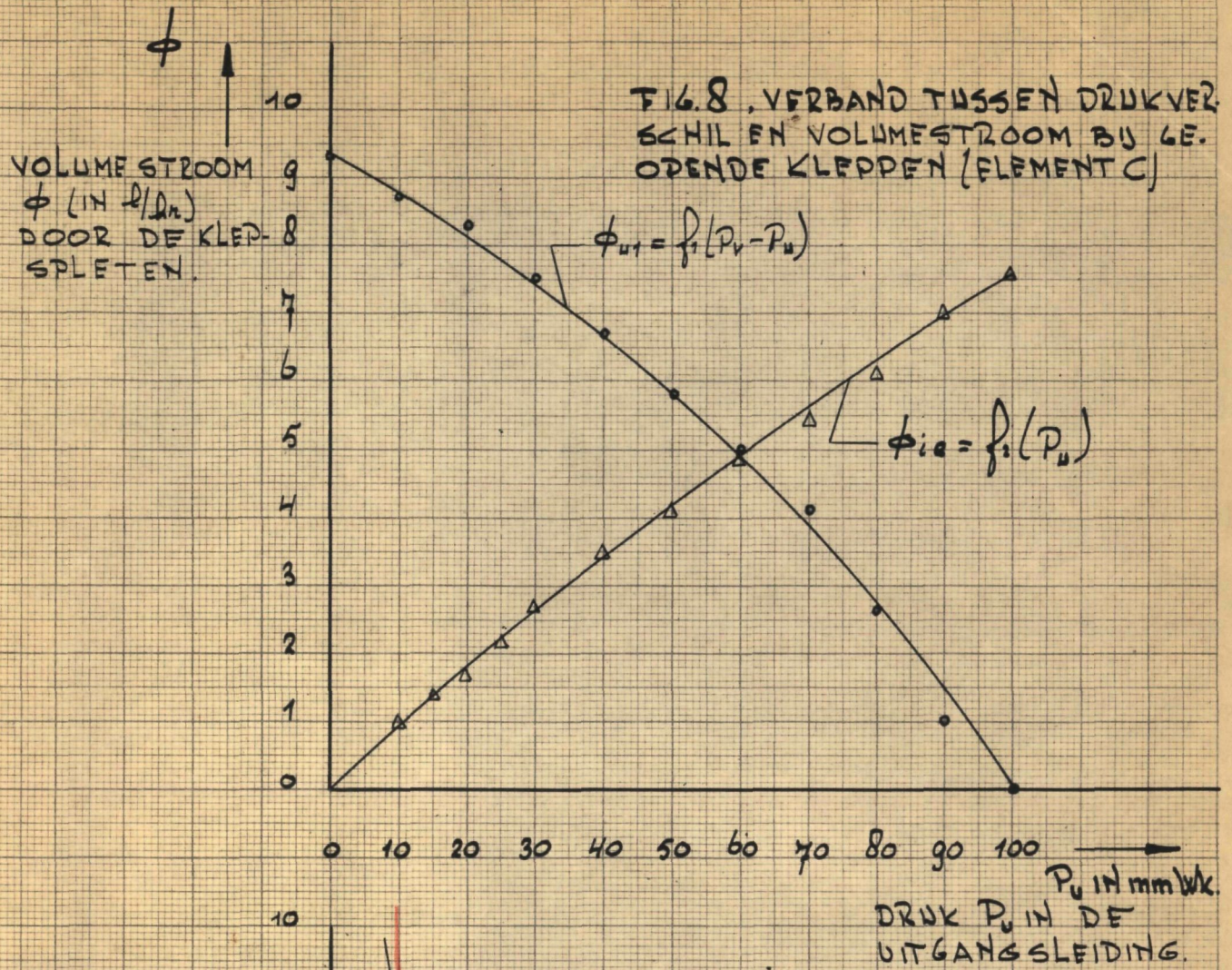


FIG. 9, VERBAND TUSSEN FAN-OUT FACTOR EN DE TOEGEDASTE SCHAKELDRUK (ELEMENT C).

Laten we dit even buiten beschouwing.

We kunnen nu voor een aantal waarden van P_s de functie

$$\frac{f_1(P_v - P_s)}{f_2(P_s)} = n \text{ bepalen en uitzetten tegen } P_s.$$

We verkrijgen de grafiek in fig. 9.

We zien dat er voor n geen optimum bestaat. Een redelijke Fan-Out blijkt te worden bereikt voor $P_s = 25 \text{ mm Wk.}$ Een nog kleinere P_s brengt het gevaar met zich mee, dat de lek van enige elementen die op een ingang staan (fig. 10), het element laten schakelen op die lekstroom.

De grafieken 8 en 9 zijn gemeten aan element C. Andere elementen hebben een andere grafiek, vooral aan de ingang. Dit is echter een fabricagekwesitie. Element C lijkt me redelijk representatief. Zie voorts de tabellen op blz. 29 .

(Definitie Fan-Out: aantal gelijksoortige elementen dat een element kan schakelen).

4.2

Afmeting van de bollen.

De keuze van de bolstralen was niet geheel vrij. Men moet namelijk rekening houden met de in de handel verkrijgbare maten. Toevallig kwam het goed uit. De stempels werden gemaakt met behulp van stalen kogels van $1/4''$, 4 mm en 2mm diameter.

4.3

Afmeting van de overige delen.

Door het onder 4.1 en 4.2 gestelde zijn de overige afmetingen al min of meer bepaald.

De verbindingspen tussen de kleppen heeft een diameter van 0,3 mm. Een kleinere diameter maakt het lastiger te maken, een grotere maakt de klep zwaarder.

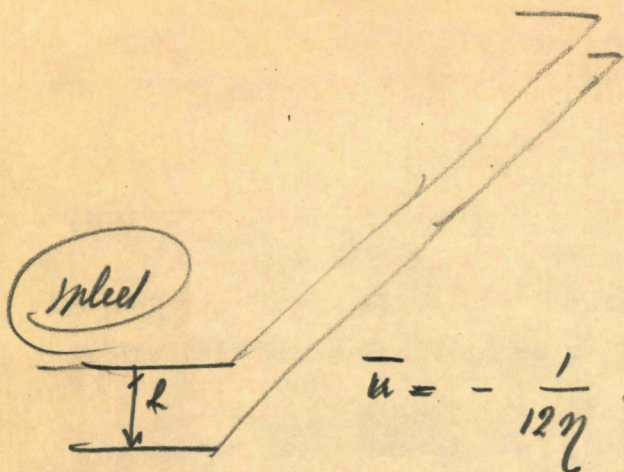
De tophoeken van de kegels volgen uit de constructie.

De afmetingen van de kanalen worden bepaald door de eis: zo groot mogelijk. Hier is ook naar gestreefd.

Fig. 11 laat de opbouw zien van het geheel. Zie voorts onder 5.1.1 prototype no.1.

pag. 17

Verklaring!

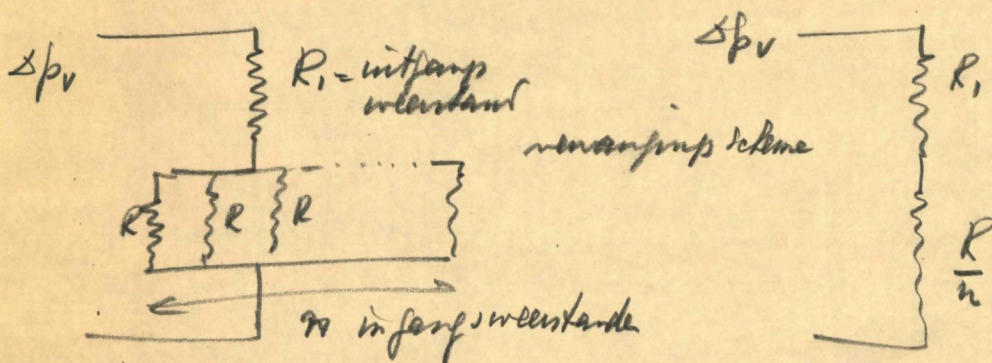


$$\bar{u} = - \frac{1}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} h^2$$

$$\frac{Q}{\text{breedte canel}} = \bar{u} \cdot h = - \frac{1}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} h^3$$

feldt von $\Delta p = \text{constant}$ $Q = C h^3$
 $l = \text{constant}$

Den wendend $R = \frac{1}{C h^3}$



$$\Delta p_v = \phi_{\text{in}} \left(R_1 + \frac{R}{n} \right)$$

den in injang wendend stromt

$$\phi_{\text{in}} = \frac{\phi_{\text{out}}}{n} = \frac{\Delta p_v}{n \left(R_1 + \frac{R}{n} \right)} = \frac{\Delta p_v}{n R_1 + R}$$

$$\phi_{\text{in}} = \frac{\Delta p_v}{n \frac{1}{C_1 h^3} + \frac{1}{C_2 h^3}} = \frac{\Delta p_v \cdot h^3}{\frac{n}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{\Delta p_v C_2 h^3}{n \frac{C_2}{C_1} + 1}$$

4.4 Bepaling van de slag; invloed op de Fan-Out.

De slag bepaalt de maximale grootte van de klepspleet, dus de maximale luchtstroom. Het verband tussen slag en ϕ_u is niet gemeten. In theorie heeft een verandering van de slag geen invloed op de Fan-Out.

Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat bij een verandering van de slag in theorie de twee lijnen in fig. 8 met dezelfde factor worden vermenigvuldigd.

Bijvoorbeeld: stel een slag s .

Uitgangsstroom bij $\Delta P = P_v - P_s \quad A \cdot s$

Ingangsstroom: $B \cdot s$

De verhouding is de Fan-Out: $\frac{A \cdot s}{B \cdot s} = \frac{A}{B} = k$

In k is de slag dus niet aanwezig. Volgens de stromingsleer hangt ϕ volgens een derde macht af van s . (laminaire stroming).

Volgens een meting van Ir. De Boer (verslag B-19, blz. 55) is het verloop in het begin lineair. (bol in kegel).

Hoe het verloop echter ook is, theoretisch komt de slag in de Fan-Out niet voor. In de praktijk echter blijkt een kleinere slag een grotere Fan-Out op te leveren. De oorzaak hiervan is nog onbekend.

Nadat eerst gewerkt is met een slag van 0,05 mm is deze later 0,03 mm geworden.

De uitgangsstroom bij $\Delta P = 100 \text{ mm Wk}$ was dan 10 l/hr.

Deze waarde ligt goed ten opzichte van het oude element met membranen (16 l/hr) en is ook groot genoeg ten opzichte van de eigen lek van ca. 1 l/hr.

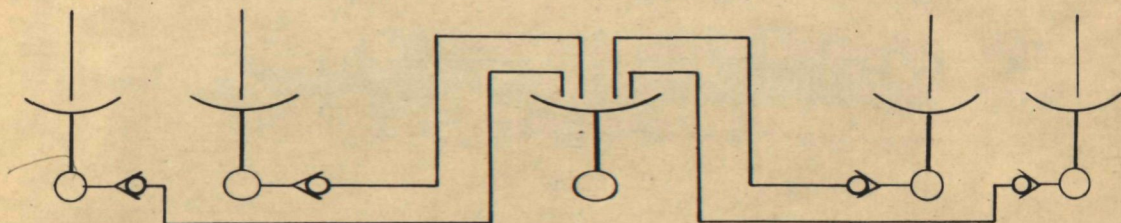


fig.10

5. Prototypes van de inverter; diode.5.1 Prototype no. 1.

5.1.1 Opbouw.

Dit eerste prototype bestond uit een roestvrijstalen huis (later aluminium) met aluminium kleppen. (zie fig. 11)
De in- en uitgangszitting waren in dit huis ondergebracht. De middenzitting bevond zich in een los inzetstuk. De afmetingen waren zo gekozen, dat de slag hieruit volgde. (ca. 0,2 mm)
Uitgang- en atmosfeeraansluiting vonden plaats door gaten van 1 mm diameter.

Het bovenklepje werd met epoxy-hars op het steeltje gelijmd.

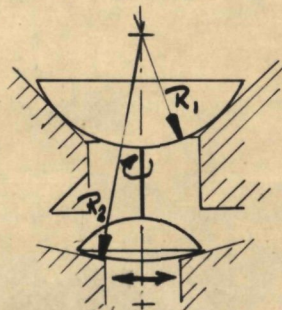
5.1.2 Constructieve bijzonderheden.

De constructie wordt sterk bepaald door fabricage mogelijkheden (en onmogelijkheden!!).

Zoals al genoemd, was de keuze van de bolstralen niet vrij, ze worden bepaald door de normaal verkrijgbare kogels.

De met de stempels verkregen klepjes passen zodanig op hun zitting, dat de middelpunten van de bollen op de in- en uitgangszitting samenvallen. Hiermee wordt in principe bereikt dat de klepjes kunnen ronddraaien om hun gemeenschappelijke hartlijn, en tevens is nog een beperkte zijdelingse beweging mogelijk (zie fig. 12). Hierbij treedt dan geen lek op.

fig.12



De in de werktuigbouw gebruikelijke $h6/H7$ passing als geleiding is bewust achterwege gelaten. Wel loopt het steeltje van 0,3 mm diameter door een gat van 0,4 mm diameter, om te grote uitwijkingen te voorkomen.

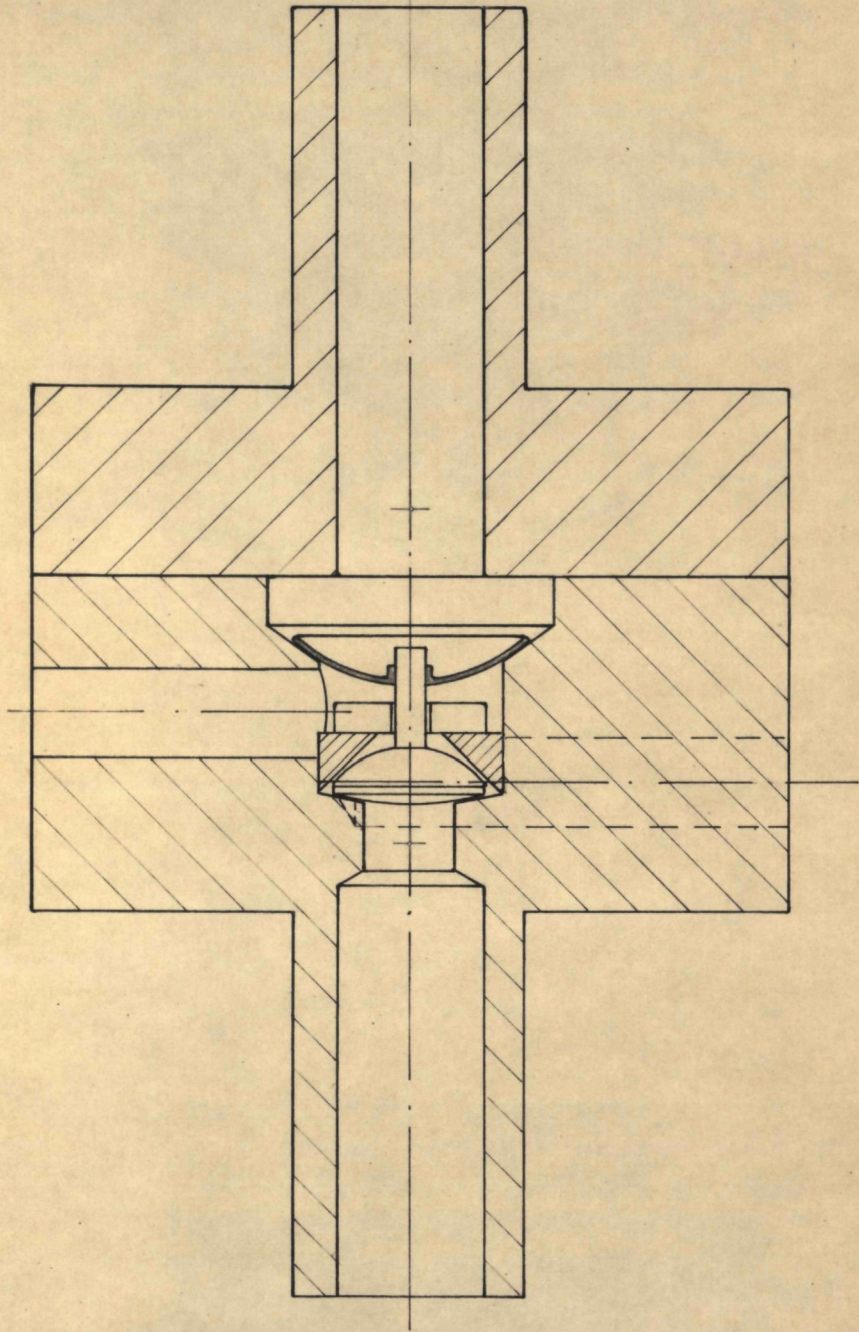


fig.11, prototype no.1

Men zal zich afvragen hoe het mogelijk is dat de kleppen op in- en uitgangszitting tegelijk afdichten. Om dit probleem op te lossen, hebben we eerst gedacht aan een verend element tussen de klepjes. De kracht in de gesloten stand is echter zo klein (ca. 200 mgr.) dat een verend element niet in aanmerking komt. Een zeer slappe schroefveer vereist een grote windingsdiameter, en deze is niet beschikbaar.

Een knikstaaf kan ook niet, zelfs als hij van rubber gemaakt zou zijn. De diameter van de rubber staaf zou dan enige M's moeten zijn.

Dit is een algemeen geldend principe bij kleine onderdelen: alles is te sterk. *Hug*

De oplossing is gevonden in de montagemethode, met een redelijk resultaat. X

5.1.3 Fabricage.

5.1.3.1 Bovenklep.

We gaan uit van plaatjes van ca. 2,6 mm diameter en 0,1 mm dik, gemaakt met behulp van een soort rubberstempel (zie bijlage). Met een stempel volgens fig. 13 worden ze doorgebald. In een derde stempel wordt het gat met de kraag aangebracht. (stempeltekening niet in dit verslag aanwezig, tekening no.: lab. voor Regeltechniek R11/5).

5.1.3.2 Klep met steel.

Dit onderdeel wordt eerst voorgedraaid uit stafmateriaal volgens de tekening op blz. 60. Daarna wordt het met het stempel volgens fig. 14 in de uiteindelijke vorm geperst (fig. 14 op blz. 57). De vervaardiging van beide klepjes verliep zonder moeite.

5.1.3.3 Het huis en het inzetstuk.

Het bleek bijzonder moeilijk deze delen te maken. Zelfs een aluminium huisje stelde hoge eisen aan de instrumentmaker. Tenslotte is een roestvrijstaal en een aluminium huisje gereed gekomen.

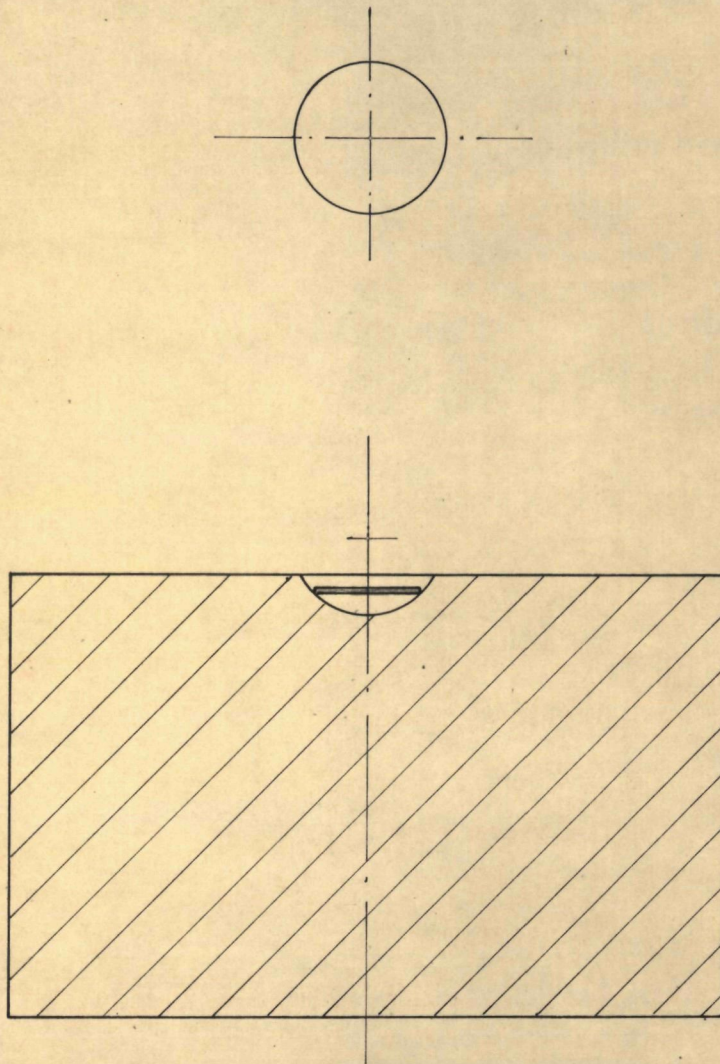
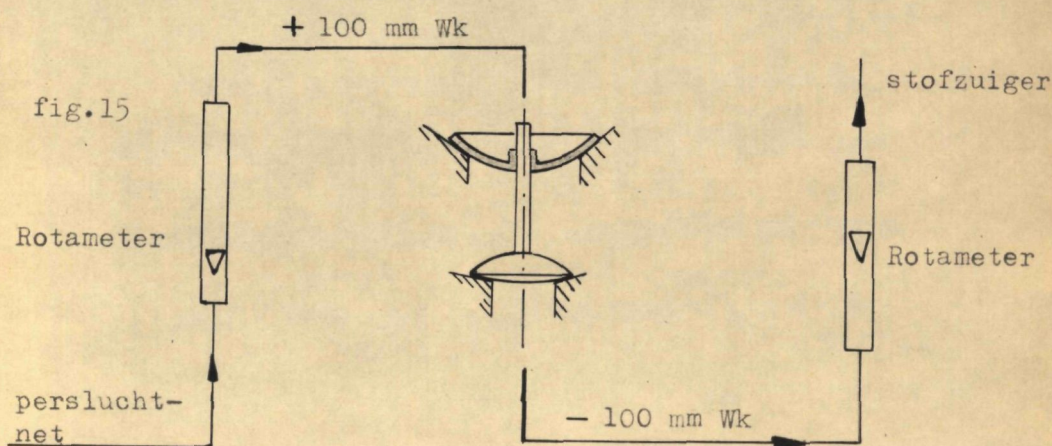


fig.13, stempel voor plaatklep.

5.1.4 Montage van de kleppen.

Het tegelijk aanliggen op twee zittingen werd bereikt door de klepjes voor het aanelkaar lijmen met luchtdrukken te positioneren. Deze werkwijze wordt in de bijlage uitgebreid omschreven.

Fig. 15 geeft een indruk van de opstelling.



5.1.5 De werking van het element.

De elementen werkten uitermate slecht.

De zittingen waren te slecht (niet voldoende nauwkeurig en een te ruw oppervlak). De lek was zo groot dat metingen niet goed mogelijk waren. Het benodigd ingangsvermogen was dan ook zeer groot. De Fan-Out was in ieder geval $\ll 1$.

Om deze reden, en ook vanwege de moeizame vervaardiging, zijn we omgezwaard naar andere materialen en productiemethodes.

5.2 Prototype no.2.

5.2.1 Motivering nieuw ontwerp.

De moeilijkheden bij de vervaardiging van prototype no. 1 hebben ons geleerd dat het bewerken van holtes een zeer moeizaam werk is, zeker bij kleine afmetingen. Uitwendige vormen kan men echter ook bij deze afmetingen goed bewerken. Zo is het plan gerijpt, om niet het huisje zelf, maar een stempel of iets dergelijks te maken. Zo is er gedacht aan het vervaardigen van het huis uit metaal door middel van een stempel. De vormen blijken echter te gecompliceerd te zijn. Ook kan men denken aan verloren-wasmethodes en dergelijke.

Uiteindelijk zijn we terecht gekomen op gieten met epoxy-harsen. Deze harsen voldoen goed aan ons doel:

- a. vrijwel geen krimp
- b. redelijk eenvoudig te verwerken
- c. geeft zeer scherpe afdrukken
- d. in het lab. voor Regeltechniek had men al ervaring opgedaan met het gieten van deze harsen.

Er is een gietvorm geconstrueerd, waarbij tevens enige wijzigingen werden doorgevoerd. Door gebruik te maken van de mogelijkheden die de giettechniek biedt, konden tevens nog enige verbeteringen worden aangebracht. Dit zijn o.a.:

1. een rechthoekige atmosfeeraansluiting in plaats van een ronde; groter oppervlak van de doorsnede
2. ingangs- en middenzitting in het huis, uitgangszitting in een los inzetstuk (slag nu instelbaar)
3. betere aansluiting van de uitgangsleding.

De geleiding van het steeltje bleef nog gehandhaafd in de vorm van een los metalen inzetstukje. Later verviel de geleiding geheel. De bovenklep kreeg een vulling van epoxy-hars teneinde een langer gat te kunnen boren. Het kraagje zoals in prototype no.1 toegepast bleek te laag te zijn.

Overigens is het kleppenstelsel ongewijzigd overgenomen van prototype no.1. Fig. 16 geeft de samenstelling van dit prototype.

5.2.2 Vervaardiging.

Het gieten van de epoxy-hars bleek niet eenvoudig te zijn. Het bleek noodzakelijk onder vacuum te gieten, daar anders de vorm niet goed gevuld wordt. Er bleven luchtbellens aan de wanden kleven bij het gieten onder normale druk.

Het vacuumgieten (reeds ontwikkeld bij de werkgroep Hydraulische Besturingen van het lab. voor Regeltechniek) introduceert weer andere moeilijkheden. De hars blijkt veel lucht te bevatten, die onder vacuum vrij komt in de vorm van bellen. Deze luchtbellens dienen verwijderd te worden, daar ze niet oplossen bij het terugkeren naar de atmosferische druk.

A-63-22

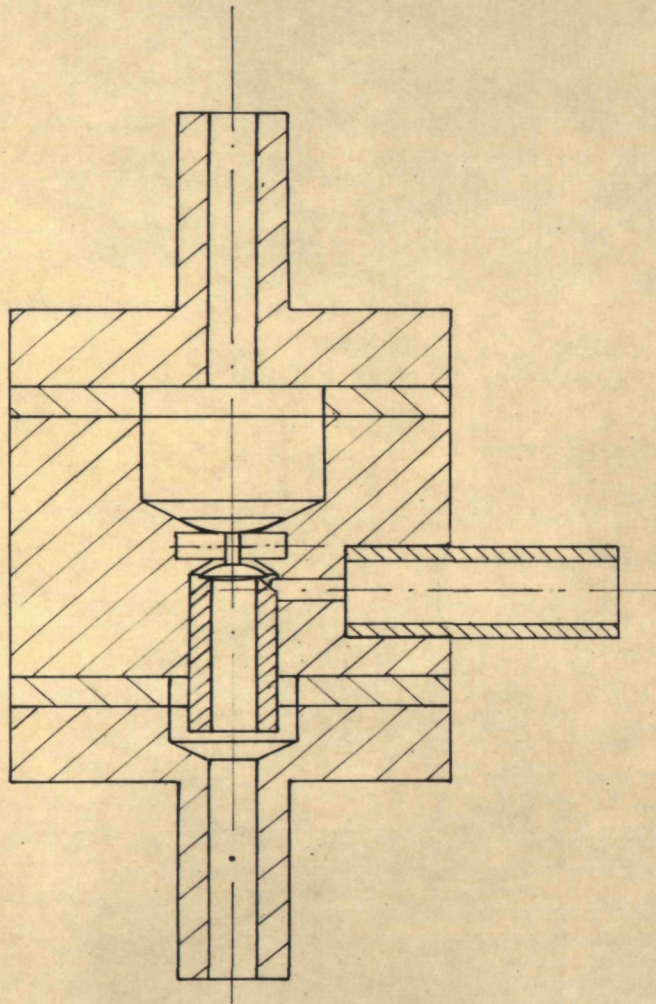


fig.16, prototype no. 2

Hoe een en ander dient te verlopen teneinde een goed product te verkrijgen, wordt beschreven in de bijlage.

De onderzitting samen met het voedingluchtkanaal is ook van epoxyhars vervaardigd. De productie verloopt op zeer primitieve wijze. De producten zijn echter goed, hetgeen tenslotte het belangrijkste is.

Het vullen van de bovenklepjes met hars vindt ook op primitieve wijze plaats. Op een stuk papier worden druppels hars neergelegd. Op de druppels worden dan de klepjes gelegd, met de bolle zijde naar boven. Het vereist veel vaardigheid om druppels van het juiste volume te maken.

De overige fabricageaanwijzingen zijn te vinden in de bijlage.

5.2.3 Montage.

De montage vond plaats zoals in 5.1.4 beschreven.

Het gat in de bovenklep was eerst 0,3 mm diameter. Door fabricageon nauwkeurigheden bleek het nu niet mogelijk een goed kleppenstelsel te maken. Daarom is later het gat groter gemaakt, 0,7 mm diameter. Het werd ook niet geheel doorgeboord. De lijm wordt nu in het gat gebracht, waarna het klepje om de zitting wordt gelegd. De resultaten van deze montagemethode waren bevredigend. NB

5.3 Prototype 3.

Dit prototype verschilt op enige punten van no.2. De belangrijkste zijn:

- a. het verkleinen van de middenzitting tot een rand van ca. 0,03 mm breed
- b. het vergroten van de diameter van het inzetstuk (grotere toleranties toe te staan op het onderklepje)
- c. het aanbrengen van een diodezitting
- d. het laten vervallen van de steelgeleiding
- e. het vergroten van de uitgangsleiding

Al deze wijzigingen waren niet zo zeer noodzakelijk, maar meer bedoeld om te bewijzen dat het idee uitvoerbaar was.

Fig. 17 geeft de samenstelling.

33 mm ϕ

2 mm

Mit dem
Klemm Element
hier

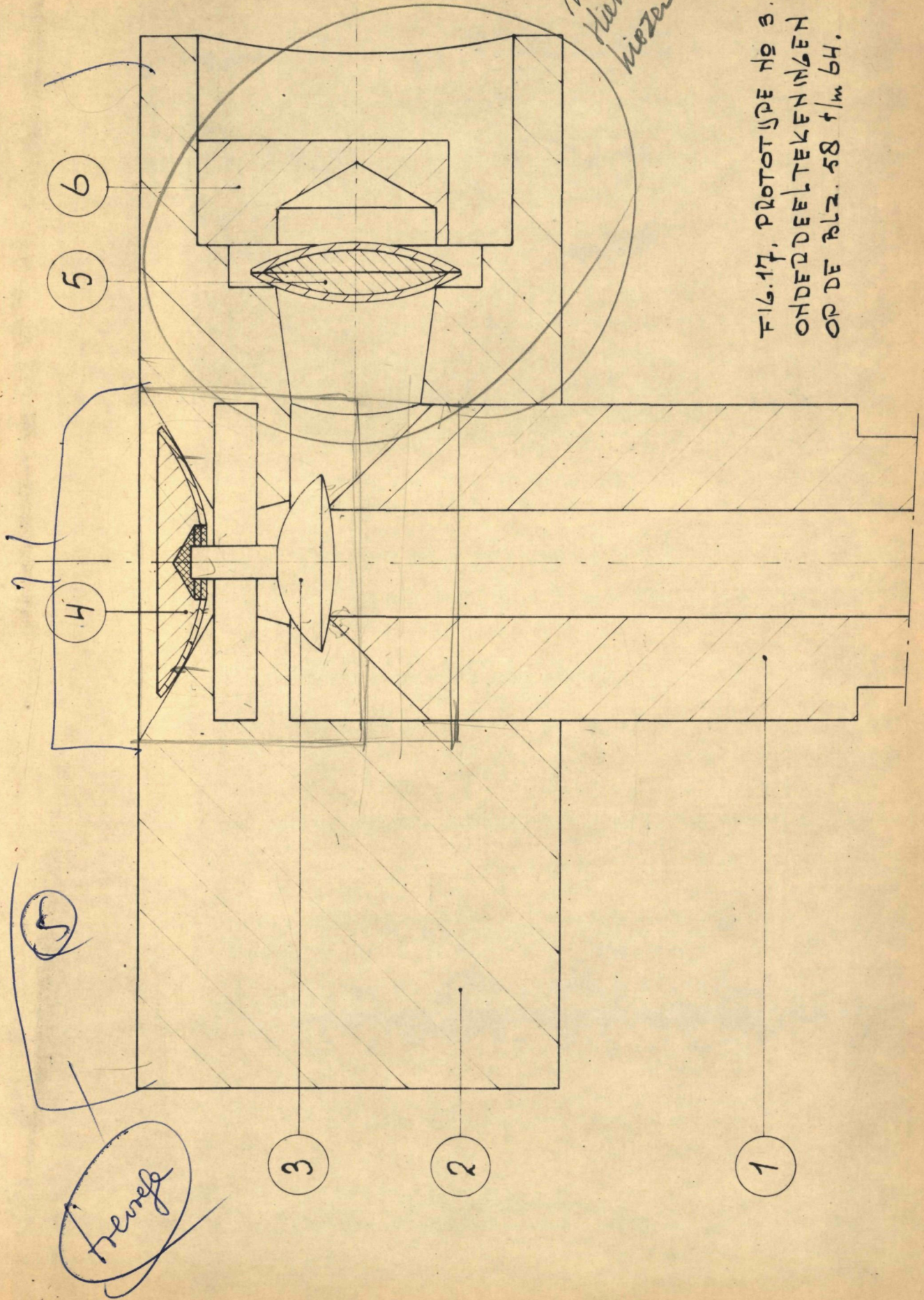


FIG. 17, PROTOTYPE NO 8.
ONDERDEELTEKENINGEN
OP DE BLZ. 58 t/m 64.

Freese

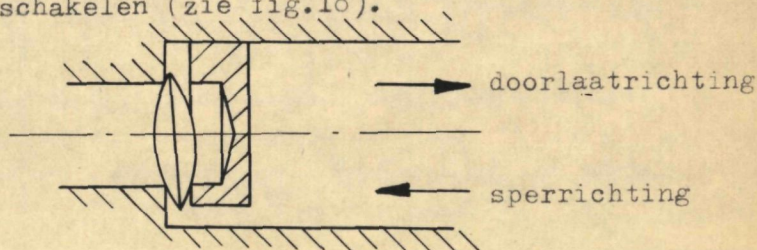
5.4 Diode, principe en constructie.

5.4.1 Principe en constructie

De diodeklep is in principe op dezelfde manier opgebouwd als de grote klep van de invertor. Twee van dergelijke klepjes vormen de diodeklep.

Een moeilijkheid wordt gevormd door de mogelijkheid van blijven klemmen. Wanneer de klep zo scheef op zijn zitting ligt, dat de andere bolschaal ook de zitting raakt, kunnen er moeilijkheden optreden bij het schakelen (zie fig.18).

fig.18, diode



Hier is betrekkelijk weinig aan te doen. Men zou de vorm van het klepje met steel kunnen overnemen. Dit komt er in principe op neer dat men meer naar een gehele bol gaat. De massa van de klep neemt dan toe.

De slag moet voor een goede werking vrij groot zijn. In dat geval is namelijk het druk verlies over de diode klein.

Een grote slag is ook plezierig in verband met een neveneffect, namelijk de mogelijkheid van het ontlichten van een leiding.

Stelt men de slag op 0,1 mm en de diameter op 2 mm dan wordt de leiding bij het overschakelen 0,3 mm³ groter. Dit betekent het ontlichten van een volume van $100 \times 0,3 = 30 \text{ mm}^3$.

Dit kan een leiding van 1 x 1 x 30 mm zijn.

In een geïntegreerde schakeling zijn de leidingen in het algemeen korter.

Dit verschijnsel kan de nadelen, genoemd onder l.l.b.c in vele gevallen te niet doen.

5.4.2 Fabricage

De fabricage verliep zonder een enkele moeilijkheid. Voor een volledige beschrijving zie men de bijlage.

6 Metingen.6.1 Controle van de afmetingen en de oppervlaktegesteldheid.

6.1.1 Delen uit epoxy-hars vervaardigd.

De afmetingen van de gegoten delen waren goed, hetgeen te danken is aan de nauwkeurige stempels en de zeer kleine krimp van de hars.

De oppervlaktegesteldheid van de kegels en de scherpe randen liet soms te wensen over, tengevolge van de kleine luchtbelletjes, vuil en dergelijke. Een kleine oneffenheid maakt de zitting directe onbruikbaar (teveel lek).

Een zitting werd als goed beschouwd wanneer de lek tussen deze zitting en een standaardklep, bij een drukval van 100 mm Wk, kleiner dan 0,5 l/hr was.

6.1.2 Aluminium delen.

Hier viel zeer weinig aan te meten.

Eigenlijk kon alleen de oppervlaktegesteldheid bekeken worden.

Deze was acceptabel. De fouten waren klein en altijd in de vorm van putjes en krasjes. Ook draaigroeven waren nog zichtbaar. De fouten waren evenwel zo klein dat er geen verschil in de lek gevonden werd tussen een kogel en een klep op dezelfde zitting.

Alle klepjes werden voorts op lek gecontroleerd in een standaardzitting. Kriterium: lek $< 0,5$ l/hr.

Vrijwel de gehele productie was bruikbaar.

6.1.3 De slag.

De slag is zodanig ingesteld, dat een volumestroom van 10 l/hr ontstaat in de voeding bij een drukval van 100 mm Wk over de onderzitting.

De slag is achteraf gemeten met behulp van de in de werkplaats aanwezige Koordinaten Zentrier-Mess und Bohrmaschine.

Door de atmosfeeraansluiting kan men de klepsteel zien bewegen.

Hierdoor kan de slag, alhoewel niet zeer nauwkeurig, worden vastgesteld. Ze bedroeg 0,02 tot 0,03 mm voor alle elementen.

6.1.4 De massa van de bewegende delen.

Als gevolg van de fabricagemethode waren de klepjes nogal verschillend. De massa van een representatief kleppenstelsel (bovenklep + onderklep + steel + lijm) bedroeg 5 mgr.

6.2 Statische metingen.

6.2.1 Statische gegevens van de inverter.

Van de laatste serie elementen zijn de volgende gegevens opgenomen (zie de tabel I op blz. 29):

- a. geopende klep: voedingsstroom als functie van de drukval over de uitgangszitting
- b. voedingsstroom bij gesloten klep, drukval 100 mm Wk
- c. geopende klep: ingangsstroom als functie van de drukval over de ingangszitting (tot de schakeldruk)
- d. ingangsstroom bij gesloten klep, drukval 100 mm Wk
- e. van het element C uit de serie A t/m G de gehele drukval-ingangsstroom karakteristiek. De klep is daarbij moedwillig open gehouden.

Element F is niet geheel gemeten vanwege de te slechte eigenschappen. Uit tabel I-a en e is de grafiek van fig. 8 geconstrueerd.

De oudere elementen waren veelal van te slechte kwaliteit om metingen te verrichten. Ze zijn eigenlijk alleen gemaakt om de montageproblemen onder de knie te krijgen.

Deze laatste serie elementen vertoonde onderling nog steeds vrij veel verschillen, vooral aan de ingang.

De verschillen zijn mijns inziens voornamelijk te wijten aan variaties in de kwaliteit van kleppen en zittingen. Verder is er de slag, die kleine verschillen kan vertonen.

De meetopstelling voor de punten a, b, c, d en e is te zien in fig.19. De lek naar de atmosfeer kon niet gemeten worden omdat een Rota-meter een grote weerstand zou introduceren in het circuit.

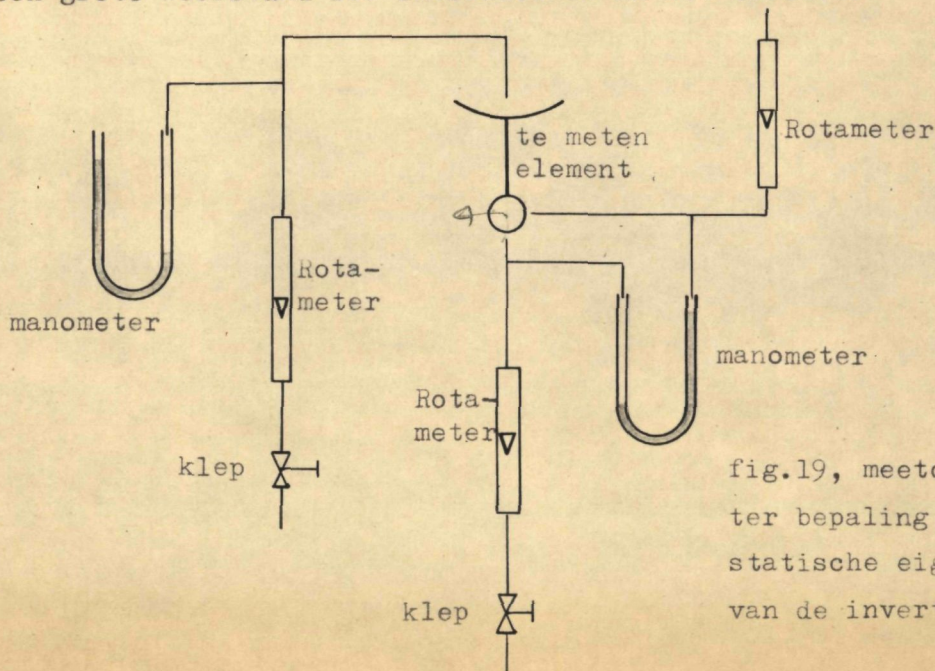


fig.19, meetopstelling ter bepaling van de statische eigenschappen van de inverter.

bellyd met med ingefere roter



f_2

$$f_2 = 1,2 f_1$$

tekst 63-59
 63-58

$$\text{dus } F_2 = 1,55 F_1$$

Den verschil in Puk 0,55. 25 km/h = 11 km/h

Beluk per weersstemming met
 metingen

20 figuren 22, 25, 34

Dit zijn waarschijnlijk
 verzameling.
 Nagekeken?

Er is toch getracht deze lek over de middelste zitting (in de geopende stand) te bepalen door met twee Rota-meters te werken. De nauwkeurigheid is echter beperkt doordat nu twee vrijwel gelijke waarden van elkaar moeten worden afgetrokken. Alleen een zeer grote lek kon aldus worden geconstateerd.

Het bepalen van het schakelpunt is eerst gedaan met een eenvoudige vloeistofmanometer. Het blijkt moeilijk te zijn om een betrouwbare aflezing te verkrijgen. Het eerst langzaam stijgende ingangssignaal loopt na het schakelen zeer snel op. Het schakelpunt is moeilijk af te lezen.

Later is er een betere methode gevonden. Een laag frequent, ongeveer sinusvormig signaal (0,5 Hz) werd toegevoerd aan het element. Het verloop van in- en uitgangsdruk werd zichtbaar gemaakt op de tweekanaalsoscilloscope (zie fig. 21).

De schakelpunten zijn duidelijk te zien. Er blijkt ongeveer 5 mm Wk hysteresis te zijn. Fig. 21 toont de uit deze opname geconstrueerde hystereselus (tekening, geen foto!).

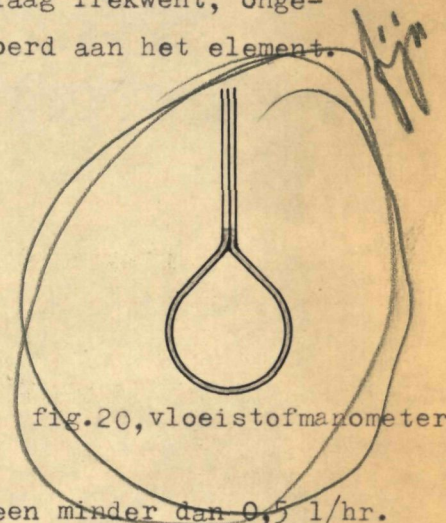


fig.20, vloeistofmanometer

6.2.2 Statische metingen aan de diode.

De lek in sperrichting bedroeg over het algemeen minder dan 0,5 l/hr. De volumestroom in doorlaatrichting hangt sterk af van de gekozen slag. Deze slag kon niet worden gemeten.

Een bepaalde diode vertoonde bij een drukval van 15 mm Wk een volumestroom van ca. 8 l/hr.

6.2.3 De serie elementen A t/m G bestond uit de prototypes 2 en 3.

Prototype no.3 was vertegenwoordigd door A, B en C, no.2 door D, E, F en G.

De montage van F was mislukt, waardoor de lek aan de ingang veel te groot was. De slag was ook te groot.

De prototypes 2 en 3 zijn door elkaar gebruikt. Noch in het statische, noch in het dynamische gedrag waren verschillen aan te wijzen die het gevolg waren van de maatverschillen tussen de beide prototypes.

Tabel I

ΔP mmWk	VOEDINGSSTROOM BIJ GEOPENDE KLEP (IN L/HR.)						
	A	B	C	D	E	F	G
10	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	2,8	1,4
20	2,8	3,3	2,6	2,8	2,4	4,5	2,8
30	4,1	4,4	4,1	4,1	3,8	6,0	3,6
40	4,8	5,6	5,0	5,2	5,0	7,5	4,9
50	5,6	6,8	5,8	6,1	6,0	8,8	5,8
60	6,4	7,8	6,7	7,3	7,0	10,0	6,7
70	7,0	8,9	7,5	8,3	7,9	11,0	7,8
80	7,8	9,6	8,3	9,0	8,6	12,4	8,6
90	8,3	10,5	8,7	9,6	9,2	13,3	9,2
100	8,7	11,6	9,2	10,0	9,6	13,7	9,8

b.

ΔP mmWk	VOEDINGSSTROOM BIJ GESLOTEN KLEP (IN L/HR.)						
	A	B	C	D	E	F	G
100	0,5	1,0	2,0	0,5	0,5	0,5	0,4

c.

ΔP mmWk	INGANGSSTROOM VOOR HET SCHAKELPUNT (IN L/HR.)						
	A	B	C	D	E	F	G
10	1,1	1,1	1,0	1,0	1,45	—	0,85
15	1,7	—	1,4	1,2	1,7	—	1,5
20	2,4	2,4	1,7	2,0	2,4	—	1,6
21	—	—	—	—	—	—	—
22	—	2,8	—	—	2,7	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	1,8
25	—	—	2,2	—	—	—	—
26	2,8	—	—	2,4	—	—	—

d.

ΔP mmWk	INGANGSSTROOM NA HET SCHAKELPUNT (IN L/HR.)						
	A	B	C	D	E	F	G
100	0,8	1,3	1	1,3	0,7	4,1	0,7

e.

ELEMENT C, BLIJVEND GEOPENDE KLEP												
ΔP IN GANG IN mmWk	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
VOLUME STROOM IN L/HR.	1,0	1,4	1,7	2,2	2,7	3,5	4,1	4,9	5,4	6,1	7,0	7,6

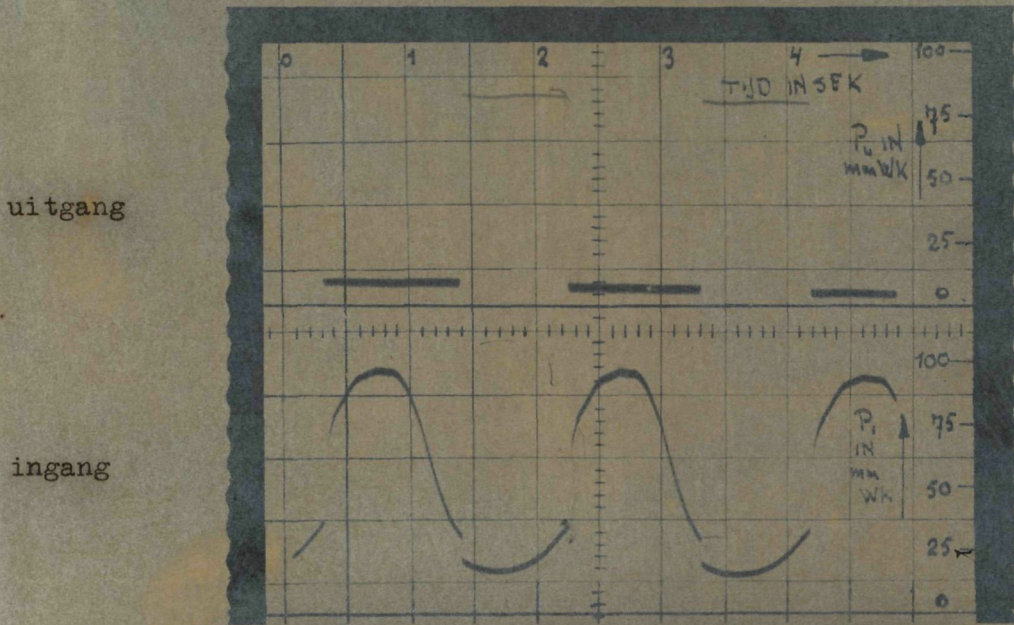


fig. 21, in- en uitgangsdruk als functie van de tijd; element D, rechte keten, 0,5 Hz.

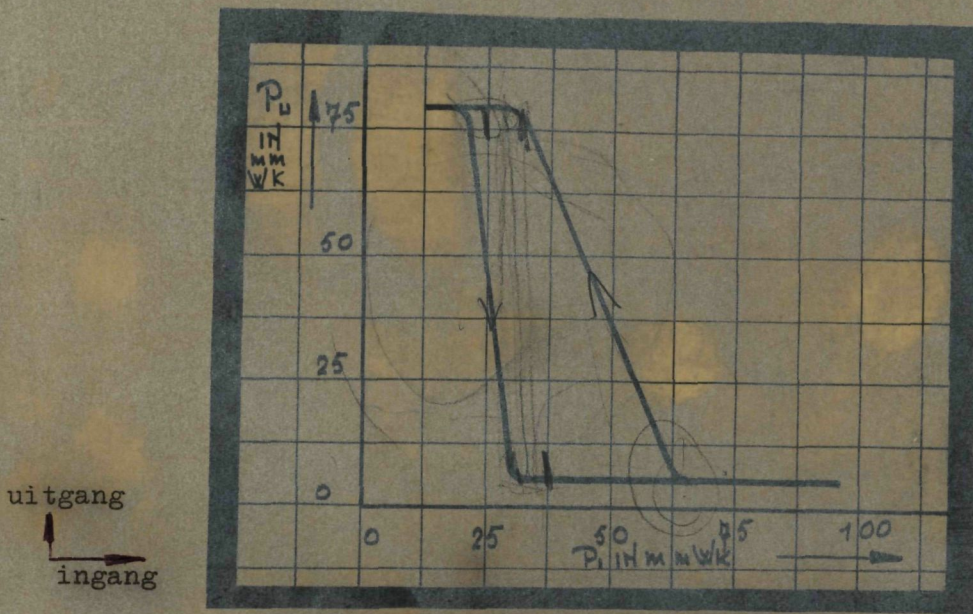


fig. 22, hysteresislus, geconstrueerd uit fig. 21, (tekening).

6.3 Dynamische metingen.

6.3.1 Metingen aan de oscillator.

Er is een oscillator gebouwd van drie elementen. Deze bestond uit de elementen E, C en B. De opstelling blijkt uit fig. 23.

Een dergelijke kring is instabiel omdat een oneven aantal malen een tekenomkering optreedt. Bij het kleinst mogelijke volume van slangen en drukopnemers (ca. 100 mm³ per verbinding) bleek de oscillatiefrequentie te liggen bij ca. 85 Hz., ofwel 4 milliseec. per element.

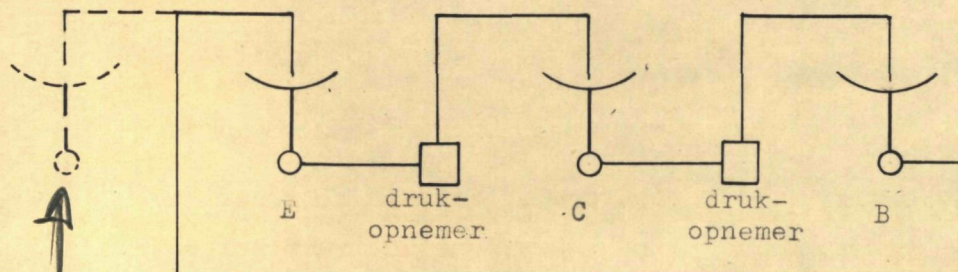


fig.23, oscillator

ziedag 37

Toen de opnamen van fig. 24 en 25 gemaakt werden, had deze oscillator al enige uren geschakeld. De schakeldruk van element C blijkt te zijn gestegen.

Het tijdstip waarop het element begint te schakelen kan nauwkeurig worden afgelezen (knik in het drukverloop). Uit de grafieken kan de schakeltijd van de elementen worden bepaald. Deze tijd blijkt 1 tot 1,5 milliseec. te zijn. (zie fig. 24 en 26)

Het minder sterk stijgen van de druk tijdens het schakelen wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de verplaatsing van het klepje.

De volumevergroting die daardoor ontstaat, ontlucht de leiding gedeeltelijk.

Tijdens het schakelen stijgt de druk slechts ongeveer 10 mm Wk. Daarna loopt de druk weer steiler op tot de maximum waarde. Dit verloop is verder niet interessant: de klep heeft toch al geschakeld.

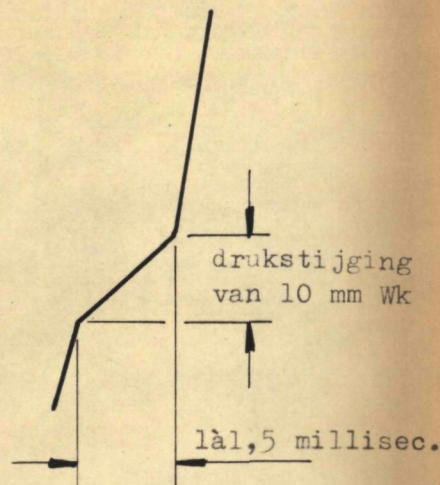


fig.26, druk als functie van de tijd

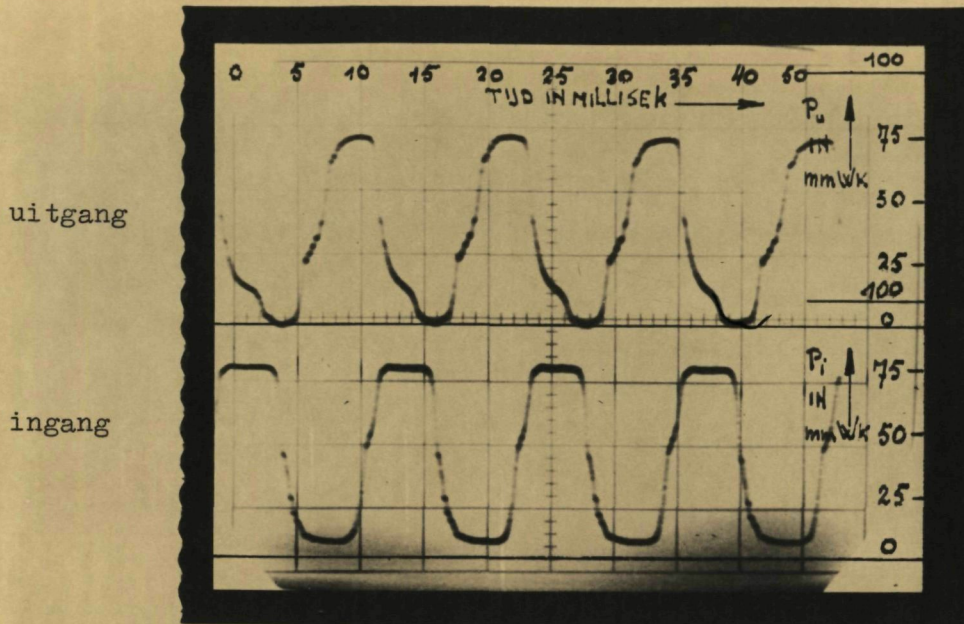


fig. 24, in- en uitgangsdruk als functie van de tijd; element C, oscillator, voedingsdruk 100 mm Wk.

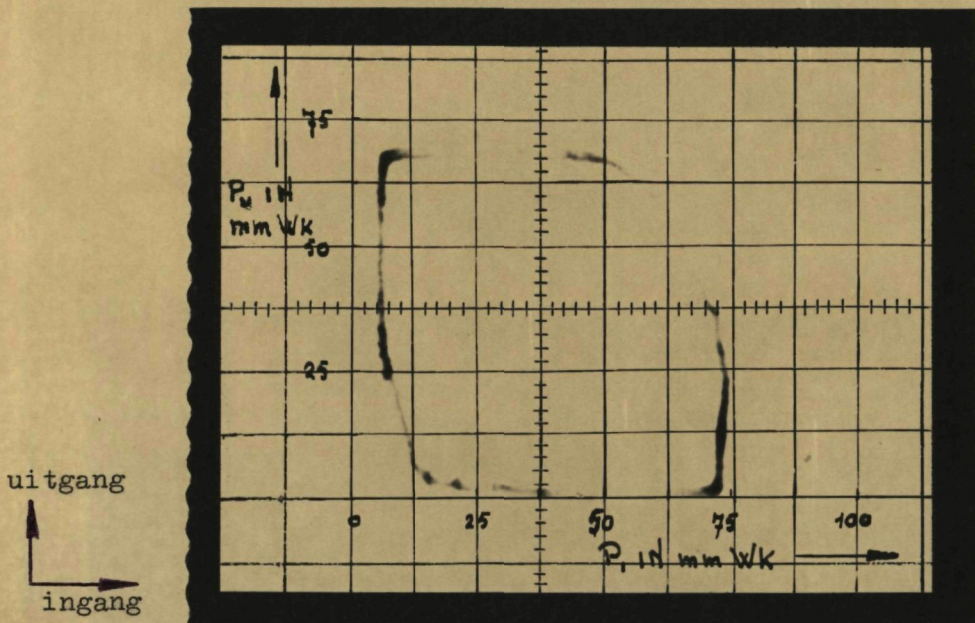


fig. 25, hystereselus van element C in de oscillatorschakeling; voedingsdruk 100 mm Wk.

Verklaring voor niet zelf-starten?

Wanneer men het verloop van de uitgangsdruk bekijkt tijdens het schakelen, dan blijkt dat de uitgang pas gaat dalen, respectievelijk stijgen, wanneer de klep geheel omgeschakeld is.

Deze wetenschap zal de berekening van de verschijnselen aanmerkelijk kunnen vereenvoudigen.

Het bleek mogelijk om nog een element parallel te zetten aan de oscillator (gestippeld in fig. 23). Dit betekent dat een Fan-Out van 2 bewezen is.

De oscillator is uitstekend geschikt om het gedrag bij lagere en hogere drukken te onderzoeken.

De laagste voedingsdruk waarbij de oscillator nog bleef schakelen bleek ongeveer 20 mm Wk te zijn. Zie fig. 27.

De snelheid was ongeveer 45 Hz.

Het verband tussen druk en snelheid is bepaald vanaf genoemde 20 mm Wk tot $0,3 \text{ kg/cm}^2$. Het verloop blijkt zeer verrassend te zijn, zie fig. 28.

Van 20 tot 100 mm Wk neemt de snelheid toe zoals te verwachten was.

Het traject van 100 tot 300 mm Wk geeft een constante snelheid van 85 Hz. te zien, waarna de snelheid weer langzaam daalt tot 16 Hz. bij $0,3 \text{ kg/cm}^2$. Bij hogere drukken wilde de schakeling niet meer oscilleren.

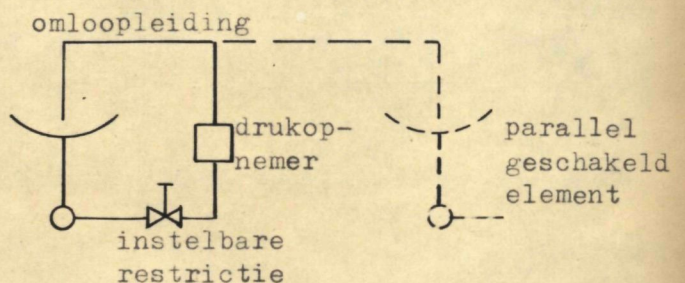
De oorzaak van dit verschijnsel is nog onbekend. Het element C bleek de proef niet zo goed doorstaan te hebben, de beide andere, E en B wel. Tijdens de proef bleef het oscilloscope beeld ongeveer gelijk aan dat van de fig. 24 en 25.

Van haperen tijdens de levensduur was niets te merken. Dit kon geconstateerd worden uit het feit dat de oscillator nooit stopte met schakelen. Eenmaal weigeren van een element betekent namelijk het stoppen van de gehele kring.

6.3.2 Oscillator van een element.

Het bleek ook mogelijk om van één element een oscillator te maken. Opstelling volgens fig. 29.

fig. 29, oscillator bestaande uit één element.



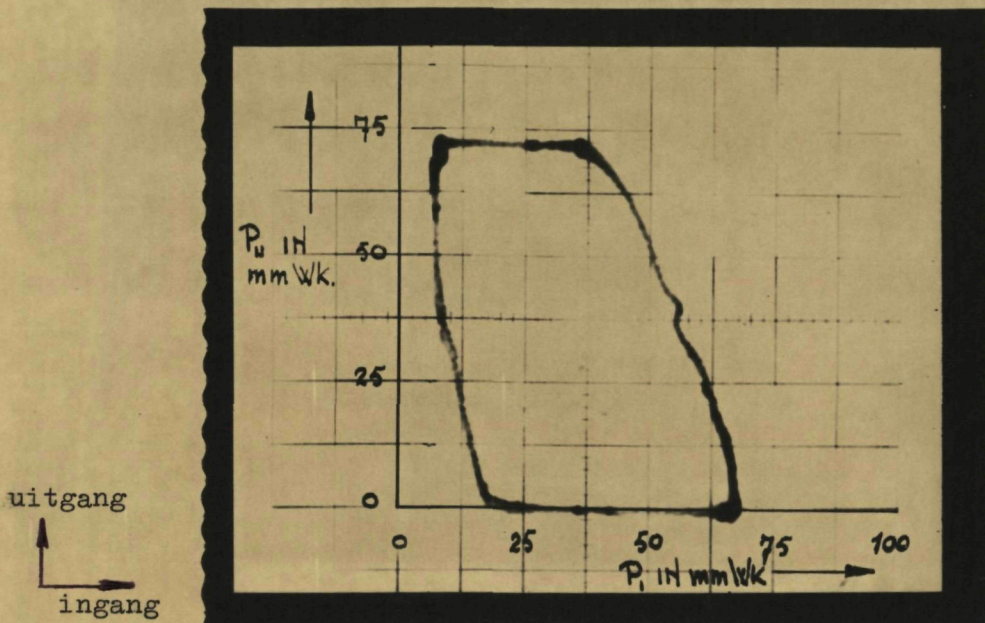


fig. 34, hystereselus, element C in de rechte keten; 20 Hz.

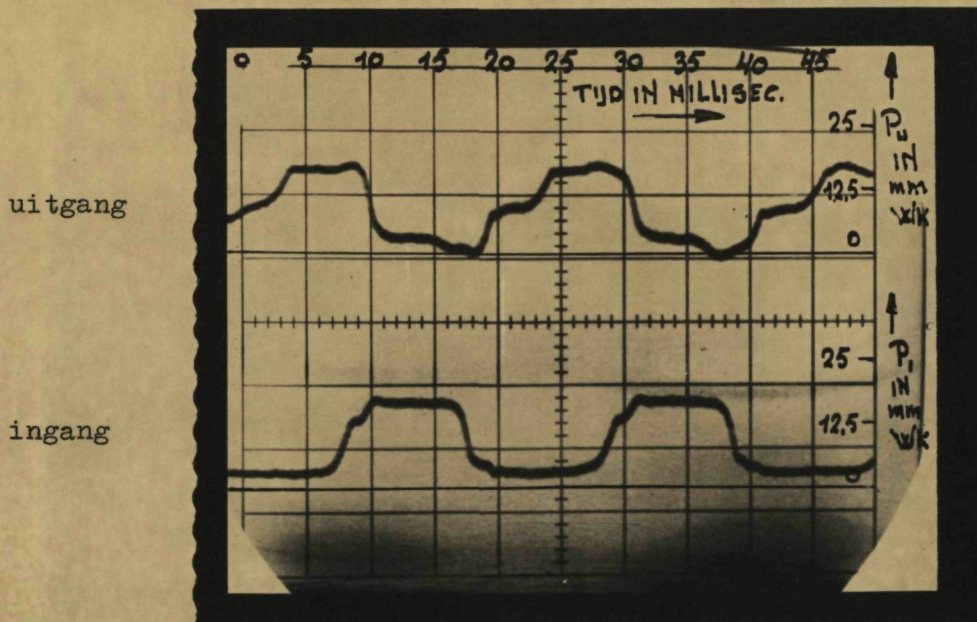


fig. 27, in- en uitgangsdruk als functie van de tijd; element C, oscillator, voedingsdruk 20 mm Wk.

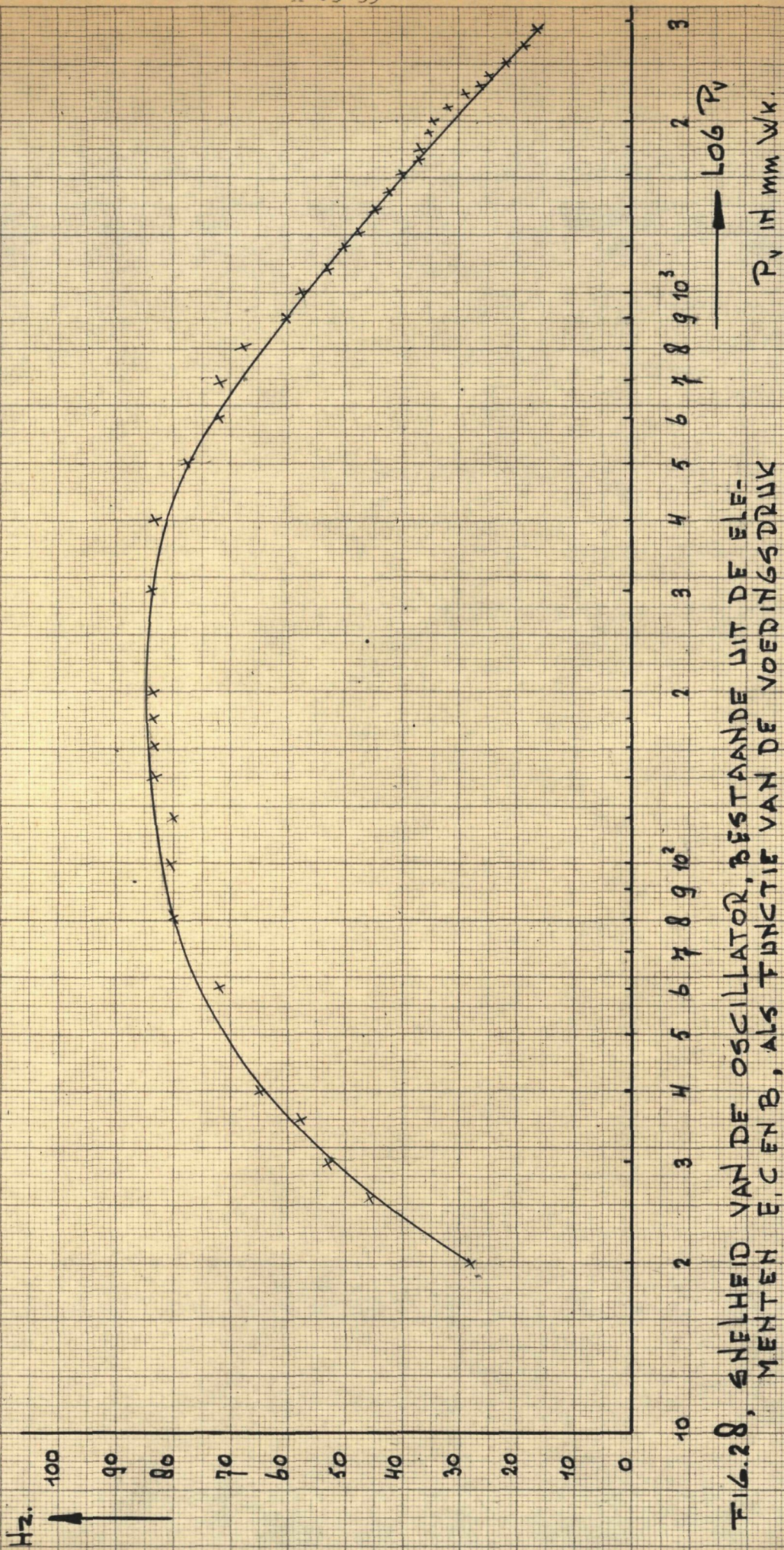


FIG. 28, Snelheid van de oscillator, bestaande uit de elf-
 menten E, C en B, als functie van de voedingsdruk

Het drukverloop leek veel op ruis met een amplitude van ca. 10 mmWk. Dit is juist de drukstijging tijdens het schakelen. Wanneer in de omloopleiding een weerstand werd opgenomen, bleek het mogelijk een ander element aan te drijven met een snelheid van ca. 150 Hz. Het oscilloscopebeeld was ongeveer gelijk aan dat van fig.24.

6.3.3 Metingen aan rechte ketens.

Teneinde het gedrag van de elementen bij andere frekwenties dan 80 Hz. te bestuderen zijn verschillende proeven genomen met rechte ketens. De voedingsdruk was weer 100 mm Wk.

Een dergelijke keten bestond uit een aantal in serie geschakelde elementen aangedreven door een snelle pulsgenerator. Zie fig. 30. instelbare restrictie

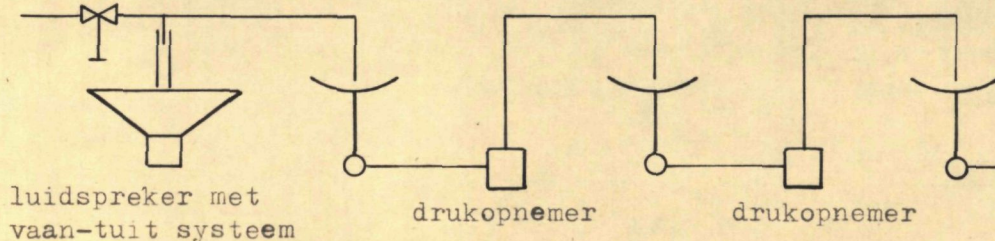


fig.30, rechte keten.

De generator bestaat uit een door een elektronische pulsgenerator aangedreven luidspreker en een vaan-tuit systeem. De luidspreker bedient de vaan van het vaan-tuitsysteem.

Het blijkt mogelijk te zijn om redelijke pulsen te maken tot ca. 300 Hz. De instelling van het systeem elektronische generator--luidspreker--vaan-tuit systeem is zeer kritisch.

Allereerst zijn proeven genomen teneinde het luchtverbruik te bepalen. Wanneer we over luchtverbruik spreken dienen we dit eerst te definiëren. Statisch is gemeten hoe groot de lek bij de gesloten stand is aan de ingang, zowel als aan de uitgang. Dit geeft een goede indicatie van de kwaliteit van het element.

Dynamisch is echter de stroom naar een ingang niet te meten, tenzij men een anemometer gebruikt. Daarvoor ontbrak echter de tijd.

Als luchtverbruik is nu gedefinieerd: de gemiddelde voedingsstroom die optreedt bij 100 Hz., terwijl een identiek element aangedreven wordt. De meting is uitgevoerd volgens de definitie.

De konsekwentie van de definitie is echter dat het luchtverbruik van een element afhangt van de kwaliteit van het volgende.

De opstelling was als volgt:

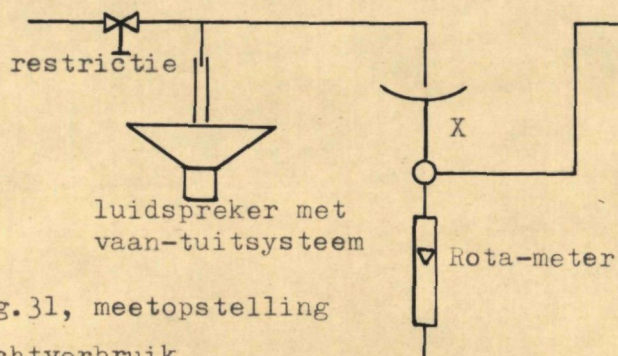


fig.31, meetopstelling
luchtverbruik.

Het element X is het te meten element, Y wordt door X aangedreven.

X	Y	voedingsstroom in l/hr
A	C	2,5
B	C	2,8
C	G	1,8
D	C	2,5
E	C	1,4
G	C	1,4

Tabel II

Door voor het aan te drijven element steeds het element C te nemen, krijgt men waarden die onderling vergelijkbaar zijn. Dit betreft dus de kwaliteit van uitgangs- en middenzitting.

Er is nogal wat verschil. Er blijkt geen duidelijke correlatie te zijn met de statische metingen van tabel I-a en b. Er moet echter opgemerkt worden dat de meeste elementen al ca. 2 miljoen schakelingen gemaakt hadden (slijtage!).

Er zijn geen proeven genomen teneinde de ingang te testen, door voor X één element te nemen en Y te wisselen.

Er zijn nog enige opnamen gemaakt van het drukverloop voor en na de elementen C en G in de rechte keten, fig. 32 en 33.

Ook de hystereselus is gefotografeerd, fig. 34. Beide figuren (32 en 33) zijn tekeningen gemaakt naar de foto's. Deze waren niet geschikt om af te drukken.

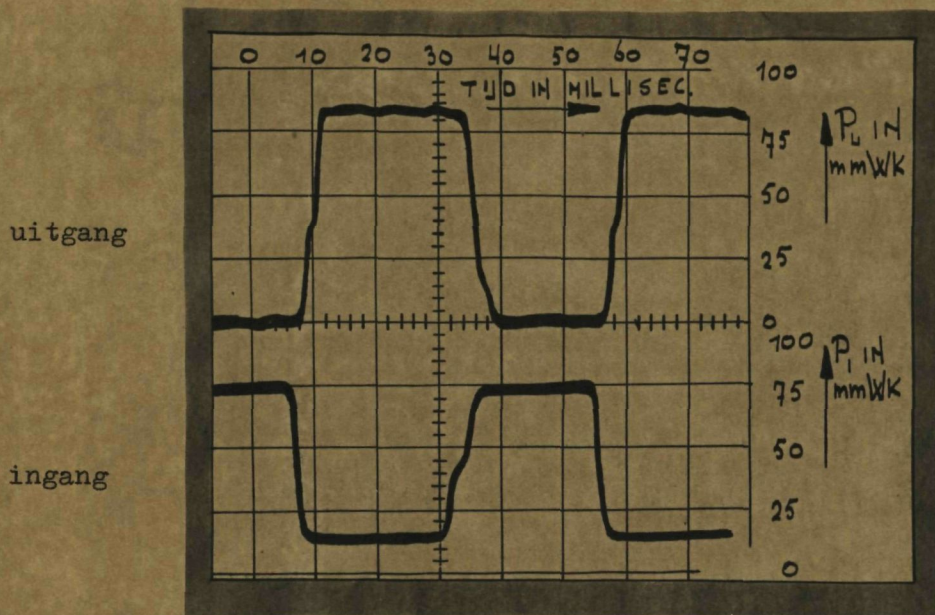


fig. 32, in- en uitgangsdruk als functie van de tijd; element G, rechte keten, 20 Hz.

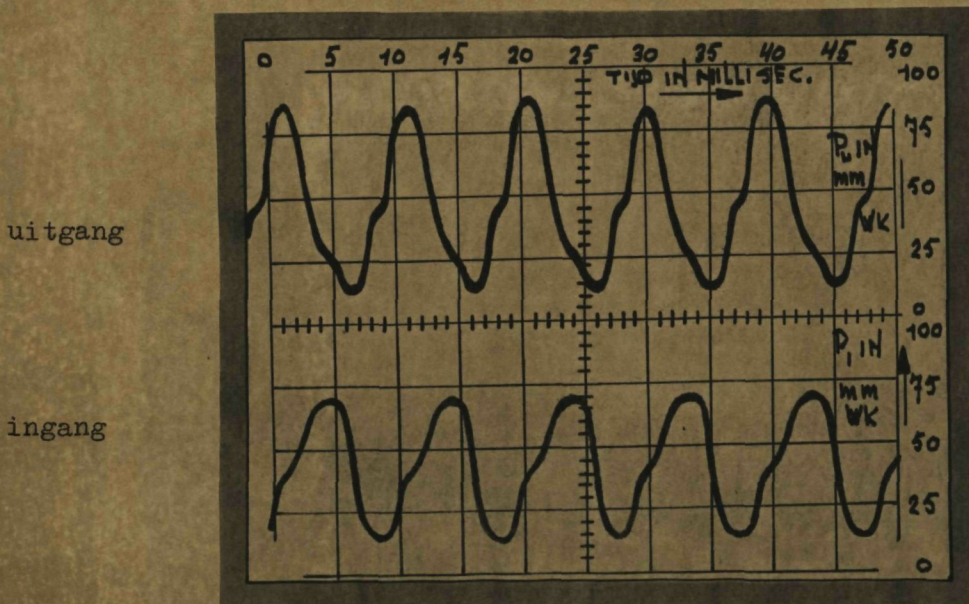


fig. 33, in- en uitgangsdruk als functie van de tijd; element G, rechte keten, 100 Hz.

De hoogste frekwentie waarmee de keten kon worden aangedreven was 200 Hz. Bij nog hogere frekwenties schakelden de elementen niet meer. Het is niet bekend of de hoogte en vorm van de puls uit het vaan-tuit systeem hier soms oorzaak van waren. Theoretisch zou de maximum frekwentie namelijk ca. 250 Hz. moeten zijn.

Er zijn nog enige proeven genomen met de positionering van de elementen in de ruimte. Het bleek voor de werking van het element geen enkel verschil te maken hoe de stand was ten opzichte van de richting van de zwaartekracht. Alle proeven zijn zelfs genomen terwijl de hartlijn van de elementen horizontaal liep. Dit is de ongunstigste stand. Na al deze proeven waren de elementen juist versleten.

De levensduur bleek 3 à 4 miljoen schakelingen te zijn.

De oorzaak van het haperen is waarschijnlijk slijtage van de aluminium kleppen. Na demontage en microscopisch onderzoek bleek de onderzitting namelijk vaak aluminiumsporen te vertonen. Het klepje was dan beschadigd. Zie fig. 35.

De vervuiling door stofdeeltjes in de voedingslucht speelt misschien ook nog een rol. Er zijn geen proeven genomen met een extra filter wegens gebrek aan tijd.

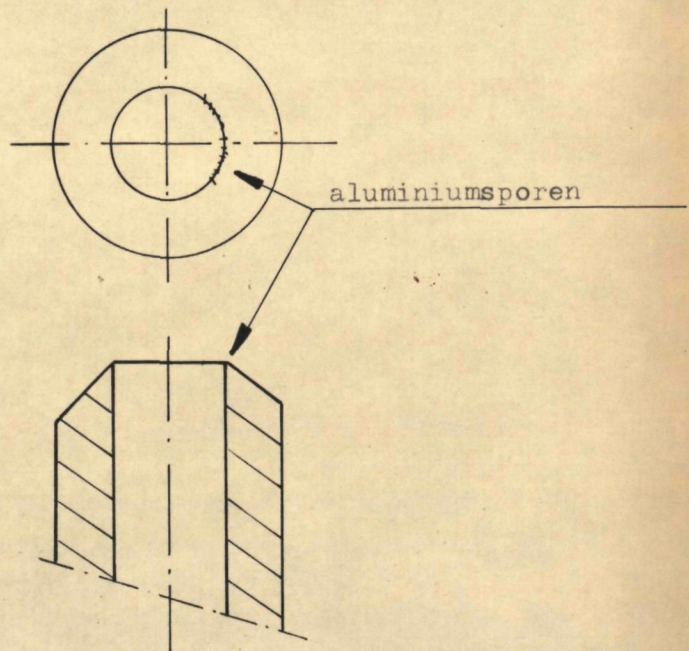


fig.35, aluminium-afzetting op de onderzitting.

7. Berekeningen.7.1 De opzet van het vereenvoudigde rekenschema.

Teneinde een redelijk beeld te krijgen vande prestaties van het element mogen we niet alleen met de schakeltijd zelf rekenen. Ook de tijd nodig voor het op druk brengen van de leidingen moet in rekening gebracht worden.

Om de berekeningen eenvoudig te houden worden een aantal vereenvoudigingen en lineariseringen ingevoerd. Dit zijn:

- a. We rekenen met een schakeling volgens fig.31. Het element Y wordt berekend. De berekening omvat de verbindingsleiding tussen X en Y, en het klepje van Y.
- b. We nemen aan dat tijdens het schakelen van het element X de uitgangsdruk van X niet verandert. Blijkens de foto's (fig.24, 27 en 33) maken we hiermee slechts een geringe, te verwaarlozen fout.

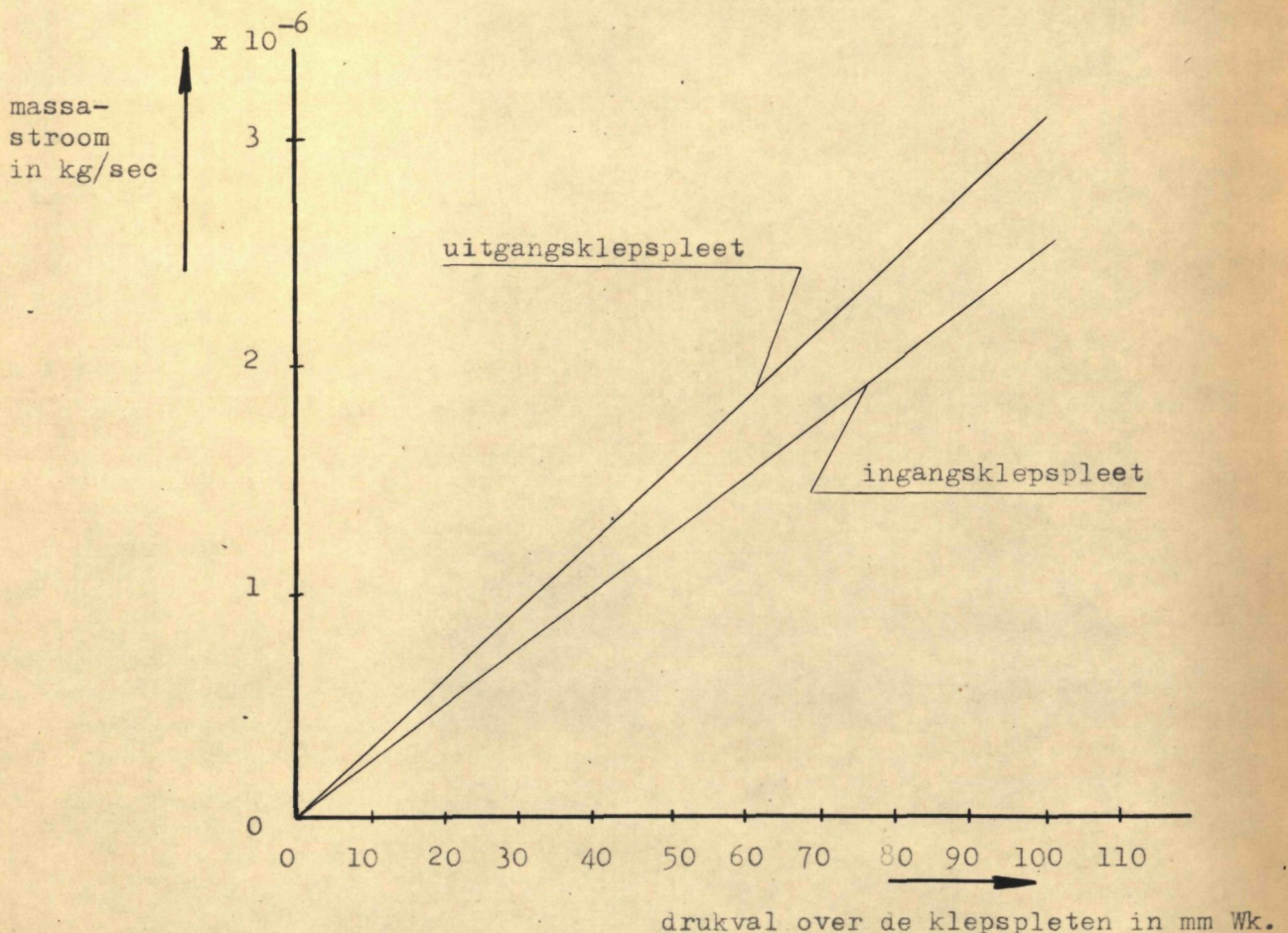


fig.36, gelineariseerde statische karakteristieken van het element C.

$$\Delta p = \frac{128 \eta l \dot{q}_m}{\rho \pi d^4} \quad \text{in m.m.}$$

$$10 = \frac{128 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot l \cdot 10^{-3} \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}}{1,28 \cdot \pi \cdot 16 \cdot 10^{-12}}$$

die heq 42,43

aentel. mm lengte lang van
2 mm ϕ van wendend
na 1 mm W.K. by max. flow.

$$l = \frac{12,8 \cdot \pi \cdot 16 \cdot 10^{-12}}{128 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3} \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}}$$

$$= \frac{12,8 \cdot \pi \cdot 16}{128 \cdot 1,8 \cdot 3,3} \cdot \frac{10^{-12}}{10^{-14}}$$

$$= \frac{\pi \cdot 16}{18 \cdot 3,3} \cdot 10^2 \quad \approx 100 \frac{\text{mm}}{\text{mm W.K.}} \text{ by max. flow}$$

- c. We beschouwen de karakteristieken van element C als representatief en vervangen de kromme lijnen van fig.8 door rechten. Zetten we de massastroom door de klepspleten uit tegen de drukval over de spleet, dan volgt fig.36. Voorts nemen we aan dat alle elementen gelijk zijn.
- d. De kleppen worden beschouwd als ideale afdichtingen, er is geen lek.
- e. De hysteresis wordt buiten beschouwing gelaten.

Het bovenste gedeelte van het drukverloop (zie fig.37) is eigenlijk niet belangrijk. Als de klep geschakeld heeft is het doel bereikt: hetingangssignaal is geïnverteerd. In de berekeningen zullen we dit gedeelte dan ook weglaten.

Er blijven nu 4 tijden over om te berekenen:

- I. De stijgtijd tot het schakelpunt.
- II. Het schakelen van open naar dicht.
- III. Het schakelen van dicht naar open.
- VI. Het dalen van de druk tot nul.

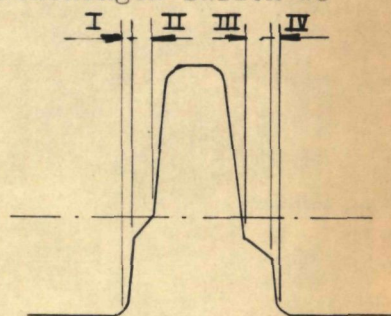
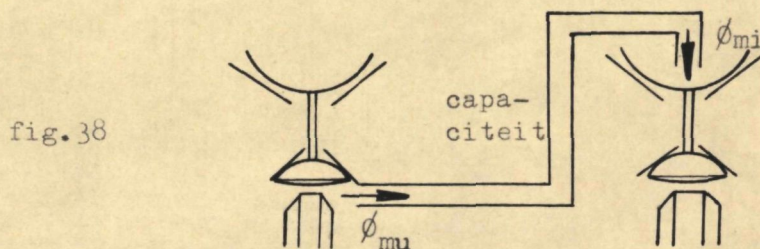


fig.37, drukverloop

7.2 De stijgtijd tot het schakelpunt.

Gezien de vereenvoudigingen, genoemd onder a., kunnen we de situatie schetsen als een capaciteit (verbindingsleiding) in serie met twee weerstanden (in- en uitgangsklepspleten), zie fig.38.



We hebben aangenomen dat de massastroom door de klepspleten evenredig is met de drukval. Dit kan geschreven worden als:

$$\Delta P = R \times \phi_m \quad (1)$$

Voor een capaciteit geldt:

$$\phi_m = C \times \dot{P} \quad (2)$$

C kan uit de afmetingen van de leiding worden bepaald volgens:

$$C = \frac{\rho \times V}{P} \text{ constant} \quad (3)$$

(1) toegepast op in- en uitgangsklepspleet levert:

$$\Delta P_i = R_i \times \phi_{mi} \quad (4)$$

$$\Delta P_u = R_u \times \phi_{mu} \quad (5)$$

De totale massastroom bedraagt:

$$\begin{aligned} \phi_m &= \phi_{mu} - \phi_{mi} \\ &= \frac{\Delta P_u}{R_u} - \frac{\Delta P_i}{R_i} \end{aligned} \quad (6)$$

Ingevuld in (2) geeft dit:

$$\frac{\Delta P_u}{R_u} - \frac{\Delta P_i}{R_i} = C \times \dot{P} \quad (7)$$

Nu is $\Delta P_u = (10^3 - P) \text{ N/m}^2$ en

$$\Delta P_i = P \text{ N/m}^2$$

Dit geeft:

$$\frac{10^3 - P}{R_u} - \frac{P}{R_i} = C \times \dot{P} \quad (8)$$

$$R_i (10^3 - P) - R_u \cdot P = R_u \cdot R_i \cdot C \cdot \dot{P}$$

$$R_i \cdot 10^3 - R_i \cdot P - R_u \cdot P = R_u \cdot R_i \cdot C \cdot \dot{P}$$

$$R_u \cdot R_i \cdot C \cdot \dot{P} + (R_i + R_u) P = R_i \cdot 10^3$$

$$R_u \cdot C \cdot \dot{P} + \frac{R_i + R_u}{R_i} P = 10^3 \quad (9)$$

Stel $R_u C = \tau$, dan volgt een 1^e-orde systeem:

$$\tau \dot{P} + \left(\frac{R_i + R_u}{R_i} \right) P = 10^3 \quad (10)$$

De oplossing hiervan is:

$$P = \frac{10^3}{K} (1 - e^{-\frac{K}{\tau} t}) \text{ N/m}^2 \quad (11)$$

Hierin is $K = \frac{R_i + R_u}{R_i}$

De einddruk van 100 mm Wk wordt dus niet gehaald. Dit is ook niet nodig, daar het element al bij 25 mm Wk schakelt.

De waarde van de diverse constanten bedraagt:

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{10^3}{\phi_{mu \text{ max.}}} = \frac{10^3}{3,3 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/sec}} \\ &= 3 \times 10^8 / \text{msec.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_i &= \frac{10^3}{\phi_{mi \text{ max.}}} = \frac{10^3}{2,7 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{N/m}^2}{\text{kg/sec}} \end{aligned}$$

$$R_i = 3,7 \times 10^8 \text{ /msec.}$$

$$C = \frac{\rho \cdot V}{P} = \frac{1,28 \cdot 10^2 \cdot 10^{-9} \text{ kg/m}^3 \cdot \text{m}^3}{10^5 \text{ N/m}^2}$$

$$= 1,28 \times 10^{-12} \text{ msec}^2$$

$$\tau = R_u \cdot C = 3 \cdot 10^8 \cdot 1,28 \cdot 10^{-12} \frac{\text{msec}^2}{\text{msec}}$$

$$= 3,84 \times 10^{-4} \text{ sec.}$$

$$K = \frac{R_i + R_u}{R_i} = \frac{(3,7 + 3) \cdot 10^8}{3,7 \times 10^8} = \frac{6,7}{3,7} = 1,8$$

$$100 \text{ mm Wk} = 10^3 \text{ N/m}^2$$

Hieruit volgt P:

$$P = \frac{10^3}{1,8} \left(1 - e^{-\frac{1,8}{3,84 \cdot 10^{-4}} t} \right) \text{ N/m}^2$$

$$= 56 \left(1 - e^{-0,47 \cdot 10^4 t} \right) \text{ N/m}^2$$

Volgens de berekening zal Het verloop is geschetst in fig. 39.

De schakeldruk ~~blijkt~~ ^{moeten} bereikt ~~te~~ worden.

Dit stemt niet overeen met de metingen. Daaruit blijkt een stijgtijd van 0,7 milliseec.

Het is nog niet bekend, wat de oorzaak van dit verschil is.

7.3 Het schakelen van open naar dicht.

Tijdens het schakelen van open naar dicht treden een aantal verschijnselen op die de beschrijving van het drukverloop in de ingangsleding gecompliceerd maken. Met het kleiner worden van de klepspleet neemt de weerstand toe. Tevens neemt het volume van de leiding toe. Deze verschijnselen beïnvloeden het drukverloop in de leiding en daarmee de beweging van het klepje.

Teneinde een eerste indruk te krijgen van de beweging zal niet de gehele gecompliceerde berekening worden uitgevoerd.

Overigens zullen de vergelijkingen waarschijnlijk niet analytisch kunnen worden uitgerekend. Dit zal dan moeten geschieden met een analoge rekenmachine waarmee ook de variabele tijdconstanten in rekening kunnen worden gebracht.

Er zal nu gebruik worden gemaakt van de gemeten drukstijging van 10 mm Wk tijdens het schakelen.

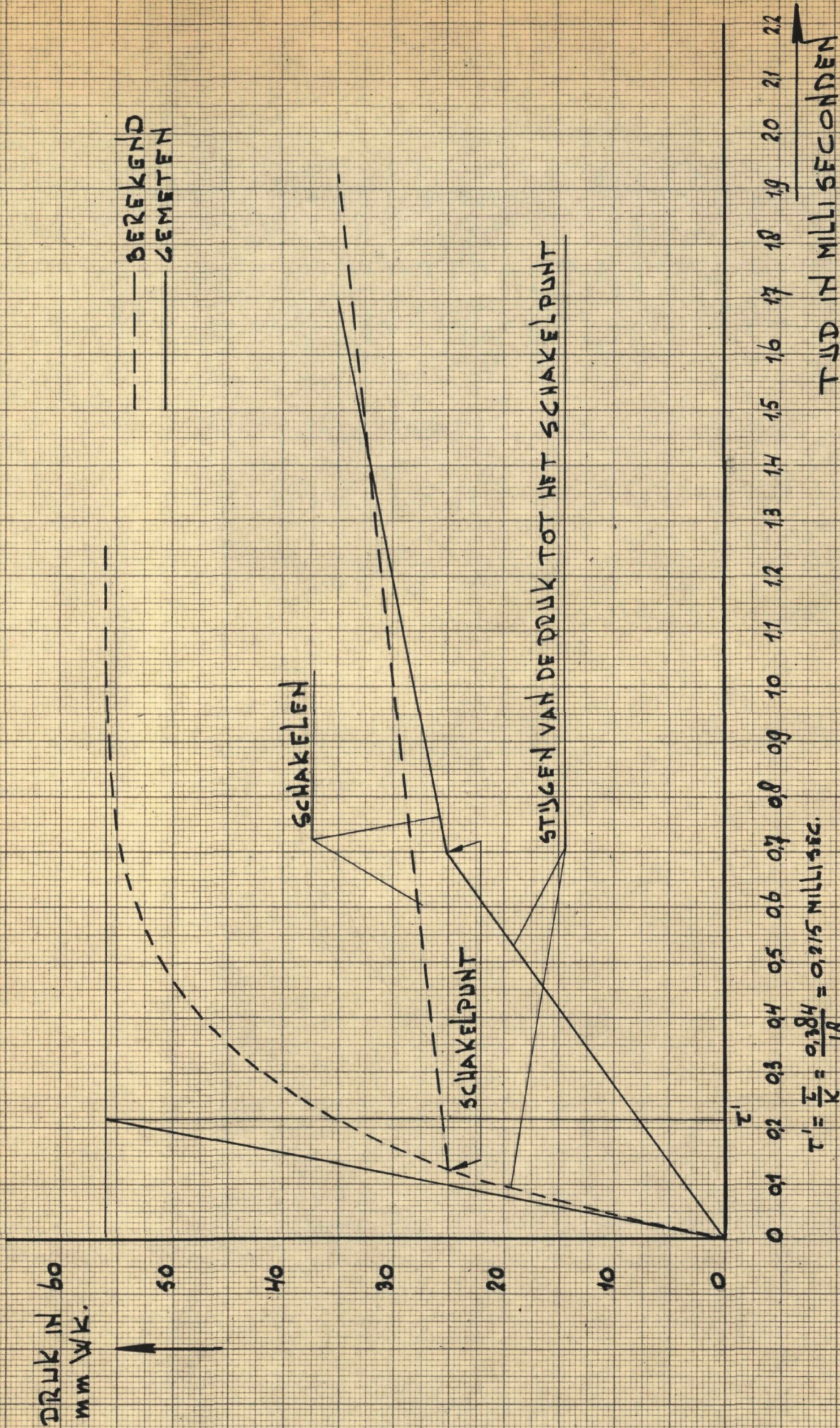


FIG. 39. DRUKVERLOED ALS FUNCTIE VAN DE TIJD TIJDENS HET SLUITEN VAN DE KLEP.

We nemen verder aan dat de drukstijging evenredig met de tijd verloopt.

Het drukverschil van 10 mm Wk veroorzaakt een kracht:

$$K = 10 \cdot \left(\frac{\pi}{4} 2^2 - \frac{\pi}{4} 1^2 \right) \cdot 10^{-6} \cdot 10 \text{ N}$$

$$= 2,34 \times 10^{-4} \text{ N}$$

Als T de schakeltijd is, dan is de kracht ten tijde t:

$$K_t = \frac{2,34 \cdot 10^{-4}}{T} t \text{ N}$$

Noemen we de schakelweg z, dan is volgens $K = m \cdot \ddot{z}$:

$$\frac{2,34 \cdot 10^{-4}}{T} t = 5 \cdot 10^{-6} \cdot \ddot{z}$$

Tweemaal integreren geeft:

$$5 \cdot 10^{-6} z \Big|_0^{2,5 \cdot 10^{-5}} = \frac{2,34 \cdot 10^{-4}}{T} \frac{1}{6} t^3 \Big|_0^T + A t \Big|_0^T + B$$

Met de randvoorwaarden $z = 0$, $\dot{z} = 0$ als $t = 0$ volgt:

$$A = 0 \text{ en } B = 0$$

$$5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} = \frac{2,34 \cdot 10^{-4}}{6} T^2$$

$$T^2 = \frac{30 \cdot 2,5 \cdot 10^{-11}}{2,34 \cdot 10^{-4}} \text{ sec}^2$$

$$= 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ sec}^2$$

$$T = \sqrt{3,2 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

Deze waarde is hoger dan de gemeten tijd van ca. 1 millisecc. Blijkbaar zijn de omstandigheden gunstiger dan aangenomen is. In fig. 40 zijn z, \dot{z} en \ddot{z} als functie van de tijd uitgezet.

7.4 De schakeltijd bij de beweging van dicht naar open.

Uit fig. 21 is heel goed te zien dat tijdens het schakelen de druk ook ongeveer 10 mm Wk daalt. Wanneer we dezelfde vereenvoudigingen aannemen als onder 7.3. kan dezelfde berekening gelden.

Er volgt dan ook een schakeltijd van 1,8 millisecc.

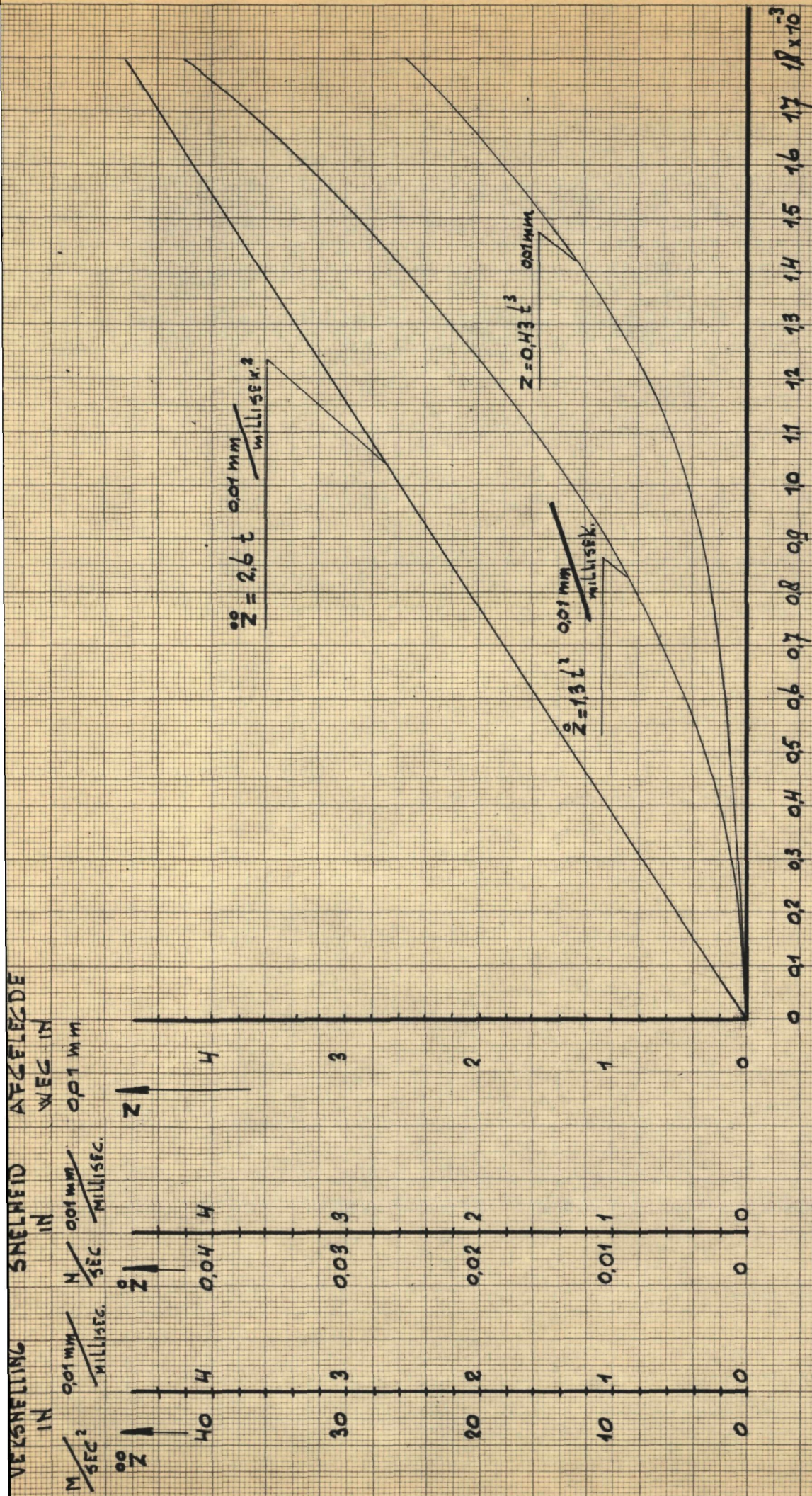
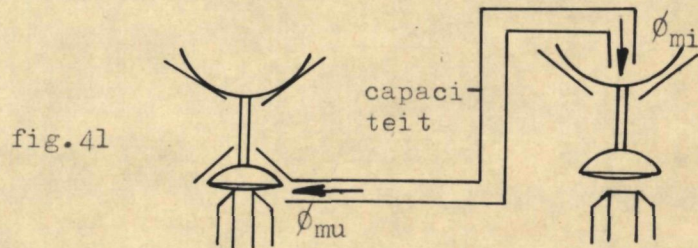


FIG. 10, AFGELEIDE WEG, SNELHEID EN VER-
SNELLING ALS FUNCTIE VAN DE TIJD
TIJD IN SEKONDEN

7.5 Het leeglopen van de leiding na het openen van de klep.

In principe komt deze berekening overeen met die onder 7.2. Alhoewel nu niet de onderzitting, maar de middenzitting wordt gebruikt, zullen toch de gegevens van de onderzitting gebruikt worden.

De volgende situatie is aanwezig:



Er geldt:

$$\phi_m = -\phi_{mi} - \phi_{mu} \quad (1)$$

$$\phi_m = C \cdot \dot{P} \quad (2)$$

(1) in (2) geeft:

$$-\phi_{mi} - \phi_{mu} = C \cdot \dot{P} \quad (3)$$

Aangezien $\phi_{mi} = \frac{P}{R_i}$ en $\phi_{mu} = \frac{P}{R_u}$ gaat (3) over in:

$$-\frac{P}{R_i} - \frac{P}{R_u} = C \cdot \dot{P} \quad (4)$$

Met $K = \frac{R_i + R_u}{R_i}$ en $\tau = R_u \cdot C$ volgt na enig uitwerken:

$$\frac{\tau}{K} \dot{P} + P = 0 \quad (5)$$

De oplossing van deze 1^e-orde differentiaalvergelijking:

$$P = A \cdot e^{-\frac{K}{\tau} t} \quad (6)$$

Randvoorwaarden: $P = 150 \text{ N/m}^2$, als $t = 0$.

$$150 = A \cdot e^{-\frac{K}{\tau} \cdot 0} \text{ N/m}^2$$

$$A = 150 \text{ N/m}^2$$

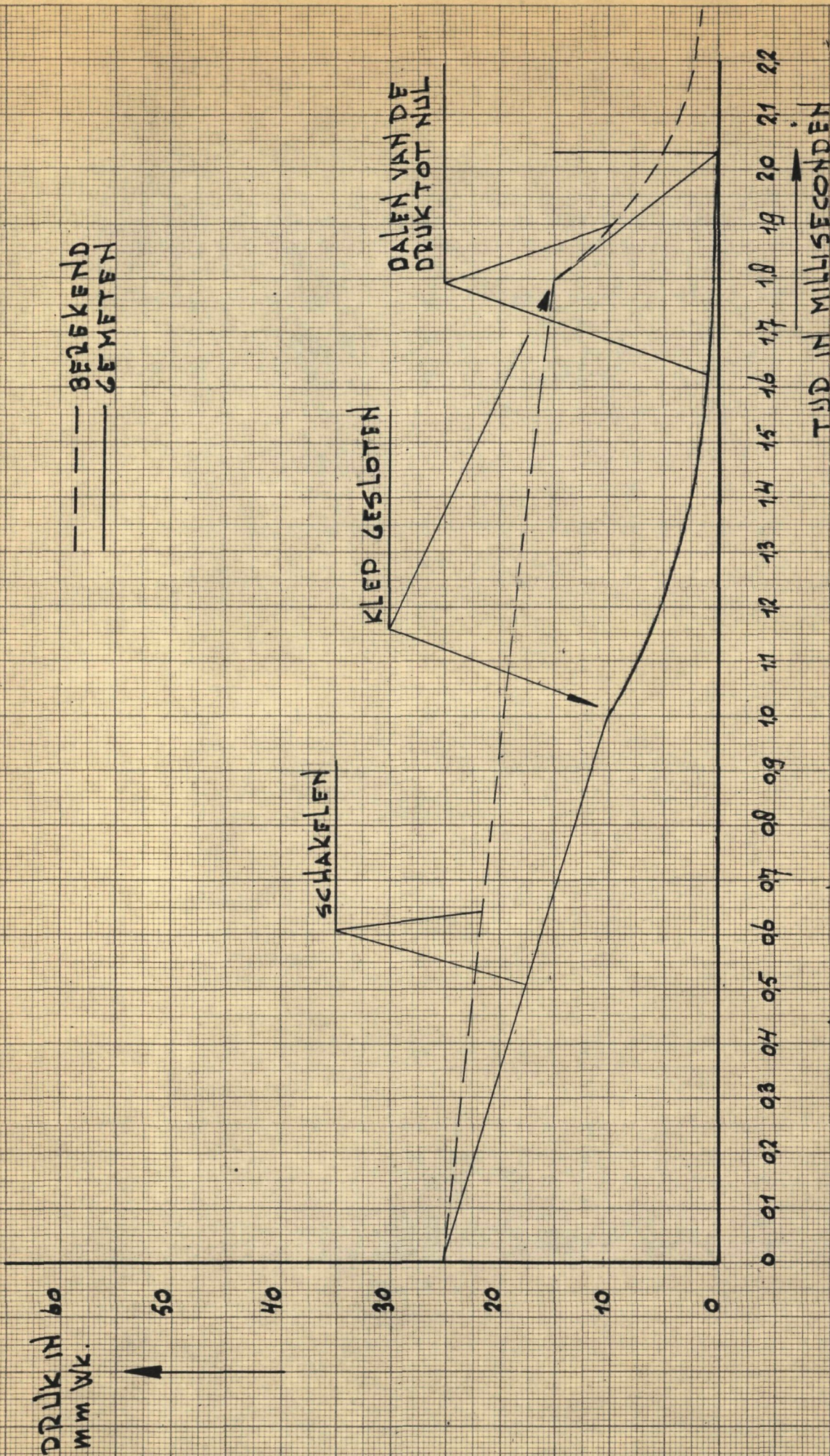


FIG. 42. DRUKVERLOOP ALS FUNCTIE VAN DE TIJD TIJDENS HET OPENEN VAN DE KLEP

tek 0.5 l/h
Instructieboek 5 en H₂ 1.8 l/h
kennet is de tek ^{sterk} maatgevend

K en τ hebben dezelfde waarde als onder 7.2 dus volgt:

$$P = 150 e^{-0,47 \cdot 10^4 t} \text{ N/m}^2 \quad (7)$$

Het verloop is geschetst in fig.42.

Evenals in fig.39 is ook hier het werkelijke drukverloop ter vergelijking bijgetekend.

7.6 Het luchtverbruik per schakeling.

Het luchtverbruik per schakeling staat niet geheel vast. Het hangt van verschillende factoren af:

- a. het volume van de leiding naar het volgende element
- b. de lek van de ingangszitting van het volgende element
- c. de lek van de eigen zittingen.

Er is een proef uitgevoerd bij 100 Hz., zie fig.31 en 6.3.3.

Beschouwen we weer element C als representatief. Element G wordt aangedreven. Het leidingvolume bedroeg 100 mm³. Uit de tabel II op blz.37 blijkt een luchtverbruik van 1,8 l/hr.

Per schakeling wordt dit:

$$\frac{1,8 \cdot 10^6}{100 \cdot 3600} \text{ mm}^3 = \frac{1,8 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^5} \text{ mm}^3 = 5 \text{ mm}^3$$

Per cyclus van 10 millisek. schakelt de klep gedurende 2 millisek.

De klep is 4 millisek. dicht en ook 4 millisek. open.

Uit de statische metingen blijkt (tabel I, blz.29) dat de voedingsstroom van element C in de gesloten toestand 2,0 l/hr. bedraagt.

In 4 millisek. is dit: $\frac{2 \cdot 10^6}{3600 \cdot 250} = 2,2 \text{ mm}^3$.

Als C open en G dicht is, loopt er door de ingangsklep van G 0,7 l/hr.

Gedurende 4 millisek.: $\frac{0,7 \cdot 10^6}{3600 \cdot 250} = 0,8 \text{ mm}^3$.

Het op druk brengen van de leiding vergt 1 mm³.

Totaal is dit: $2,2 + 0,8 + 1 = 4 \text{ mm}^3$.

Er ontbreekt nog 1 mm³.

Deze specificatie is slechts een ruwe benadering. De stijgtijden zijn niet gerekend, waardoor een fout ontstaat.

7.7 Het vermogen.

Om een schakeling te laten werken is een bepaald vermogen nodig. Het hangt ook weer af van de factoren a., b. en c., genoemd onder 7.6.

We zullen het vermogen definiëren als het vermogen aanwezig in de voedingslucht die door een element gebruikt wordt. Het betreffende element drijft een identiek element aan.

Nemen we weer element C als representatief, terwijl het G aandrijft. Het opgenomen vermogen is dan:

$$\begin{aligned} Q &= P \cdot \phi_{\text{voeding}} \quad \text{Watt} \\ &= \frac{10^3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3}}{3600} \quad \text{W} \\ &= 0,5 \cdot 10^{-3} \quad \text{W} \\ Q &= 0,5 \quad \text{milliWatt} \end{aligned}$$

Deze waarde geldt alleen bij de snelheid van 100 Hz. Bij andere snelheden loopt een andere voedingsstroom dan 1,8 l/hr.

Teneinde het element op dit punt te kunnen vergelijken met andere constructies is een vergelijkende grafiek overgenomen uit een verslag van een IFAC-symposium. Zie fig.43.

Het zwartgemaakte blokje geeft het gebied aan waarin het element thuishoort. Het gearceerde gebied lijkt me overigens vrij optimistisch wat betreft de schakelsnelheden. De ondergrens van het gebied zal waarschijnlijk afkomstig zijn van het Kearfott-element, met een schakeltijd van $2 \cdot 10^{-5}$ sek. (een theoretische waarde).

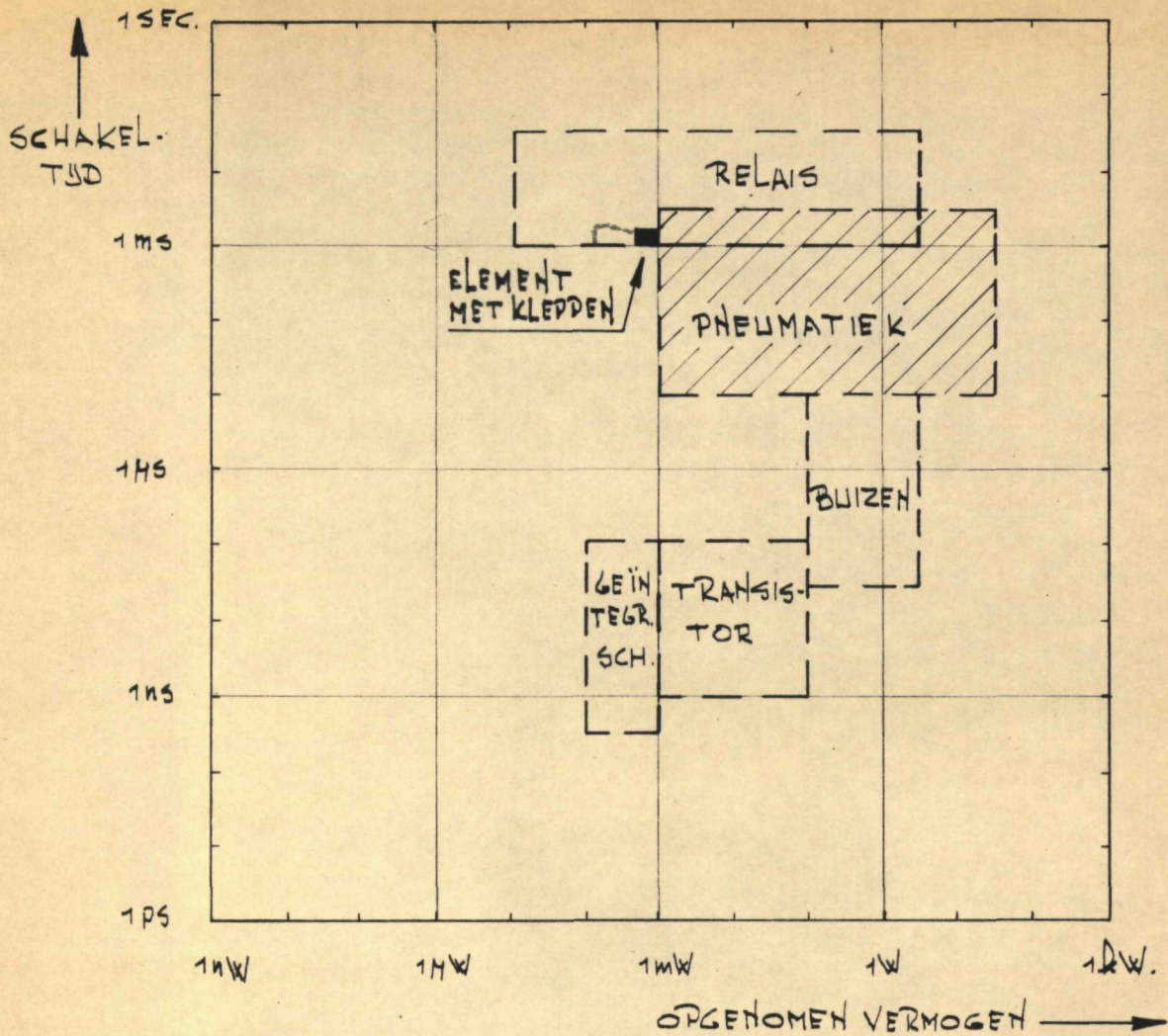


FIG. 43

Deze figuur is overgenomen uit:

Microminiaturization in Automatic Control Equipment and Digital Control
IFAC-IFIP symposium 1965, München. (blz. 30).

Uitgave: R. Oldenbourg Verlag, München-Wenen.

8. Slotopmerkingen.8.1. Samenvatting resultaten.

In het kort worden hier de resultaten samengevat:

Cyclustijd	: ca. 4 millisekonden
Afhankelijkheid van de positie in de ruimte	: geen
Luchtverbruik bij 100 Hz.	: 5 mm ³ per schakeling
Gevoeligheid voor veranderingen in de luchtdruk:	zie fig.28
Bestendigheid tegen hoge temperaturen	: slecht (tot 100 ^o C)

8.2. Voortgezette ontwikkeling van het element.

Voordat het geconstrueerde element als bouwsteen voor logische circuits bruikbaar is, zal men het eerst nog verder moeten ontwikkelen.

Er zijn nog vele belangrijke vragen onopgelost gebleven, zoals:

- a. de stroming in het element
- b. het niet toenemen van de snelheid bij drukverhoging
- c. optimale vormgeving en afmetingen
- d. het niet overeenstemmen van de berekeningen en de metingen
- e. de toepassing van betere materialen
- f. het door een andere vormgeving vergroten van de ingangswaerstand, waardoor de Fan-Out groter wordt
- g. de constructie van de dringend noodzakelijke geïntegreerde schakeling
- h. een goede oplossing van het diode-vraagstuk.

Het klepje kan men misschien van geëloxeerd aluminium maken, of van het veel hardere glas.

Het materiaal voor het huis is een veel moeilijker aangelegenheid. Men zal in verband met de vorm wel aangewezen blijven op gieten of persen. De plastics blijven dan over als enig geschikt materiaal. Een goed materiaal zal niet veel mogen krimpen en deze moet bij voorkeur zeer gelijkmatig zijn.

M
D
e

Er zijn tegenwoordig plastics verkrijgbaar die tot vrij hoge temperaturen gebruikt kunnen worden (ca. 350°C). De verwerking ervan is nog moeilijk.

In fig. 44 ziet men nog een voorstel voor een lichtere klepconstructie.

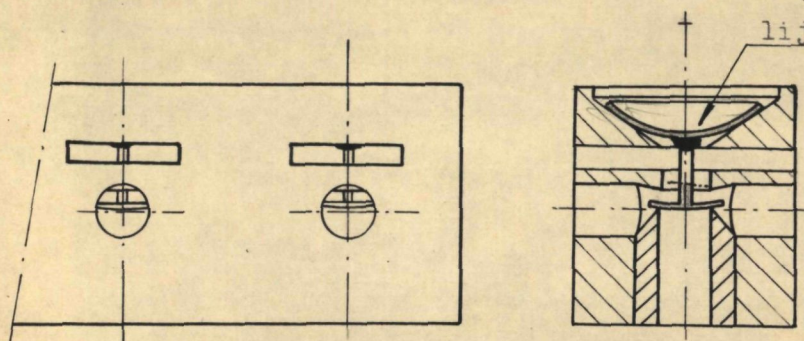


fig. 44

*Zou dat
veel
helpen?*

De geïntegreerde schakeling zal moeilijk zijn te maken. Een eerste eis bij het construeren van schakelingen zal moeten zijn: korte leidingen!! Dit niet zo zeer uit ruimtebesparing, maar om de capaciteiten klein te houden. Zelfs kan men overwegen om bij het ontwerpen van een schakeling niet zo zeer te streven naar een minimum aantal elementen, maar naar het kleinst mogelijke leidingnet.

Het aantal elementen per cm^3 zonder leidingstelsel bedraagt nu ca. 10. Rekent men de geïntegreerde schakeling en de voedingsluchtkanalen mee, dan zal dit cijfer misschien wel dalen tot 2.

8.3. Conclusie.

Het geconstrueerde element voldoet redelijk aan de verwachtingen. De nadruk heeft gelegen op de technologische kant. Nu gebleken is dat een dergelijke constructie uitvoerbaar is, kan de stromingsleer 7 nog veel aan de verbetering doen.

De Fan-Out is nog wat laag voor een praktische toepassing.

Ook de snelheid zouden we graag nog wat hoger zien. Het lijkt me overigens dat er bij hogere snelheden veel moeilijkheden met de capaciteiten zullen optreden. Misschien zal de druk dan nog wel moeten dalen.

9. Instrumentarium, grondstoffen, symbolen e.d.9.1 Lijst van gebruikte apparatuur.

Naam	Fabrikant	Type	Labno.
Manometer	Betz <i>VEPR</i>	<i>Betz</i>	P 280
Drukopnemer A	Kistler	701A SN13521	-
Drukopnemer B	Kistler	701G SN12464	-
Ladingversterker A	Kistler	566 no. SN1516	E 765 A
Ladingversterker B	Kistler	566 no. SN2335	E 517
Frekwentiegenerator	Wavetek, San diego, Cal.	model 110	E 727
Menger	Vibro Mischer, Zürich	E ₁ no. 8770	-
Oscilloscope	Hewlett Packard	130 A	-
Oscilloscope	Tektronix	RM 561 A	E 611 A
Reduceerventiel	A.E.I.-Sunvic	40-2	P 334
Reduceerventiel	A.E.I.-Sunvic	40-2	P 164
Reduceerventiel	A.E.I.-Sunvic	40-A-30	P 120
Rota-meter	Rota Oeflingen	L 0,25/14-811	H 48
Rota-meter	Rota Oeflingen	L 0,25/14-813	H 49
Rota-meter	Rota Oeflingen	L 0,025/1,9-434	H 51
Stofzuiger	Holland Electro	-	-
Vacuumpomp	Edwards High Vacuum	RB 4 W 28716	-

Eigen fabrikaat:

vloeistofmanometers

pulsomvormer elektrisch-pneumatisch

droogkast

vacuuminstallatie

9.2. Gietharsen en lijmen.

Het huisje en de onderzitting werden gegoten van de giethars CY 230 met de harder HY 951. Ze worden vervaardigd door de CIBA Aktiengesellschaft te Bazel. De voornaamste eigenschappen zijn:

uitharding bij 20°C	:	geen krimp
uitharding bij 100°C	:	1,3% krimp
druksterkte	:	10 kg/cm ²
treksterkte	:	5-8 kg/cm ²
elasticiteitsmodulus E	:	300-350 kg/cm ²
lineaire uitzettingscoëfficiënt	:	90 · 10 ⁻⁶ mm/mm °C

Deze hars werd soms ook gebruikt als lijm.

Als lijm werd voorts de hars F7 gebruikt. Verkoop: J.H. Kimman, Handelsmaatschappij, Rotterdam.

Nagellak bleek ook een goede lijm. Het voordeel van deze lak is de mogelijkheid van demontage.

9.3 Symbolen.

Symbool	Benaming	Dimensie
A	konstante	-
B	konstante	-
C	capaciteit	msek ²
K	kracht	N
K	konstante	-
P	druk	N/m ²
P _i	ingangsdruk	N/m ²
P _s	schakeldruk	N/m ²
P _u	uitgangsdruk	N/m ²
P _v	voedingsdruk	N/m ²
ΔP	drukverschil	N/m ²
Q	vermogen.	W

Symbol	Benaming	Dimensie
R	weerstand	/msek.
R_i	weerstand ingangsklepspleet	/msek.
R_u	weerstand uitgangsklepspleet	/msek.
T	schakeltijd	sekonden
V	volume	m^3
d_i	diameter ingangszitting	mm
d_u	diameter uitgangszitting	mm
f	functie	-
k	Fan-Out faktor	-
n	Fan-Out faktor	-
s	slag (= z_{max})	mm
t	tijd	sekonden
z	schakelweg	mm en m
ϕ_i	ingangsstroom	$m^3/sek.$
ϕ_m	massastroom	kg/sek.
ϕ_{mi}	massastroom ingang	kg/sek.
ϕ_{mu}	massastroom uitgang	kg/sek.
ϕ_u	uitgangsstroom	$m^3/sek.$
ρ	soortelijke massa	kg/m^3

*hitzynklevende
op foorzi...*

9.4. Constructietekeningen.

De onderdelentekeningen van prototype no.3 zijn op de volgende blz. aanwezig. Vanwege het grote aantal zijn de overige tekeningen niet in dit verslag aanwezig. Ze zijn te vinden in het archief van het laboratorium voor Regeltechniek onder de no.'s R 11/2, R 11/4, R 11/6, R 11/7, R 11/10, R 11/11, R 11/12 en R 11/13.

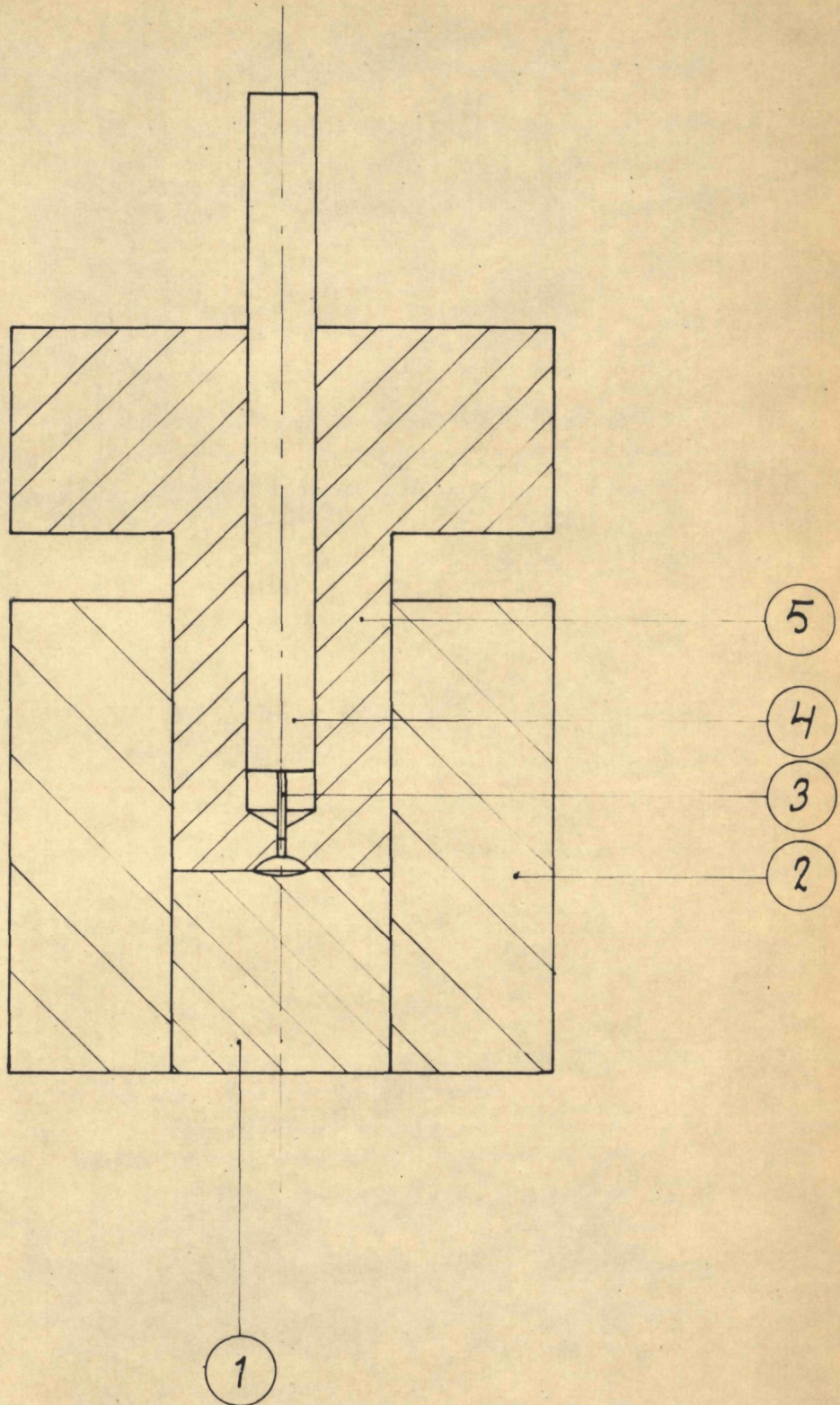
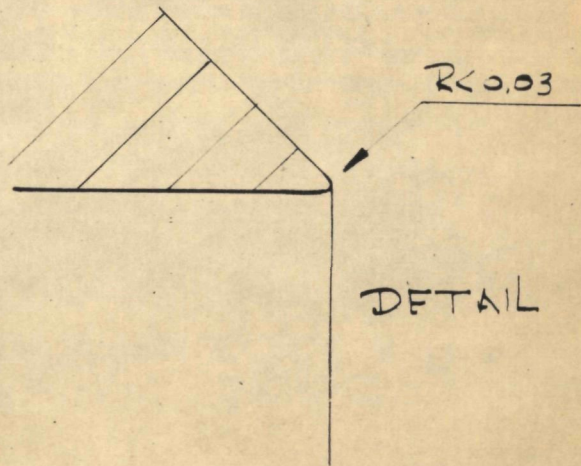
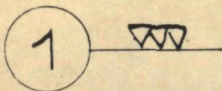
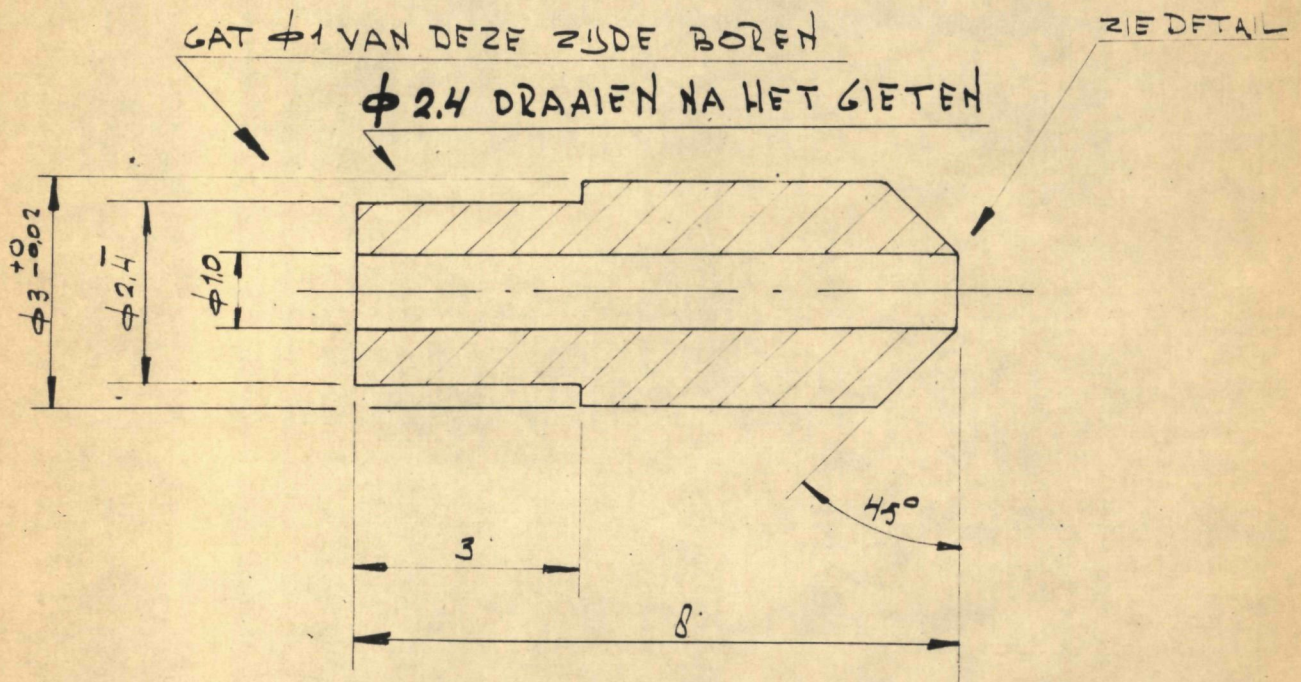
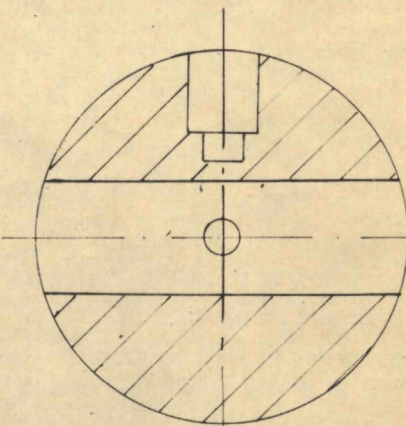
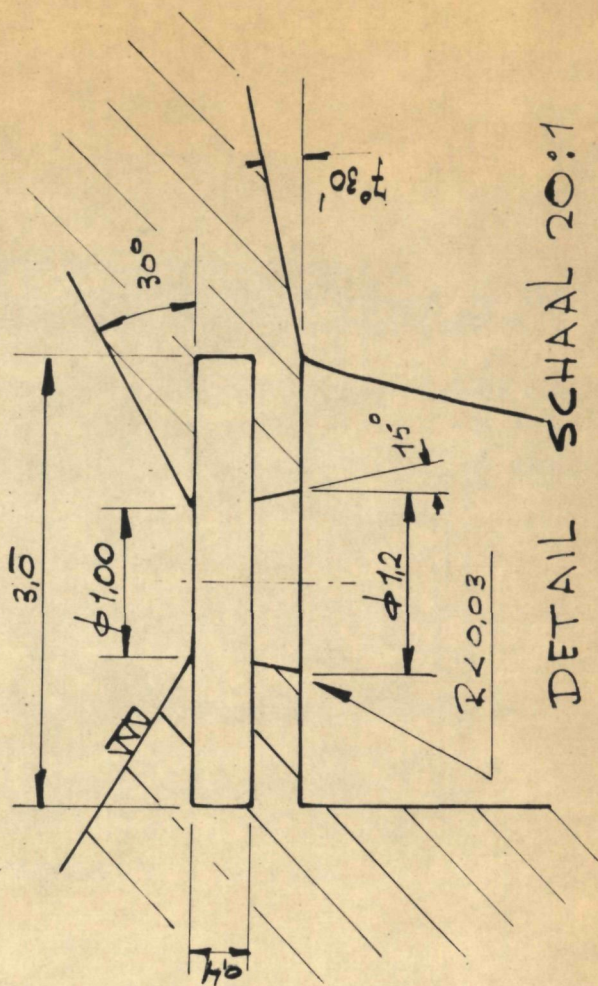
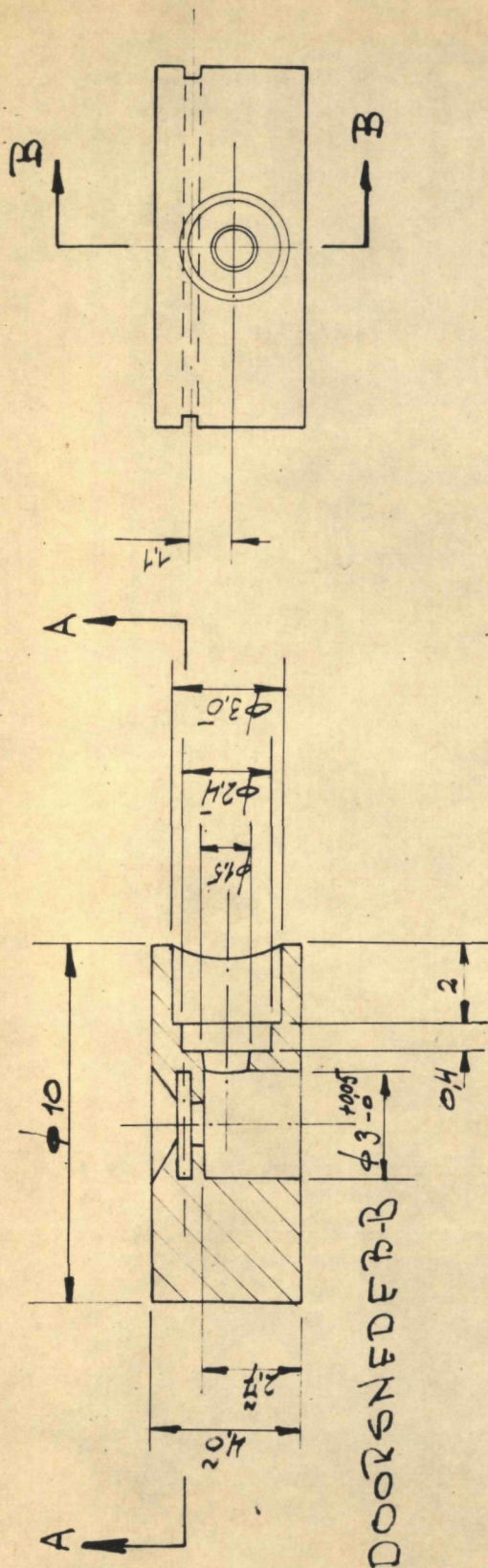
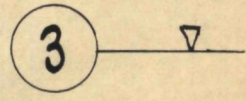
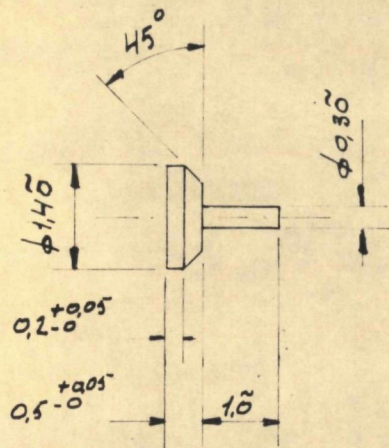


fig.14, stempel voor het persen van het klepje met steel.
Voor de onderdelentekeningen zie men tekeningno. R11/4.





2



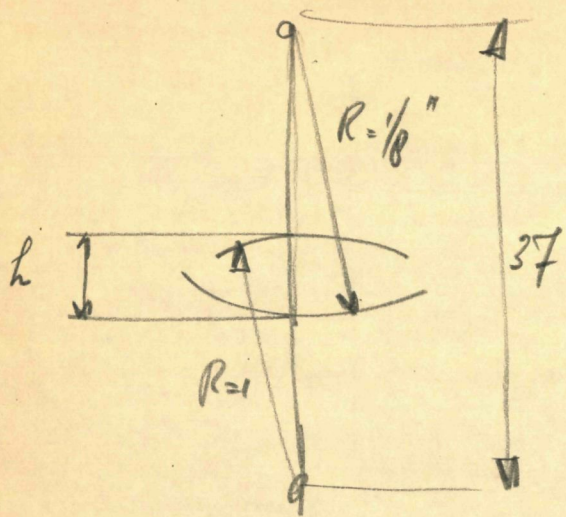
TECHNISCHE HOGESCHOOL
 WERKTUIGBOUWKUNDE
 Leeghwaterstraat 45 - Delft
 Lab. Meet- en Regeltechniek

KLEP

Get.: HARREWIJNE
 Dat.: 24-2-67
 Schaal: 10:1

Gecontr.:

Mat.: ALUMINIUM
 Nr.: A-63-60



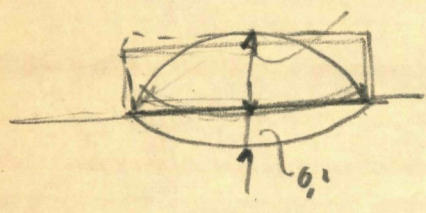
$$\frac{1}{8}'' = 3,175 = R_1$$

1	R ₂
4,175	1104
3,7	
0,475	= h

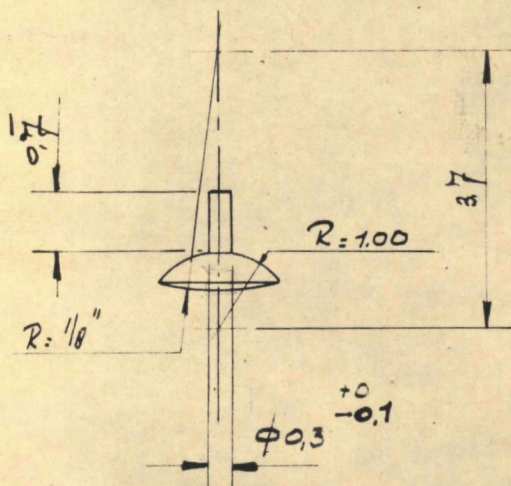
Neem raanddikte 0,2 mm.

resterende dikte 0,475 - 0,2 = 0,275

Neem aan cirkel



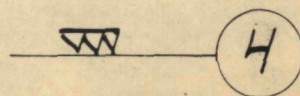
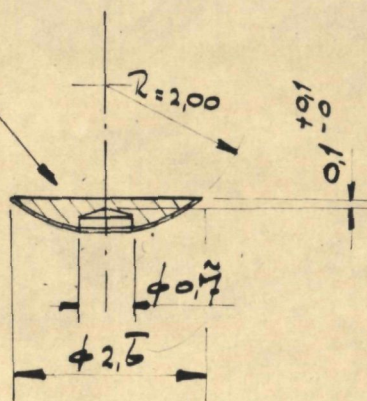
$$J = \frac{\pi}{4}$$



3

<p>TECHNISCHE HOGESCHOOL WERKTUIGBOUWKUNDE Leeghwaterstraat 45 - Delft Lab. Meet- en Regeltechniek</p>	<p>KLEP</p>	<p>Get. A. H. R. S. W. M. Dat. 6-6-67 Schaal 10:1</p>	<p>Gecontr. </p>	<p>Mat. ALUMINIUM Nr. A-63-61</p>
--	-------------	--	------------------	---------------------------------------

ALUMINIUM SCHAAL
VOLLEK MET ARALDIT.



TECHNISCHE HOGESCHOOL
WERKTUIGBOUWKUNDE
Leeghwaterstraat 45 - Delft
Lab. Meet- en Regeltechniek

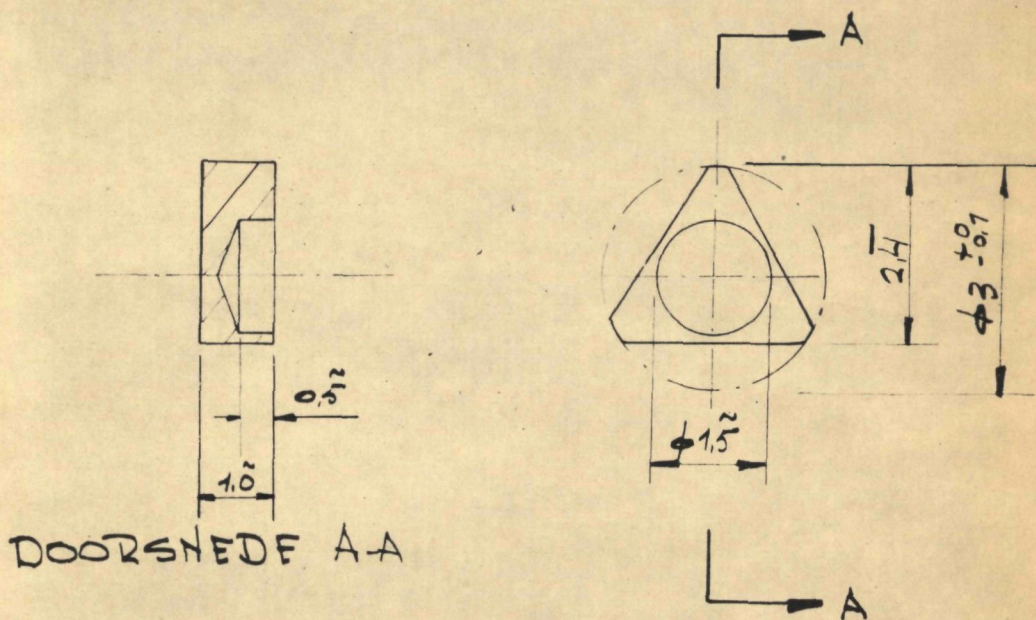
BOVENKLEP

Get. *A. Harzevink*
Dat. 13-12-63
Schaal: 10:1

Gecontr.:

Mat.:
ARALDIT / ALU.

Nr.
A-63-62



6

TECHNISCHE HOGESCHOOL
 WERKTUIGBOUWKUNDE
 Leeghwaterstraat 45 - Delft
 Lab. Meet- en Regeltechniek

DIODE-BEGRENZER

Get: F. H. B. W. W. E.
 Dat: 14-12-64
 Schaal: 10:1

Gecontr.:

Mat:
 ALUMINIUM

Nr.
 A-63-64

Bijlage bij het verslag A-63.

Inhoud:

Behandeling van de epoxy-hars.

Gieter van de hars.

Fabricage van de bovenklepjes.

Montage van het element.

Behandeling van de epoxyhars.

De hars moet voor het gieter ontlucht worden. Neem daartoe een hoeveelheid hars van ca. 20 cm^3 en doe die in een glazen pot van ca. 3 cm diameter.

Plaats dit potje onder de vacuüm klok met de aansluiting voor de Vibro menger. Trek vacuüm tot 90% en monteer de Vibro menger. Tril gedurende ca. 2 uur met $1/4$ van de maximale amplitude. Tegen het eind van het proces dient de amplitude verminderd te worden. Doorgaan tot alle lucht verdwenen is. Dit is goed te zien door de glazen wand van het flesje. De hars is nu voldoende ontlucht.

Het gieter van de hars.

De mal dient voor het gieter goed schoongemaakt te worden. Alle delen moeten dan met siliconvet ingesmeerd worden. Al het vet moet daarna weer verwijderd worden.

De mal dient zodanig gemonteerd te worden, dat geen dode hoeken overblijven, zie fig. 1. In deze stand dient ook gegoten te worden

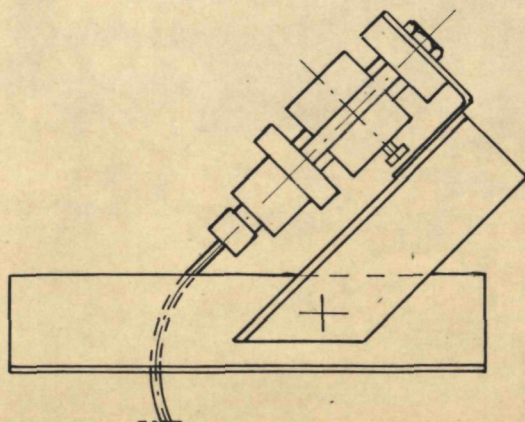


fig.1, opstelling van de mal in de klem.

De klembouten mogen niet te vast worden aangedraaid!!

Het klaarmaken van de hars dient met zorg te geschieden.

2 cm³ hars wordt volumetrisch afgemeten in een stukje plastic slang van 9 mm diameter. Hierbij wordt dan 0,2 cm³ harder gevoegd, door middel van een oude injectiespuit.

De harder moet nu door de hars gemengd worden. Dit kan gedaan worden met een aan het uiteinde omgebogen stukje ijzerdraad. Er moet zéér voorzichtig geroerd worden teneinde te voorkomen dat lucht ingemengd wordt. Als men de vermenging van hars en harder wil controleren, kan men wat rode kleurstof bijmengen.

Het eigenlijke gieten gaat als volgt:

de slangklem op de harde polyetheen slang wordt dichtgedraaid (zie fig.2)

Er wordt nu vacuum getrokken. Het uiteinde van de harde slang wordt in het stukje plastic buis gestoken, teneinde de hars te kunnen opzuigen.

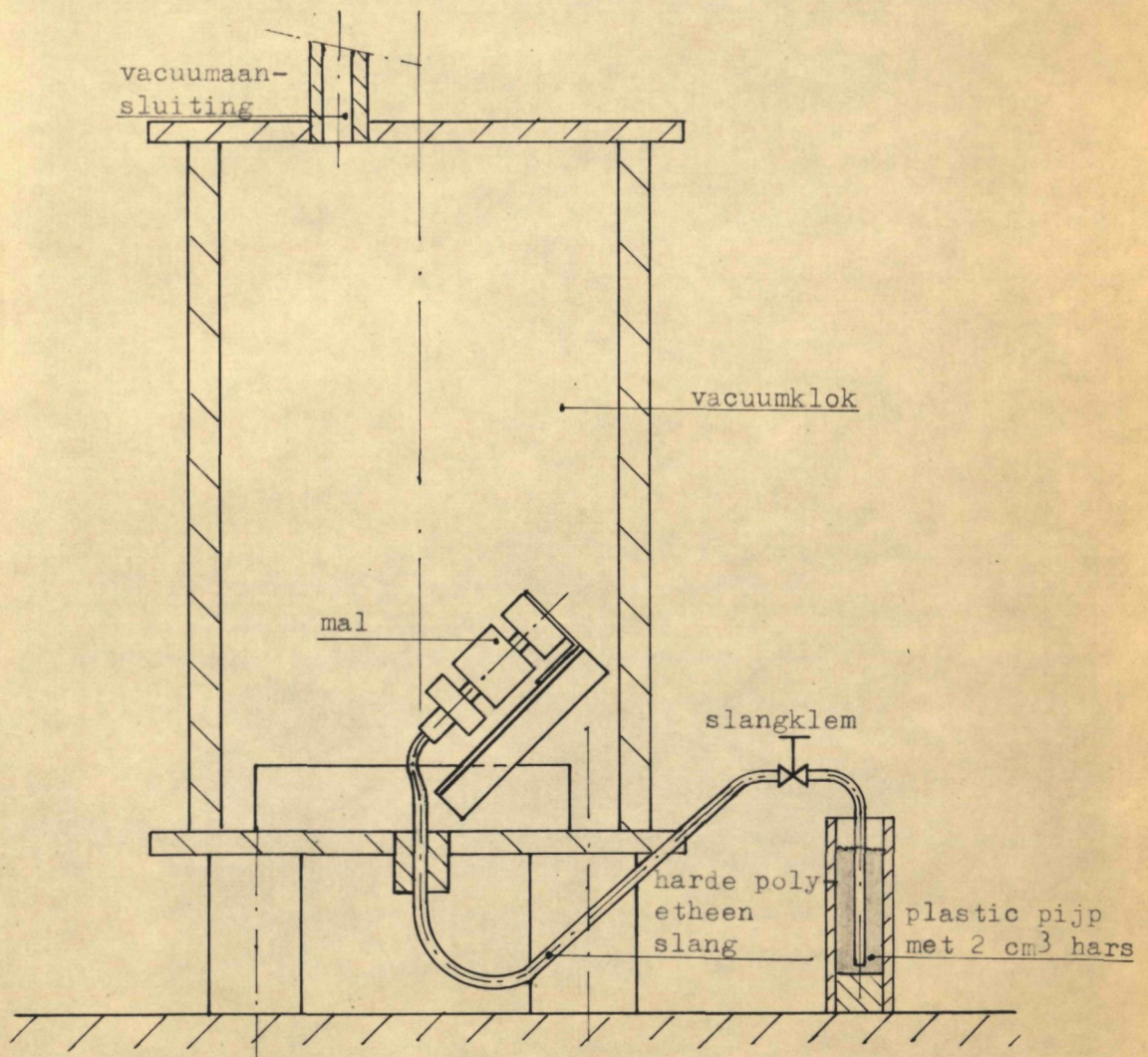


fig.2, opstelling van de mal in de klok

De slangklem kan nu worden losgedraaid. De mal mag snel vollopen. Als de opkomer vol is kan de slangklem dichtgedraaid worden. De hars kan nu uitharden. Wanneer snelle uitharding gewenst is kan de mal in de droogstoof geplaatst worden. De demontage van de mal is eenvoudig. De mal moet geheel afgekoeld zijn. Bouten verwijderen, klemstukken aandraaien en daarmee de eindpennen uit de mal trekken. Hierna kunnen de andere pennen verwijderd worden. Als laatste volgt het uitdrukken van het gietstuk. De opkomer en gietloop moeten door uitboren schoongemaakt worden. De onderzittingen worden op de volgende manier gemaakt. De twee delen van de mal (R 11/12) worden met siliconvet behandeld. Het vet wordt door blazen met perslucht weer verwijderd. Beide delen worden nu apart met hars gevuld en daarna gemonteerd (zie fig.3). Dus hier geen vacuümgieten!

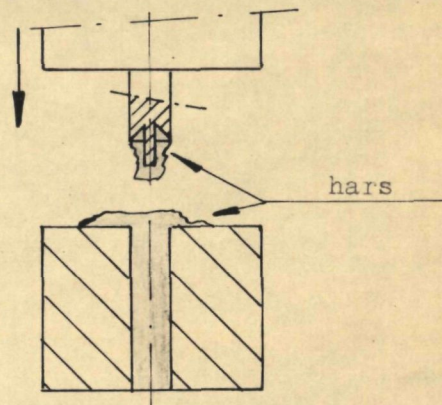
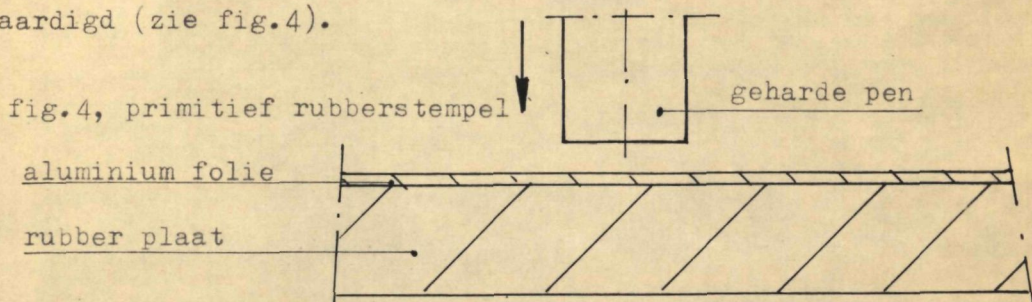


fig.3, het gieten van de onderzittingen (beide uitvoeringen).

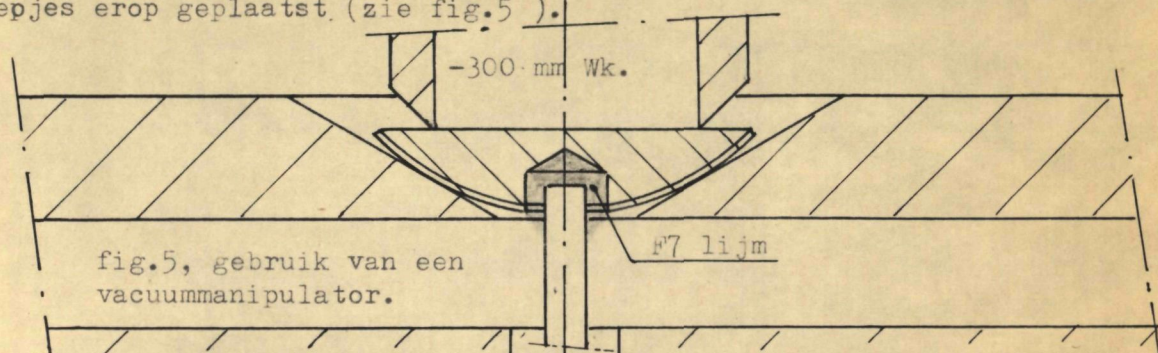
Fabricage van de bovenklepjes.

Met behulp van een geharde pen van 2,6 mm diameter en een plaat rubber worden ronde plaatjes uit 0,1 mm dik aluminiumfolie vervaardigd (zie fig.4).



In een stempel volgens de fig.13 op blz.19 van het verslag worden de plaatjes bol gemaakt.

De plaatjes worden gevuld met epoxy-hars. Daartoe wordt een stuk papier met siliconvet ingesmeerd. Druppels hars van de juiste grootte worden op het papier gelegd. Met een vacuumanipulator worden de klepjes erop geplaatst. (zie fig.5).



Na het uitharden kunnen de klepjes van het papier worden verwijderd. Met de boormal van tekening R 11/13 moet het gat van 0,7 mm diameter geboord worden. Dit behoeft verder geen toelichting. Er dient slechts gelet te worden op de juiste diepte instelling van de boormachine.

Montage van het element.

Kontroleer het huisje op lek van de zittingen met behulp van standaardkleppen.

Breng een klepje met steel aan, en een onderzitting. Stel de onderzitting zodanig af, dat bij een drukval van 100 mm Wk over de spleet een stroom van 10 l/hr aanwezig is.

De onderzitting nu vastlijmen met nagellak of een dikke lijm. Beslist geen dunvloeibare lijmen gebruiken!

Nu moet een opstelling volgens fig.15 uit het verslag, gemaakt worden. Vul het gat in het bovenklepje met wat F7 (gemengd met ca. 5% harder) en leg het klepje met de vacuumanipulator op de bovenzitting.

Kontroleer de diverse stromen met behulp van de Rota-meters.

De lek moet bij beide bij voorkeur $< 0,5$ l/hr. zijn

Wanneer dit niet het geval is, dient men de kleppen iets te verschuiven. Dit heeft vaak een gunstig resultaat.