

## Analyse van het trekkend verwijderen van buis

***Citation for published version (APA):***

Perduijn, A. B. (1987). *Analyse van het trekkend verwijderen van buis*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0500). Technische Universiteit Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1987

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

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

[Link to publication](#)

***General rights***

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

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

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

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Technische Universiteit Eindhoven  
Faculteit der Werktuigbouwkunde  
Vakgroep Productietechnologie en -Automatisering

Analyse van het trekkend  
verwijden van buis

WE 1

A.B. Perduijn

nov. 87  
VFcode: D1/D3

WPA nr. 0500

Stage-verslag  
Afstudeernoogleraar: Prof ir J.A.G. Kais  
Stage-bedrijf : Goedhardt bv  
Nijverheidsweg 6  
St Maartensdijk

	Blz.
Inhoudsopgave:	2
1 Probleemstelling	3
1.1 Probleembeschrijving	3
2 Modelvorming	4
3 Resultaten	8
3.1 Opwijdhoek $\alpha$	9
3.1.1 Expansieproef	10
3.1.2 Bolvormig gereedschap	12
3.2 Getrapt opwijden	13
3.3 Dunwandiger pijp	14
4 Conclusies	15

Bijlage:

- I Trekproef koperen pijp
- II Trekproef stalen pijp

## 1 Probleemstelling

De firma Goedhardt wil een nieuw type warmtewisselaar gaan produceren op de bestaande productiemachines. Zij doen dit door bij de huidige type warmtewisselaars de koperen leidingen te vervangen door stalen leidingen. Er zullen door deze verandering problemen ontstaan bij de fabricage van deze warmtewisselaars. Gevraagd is om in te schatten hoe groot deze problemen kunnen zijn en hoe ze opgelost kunnen worden.

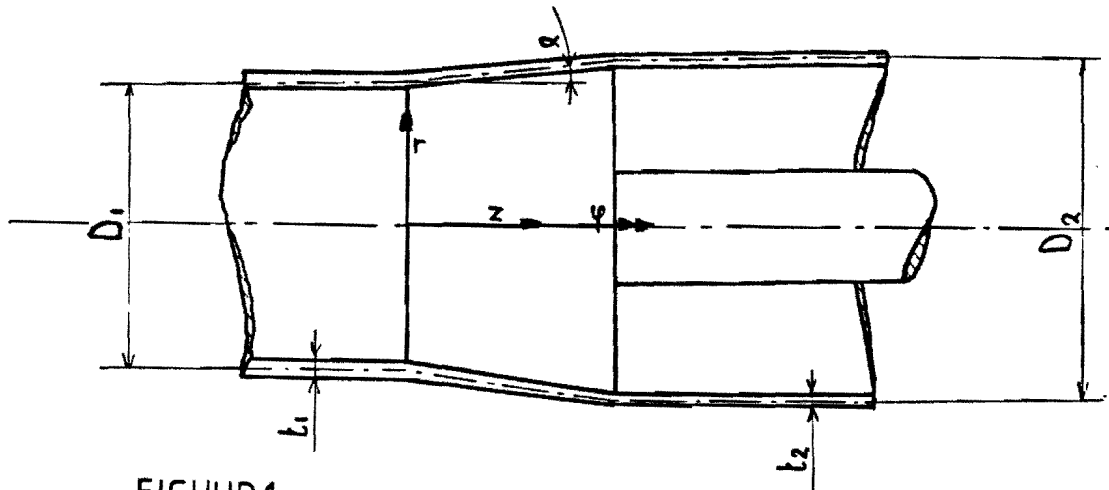
### 1.1 Probleembeschrijving

Een warmtewisselaar is opgebouwd uit een pakket aluminium lamellen, die voorzien zijn van kragen. Door die kragen heen lopen pijpen, waarvan de uiteinden met elkaar verbonden zijn. Voor het goed functioneren van een warmtewisselaar moeten de lamellen een goed 'warmtecontact' hebben met de pijpen. Dit contact wordt verkregen door de pijpen op te wijden wanneer de lamellen er om heen zitten. Het opwijden vindt plaats door een kogel door de pijp heen te duwen. Omdat men ammoniak door de pijpen wil laten stromen moeten de koperen pijpen vervangen worden door stalen pijpen (koper/ammoniak is zeer gevoelig voor spanningscorrosie). Deze overgang zorgt bij het oprekken voor een verhoging van de kracht, die nodig is om de kogel door de pijp heen te duwen. Met behulp van een plasticiteitsanalyse moet worden nagegaan hoeveel die kracht stijgt en hoe men door een wijziging in het opwijdproces deze kracht kan verkleinen.

## 2 Modelvorming

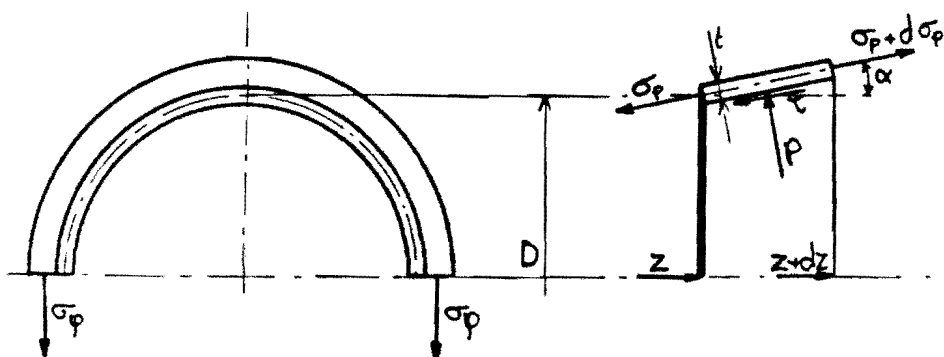
De kracht die nodig is om de pijp op te rekken wordt bepaald met het volgende model.

De pijp wordt opgerekt m.b.v. een doorn. Deze doorn heeft een opwijdhoek  $\alpha$  (zie FIG. 1). De pijp is dunwandig. Dit betekent dat de pijp een diameter  $D$  heeft en een wanddikte  $t$ . Voor het opwijden heeft de pijp een diameter  $D_1$  en een wanddikte  $t_1$ . Er na een diameter  $D_2$  en een wanddikte  $t_2$ .



FIGUUR 1

Op de punt van de doorn wordt een assenstelsel  $r, z, \theta$  gedefinieerd (zie FIG. 1). De volgende fase is het bepalen van de optredende spanningen tijdens het opwijden. Hier toe wordt een schillete (ringetje) ter breedte  $dz$  op de positie  $z$  nader bekeken.



FIGUUR 2

Op de randen van het schilletje werken de volgende spanningen:

- $\sigma_\theta$  - tangentiële hoofdspanning.
- $\sigma_p$  - de hoofdspanning die in het verlengde van de pijpwand ligt (in axiale richting).
- $\sigma_r$  - radiale hoofdspanning. Deze is verwaarsloosbaar klein t.o.v.  $\sigma_\theta, \sigma_p$ .
- $p$  - drukspanning die de doorn op de pijp uitoefent.
- $\tau$  - wrijvingsspanning tussen de doorn en de pijp. Voor  $\tau$  geldt dat  $\tau = m \cdot \sigma_v / \sqrt{3}$  met  $\sigma_v$  is de vloeispanning en  $m$  een factor die aangeeft hoe de wrijvingsconditie tussen de doorn en de pijp is (wrijvingsloos :  $m=0$ ; maximale wrijving :  $m=1$ ).

De volgende fase is het opstellen van de evenwichtsvergelijkingen van het schilletje (zie FIG 2).

Voor het evenwicht van het schilletje in de axiale richting geldt:

$$\begin{aligned}
 & (\sigma_p + d\sigma_p) \cdot t \cdot D \cdot \pi \cdot \cos \alpha - \sigma_p \cdot t \cdot D \cdot \pi \cdot \cos \alpha + \tau \cdot \cos \alpha \cdot D \cdot \pi \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} \\
 & - p \cdot \sin \alpha \cdot D \cdot \pi \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} = 0 \quad [ 1 ]
 \end{aligned}$$

Hieruit volgt:

$$p = \frac{1}{\tan \alpha} \cdot \left[ \tau + t \cdot \cos \alpha \cdot \frac{d\sigma_p}{dz} \right] \quad [ 2 ]$$

Voor het evenwicht van een halve schil in radiale richting geldt:

$$\begin{aligned}
 2 \cdot \sigma_\theta \cdot t \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} &= p \cdot D \cdot \cos \alpha \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} + \tau \cdot D \cdot \sin \alpha \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} \\
 &+ t \cdot D \cdot d\sigma_p \cdot \sin \alpha \quad [ 3 ]
 \end{aligned}$$

Met [ 2 ] volgt uit [ 3 ]:

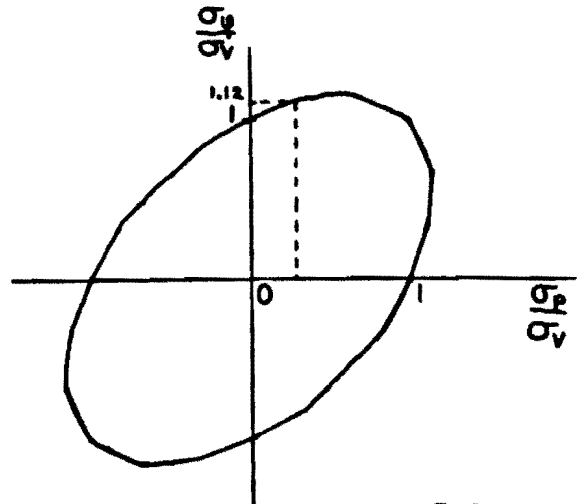
$$\begin{aligned}
 \sigma_\theta &= \tau \cdot \frac{D}{2 \cdot t} \cdot \cos \alpha \cdot \left[ \tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha} \right] + \left[ \frac{\cos^2 \alpha}{\tan \alpha} + \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \cdot \\
 &\frac{D}{2} \cdot \frac{d\sigma_p}{dz} \quad [ 4 ]
 \end{aligned}$$

Voor de hoofdspansingen  $\sigma_\sigma, \sigma_p$  geldt de vloeivoorwaarde :

$$2 \cdot \sigma_\sigma^2 - 2 \cdot \sigma_\sigma \cdot \sigma_p + 2 \cdot \sigma_p^2 = 2 \cdot \sigma_v^2 \quad [ 5 ]$$

Wanneer men [ 4 ] met [ 5 ] combineert krijgt men een niet-lineaire differentiaalvergelijking in  $\sigma_p$  en  $z$  die niet op te lossen is. Dit probleem kan worden omzeild wanneer men kijkt naar FIGUUR 3.

FIGUUR 3 geeft de elipsoïde van formule [ 5 ] weer. Men schrijft i.p.v.  $\sigma_\sigma$   $n \cdot \sigma_v$  met  $n \approx 1.12$ . Men bepaalt  $n$  als volgt. Men neemt een startwaarde voor  $n$  (bv.  $n=1$ ). Dan bepaalt men  $\sigma_p$  om vervolgens m.b.v. [ 5 ]  $\sigma_\sigma$  te bepalen en dus een nieuwe waarde voor  $n$ . Wanneer men dit proces een paar maal herhaalt heeft  $n$  een stabiele waarde. Deze zal ongeveer 1.12 maximaal zijn. De gemiddelde  $\sigma_\sigma$  is 1.06.



FIGUUR 3

M.b.v. [ 4 ] en [ 5 ] krijgt men nu:

$$\left( \cos \alpha + \tan \alpha \cdot \sin \alpha \right) \cdot \frac{d\sigma_p}{dz} = \sigma_v \cdot \left[ \frac{m}{t \cdot \sqrt{3}} \cdot (1 + \tan^2 \alpha) + \frac{2 \cdot n \cdot \tan \alpha}{D \cdot \cos \alpha} \right] \quad [ 6 ]$$

De afhankelijkheid van  $D$  en  $t$  aan  $z$  wordt benaderd met

$$D^* = \frac{D_1 + D_2}{2} ; t^* = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [ 7 ]$$

Zodoende geldt voor de axiale spanning :

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot z \cdot \left[ \frac{m}{t^* \cdot \sqrt{3}} \cdot (1 + \tan^2 \alpha) + \frac{2 \cdot n \tan \alpha}{D^* \cos \alpha} \right] \cdot \left[ \frac{1}{\cos \alpha + \tan \alpha \cdot \sin \alpha} \right] \quad [ 8 ]$$

De benodigde kracht voor het opwijden is :

$$F = t_2 \cdot D_2 \cdot \cos \alpha \cdot \pi \cdot \sigma_p \left[ \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \tan \alpha} \right] =$$

$$= t_2 \cdot D_2 \cdot \pi \cdot \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \tan \alpha} \cdot \frac{\sigma_v}{\cos \alpha + \tan \alpha \cdot \sin \alpha} \cdot \left[ \frac{m \cdot \cos \alpha}{t^* \cdot \sqrt{3}} \cdot (1 + \tan^2 \alpha) + \frac{2 \cdot n}{D^*} \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \alpha} \right] \quad [ 9 ]$$



### 3 Resultaten

Als men een stalen pijp  $1$ , in plaats van een koperen  $2$ , opwijd moet de flexpender meer kracht leveren. Met behulp van formule [ 9 ] kan men ten eerste bepalen hoeveel meer kracht de flexpender moet leveren en ten tweede wat men kan wijzigen in het proces zodat de proceskracht kleiner wordt. Zo'n wijziging is bijvoorbeeld het gebruik van een ander type doorn.

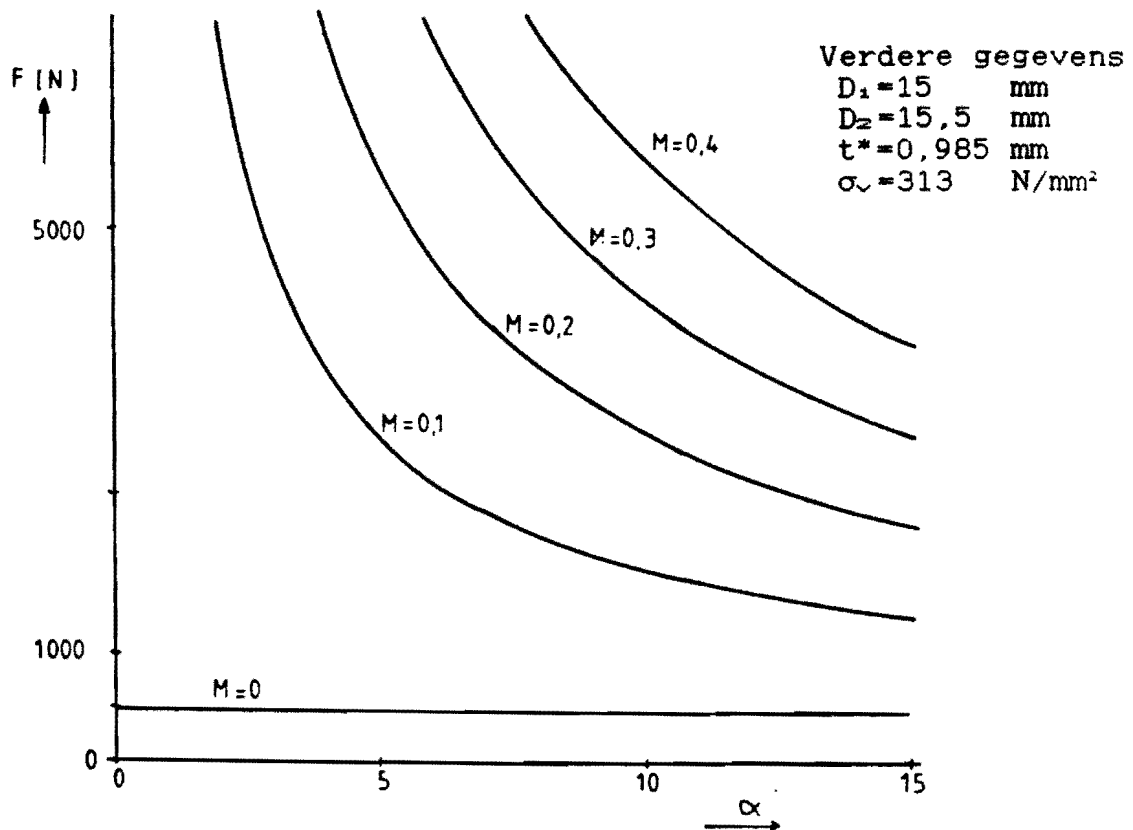
De vloeispanning  $\sigma_v$  van een stalen pijp is hoger dan die van de koperen. Met behulp van een trekproef wordt de vloeispanning van beide pijpen bepaald (zie bijlage I en II). Deze is voor de stalen pijp gemiddeld  $313 \text{ N/mm}^2$  en voor de koperen  $133 \text{ N/mm}^2$ . Dit betekent een toename van de proceskracht met een factor 2.5 wanneer de overige parameters dezelfde waarde behouden.

Welke parameters kan men variëren. Allereerst kan men de opwijdhoek  $\alpha$  van de doorn wijzigen. Ten tweede kan men overwegen om de pijp in 2 stappen tot de eindmaat op te wijden. Dus van  $D_1$  naar een diameter  $D_{12}$  en dan van  $D_{12}$  naar  $D_2$ . Ten derde kan men overwegen om een dunnere pijp op te wijden.

- $1$ , De te gebruiken stalen pijp is St35-4-00 16x14 mm.
- $2$ , De koperen pijp heeft de afmetingen 16x15 mm.

### 3.1 De opwijdhoek $\alpha$

Allereerst wordt de invloed van de opwijdhoek  $\alpha$  op de proceskracht bekeken. In FIGUUR 4 staat verticaal de proceskracht  $F$  en horizontaal de opwijdhoek  $\alpha$  en als verdere parameter de plastische wrijvingscoëfficiënt  $m$ . Deze laatste heeft voor normaal gesmeerde omvormprocessen een waarde tussen de 0,2 en de 0,4.



FIGUUR 4

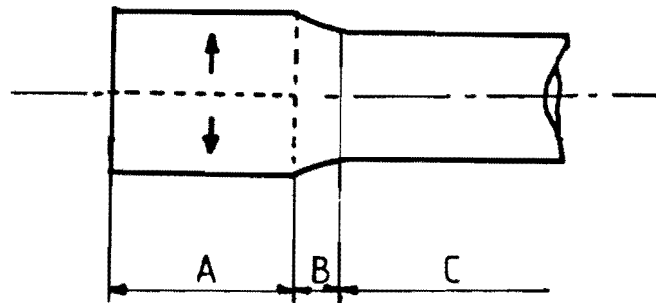
Wat in deze FIGUUR opvalt is :

- dat de wrijving het grootste deel van de proceskracht bepaalt.
- dat hoe kleiner de hoek  $\alpha$  is, hoe groter het contactvlak tussen doorn en pijp, hoe groter de proceskracht is.

Hierbij moet worden opgemerkt dat er een afhankelijkheid bestaat tussen de wrijvingscoëfficiënt en de opwijdhoek. In het algemeen geldt dat de smeringsconditie verslechtert als de hoek  $\alpha$  groter wordt. Deze verslechtering zorgt er voor dat de gereedschapslijtage toeneemt. Om een optimale opwijdhoek te bepalen wordt het volgende experiment gedaan.

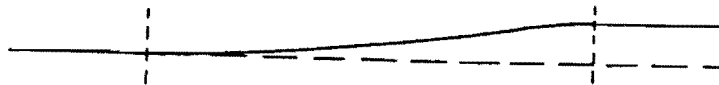
### 3.1.1 De expansieproef

Een pijp wordt met een expansietang uitgezet zoals in FIGUUR 5. Tussen het gebied dat is uitgezet (A) en het gebied dat niet is uitgezet (C) bevindt zich het overgangsgebied (B).



FIGUUR 5

Vergroot ziet het profiel van dit gebied er zo uit.



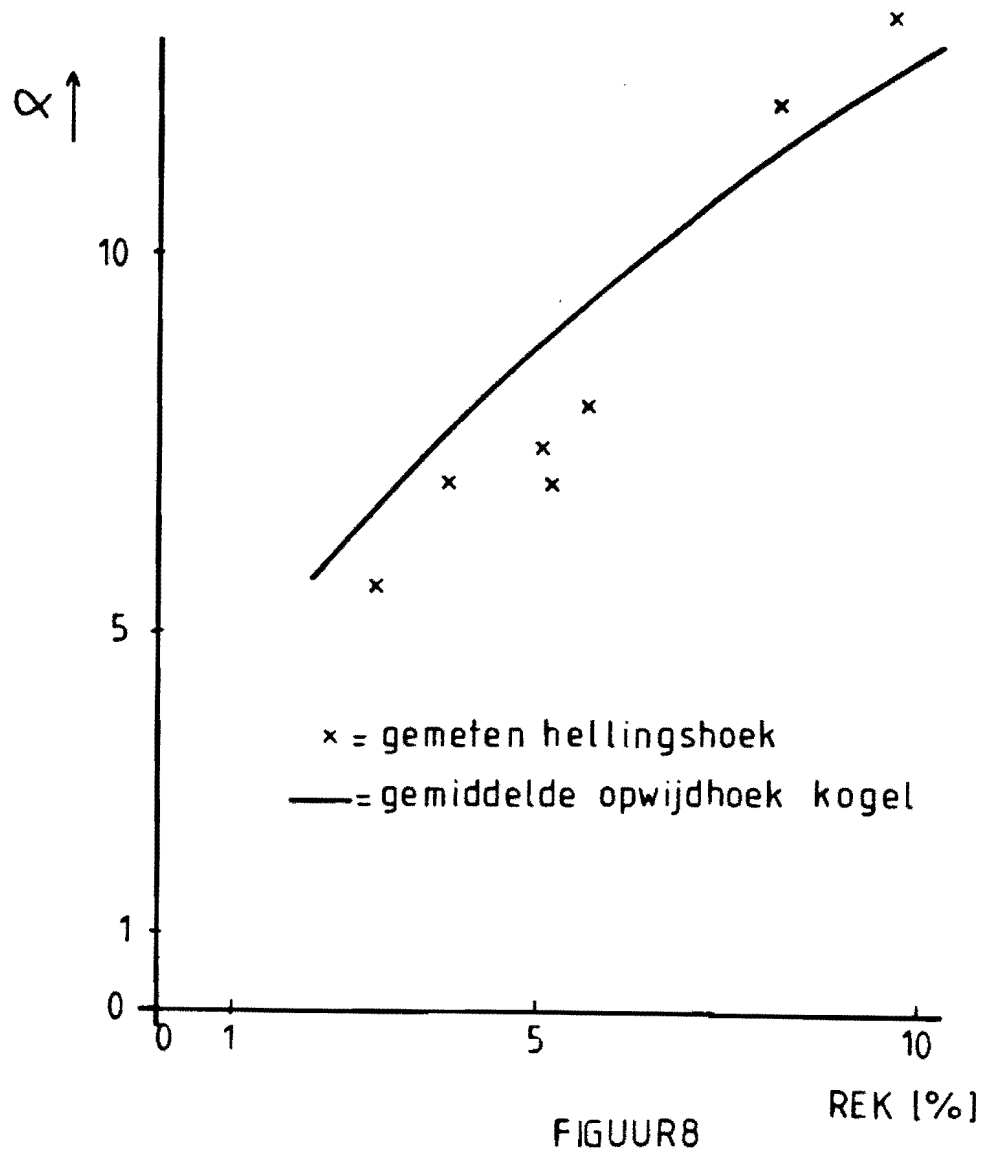
FIGUUR 6

De proef wordt herhaalt op de pijp waarbij de pijp tot verschillende diameters wordt uitgezet. We krijgen dan het volgende beeld.



FIGUUR 7

De gemiddelde hellingshoek aan de profielen is in FIGUUR 8 uitgezet tegen het percentage opwijding.



FIGUUR 8

Als men de opwijdhoek  $\alpha$  van het gereedschap (doorn) groter maakt dan de hellingshoek  $\beta$  dan ligt de pijp bij het opwijden NIET aan tegen de doorn. Daardoor slijt het gereedschap zeer snel.

### 3.1.2 Bolvormig gereedschap

Een veel gebruikte doorn is een kogel. De gemiddelde opwijdhoek van de kogel is :

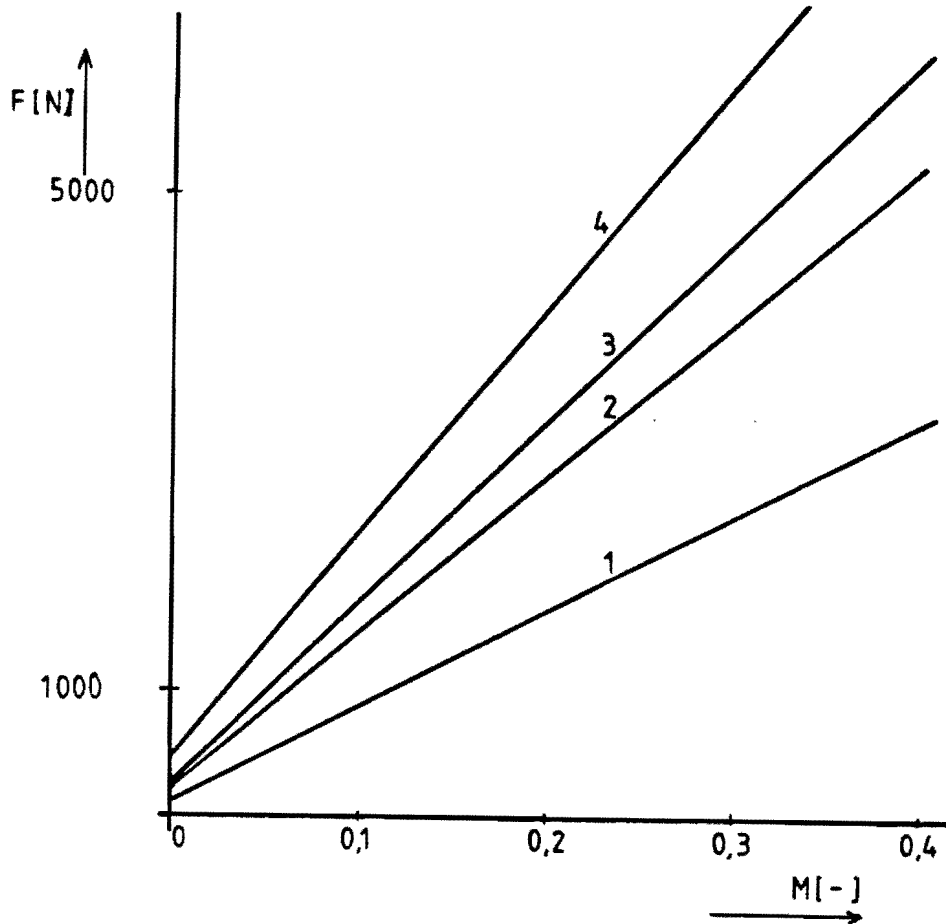
$$\alpha_{\text{gem}} = \frac{1}{2} \cdot \arccos (D_1/D_2)$$

Deze hoek  $\alpha$  wordt uitgezet tegen het percentage opwijding in FIGUUR 8. De kogel is een ideale doorn omdat :

- een kogel zeer goedkoop te maken is.
- een kogel zeer eenvoudig te monteren is zonder dat de kans bestaat voor uitlijnfouten van de kogel op de pen.
- de kogel-opwijdhoek de hellingshoek  $\beta$  die de pijp spontaan aanneemt zeer goed benadert. Daarom zal er een goede smeringsconditie tussen de pijp en de doorn ontstaan. Dit betekent dat de proceskracht laag is en een geringe gereedsschapslijtage (opmerking: de kogel heeft een bol profiel terwijl het spontane profiel in FIGUUR 8 hol is. Daarom ligt de kogel altijd aan tegen de pijp).

### 3.2 Getrapt opwiden

Een tweede mogelijkheid om de proceskracht te beïnvloeden (verkleinen) is om de pijp in 2 stappen tot de eindmaat  $D_2$  op te wijden. Men deelt het proces op in 2 deelprocessen. De eerste is het opwiden van de pijp van een diameter  $D_1$  naar  $D_{12}$  en de tweede van  $D_{12}$  naar  $D_2$ . Wat de invloed uiteindelijk is van deze deling op de proceskracht  $F$  wordt gegeven in FIGUUR 9.



grafiek	materiaal	$\sigma_v$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$D_1$ [mm]	$D_2$ [mm]	$t^*$ [mm]	$\alpha$
1	koper	133	15,5	16,0	0,50	7,2
2	St 35-4	293	15,0	15,25	0,995	4,6
3	St 35-4	330	15,25	15,5	0,985	4,6
4	St 35-4	313	15,0	15,5	0,99	7,1

De proceskracht wordt ongeveer 25% kleiner wanneer men de pijp in 2 stappen opwijd tot de eindmaat.

### 3.3 Dunwandiger pijp

Een derde mogelijkheid om de proceskracht te verkleinen is om een dunwandiger pijp op te wijden. Het is mogelijk om een pijp met een wanddikte van 0,8 mm te gebruiken i.p.v. een pijp van 1.0 mm. Het gebruik van deze dunnere pijp geeft slechts een krachtreductie van 2 % . Dit komt omdat de meeste kracht nodig is om de wrijving te overwinnen. Daar heeft de wanddikte echter geen invloed op.

#### 4 Conclusies

Uit dit rapport zijn de volgende conclusies te trekken:

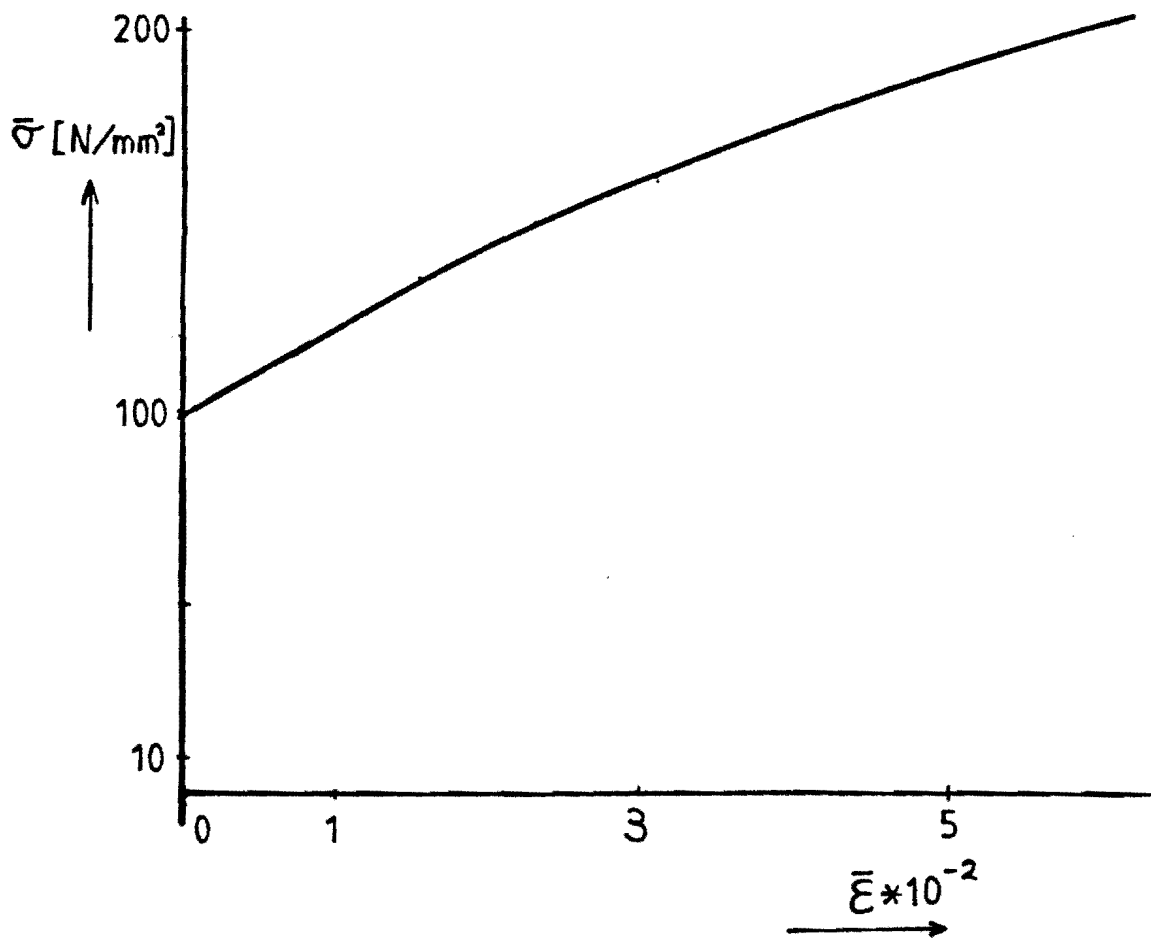
- Voor het opwijden van de stalen pijp is 2,5 tot 5 maal zoveel kracht nodig als voor de koperen pijp.
- De grootte van de proceskracht wordt voornamelijk bepaald door de wrijving tussen de pijp en de doorn . Dit betekent dat een goede smering zorgt voor een lage proceskracht.
- Een kogel een ideaal gereedschap is voor het opwijden van pijp.
- Het opwijden van de pijp in 2 stappen tot de 3 eindmaat geeft een krachtvermindering van 25 % per stap t.o.v. het in 1 stap opwijden van de pijp.
- Het opwijden van dunwandiger pijp heeft nauwelijks invloed op de proceskracht.



# Bijlage I: Trekproef van de koperen pijp

Duitwendig = 16,01 mm  
Dinwendig = 14,97 mm

Meetlengte 80 mm

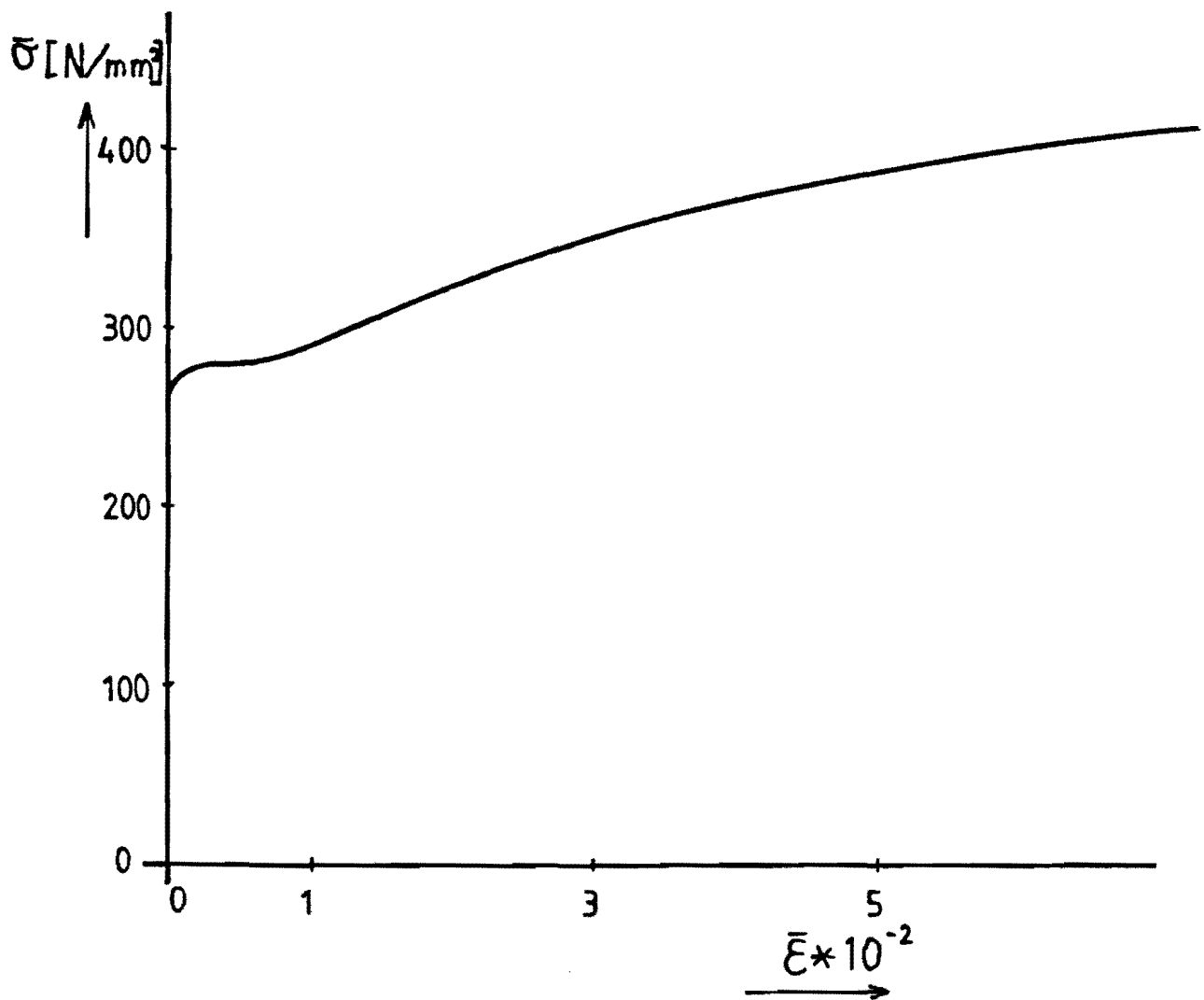


Vloeigedrag van de koperen pijp  
Verticaal staat de effectieve spanning uit. Horizontaal  
de effectieve rek.

## Bijlage II: Trekproef van de stalen pijp

D uitwendig = 15,98 mm  
D inwendig = 14,02 mm

Meetlengte 80 mm



Uloei gedrag van de stalen pijp  
Verticaal start de effectieve spanning uit  
Horizontaal de effectieve rek.