

De frictiontest

Citation for published version (APA):

Koolen, J. H. R. (1990). *De frictiontest*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0962). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BB 451115

R.L.L.A. Ramaekers

De Frictiontest

WE 1

Onderzoeksverslag

J.H.R. Koolen

Okt. 1990

VK-Code: D2

WPA 0962

Afstudeerhoogleraar: Prof.ir. J.A.G. Kals

Begeleider : Dr.ir. J.A.H. Ramaekers

Inhoudsopgave:

Symbolenlijst	blz.
---------------	------

DE FRICTIONTEST.

1	Inleiding	1
2	De meetopstelling	2
3	Het proefverloop	4
4	De materiaalsoorten	4
5	De smering	5
6	De proeven	6
7	Breedte- en diktebepaling trekstrip	7
8	Het meten van F_h en F_v	8
9	Bepaling van de wrijvingskracht F_{Fr}	8
10	De frictiontest – theoretische achtergronden –	10
11	Bepaling hardheid trekstrip	24
12	Het optreden van metallisch contact tussen trekstrip en buigcilinder	24
13	Opmerkingen bij meetresultaten en grafieken	26

Inhoudsopgave:

blz

Literatuurlijst

Bijlagen

1. De meetresultaten en daaruit berekende grootheden
2. Afleiding wrijvingskracht F_{Fr}
3. grafieken $F_h^* - F_v^*$
4.
 - a. standaard meetrapport trekproef SPD
 - b. standaard meetrapport trekproef Al
 - c. standaard meetrapport trekproef RVS
5. De meetopstelling en het instellen van de ladingsversterker

Symbolenlijst:

F_h	: trekkracht	N
F_v	: remkracht	N
F_{Fr}	: wrijvingskracht	N
W_B	: buigarbeid	J
W_{Bs}	: specifieke buigarbeid	N/mm ²
C	: karakteristieke spanning	N/mm ²
n	: verstevigingsexponent	—
ϵ_0	: voordeformatie	—
μ	: wrijvingsfactor Coulomb	—
μ_m	: gemiddelde wrijvingscoëfficiënt volgens Coulomb bij één materiaal– smeermiddel– combinatie	—
R_a	: ruwheid	μm
b_0	: beginbreedte trekstrip	mm
s_0	: begindikte trekstrip	mm
b_1	: breedte juist vóór punt p_1	mm
s_1	: dikte juist vóór punt p_1	mm
b_2	: breedte juist ná punt p_2	mm
s_2	: dikte juist ná punt p_2	mm
r	: straal buigcilinder	mm
u_1	: verplaatsing vóór buigcilinder	mm
u_2	: verplaatsing ná buigcilinder	mm
σ_1	: spanning in trekstrip vóór buigcilinder	N/mm ²
σ_2	: spanning in trekstrip ná buigcilinder	N/mm ²
σ_m	: gemiddelde spanning	N/mm ²
p_m	: gemiddelde vlaktedruk	N/mm ²
τ_m	: gemiddelde schuifspanning	N/mm ²

DE FRICTIONTEST.

1 Inleiding.

Een veel voorkomend omvormproces is het dieptrekken waarbij een vlakke plaat m.b.v. een stempel in een matrijs wordt geperst.

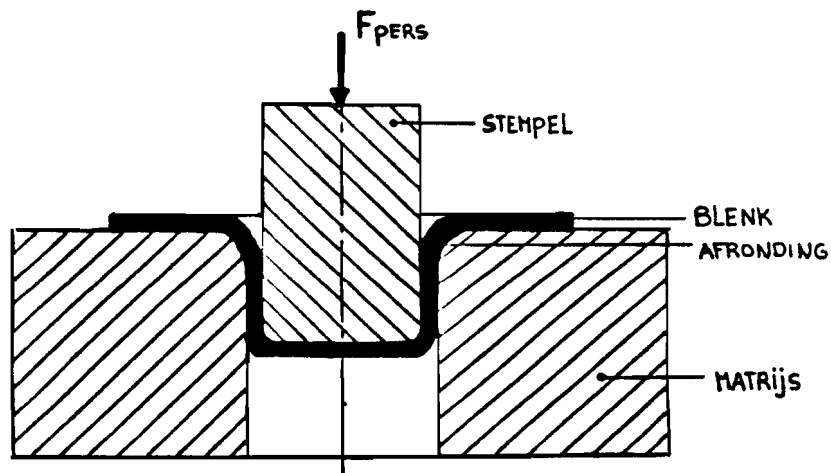


Fig. 1 Het dieptrekproces

Belangrijk hierbij is o.a. het trekken van het plaatmateriaal over de matrijsafroning. Hierbij wordt het materiaal aan het begin van de afronding gebogen en aan het eind weer gestrekt.

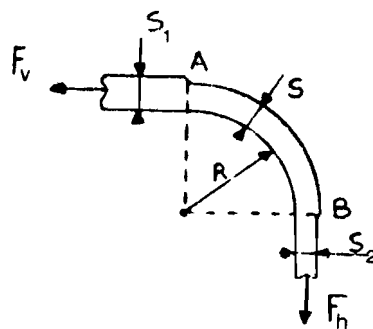


Fig. 2 Het trekken van het materiaal over de matrijsafroning

Door de deformatie in de blenk en de wrijving met het gereedschap (plooihouder en matrijs) ontstaat er een trekkracht in de overgangszone flens – gevormde wand. Bij de matrijsafrondding wordt het plaatmateriaal twee maal gebogen onder invloed van een langskracht.

Om het verloop van de krachten te onderzoeken werd een meetopstelling ontwikkeld, waarin een metalen strip om een buigcilinder wordt getrokken. Er is sprake van een vereenvoudigde simulatie van het werkelijke proces omdat de breedte-rek (die in werkelijkheid ontstaat door stuik in de blenk) wordt uitgeschakeld. Wel blijft er een dikte-rek aanwezig die een diktereductie veroorzaakt ter plaatse van het buigen en strekken van de strip om de buigcilinder.

2 De meetopstelling.

De experimenten zijn uitgevoerd op een standaard trekbank (Universal Hounsfield Tensometer). Hierop wordt een speciaal gereedschap geplaatst waarin de buigcilinder en het remmechanisme zijn gemonteerd (figuren 3, 4, 5).

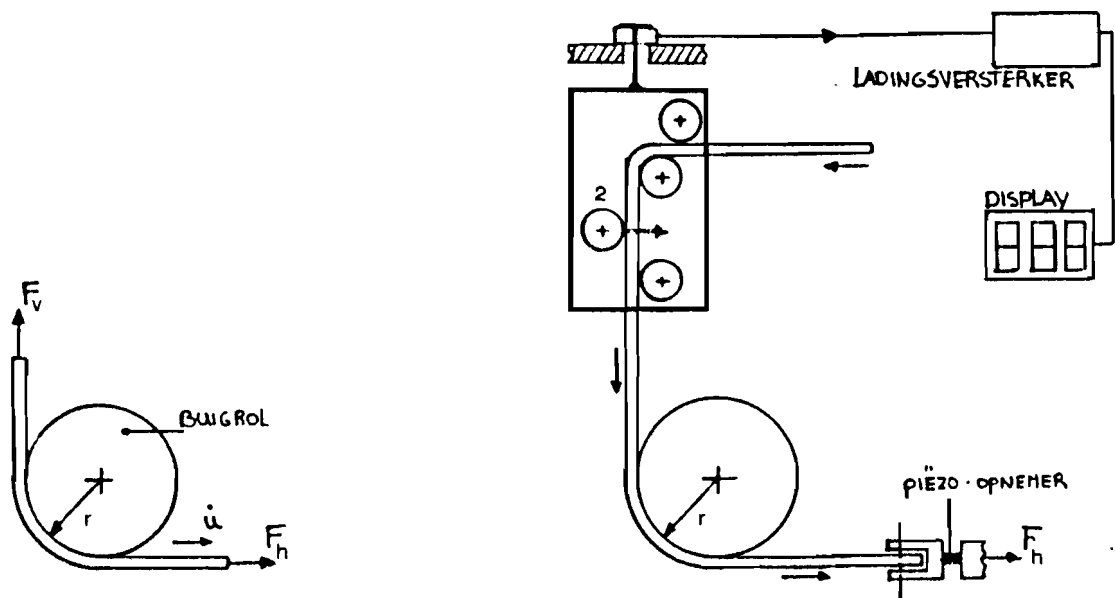


Fig. 3 en 4 Het gereedschapsprincipe

De trekkracht F_h die nodig is om de strip met constante snelheid onder een hoek van 90° over de buigcilinder te trekken wordt geleverd door de trekbank. Na een kort inloopverschijnsel ontstaat er een stationair proces waarbij de krachten oplopen tot een maximale constante waarde. De trekkracht F_h is dus een reactiekracht die afhankelijk is van de remkracht F_v en kracht die nodig is om de strip langs de buigcilinder te bewegen. De remkracht F_v is gelijk aan de kracht die nodig is om de strip door de rem te trekken. Deze is afhankelijk van de positie van cilinder 2 (fig. 4). De remkracht F_v is maximaal als cilinder 2 in één lijn liggen met de naastliggende cilinders.

De metingen kunnen worden verdeeld in 2 groepen:

- groep met wrijving langs de buigcilinder
- groep zonder wrijving langs de buigcilinder

Bij de metingen met wrijving gebruikt men een vaste buigcilinder en bij de metingen zonder wrijving een losse buigcilinder. De losse cilinder kan praktisch wrijvingsloos roteren.



Fig. 5 Vaste en losse buigcilinder

3 Het proefverloop.

Handelingen welke bij iedere striptrekproef uitgevoerd worden:

- 1) b en s van de strip meten m.b.v. een schroefmaat
- 2) eventueel aanbrengen van een smeermiddel
- 3) de strip in het remmechanisme schuiven
- 4) ladingsversterkers resetten
- 5) remmechanisme inbouwen, daarna het gehele apparaat op de trekbank monteren
- 6) een bepaalde remkracht instellen d.m.v. het verschuiven van cilinder 2 (fig. 4)
- 7) trekbank aanzetten
- 8) wachten tot een stationaire toestand bereikt is
- 9) de trekstrip + 3 cm langs de buigcilinder laten schuiven
- 10) de rem- en trekkracht F_v resp. F_h noteren
- 11) strip uit het gereedschap halen, breedte en dikte op meerdere plaatsen meten.

4 De materiaalsoorten.

Voor de striptrekproeven werden 3 verschillende materiaalsoorten gebruikt:

- SPD
- aluminium : Al 1S-HH
- roestvrijstaal: RVS 316 Ti

D.m.v. de standaard trekproef werden de materiaalparameters bepaald (bijlage 4):

SPD:	$C = 519 \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$n = 0,24 \text{ [-]}$	$\epsilon_0 = 0,008 \text{ [-]}$
<u>Al</u> :	$C = 120 \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$n = 0.05 \text{ [-]}$	$\epsilon_0 = 0 \text{ [-]}$
<u>RVS</u> :	$C = 1491 \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$n = 0,49 \text{ [-]}$	$\epsilon_0 = 0,034 \text{ [-]}$

Alle trekstrips werden in de walsrichting uit plaatmateriaal vervaardigd.

Ruwheden:	SPD	$R_a = 1,2 \mu\text{m}$
	Al	$R_a = 0,4 \mu\text{m}$
	RVS	$R_a = 0,25 \mu\text{m}$

5 De smering.

Bij de striptrekproeven met vaste buigcilinder werd om beschadiging van buigrol en trekstrip t.g.v. wrijving te voorkomen gesmeerd met:

- talk
- finarol

De trekstrip werd m.b.v. wasbenzine ontvet waarna het smeermiddel aangebracht werd. Vooral talk hechte goed aan het oppervlak, het finarol had de neiging om "weg te lopen". Bij het finarol was een duidelijk verschil in smeerfilmdikte zichtbaar.

6 De proeven.

In totaal werden \pm 120 striptrekproeven uitgevoerd. In fig. 6 is weergegeven hoe de proeven verdeeld zijn.

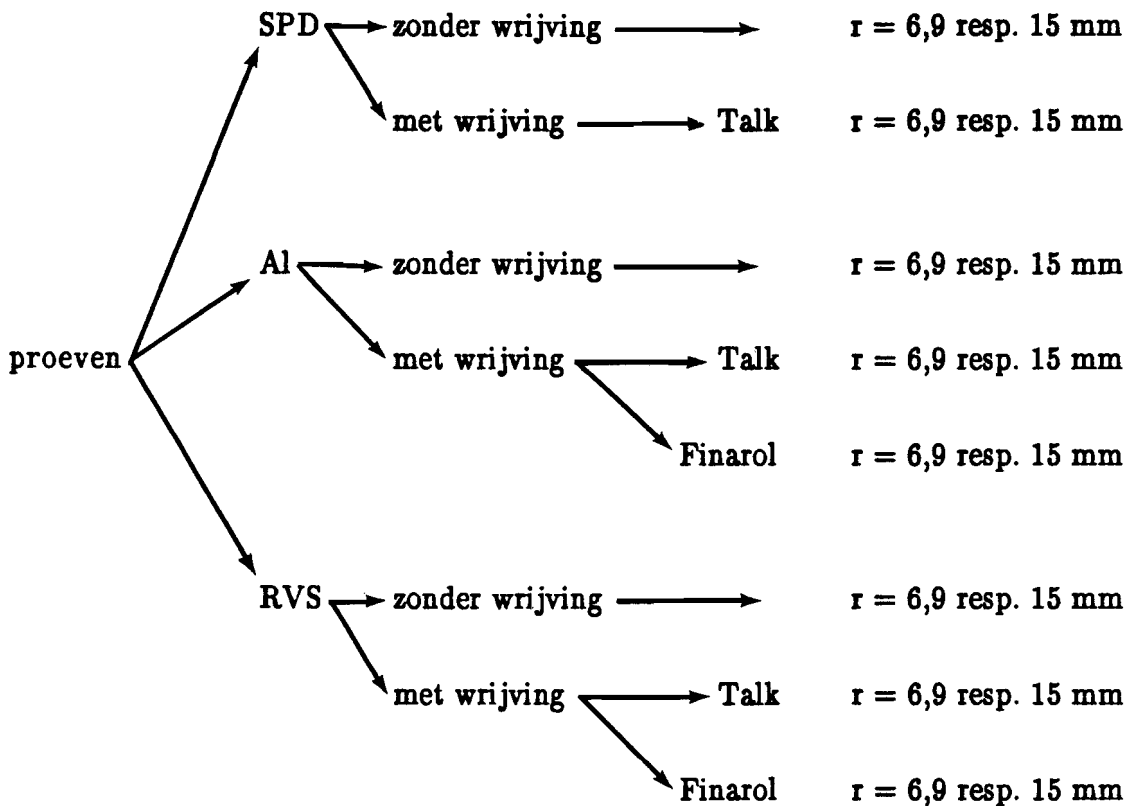


Fig. 6 Verdeling striptrekproeven

Er werd bewust gekozen voor relatief grote verschillen in buigstraal ($r = 6,9$ resp. 15 mm) en smeermiddeleigenschappen (talk versus finarol) om na te gaan welke invloed dit zou hebben op de uiteindelijke resultaten.

7 Breedte- en diktebepaling trekstrip.

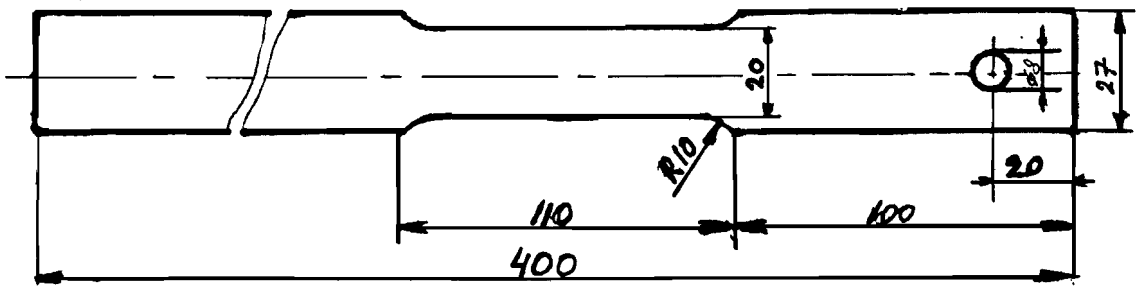
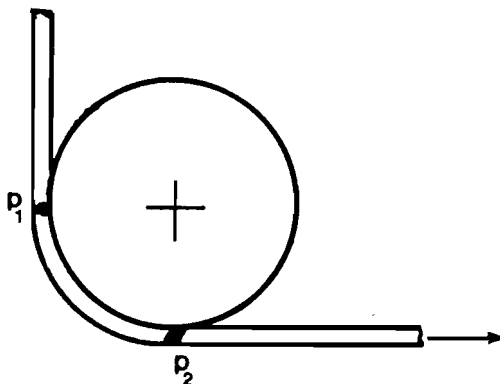


Fig. 7 De trekstrip

Van de trekstrip, getekend in fig. 7, werd de breedte bepaald met een micrometer en de dikte met een 0,01 mm meetklok.

Vóór het inspannen van de trekstrip in de opstelling werd de breedte b_0 en de dikte s_0 bepaald.



p_1 = intredepunt van de strip om de buigcilinder
 p_2 = uitredepunt van de strip om de buigcilinder

Fig. 8 Ligging van de punten p_1 en p_2

Na de striptrekproef werden de maten b_1 , s_1 , b_2 , s_2 bepaald

- b_1 = breedte strip juist vóór p_1
- s_1 = dikte strip juist vóór p_1
- b_2 = breedte strip juist ná p_2 , van punten welke om de buigcilinder zijn geschoven en het uitredepunt p_2 hebben gepasseerd
- s_2 = dikte strip juist ná p_2 van punten welke om de buigcilinder zijn geschoven en het uitredepunt p_2 hebben gepasseerd

Door de trekstrip ± 4 cm langs de buigcilinder te laten schuiven, was het contactoppervlak na afloop van de proef duidelijk te herkennen.

De gemeten maten zijn in tabelvorm weergegeven in bijlage 1, blz. 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15.

8 Het meten van F_h en F_v .

De krachten F_h en F_v worden gemeten m.b.v. piëzo-krachtopnemers. Deze sturen een elektrisch signaal, waarvan de sterkte afhankelijk is van de ijking en de grootte van de kracht, naar de ladingsversterker. Deze zet het signaal om naar een kracht die af te lezen is op het display. De meetopstelling en het instellen van de ladingsversterkers zijn beschreven in bijlage 5. Uit de gemeten krachten worden de dimensieloze grootheden F_h^* en F_v^* afgeleid met

$$F_h^* = \frac{F_h}{b_2 \cdot s_2 \cdot C}$$

$$F_v^* = \frac{F_v}{b_1 \cdot s_1 \cdot C}$$

Omdat bij een eerder onderzoek [3] een lineair verband tussen F_h^* en F_v^* werd aangetoond, kan met een beperkt aantal meetpunten worden volstaan. Gekozen werd voor ten hoogste 3 meetpunten bij zowel maximale als minimale remkracht.

9 Bepaling van de wrijvingskracht F_{Fr} .

Men kan het proces bij de vaste buigcilinder onderverdelen in 3 deelprocessen: buigen, wrijving en strekken (fig. 9). Bij de losse buigcilinder is de invloed van de wrijving te verwaarlozen. Dit proces bestaat uit de deelprocessen: buigen en strekken.

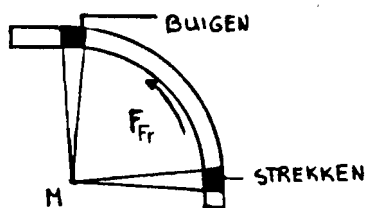


Fig. 9 Vaste buigcilinder

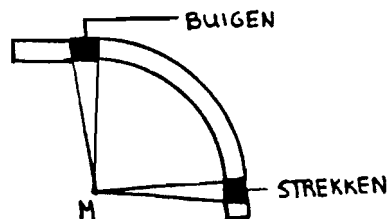


Fig. 10 Losse buigcilinder

F_h^* en F_v^* zijn grafisch tegen elkaar uitgezet in de grafieken van bijlage 3, voor zowel met als zonder wrijving. Fig. 11 is hiervan een voorbeeld.

In bijlage 2 is afgeleid dat de wrijvingskracht bij proeven met een vaste buigcilinder bepaald kan worden uit:

$$F_{Fr}^* = F_h^* - F_v^*$$

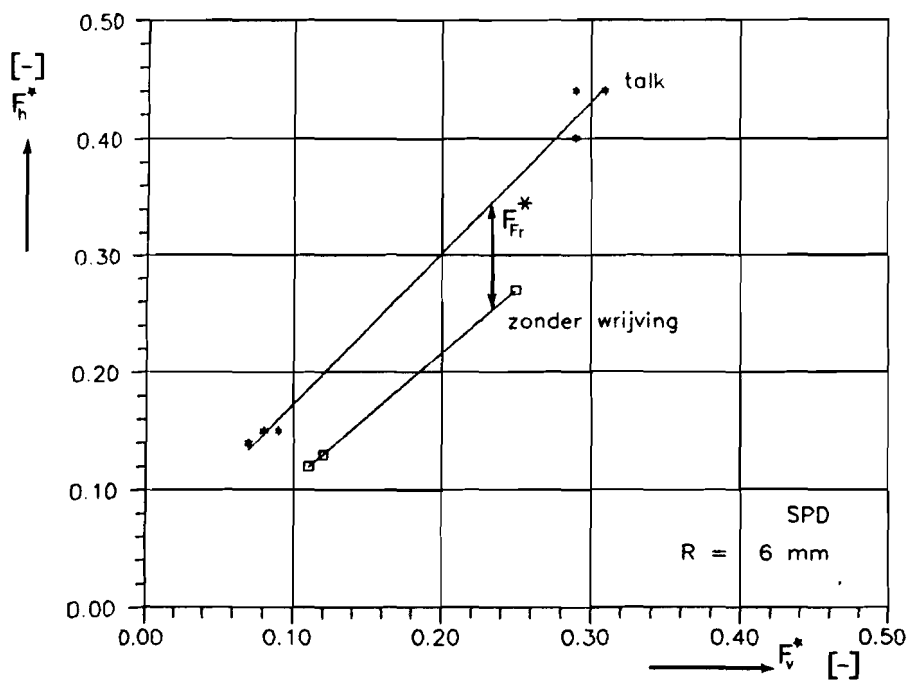


Fig. 11 Verband tussen F_h^* en F_v^* voor vaste en losse buigcilinders.

10 De frictiontest – theoretische achtergronden –.

De uitgevoerde striptrekproeven kunnen in twee hoofdgroepen verdeeld worden:

- 1) zonder wrijving (losse buigcilinder)
- 2) met wrijving (vaste buigcilinder)

De nu af te leiden vergelijkingen zijn bedoeld om de experimenteel verkregen meetgegevens te verwerken. De hierbij verkregen resultaten kunnen gebruikt worden om na te gaan of resultaten verkregen d.m.v. theoretische modelvorming aanvaardbaar zijn. Zoniet dan kan het model aangepast worden.

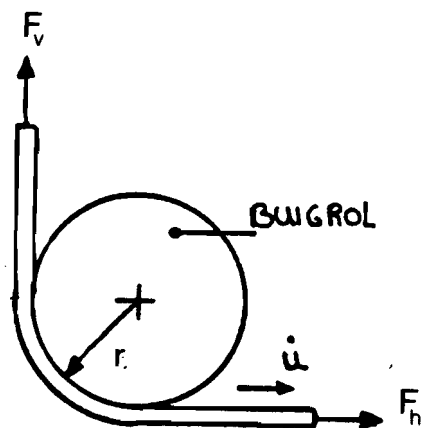


Fig. 12 Principe frictiontest

ad 1) Zonder wrijving

Hierbij kan de buigcilinder roteren, zodat er geen relatieve snelheid bestaat tussen strip en buigcilinder.

met virtuele arbeid geldt:

$$F_v \cdot u_1 + W_B - F_h \cdot u_2 = 0 \quad (1)$$

met $W_B =$ buigarbeid

$F_h =$ trekkracht in horizontale richting

$F_v =$ remkracht in verticale richting

met volumeïnvariantie:

$$u_1 b_1 s_1 = u_2 b_2 s_2 \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{F}{b \cdot s} \longrightarrow \sigma_1 = \frac{F_v}{b_1 \cdot s_1} \quad \sigma_2 = \frac{F_h}{b_2 \cdot s_2} \quad (3)$$

$$W_{Bs} = \frac{W_B}{u_1 \cdot b_1 \cdot s_1} \quad \sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad (4)$$

invullen in (1) levert:

$$W_{Bs} = \sigma_2 - \sigma_1 \quad (5)$$

ad 2) Met wrijving

Bij een vast gemonteerde buigcilinder is er een relatieve snelheid tussen strip en buigcilinder, afhankelijk van het smeermiddel treedt er een wrijvingskracht F_{Fr} op.

met virtuele arbeid geldt:

$$F_v \cdot u_1 + F_{Fr} \cdot \frac{1}{2} (u_1 + u_2) + W_B - F_h \cdot u_2 = 0 \quad (6)$$

delen door $u_1 b_1 s_1$

$$\sigma_1 + F_{Fr} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{b_1 \cdot s_1} + \frac{1}{b_2 \cdot s_2} + W_{Bs} - \sigma_2 = 0 \quad (7)$$

$$\tau_m = \frac{F_{Fr}}{\frac{\pi \cdot r \cdot 1}{2} \cdot (b_1 + b_2)} \quad (8)$$

$$\tau_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1 - W_{Bs}}{\frac{\pi \cdot r \cdot (b_1 + b_2)}{8} \cdot \left(\frac{1}{b_1 \cdot s_1} + \frac{1}{b_2 \cdot s_2} \right)} \quad (9)$$

De W_{Bs} nodig in deze vergelijking kan bepaald worden door een trekproef te doen met losse buigcilinder (zonder wrijving), waarbij aangenomen wordt dat de buigarbeid gelijk is indien de gemiddelde trekspanning in de strip gelijk is $(0.5 \cdot (\sigma_1 + \sigma_2))$.

$$p_m = \sigma_m \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{2} \cdot (s_1 + s_2) \quad (10)$$

De experimenten zonder wrijving werden uitgevoerd om W_{Bs} te bepalen m.b.v. vergl. (5):

$W_{Bs} = \sigma_2 - \sigma_1$ en de gevonden waarden voor W_{Bs} te substitueren in vergl. (9).

W_{Bs} is afkomstig uit het experiment zonder wrijving, alle andere termen uit het identieke experiment maar dan met wrijving.

De meetresultaten van de proeven zonder wrijving zijn weergegeven in bijlage 1, blz. 1, 5,

11. De daaruit berekende waarden voor W_{Bs} en σ_m zijn weergegeven in bijlage 1, blz. 2, 6,

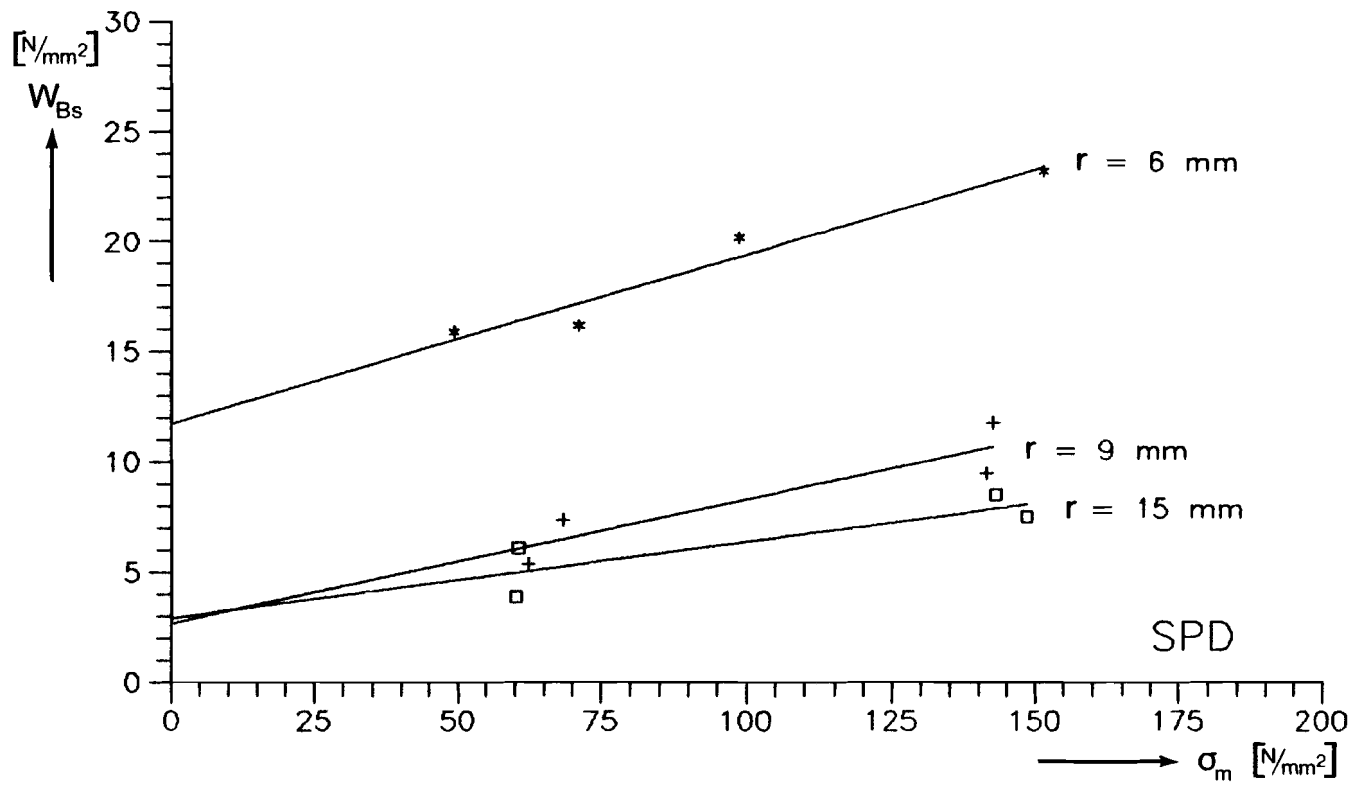
12.

De berekende waarden van W_{Bs} en σ_m zijn uitgezet in de grafieken 1, 2, 3. D.m.v. lineaire regressie zijn door deze punten rechte lijnen getrokken met:

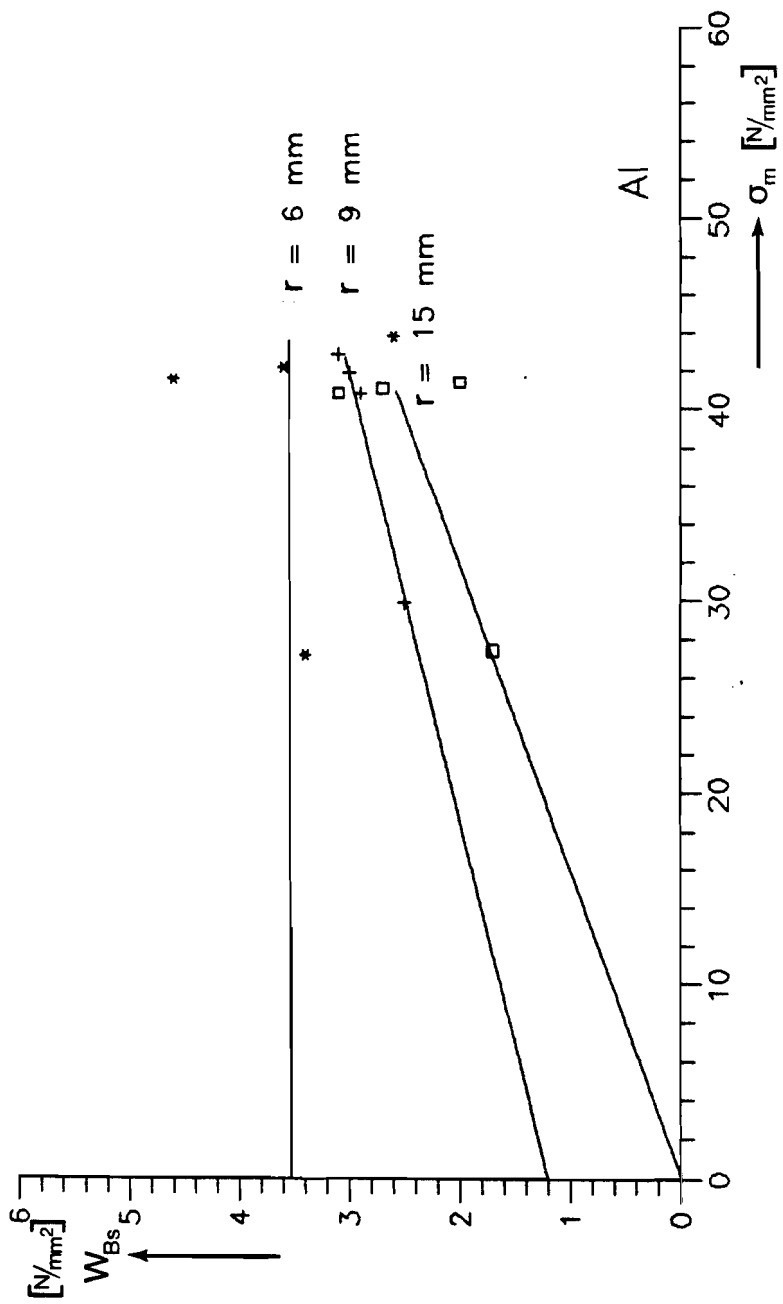
$$W_{Bs} = a + b \cdot \sigma_m$$

De waarden van de coëfficiënten a en b weergegeven:

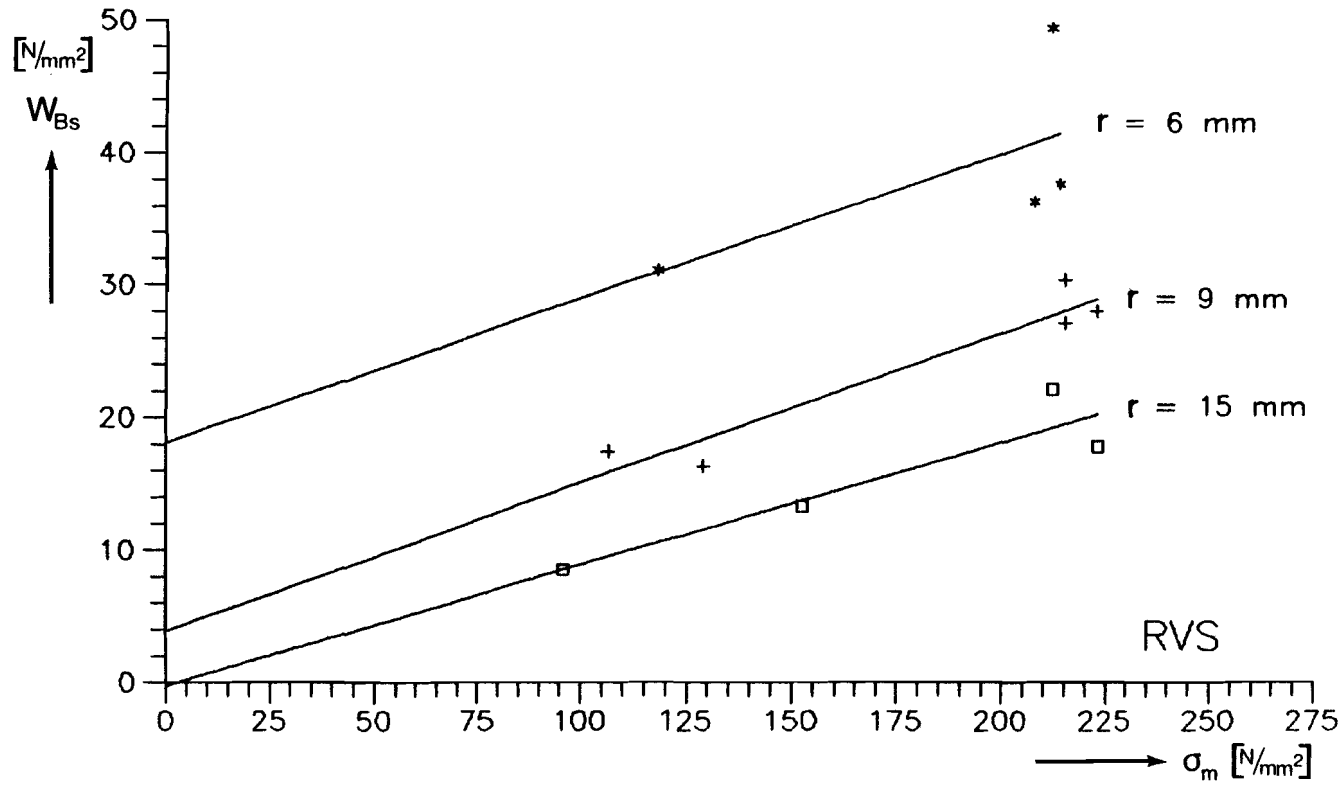
SPD	r = 6	[mm]	a = 11.69	[N/mm ²]	b = 0.08	[-]
	r = 9	[mm]	a = 2.71	[N/mm ²]	b = 0.06	[-]
	r = 15	[mm]	a = 2.94	[N/mm ²]	b = 0.04	[-]
A1	r = 6	[mm]	a = 3.56	[N/mm ²]	b = 0.00	[-]
	r = 9	[mm]	a = 1.08	[N/mm ²]	b = 0.05	[-]
	r = 15	[mm]	a = -0.07	[N/mm ²]	b = 0.06	[-]
RVS	r = 6	[mm]	a = 22.11	[N/mm ²]	b = 0.08	[-]
	r = 9	[mm]	a = 1.08	[N/mm ²]	b = 0.11	[-]
	r = 15	[mm]	a = -0.29	[N/mm ²]	b = 0.09	[-]



grafiek 1



grafiek 2



grafiek 3

Voor substitutie in vergl. (9) werd gebruik gemaakt van:

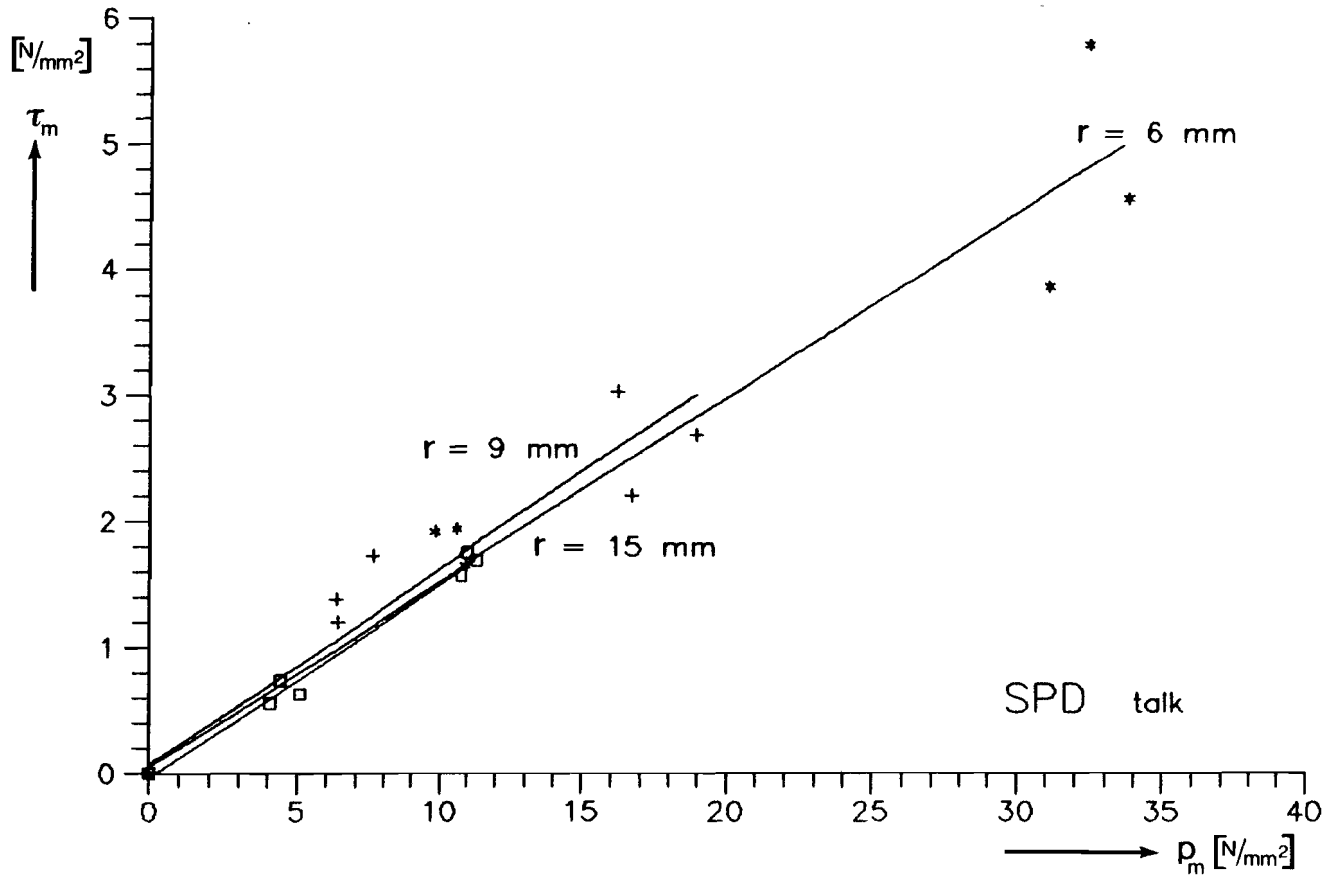
- de d.m.v. lineaire regressie verkregen resultaten voor W_{Bs} .
- de meetresultaten van de proeven met wrijving in bijlage 1.

De daarmee gevonden waarden voor τ_m en p_m (vergl. 10) zijn uitgezet in de grafieken 4 t/m 8. Door de meetpunten in de grafieken 4 t/m 8 zijn d.m.v. lineaire regressie rechten getrokken. Hierbij is uitgegaan van het wrijvingsmodel volgens Coulomb, waarvoor geldt:

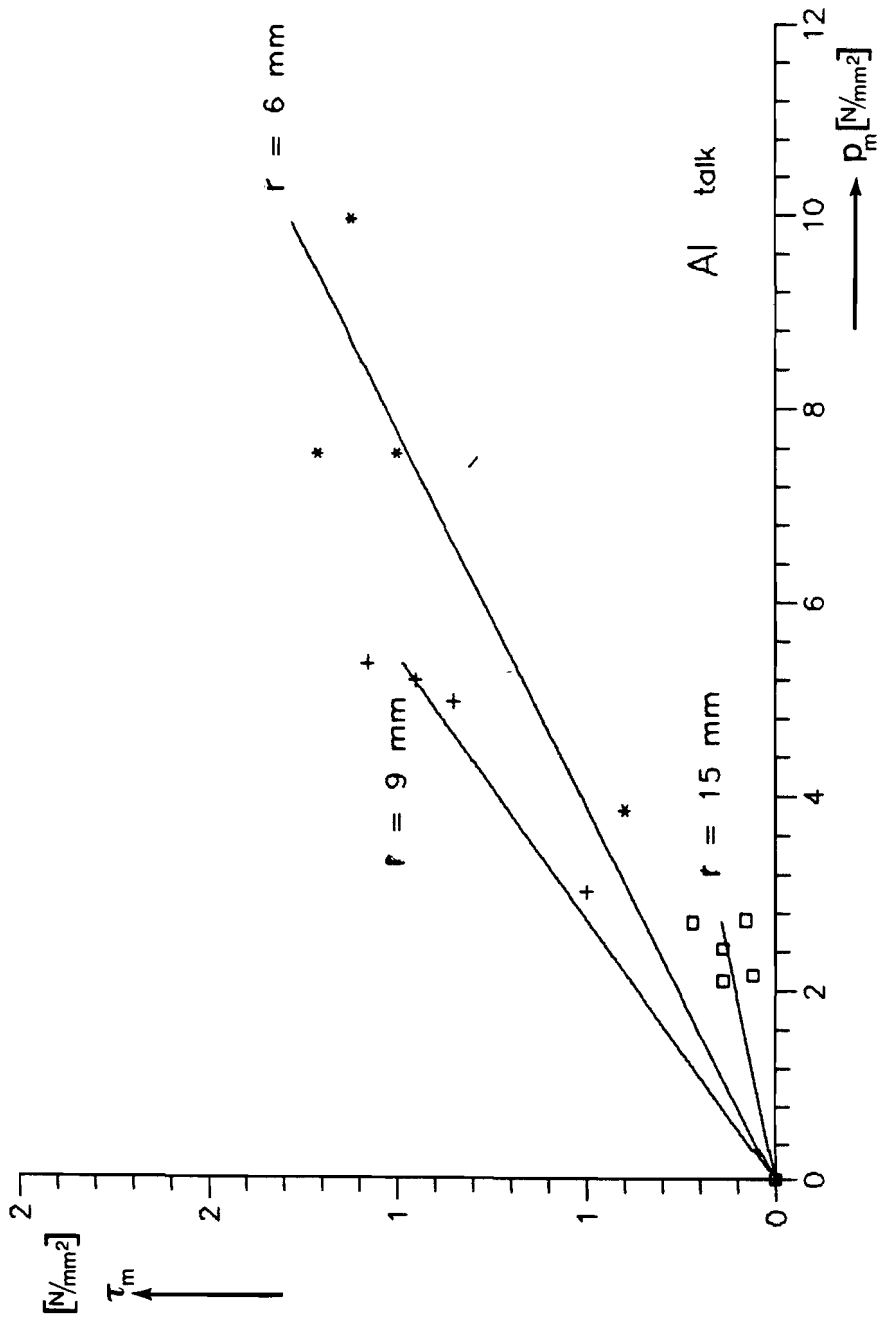
$$\tau_m = \mu \cdot p_m \quad (11)$$

Dit model geeft een verband tussen de wrijvingsspanning en de vlaktedruk met evenredigheidsfactor μ . Er wordt vanuit gegaan dat deze μ afhankelijk is van de combinatie materiaal - smeermiddel. De d.m.v. lineaire regressie voor de verschillende combinaties berekende waarden voor μ zijn weergegeven. Tevens is de gemiddelde μ , μ_m van iedere materiaal- smeermiddelcombinatie berekend.

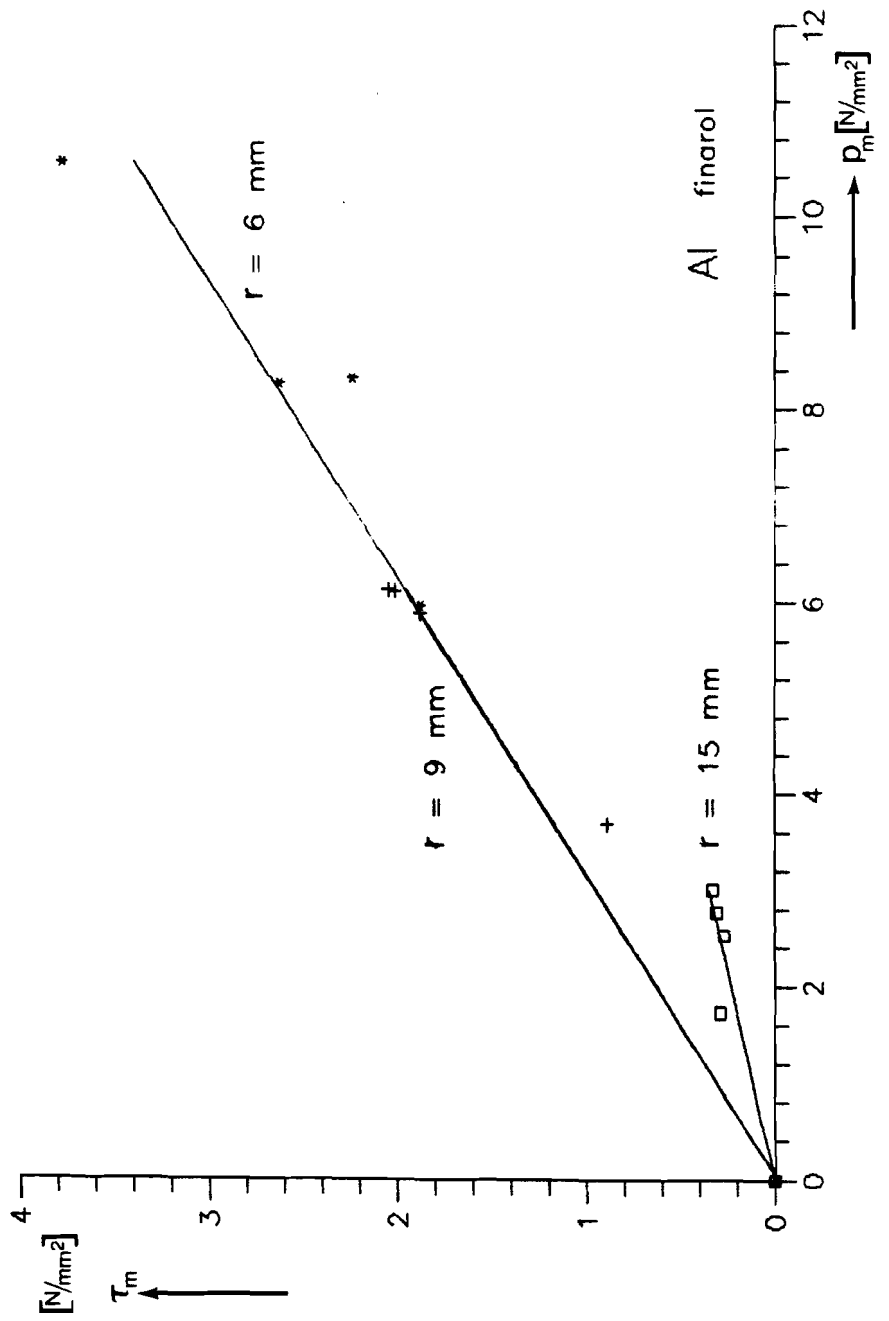
SPD	talk	$r = 6$ [mm]	$\mu = 0.15$	} $\mu_m = 0.14$
		$r = 9$ [mm]	$\mu = 0.16$	
		$r = 15$ [mm]	$\mu = 0.15$	
Al	talk	$r = 6$ [mm]	$\mu = 0.15$	} $\mu_m = 0.14$
		$r = 9$ [mm]	$\mu = 0.20$	
		$r = 15$ [mm]	$\mu = 0.08$	
Al	finarol	$r = 6$ [mm]	$\mu = 0.33$	} $\mu_m = 0.27$
		$r = 9$ [mm]	$\mu = 0.33$	
		$r = 15$ [mm]	$\mu = 0.16$	
RVS	talk	$r = 6$ [mm]	$\mu = 0.24$	} $\mu_m = 0.24$
		$r = 9$ [mm]	$\mu = 0.24$	
		$r = 15$ [mm]	$\mu = 0.24$	
RVS	finarol	$r = 6$ [mm]	$\mu = 0.29$	} $\mu_m = 0.33$
		$r = 9$ [mm]	$\mu = 0.33$	
		$r = 15$ [mm]	$\mu = 0.37$	



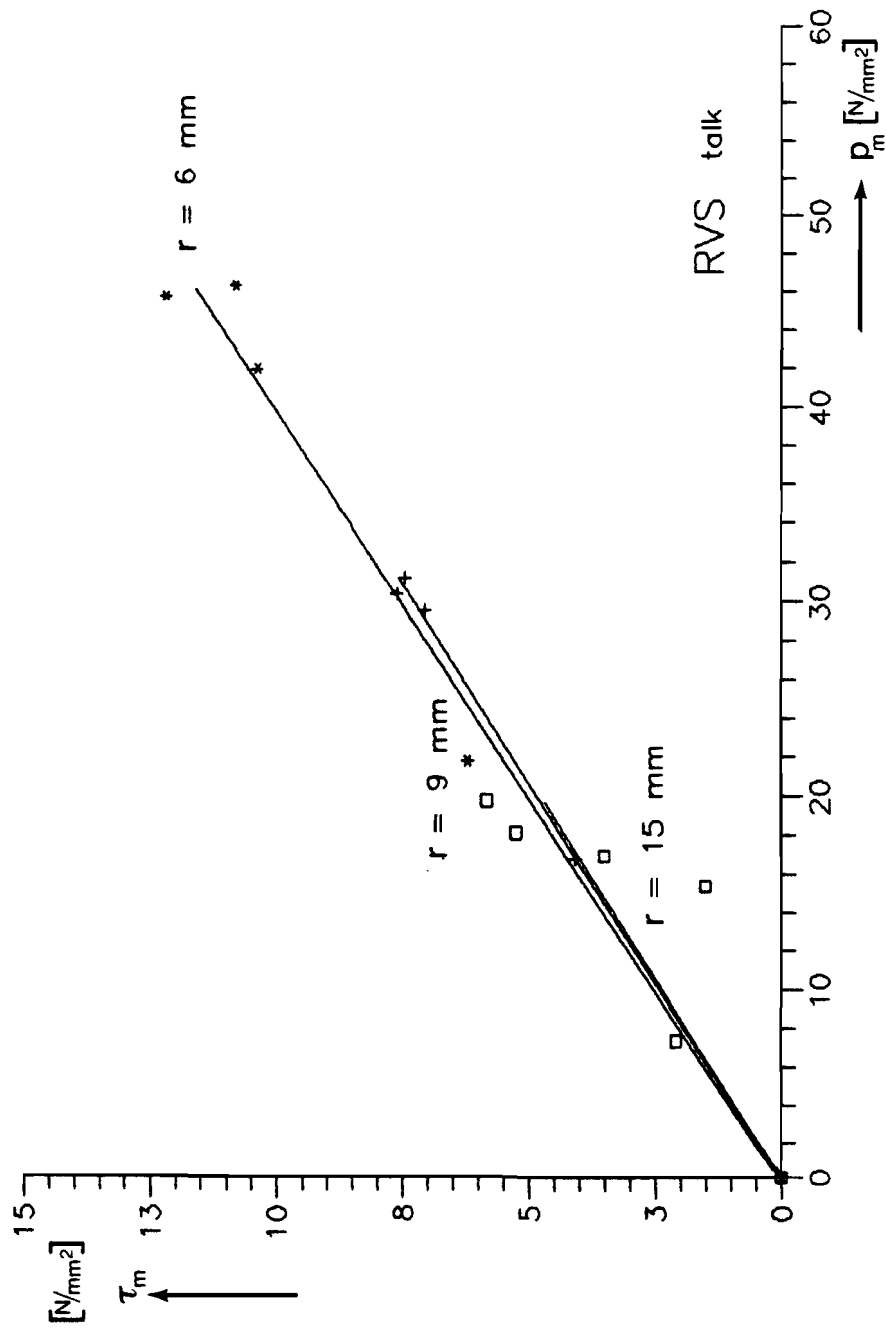
grafiek 4

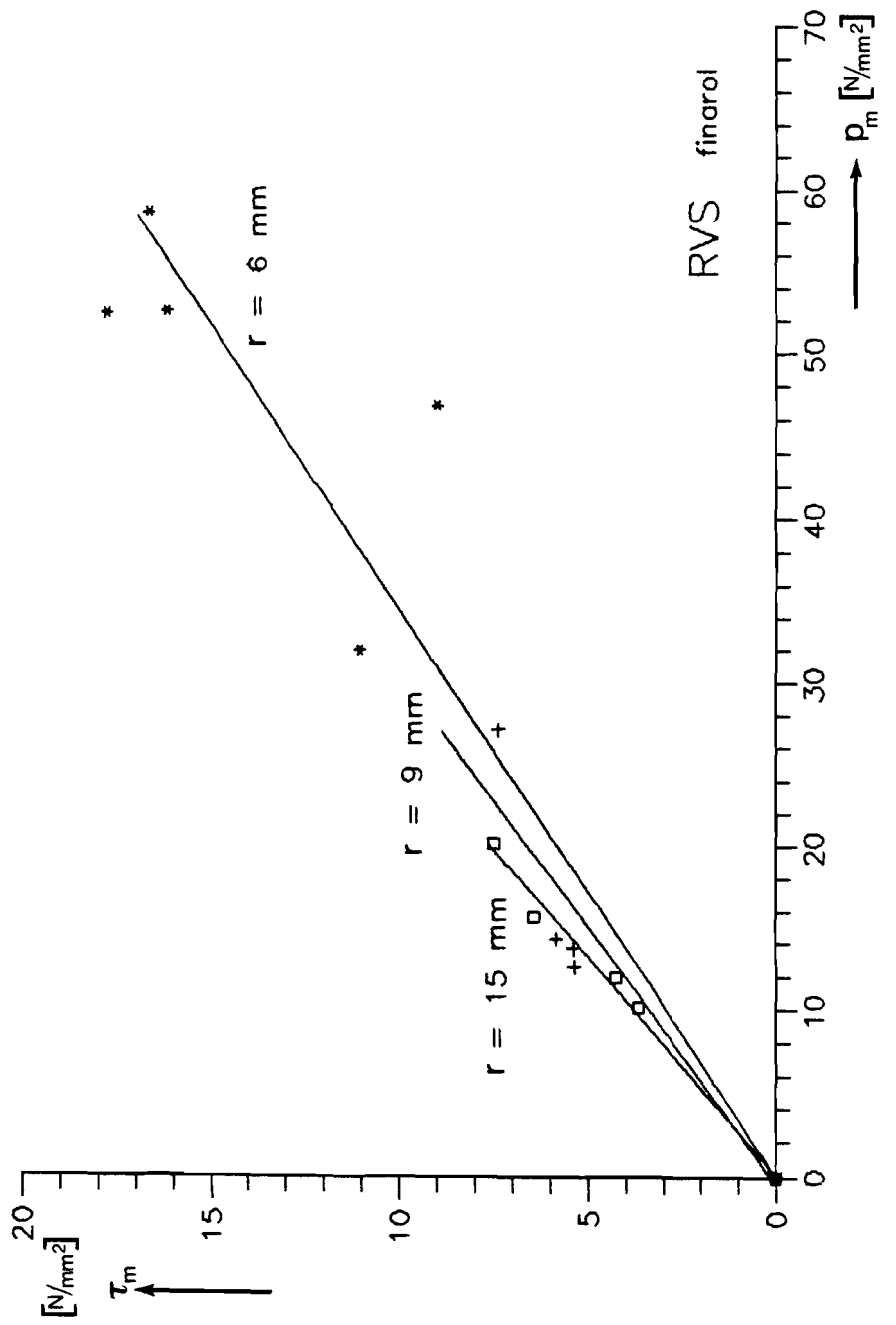


grafiek 5



grafiek 6





grafiek 8

11 Bepaling hardheid trekstrip.

Wanneer men na een proef met oppervlak ter plaatse van het buig- en strekgebied bekijkt, dan ziet men een duidelijk kleurverschil vergeleken met andere plaatsen. Meet men de hardheid op die plaatsen van de trekstrip, die om de buigcilinder zijn getrokken, dan is daar de hardheid $HR_a = 50$ [-]. Terwijl deze voor de proef $HR_a = 44$ [-] bedroeg. Er is dus sprake van versteviging t.g.v. deformatie.

12 Het optreden van metallisch contact tussen trekstrip en buigcilinder.

Bij SPD en Aluminium, gecombineerd met zowel talk als finarol, treedt er in het buig- en strekgebied van de trekstrip alleen een kleurverandering op, soms met een ondiep groefje. De combinatie RVS en finarol veroorzaakt echter diepe groeven in de trekstrip (vreten) en aanladen op de buigcilinder.

Hardheid buigcilinder (gehard gereedschapsstaal)	: $HR_a = 80$ [-]
Hardheid ongedeformeerd gedeelte RVS trekstrip	: $HR_a = 44$ [-]
Hardheid gedeformeerd gedeelte RVS trekstrip	: $HR_a = 50$ [-]

De beschadigingen kunnen verklaard worden uit:

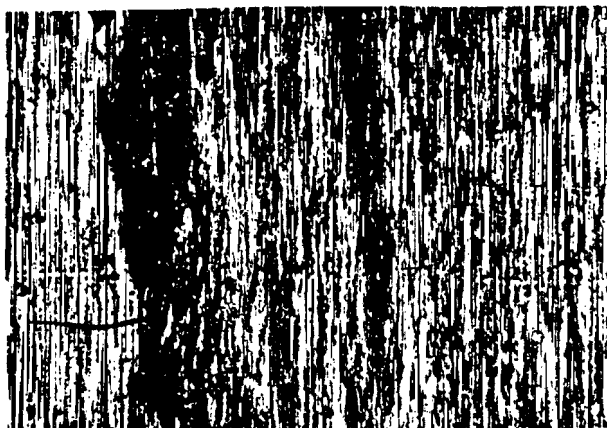
- het grote hardheidsverschil tussen de trekstrip en de buigcilinder
- de neiging van RVS om vlug aan te laden
- het problematisch smeermiddel finarol

Door de onvoldoende smerwerking van finarol prikken de ruwheidstoppen van de trekstrip door de smeerfilm heen. Bij dit metallisch contact worden de toppen afgeschoven en in een lange baan meegetrokken, waardoor een groef in de trekstrip ontstaat. Op het veel hardere buigcilinderoppervlak wordt een gedeelte van de afgeschoven RVS-ruwheidstoppen aangeladen.

In fig. 13 weergegeven foto's gemaakt van de oppervlakten van trekstrip en buigcilinder m.b.v. een lichtmicroscop.

BUIGCILINDER

V = 83 x



TREKSTRIP

V = 275 x



Fig. 13 Foto's van strip- en buigcilinder

13 Opmerkingen bij meetresultaten en grafieken.

- Voor iedere lijn in de grafieken 1 t/m 8, geldt dat er minimaal 4 en maximaal 6 meetwaarden gebruikt zijn. Sommige van deze meetwaarden vallen echter samen, dit samenvallen van meetpunten is in de grafieken niet te zien. Bij de bepaling van een lijn d.m.v. lineaire regressie is echter wel met deze "dubbele"-meetpunten rekening gehouden.
- Wanneer we (blz.17) de gemiddelde wrijvingscoëfficiënten μ_m van een bepaalde materiaal– smeermiddelcombinatie bekijken. Dan is, zoals verwacht, de μ_m bij smering met finarol hoger dan bij smering met talk.
- Bekijken we bij de proeven zonder wrijving de grafieken 1 t/m 3 van $W_{BS} - \sigma_m$ dan zien we dat de door lineaire regressie bepaalde lijnen min of meer evenwijdig lopen. Daarbij valt op dat de afstand tussen de lijnen van $r = 6$ mm en $r = 9$ mm groter is dan die tussen de lijnen van $r = 9$ mm en $r = 15$ mm. Via modelvorming zou hiervoor een verklaring gezocht kunnen worden. De grafieken 2 en 3 geven voor $\sigma_m = 0$ een negatieve waarde voor W_{BS} dit is een gevolg van het d.m.v. lineaire regressie bepalen van het verloop van de lijnen.
- Bij SPD en Aluminium, al dan niet in combinatie met talk of finarol, treedt nooit stick–slip op. Bij de combinatie RVS en finarol treedt er bij 7 van de 13 proeven stick–slip op, zowel bij hoge als bij lage p_m . Bij de combinatie RVS en talk treedt bij spanningen van ongeveer dezelfde grootte géén stick–slip op. Stick–slip is een probleem dat optreedt bij smering met finarol bij iets hogere p_m , echter de grens tussen het wel en niet optreden van dit verschijnsel is niet duidelijk te trekken. Van invloed hierop kan zijn dat de smeerfilm bij een lage relatieve snelheid tussen de oppervlakten en hogere contactdrukken onvoldoende sterk is en de ruwheidspieken metallisch contact tussen strip en buigcilinder. Dit verklaart ook het ontstaan van krassen in het stripoppervlak en het aanladen op het buigcilinderoppervlak.
- Wanneer we uitgaan van het wrijvingsmodel volgens Coulomb waarbij aangenomen wordt dat er een lineair verband bestaat tussen p_m en τ_m volgens: $\tau_m = \mu \cdot p_m$ (10). Dan blijken de meetpunten op aanvaardbare afstand van de door lineaire regressie bepaalde lijn te liggen. Men mag stellen dat het wrijvingsmodel van Coulomb, met name bij lagere vlaktedrukken, tot redelijke resultaten leidt.

De hieruit berekende wrijvingscoëfficiënten μ , bij één combinatie materiaal–smeermiddel, zijn voor verschillende radii, in mindere mate bij aluminium, ongeveer gelijk.

Ondanks het ontbreken van andere opstellingen en vergelijkbare onderzoeksgegevens kan men stellen dat de hier gebruikte proefopstelling kan dienen als testmethode voor de bepaling van de wrijvingscoëfficiënt van een materiaal–smeermiddelcombinatie.

Literatuurlijst.

- [1] Ramaekers, J.A.H.
Houtackers, L.J.A.
Plastisch bewerken van metalen.
Procesbeheersing in de
onderdelenfabrikage.
OMTEC–Stichting voor
Mechanische Omvormtechnologie
Mierlo (1990).
- [2] Hoogenboom, S.M.
Technische plasticiteitsleer.
Collegedictaat TUE (1987).
- [3] Tenbult, E.H.T.H.
Wrijvingsinvloed en
dikte–afname bij het
striptrekken. V.F.–code D2/D3;
WPA–nr.: 0672 (1989).

Bijlage: 1

Mat: SPD R = 6 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
19.94	1.02	3080	2840	19.91	1.02	19.88	0.95
19.93	1.02	2100	1800	19.90	1.02	19.89	0.97
19.93	1.02	1540	1280	19.93	1.02	19.85	0.98
19.93	1.02	1120	840	19.93	1.02	19.88	0.98

Mat: SPD R = 9 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
19.99	1.015	2900	2760	19.98	1.01	19.91	0.98
19.97	1.015	2860	2760	19.97	1.01	19.94	0.98
19.97	1.015	1280	1200	19.96	1.01	19.91	0.99
19.97	1.015	1420	1300	19.94	1.01	19.92	0.99

Mat: SPD R = 15 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
19.97	1.015	2940	2800	19.97	1.01	19.95	1.00
19.99	1.015	3040	2920	19.97	1.01	19.96	1.00
19.97	1.015	1270	1160	19.97	1.01	19.96	1.00
19.98	1.015	1240	1180	19.95	1.01	19.93	1.00

Mat:SPD R = 6 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	W_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
3080	2840	0.30	0.25	23.2	151.5
2100	1800	0.20	0.16	20.2	98.7
1540	1280	0.14	0.11	16.2	71.1
1120	840	0.10	0.07	15.9	49.3

Mat:SPD R = 9 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	W_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
2900	2760	0.27	0.25	11.8	142.7
2860	2760	0.27	0.25	9.5	141.5
1280	1200	0.12	0.11	5.4	62.2
1420	1300	0.13	0.12	7.4	68.3

Mat:SPD R = 15 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	W_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
2940	2800	0.27	0.25	8.5	143.1
3040	2920	0.28	0.26	7.5	148.5
1270	1160	0.11	0.10	6.1	60.6
1240	1180	0.11	0.10	3.9	60.2

Mat: SPD R = 6 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
19.98	1.02	4440	3200	19.85	1.01	19.64	0.93
19.98	1.02	4560	3440	19.85	1.01	19.74	0.93
19.98	1.02	4160	3200	19.90	1.01	19.65	0.95
19.98	1.02	1500	840	19.90	1.02	19.85	1.00
19.98	1.02	1600	1000	19.90	1.02	19.82	0.99
19.98	1.02	1580	940	19.90	1.02	19.85	0.98

Mat: SPD R = 9 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
19.97	1.02	3400	2600	19.97	1.00	19.88	0.99
19.97	1.02	3880	2920	19.96	1.00	19.92	0.99
19.98	1.02	3400	2420	19.98	1.01	19.95	0.98
19.97	1.02	1680	1060	19.97	1.00	19.96	1.00
19.98	1.02	1380	900	19.98	1.00	19.97	1.00
19.97	1.02	1380	920	19.97	1.00	19.97	1.00

Mat: SPD R = 15 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.00	1.02	3880	2940	19.98	1.01	19.98	1.00
19.99	1.02	3780	2820	19.97	1.01	19.95	1.00
19.99	1.02	3640	2800	19.94	1.01	19.91	0.99
19.98	1.02	1540	1100	19.94	1.02	19.94	1.01
19.98	1.02	1720	1320	19.96	1.01	19.89	1.01
19.98	1.02	1400	1040	19.77	1.01	19.89	1.01

Mat: SPD R = 6 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	τ_m	p_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
4440	3200	0.44	0.29	5.78	32.55
4560	3440	0.44	0.31	4.56	33.87
4160	3200	0.40	0.29	3.86	31.20
1500	840	0.14	0.07	1.92	9.84
1600	1000	0.15	0.09	1.65	10.95
1580	940	0.15	0.08	1.94	10.62

Mat: SPD R = 9 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	τ_m	p_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
3400	2600	0.31	0.24	2.20	16.74
3880	2920	0.36	0.27	2.68	18.96
3400	2420	0.32	0.22	3.03	16.24
1680	1060	0.15	0.10	1.73	7.62
1380	900	0.13	0.08	1.28	6.34
1380	920	0.13	0,08	1.20	6.39

Mat: SPD R = 15 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	τ_m	p_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
3880	2940	0.35	0.26	1.69	11.38
3780	2820	0.34	0,25	1.75	11.03
3640	2800	0.34	0.25	1.57	10.79
1540	1100	0.14	0.10	0.74	4.41
1720	1320	0.15	0.12	0.63	5.09
1400	1040	0.13	0.09	0.56	4.08

Mat: Al R = 6 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	800	760	20.03	0.94	19.98	0.91
20.03	0.94	780	740	20.03	0.94	19.98	0.89
20.045	0.94	820	800	20.04	0.94	19.98	0.91
20.035	0.94	520	480	20.03	0.94	19.98	0.90

Mat: Al R = 9 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.04	0.94	800	780	20.03	0.94	19.98	0.90
20.04	0.94	780	760	20.04	0.94	19.98	0.90
20.04	0.94	760	740	20.03	0.94	19.99	0.90
20.04	0.94	560	540	20.04	0.94	20.00	0.92

Mat: Al R = 15 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	780	740	20.03	0.93	19.99	0.92
20.04	0.94	780	740	20.04	0.94	20.00	0.92
20.04	0.94	520	500	20.04	0.94	20.02	0.92
20.04	0.94	780	760	20.03	0.94	20.01	0.92

Mat:Al R = 6 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	W_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
800	760	0.36	0.34	3.6	42.2
780	740	0.36	0.33	4.6	41.6
820	800	0.37	0.35	2.6	43.8
520	480	0.24	0.21	3.4	27.2

Mat:Al R = 9 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	W_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
800	780	0.37	0.34	3.1	42.9
780	760	0.36	0.34	3.0	41.9
760	740	0.35	0.33	2.9	40.8
560	540	0.26	0.24	2.5	29.9

Mat:Al R = 15 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	W_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
780	740	0.35	0.33	2.7	41.1
780	740	0.35	0.33	3.1	40.8
520	500	0.23	0.22	1.7	27.4
780	760	0.35	0.34	2.0	41.4

Mat: Al R = 6 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	520	400	20.03	0.94	19.96	0.90
20.03	0.94	1000	800	20.03	0.94	19.95	0.89
20.03	0.94	1020	780	20.03	0.94	19.95	0.89
20.03	0.94	1300	1080	20.03	0.94	19.95	0.90

Mat: Al R = 9 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	1120	800	20.03	0.94	19.96	0.895
20.04	0.94	1020	760	20.04	0.94	19.98	0.90
20.03	0.94	1080	780	20.02	0.94	19.98	0.91
20.02	0.94	620	460	20.03	0.94	19.96	0.90

Mat: Al R = 15 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	880	740	20.03	0.94	20.02	0.925
20.04	0.94	780	680	20.03	0.94	20.01	0.925
20.05	0.94	860	780	20.04	0.94	20.025	0.93
20.04	0.94	680	620	20.035	0.94	20.015	0.93
20.04	0.94	680	580	20.035	0.94	20.015	0.93

Mat: Al R = 6 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	τ_m	p_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
520	400	0.24	0.18	0.40	3.85
1000	800	0.47	0.35	1.00	7.53
1020	780	0.48	0.34	1.21	7.53
1300	1080	0.60	0.48	1.12	9.95

Mat: Al R = 9 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	τ_m	p_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1120	800	0.52	0.35	1.08	5.36
1020	760	0.47	0.34	0.85	4.96
1080	780	0.49	0.34	0.95	5.18
620	460	0.29	0.20	0.50	3.01

Mat: Al R = 15 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	τ_m	p_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
880	740	0.40	0.33	0.22	2.70
780	680	0.35	0.30	0.14	2.43
860	780	0.38	0.34	0.08	2.73
680	620	0.30	0.27	0.06	2.16
680	580	0.30	0.26	0.14	2.10

Mat: Al R = 6 [mm] met wrijving smering: Finarol

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	1200	780	20.03	0.94	19.96	0.88
20.03	0.94	1220	740	20.03	0.94	19.94	0.87
20.04	0.94	1580	920	20.03	0.94	19.95	0.86
20.05	0.94	900	520	20.05	0.94	19.98	0.89

Mat: Al R = 9 [mm] met wrijving smering: Finarol

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.94	1380	800	20.03	0.94	19.95	0.89
20.02	0.94	1380	800	20.02	0.94	19.94	0.885
20.02	0.94	1320	780	20.02	0.94	19.94	0.89
20.03	0.94	800	520	20.03	0.94	19.98	0.91

Mat: Al R = 15 [mm] met wrijving smering: Finarol

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.04	0.94	840	680	20.025	0.94	20.00	0.92
20.04	0.94	920	740	20.035	0.94	20.00	0.92
20.04	0.94	1000	800	20.035	0.94	20.00	0.925
20.04	0.94	600	440	20.04	0.94	20.00	0.925

Mat: Al R = 6 [mm] met wrijving smering: Finarol

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1200	780	0.57	0.34	2.24	8.32
1220	740	0.59	0.33	2.63	8.26
1580	920	0.77	0.41	3.78	10.57
900	520	0.42	0.23	1.88	5.96

Mat: Al R = 9 [mm] met wrijving smering: Finarol

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
1380	800	0.65	0.35	2.02	6.11
1380	800	0.65	0.35	2.05	6.12
1320	780	0.62	0.34	1.88	5.88
800	520	0.37	0.23	0.89	3.68

Mat: Al R = 15 [mm] met wrijving smering: Finarol

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
840	680	0.38	0.30	0.27	2.53
920	740	0.42	0.33	0.31	2.76
1000	800	0.45	0.35	0.33	3.00
600	440	0.27	0.19	0.29	1.73

Mat: RVS R = 6 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.08	1.00	4260	3780	20.08	0.99	20.01	0.94
20.10	1.02	4420	3940	20.10	1.02	20.00	0.95
20.07	1.02	4460	4000	20.04	1.02	19.91	0.96
20.03	0.99	2540	2040	20.03	0.99	19.95	0.95

Mat: RVS R = 9 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.09	1.02	4400	4100	20.09	1.01	20.00	0.96
20.07	1.02	4540	4280	20.07	1.02	19.95	0.96
20.06	1.015	4420	4100	20.06	1.02	19.95	0.96
20.00	1.00	2660	2420	20.00	1.00	19.97	0.97
20.03	1.02	2280	2000	20.03	1.02	19.98	0.99

6

Mat: RVS R = 15 [mm] zonder wrijving

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.02	1.015	4360	4080	19.98	1.015	19.92	0.98
20.00	1.02	4540	4380	20.00	1.02	19.92	0.98
20.10	1.02	3180	2980	20.10	1.015	20.05	0.995
20.04	1.02	2000	1860	20.03	1.015	20.00	1.00

Mat:RVS R = 6 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	w_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
4260	3780	0.15	0.13	36.3	208.3
4420	3940	0.16	0.13	40.4	212.4
4460	4000	0.16	0.13	37.6	214.5
2540	2040	0.09	0.07	31.1	118.4

Mat:RVS R = 9 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	w_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
4400	4100	0.15	0.13	27.1	215.6
4540	4280	0.16	0.14	28.0	223.1
4420	4100	0.15	0.14	30.4	215.6
2660	2420	0.09	0.08	16.3	129.1
2280	2000	0.08	0.06	17.4	106.6

Mat:RVS R = 15 [mm] zonder wrijving

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	w_{Bs}	σ_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
4360	4080	0.15	0.13	22.1	212.3
4540	4380	0.15	0.14	17.8	223.6
3180	2980	0.11	0.10	13.3	152.7
2000	1860	0.07	0.06	8.5	95.7

Mat: RVS R = 6 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.05	1.01	6800	4040	20.05	1.01	19.87	0.95
20.00	1.02	6160	3780	20.00	1.02	19.87	0.95
20.08	1.01	3440	1760	20.08	1.01	20.00	0.965
19.98	1.00	6700	4260	19.98	1.00	19.85	0.93

Mat: RVS R = 9 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	1.02	3740	2280	20.03	1.02	19.98	0.985
20.10	1.02	6800	4360	20.10	1.02	19.95	0.96
20.02	1.00	6640	4180	20.02	1.00	19.87	0.94
20.00	1.00	6400	4100	20.00	1.00	19.87	0.94

Mat: RVS R = 15 [mm] met wrijving smering: talk

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.10	1.02	5100	4120	20.10	1.02	20.03	0.99
20.00	1.00	6000	4100	20.00	1.00	19.97	0.96
20.00	1.01	6700	4040	20.00	1.01	19.87	0.96
20.05	1.03	7300	4420	20.04	1.03	19.87	0.97
19.98	1.00	2780	1620	19.98	0.99	19.97	0.98

Mat: RVS R = 6 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
6800	4040	0.24	0.13	12.19	45.71
6160	3780	0.22	0.12	10.38	41.99
3440	1760	0.12	0.06	6.21	21.80
6700	4260	0.24	0.14	10.81	46.33

Mat: RVS R = 9 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
3740	2280	0.13	0.07	4.08	16.79
6800	4360	0.24	0.14	7.46	31.22
6640	4180	0.24	0.14	7.62	30.40
6400	4100	0.23	0.14	7.06	29.51

Mat: RVS R = 15 [mm] met wrijving smering: talk

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
5100	4120	0.17	0.13	1.51	15.34
6000	4100	0.21	0.14	3.51	16.92
6700	4040	0.23	0.13	5.25	18.09
7300	4420	0.25	0.14	5.83	19.76
2780	1620	0.09	0.05	2.09	7.35

Mat: RVS R = 6 [mm] met wrijving smering: Finarol

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.00	1.02	6600	4520	20.00	1.02	19.94	0.94
20.00	1.02	7960	4380	20.00	1.02	19.91	0.92
20.00	1.015	7780	4540	20.00	1.015	19.73	0.92
20.00	1.015	8600*	5200	20.00	1.00	19.73	0.92
20.00	1.015	5100	2500	20.00	1.00	19.96	0.95

Mat: RVS R = 9 [mm] met wrijving smering: Finarol

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.03	0.99	3360*	1540	20.03	0.99	19.98	0.97
20.03	1.015	3540*	1580	20.03	1.01	19.98	0.99
20.00	1.01	3140*	1340	20.00	1.00	19.85	0.99
20.00	0.99	6060*	3600	20.00	0.99	19.84	0.95

Mat: RVS R = 15 [mm] met wrijving smering: Finarol

b_0	s_0	F_h	F_v	b_1	s_1	b_2	s_2
[mm]	[mm]	[N]	[N]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20.00	1.02	7880*	4100	20.00	1.02	19.84	0.98
19.98	1.015	4000	2040	19.98	1.00	19.95	0.99
20.01	1.02	6300*	3000	20.01	1.02	19.92	0.99
20.03	1.015	4680	2440	20.03	1.01	19.91	0.99

Mat: RVS R = 6 [mm] met wrijving smering: Finarol

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
6600	4520	0.24	0.15	8.99	46.85
7960	4380	0.29	0.14	17.77	52.48
7780	4540	0.29	0.15	16.18	52.58
8600	5200	0.32	0.17	16.65*	58.70
5100	2500	0.18	0.08	11.05	32.00

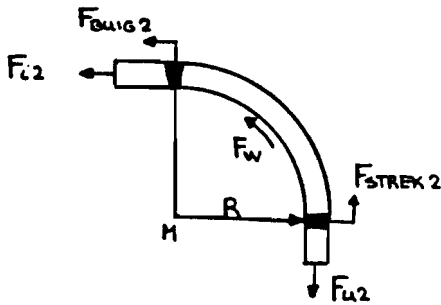
Mat: RVS R = 9 [mm] met wrijving smering: Finarol

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
3360	1540	0.12	0.05	5.39 *	13.66
3540	1580	0.12	0.05	5.84 *	14.28
3140	1340	0.11	0.04	5.36 *	12.53
6060	3600	0.21	0.12	7.38 *	27.12

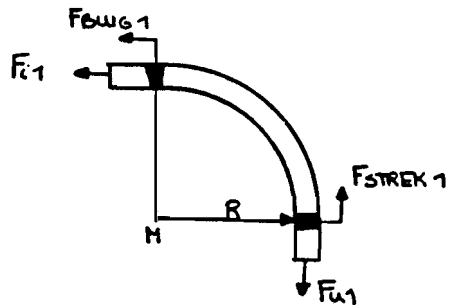
Mat: RVS R = 15 [mm] met wrijving smering: Finarol

F_h	F_v	F_h^*	F_v^*	T_m	P_m
[N]	[N]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
7880	4100	0.27	0.13	7.49	20.20
4000	2040	0.13	0.07	3.66	10.10
6300	3000	0.21	0.10	6.45 *	15.62
4680	2440	0.16	0.08	4.27	11.93

Het deel waarop de wrijving werkt is ingesloten tussen het buig en het strekgebied. Evenals bij de bepaling van σ_0 kan ook hier de momentstelling hulp bieden.



figuur 14 De vaste buigrol



figuur 15 De losse buigrol

Vast

$$\Sigma M_M = 0$$

$$F_{u2} \cdot R = F_{i2} \cdot R + F_w \cdot R + F_{buig2} \cdot R + F_{strek2} \cdot R \quad 3.17$$

$$F_{u2} = F_{i2} + F_w + F_{buig2} + F_{strek2} \quad 3.18$$

Los

$$\Sigma M_M = 0$$

$$F_{u1} \cdot R = F_{i1} \cdot R + F_{buig1} \cdot R + F_{strek1} \cdot R \quad 3.19$$

$$F_{u1} = F_{i1} + F_{buig1} + F_{strek1} \quad 3.20$$

Omdat het begin-opp. ($A_0 = b_0 \cdot s_1$) niet voor alle strips de zelfde waarde heeft, is het niet reëel F_{buig1} (F_{strek1}) gelijk te stellen aan F_{buig2} (F_{strek2}).

Dit kan worden opgelost door alle krachten te delen door het begin-oppervlak. $F^* = F / (b_0 \cdot s_1)$

Omschrijving van de vergelijkingen 3.18 en 3.20 levert

$$F_{u2}^* = F_{i2}^* + F_w^* + F_{buig2}^* + F_{strek2}^* \quad 3.21$$

$$F_{u1}^* = F_{i1}^* + F_{buig1}^* + F_{strek1}^* \quad 3.22$$

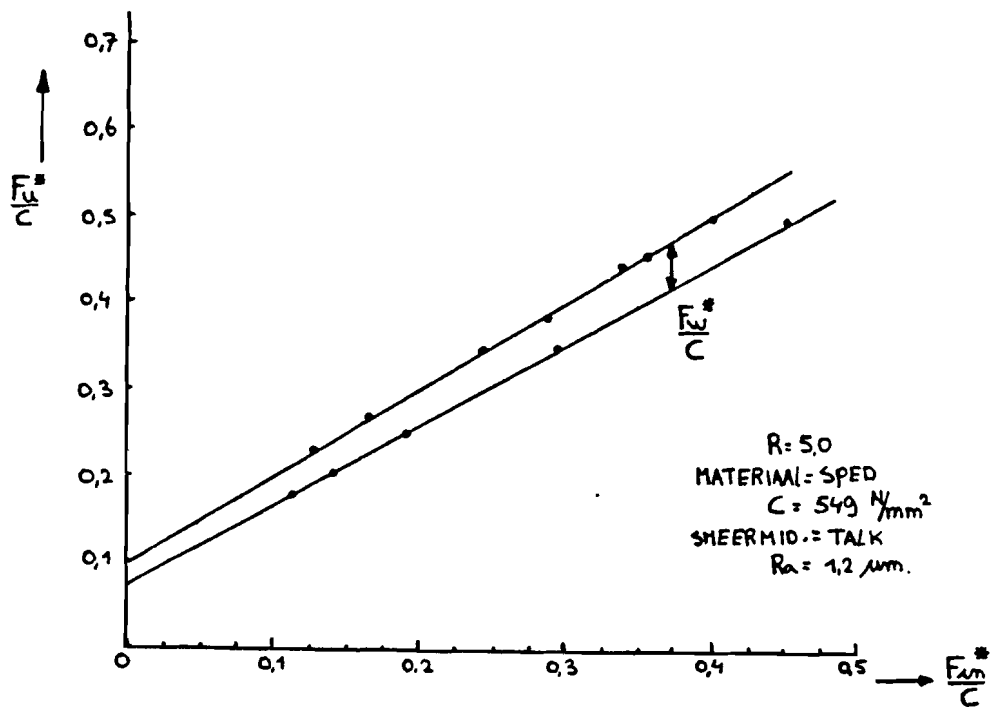
$$F_{u2}^* - F_{u1}^* = F_{i2}^* - F_{i1}^* + F_w^* \quad 3.23$$

Omdat de invloed van het begin-opp. op de buig- en strekkrachten is uitgeschakeld, kan men stellen dat: $F_{buig1}^* = F_{buig2}^*$

$$F_{strek1}^* = F_{strek2}^*$$

Als nu de gemeten waarden van F_u^* worden uitgezet tegen F_i^* kan m.b.v. deze grafiek en form. 3.23 de wrijvingskracht F_w^* bepaald worden.

Figuur 16 geeft een voorbeeld van zo'n grafiek.



figuur 16 Uitzetting van F_v^* tegen F_t^* voor vaste en losse buigrol

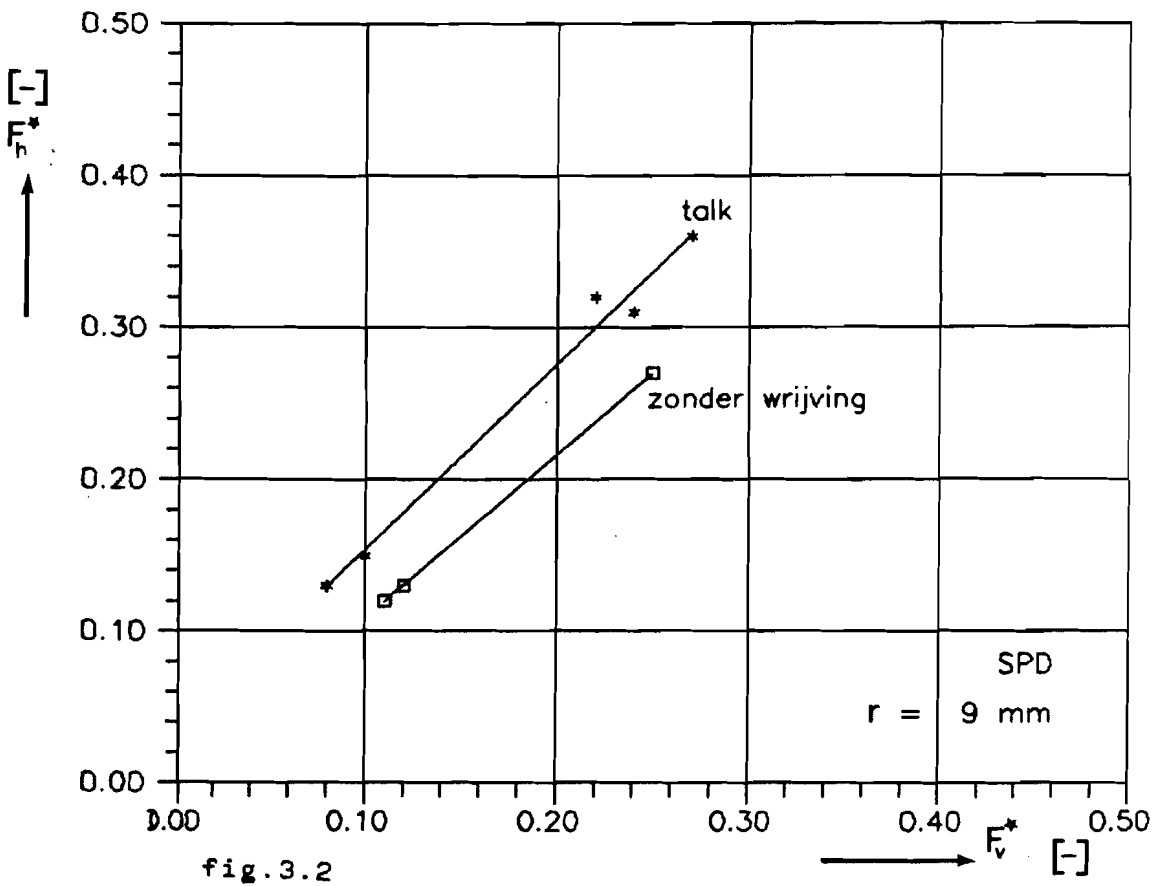
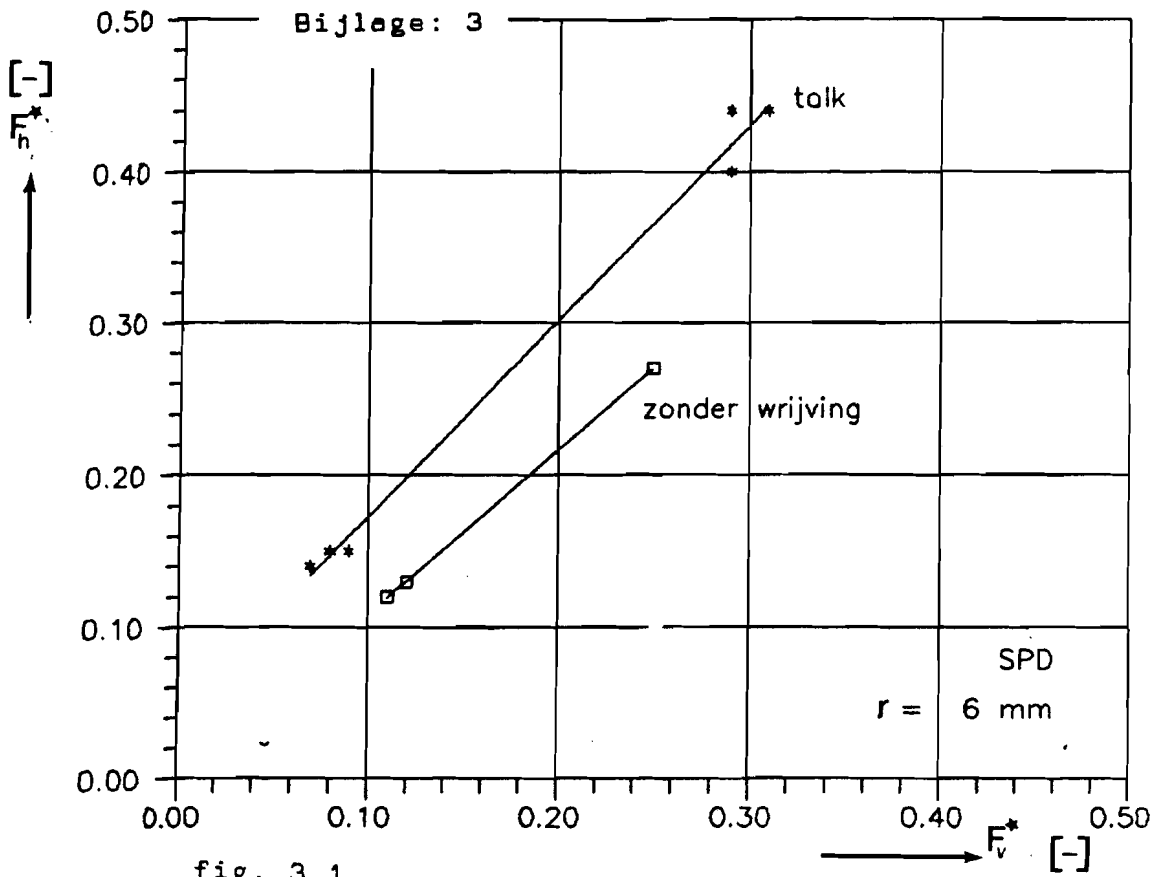
$$F_v^* = F_{n2}^* - F_{n1}^* \quad (\text{bij } F_{t2}^* = F_{t1}^*) \quad 3.24$$

Grafisch stelt dit de verticale afstand voor tussen de twee lijnen. Omdat F_v^* de wrijvingskracht per eenheid van oppervlakte is wordt F_v^* vermenigvuldigd met een willekeurig standaard-oppervlak.

$$F_v = F_v^* \cdot A_s \quad 3.25$$

$$A_s = 20.00 \cdot 1.45 \quad (\text{Constante}) \quad 3.26$$

Omdat de grafische bepaling van F_v^* niet erg nauwkeurig is wordt de wrijving berekend met een Pascal-programma dat gebaseerd is op de kleinste kwadraten methode. (Zie bijlage 2).



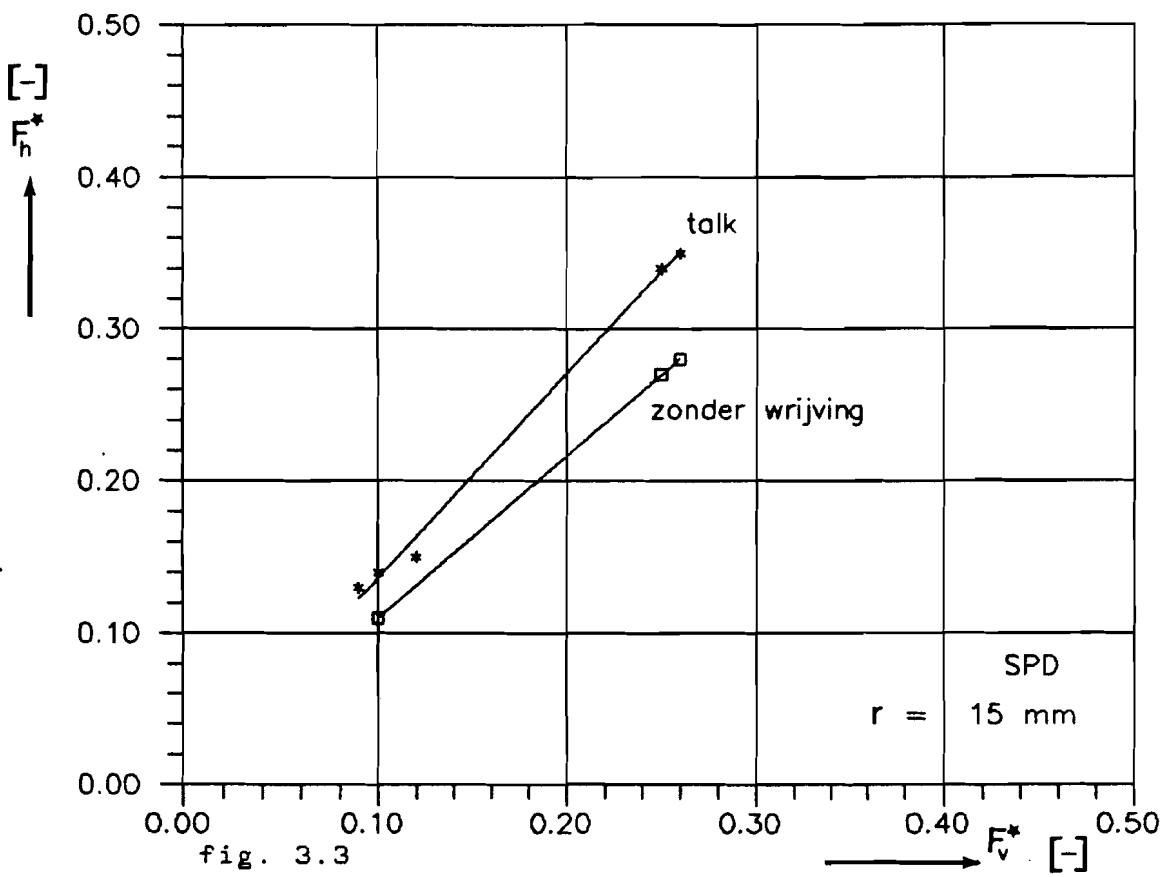


fig. 3.3

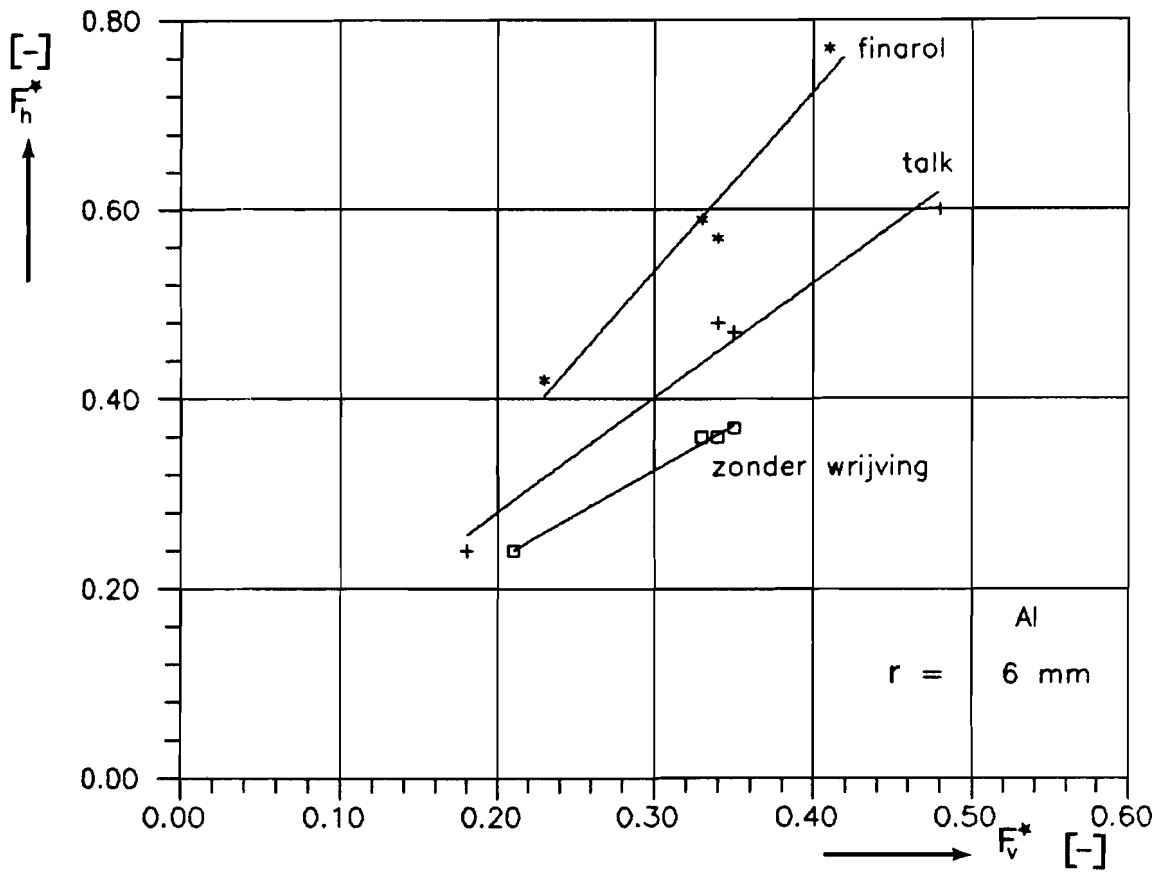


fig. 3.4

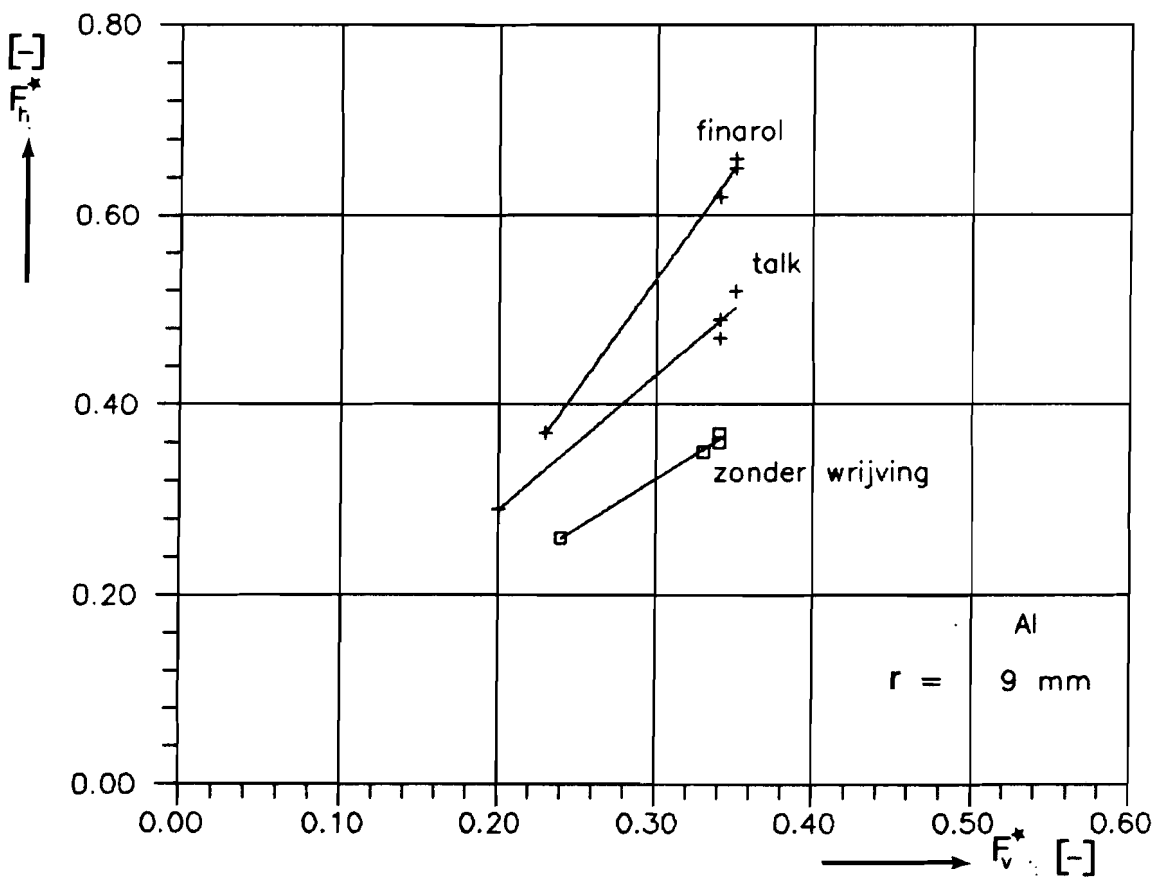


fig. 3.5

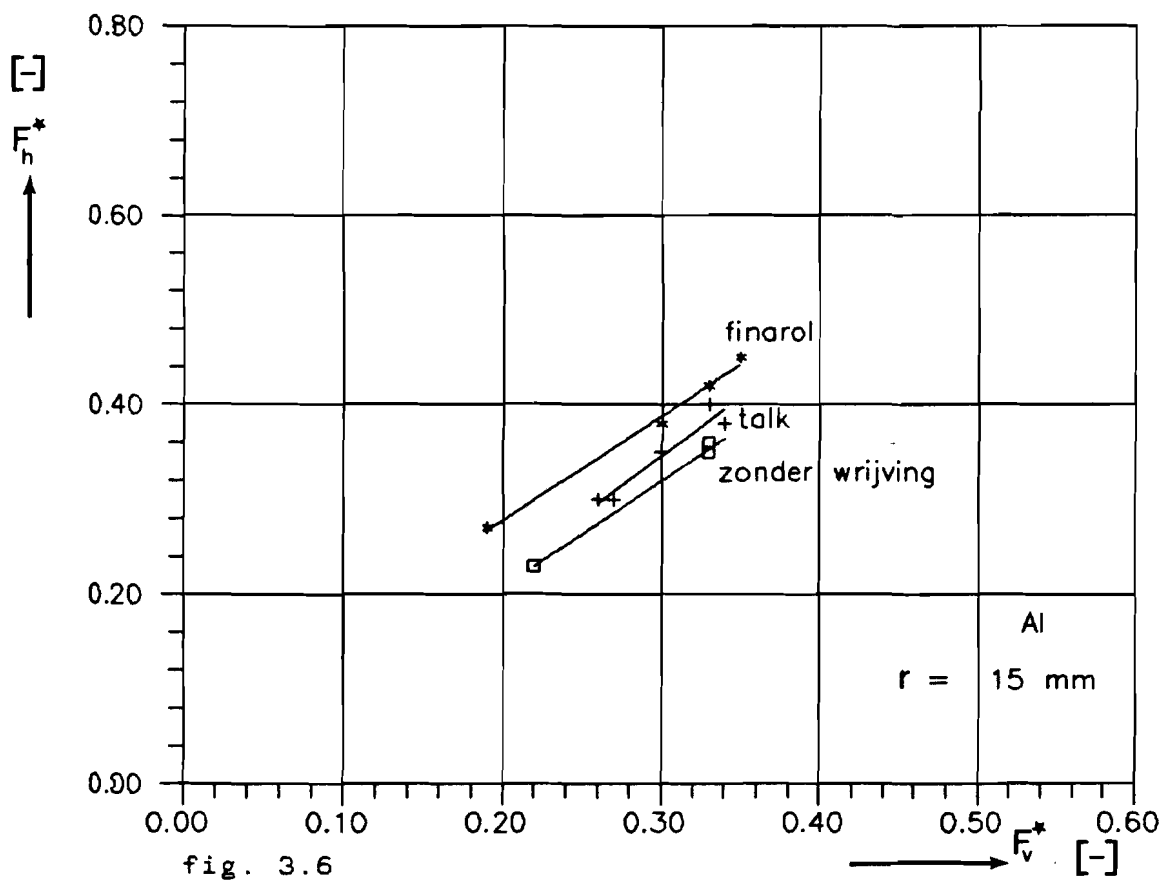


fig. 3.6

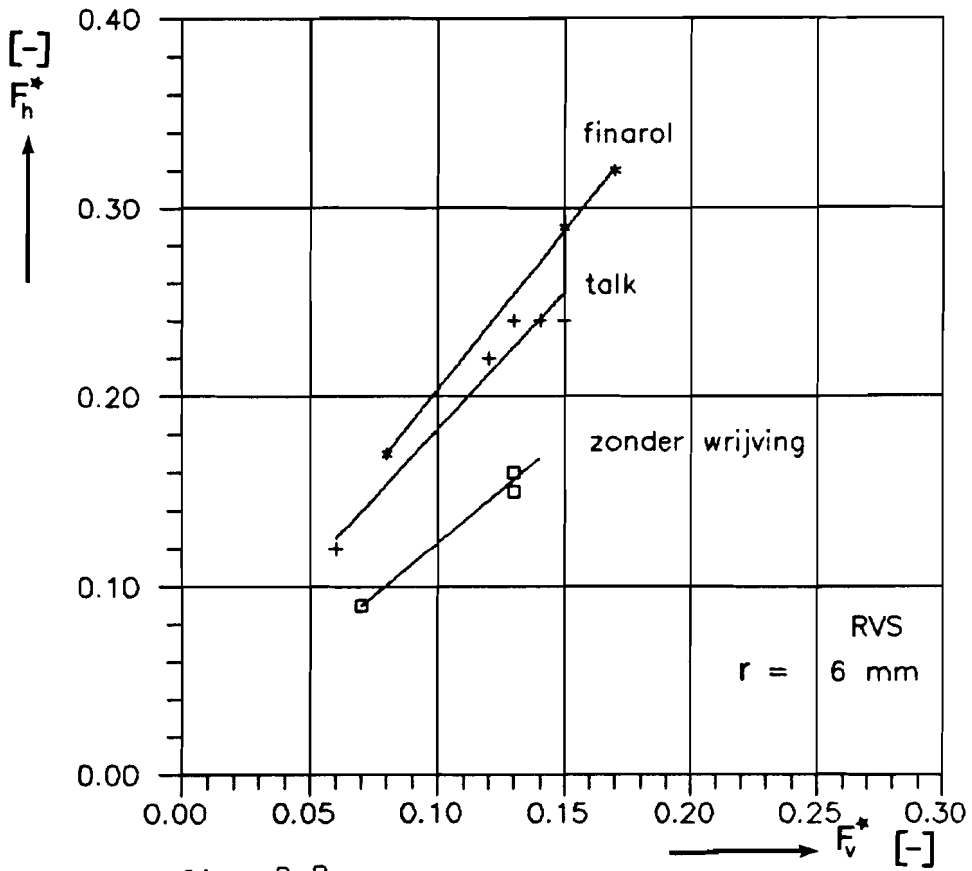


fig. 3.7

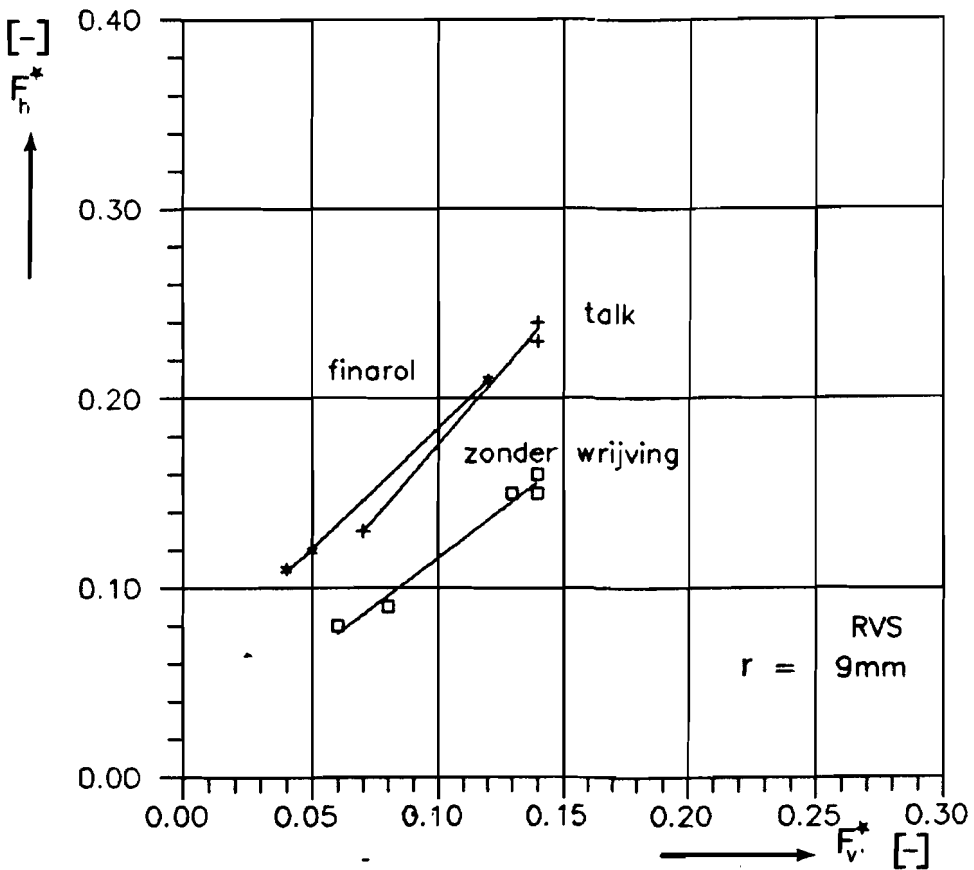


fig. 3.8

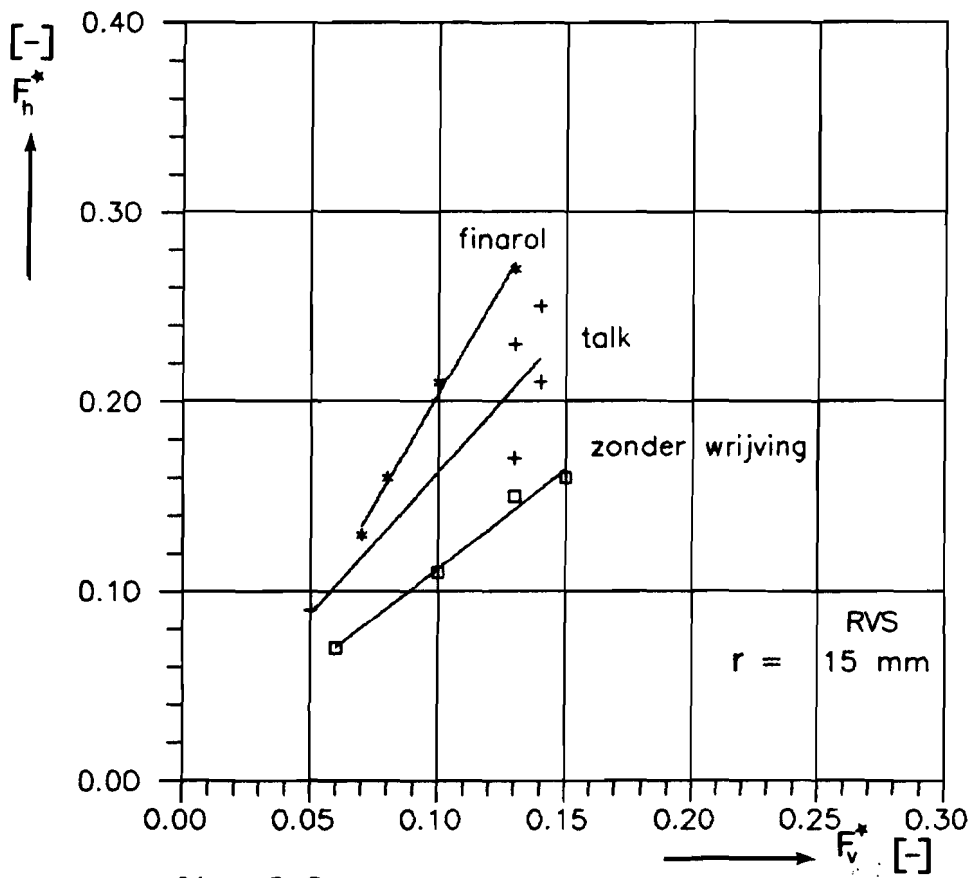


fig. 3.9

Bijlage: 4a

TUE LABORATORIUM VOOR OMVORMTECHNIEK

STANDAARD MEETRAPPOR T TREKPROEF

----- TF 893551

- PROEFGEGEVENS: -

Codenaam: TF893551
Materiaalsoort: sped
Werkstoffnummer:
Herkomst materiaal: MCB
Plaatdikte (mm): 3.01
Beginbreedte B₀ (mm): 9.050
Begindikte S₀ (mm): 3.010
Richting (t.o.v. walsricht.): 0 °
Datum proef (jjmdd):
Aantal metingen: 32
Operator: dhr. M. Th. de Groot
Projectleider: ir. L.J.A. Houtackers
Banksnelheid (mm/min): 0.16
Merk trekbank: Monsanto Houndsfield
Type trekbank: Tensometer "type w"
Serienummer: 9817
Datatakerproef (J/N): J

Door Datataker gebruikte commandoregels:

P22=44
P24=44
/m /n /u
R15S 1V 2V 3V

Opmerkingen:
ijkproef

-
-

Datum van wijziging:

Naam wijziger:

Opmerkingen Wijziging:

Epseff<0.02 en Epseff>(Epseff bij Fmax) weggegooid

- MATERIAALPARAMETERS: -

Model 1: $\sigma = C * \epsilon^n$:

Karakteristieke spanning C : 504 (N/mm²)

Verstevigingsexponent n : 0.219 (-)

Model 2 : $\sigma = C * (\epsilon_0 + \epsilon)^n$:

Karakteristieke spanning C : 519 (N/mm²)

Verstevigingsexponent n : 0.241 (-)

Voordeformatie ϵ_0 : 0.008 (-)

Anisotropiefactoren:

r gem : 2.06

r (0.1) : 2.15

r (0.2) : 1.85

TUE LABORATORIUM VOOR OMVORMTECHNIEK

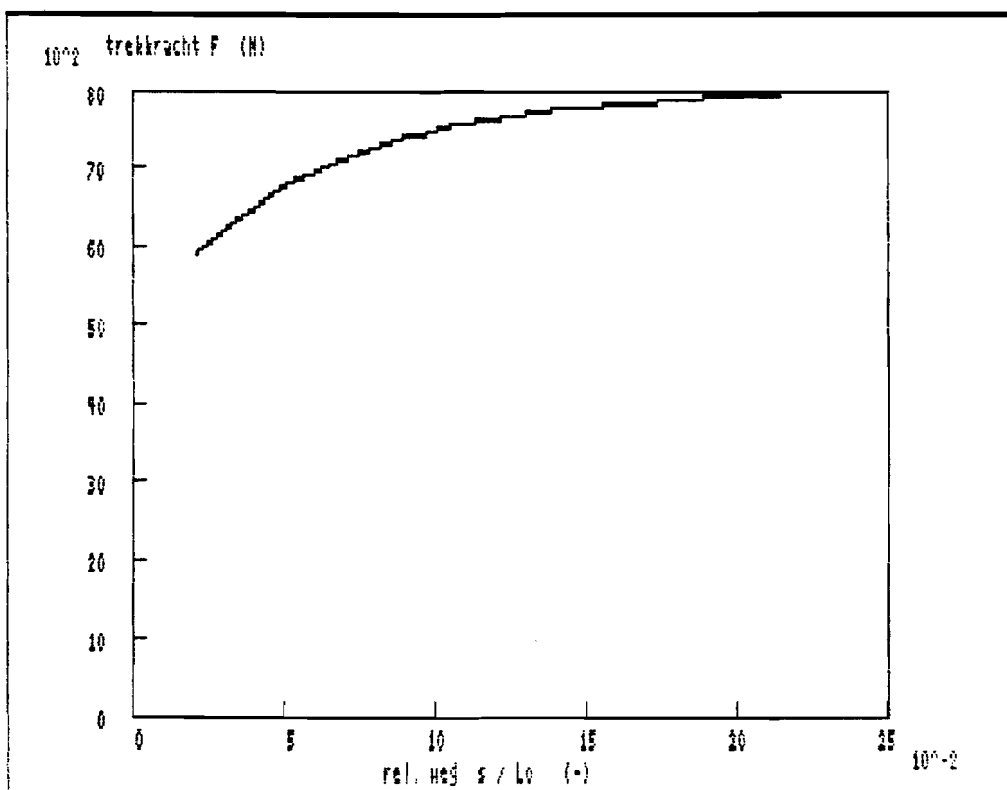
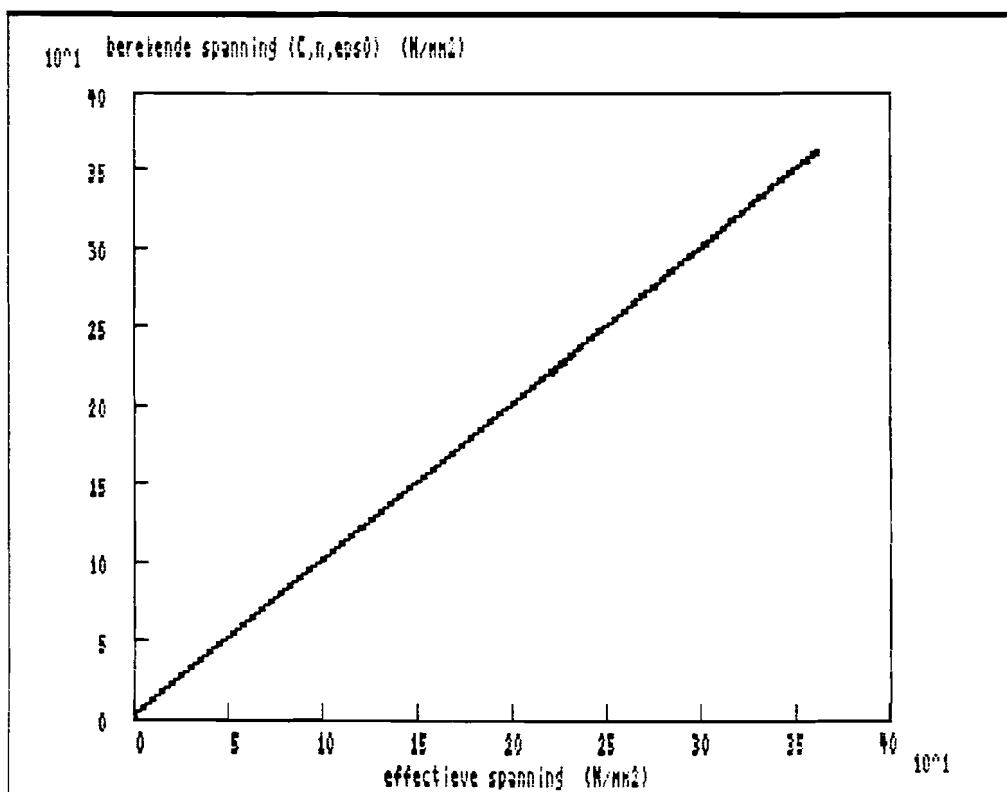


Fig. 1: Kracht-weg kromme.

Fig. 2: Berekende spanningen uitgezet tegen de gemeten spanningen.
(In het ideale geval is dit een rechte lijn onder 45°)

TUE LABORATORIUM VOOR ONVORMTECHNIEK

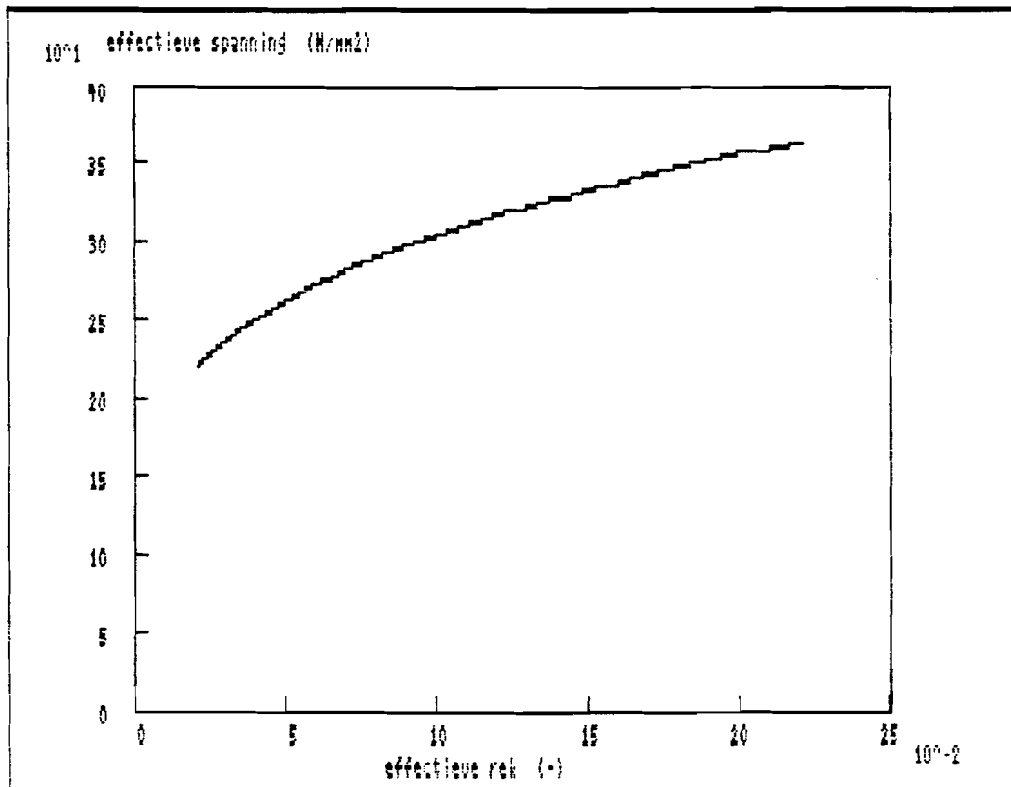


Fig. 3: Gemeten spannings-rek kromme.

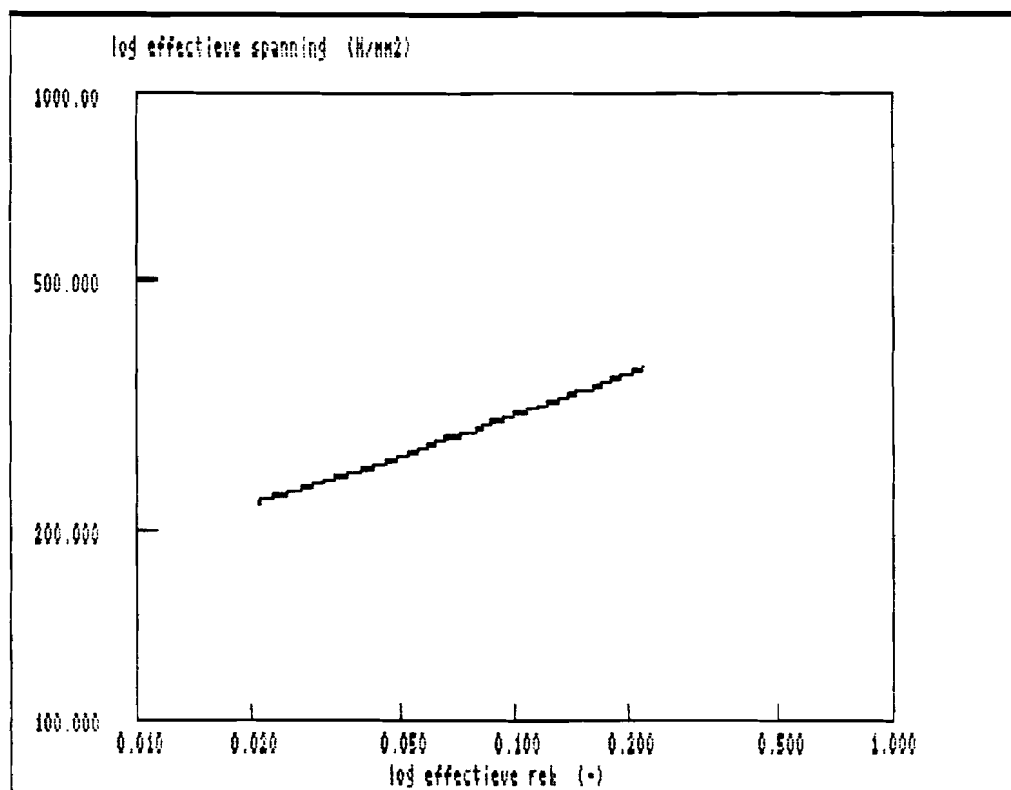


Fig. 4: Gemeten spannings-rek kromme (in dubbellog diagram).

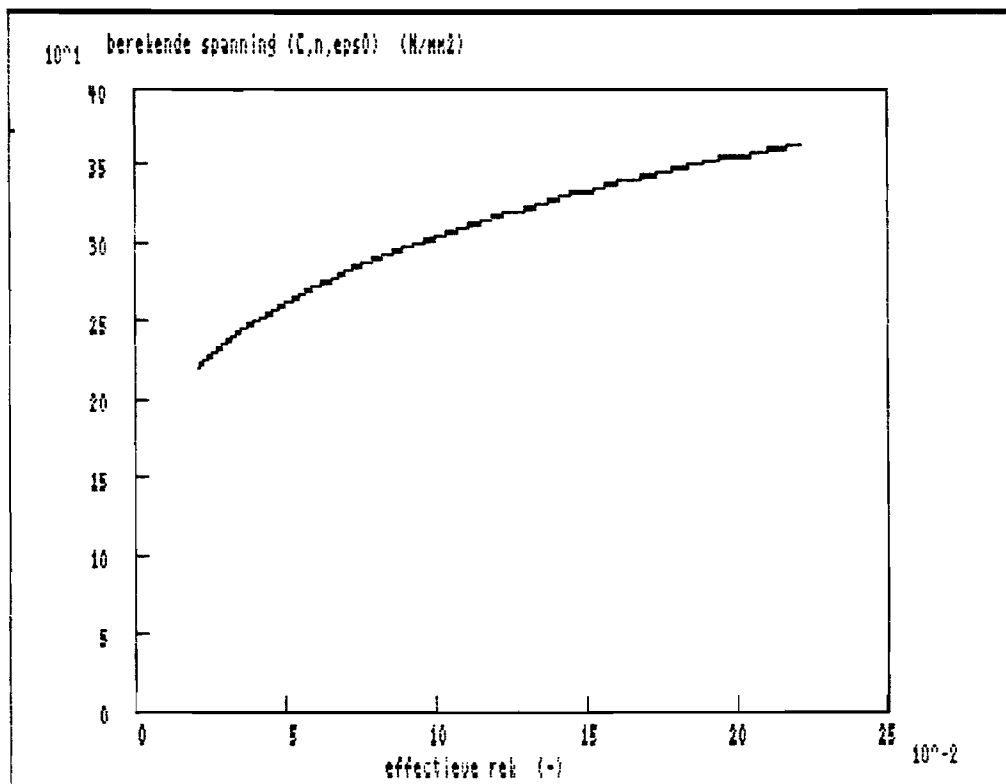


Fig. 5: Berekende spannings-rek kromme, met C, n en ϵ_0 als parameters.

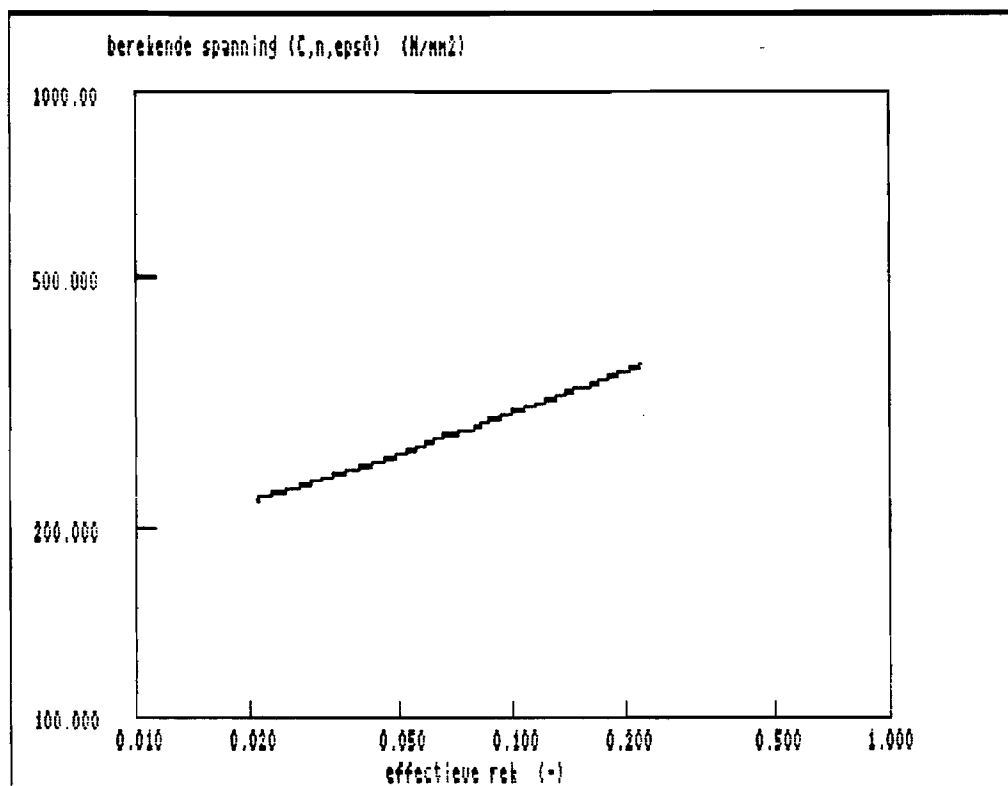


Fig. 6: Berekende spannings-rek kromme (in dubbellog diagram) met C, n en ϵ_0 als parameters.

TUE LABORATORIUM VOOR OMVORMTECHNIEK

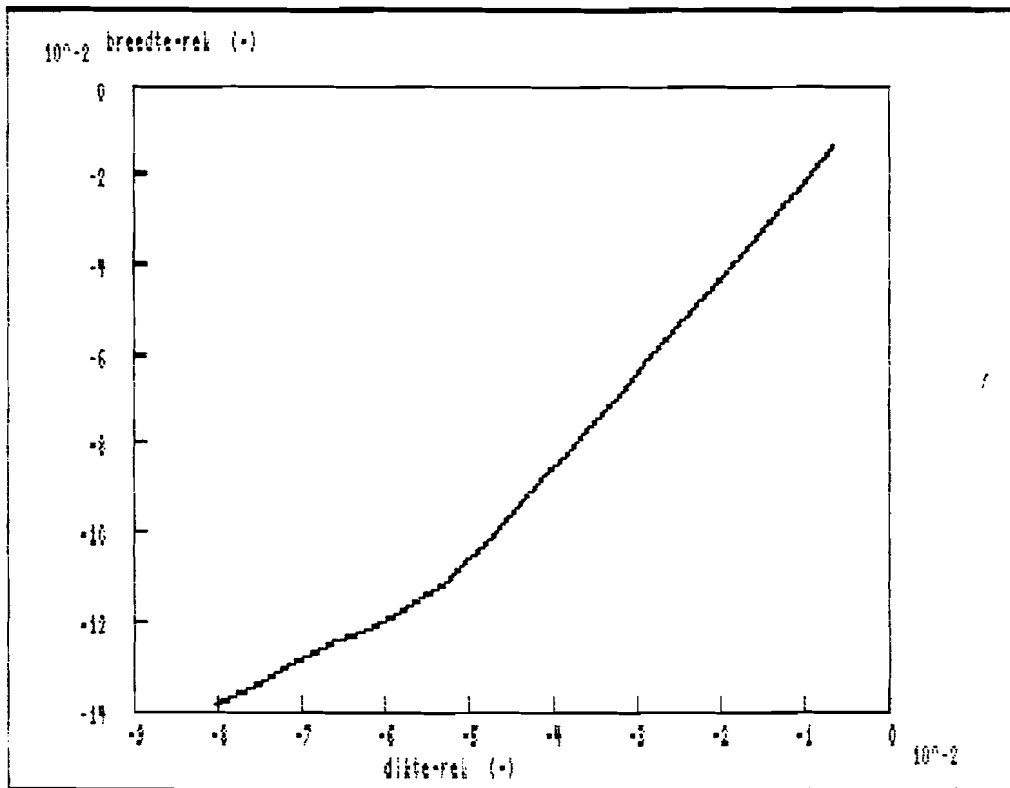


Fig. 7: Verhouding dikte-rek / breedte-rek.

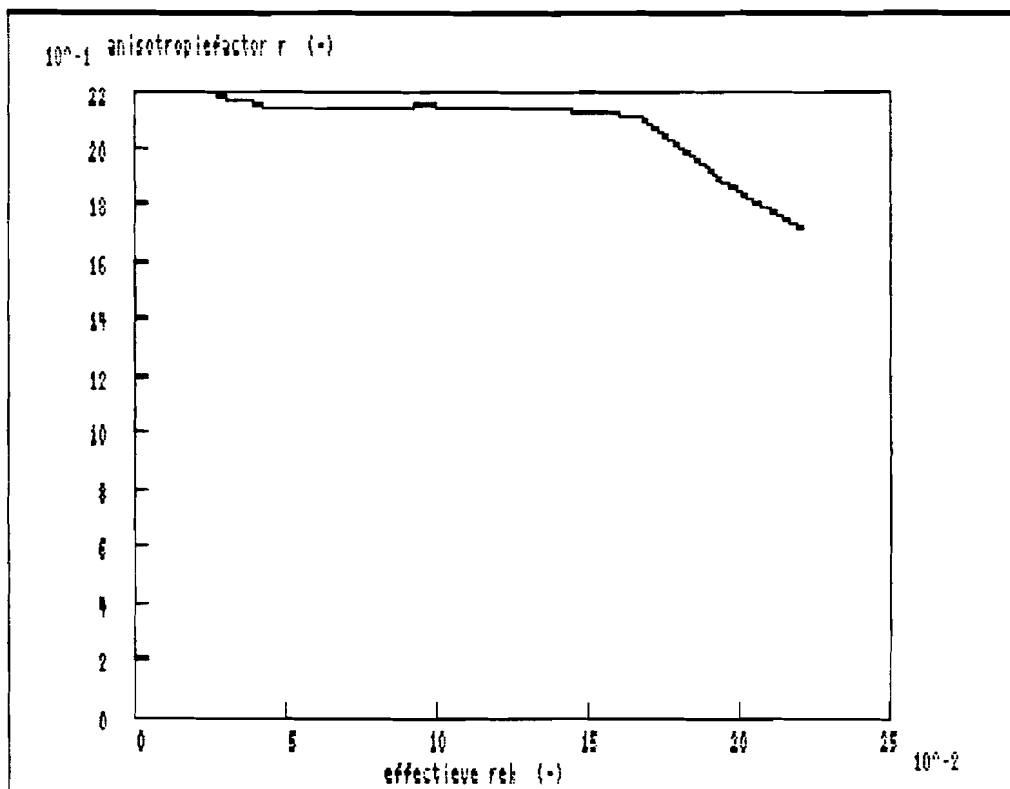


Fig. 8: Anisotropiefactor als funktie van de effectieve rek.

TA 902755

- PROEFGEGEVENS: -

Codenaam: TA902755
 Materiaalsoort: Al
 Werkstoffnummer: ?
 Herkomst materiaal: MCB
 Plaatdikte (mm): 0.95
 Beginbreedte B₀ (mm): 9.890
 Begindikte S₀ (mm): 0.950
 Richting (t.o.v. walsricht.): 0 °
 Datum proef (jjmdd): 900706
 Aantal metingen: 7
 Operator: J .Koolen
 Projectleider: M.Th.de.Groot
 Banksnelheid (mm/min): 0.16
 Merk trekbank: Monsanto Houndsfield
 Type trekbank: Tensometer "type w"
 Serienummer: 9817
 Datatakerproef (J/N): J

Door Datataker gebruikte commandoregels:

F22=44
 F24=44
 /m /n /u
 R10S 1V 2V 3V

Opmerkingen:

geen

-

-

Datum van wijziging: 900706
 Naam wijziger: J.Koolen
 Opmerkingen Wijziging:

Epseff<0.01 en Epseff>(Epseff bij Fmax) weggegooid

- MATERIAALPARAMETERS: -

Model 1: $\sigma = C * \epsilon^n$:

Karakteristieke spanning C : 110 (N/mm²)
 Verstevigingsexponent n : 0.030 (-)

Model 2 : $\sigma = C * (\epsilon_0 + \epsilon)^n$:

Karakteristieke spanning C : 121 (N/mm²)
 Verstevigingsexponent n : 0.080 (-)
 Voordeformatie ϵ_0 : 0.049 (-)

Anisotropiefactoren: r gem : 0.46
 r (0.1) : 0.60
 r (0.2) : 1.21

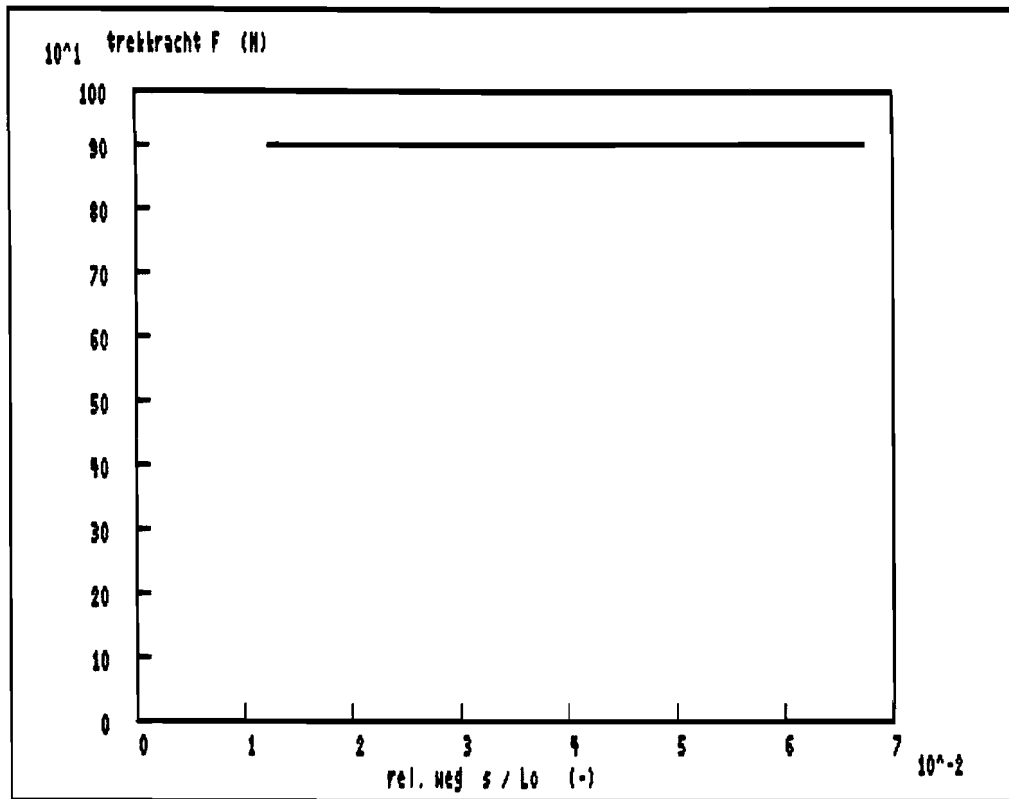
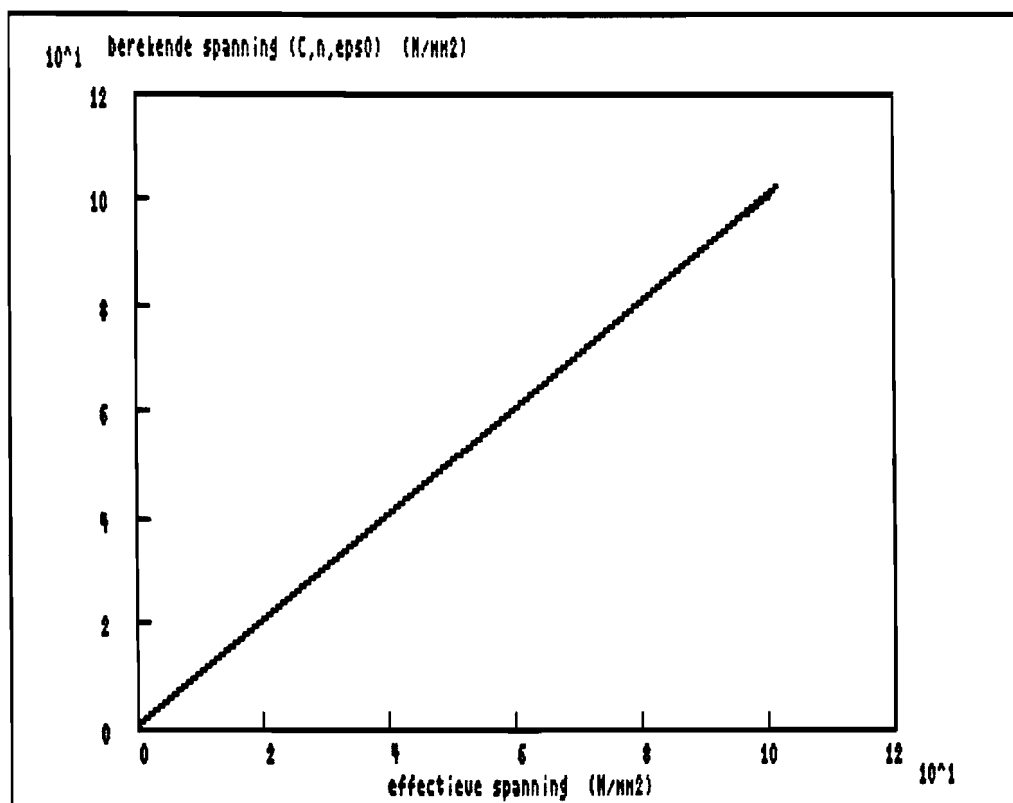


Fig. 1: Kracht-weg kromme.

Fig. 2: Berekende spanningen uitgezet tegen de gemeten spanningen.
(In het ideale geval is dit een rechte lijn onder 45°)

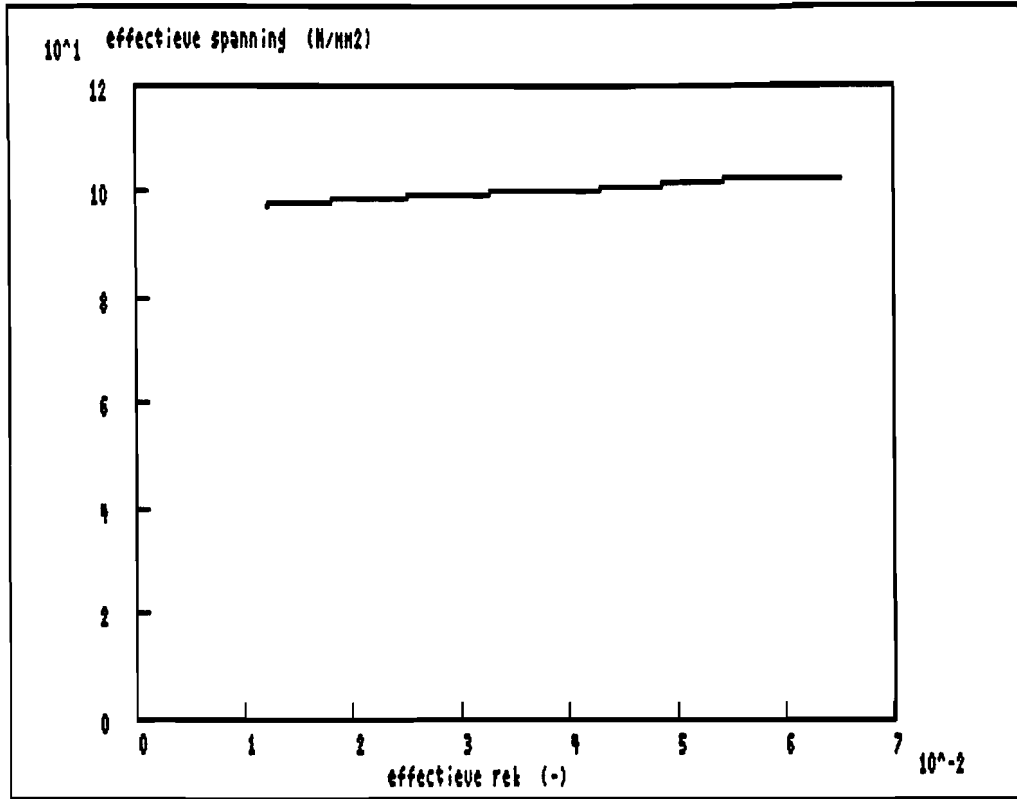


Fig. 3: Gemeten spannings-rek kromme.

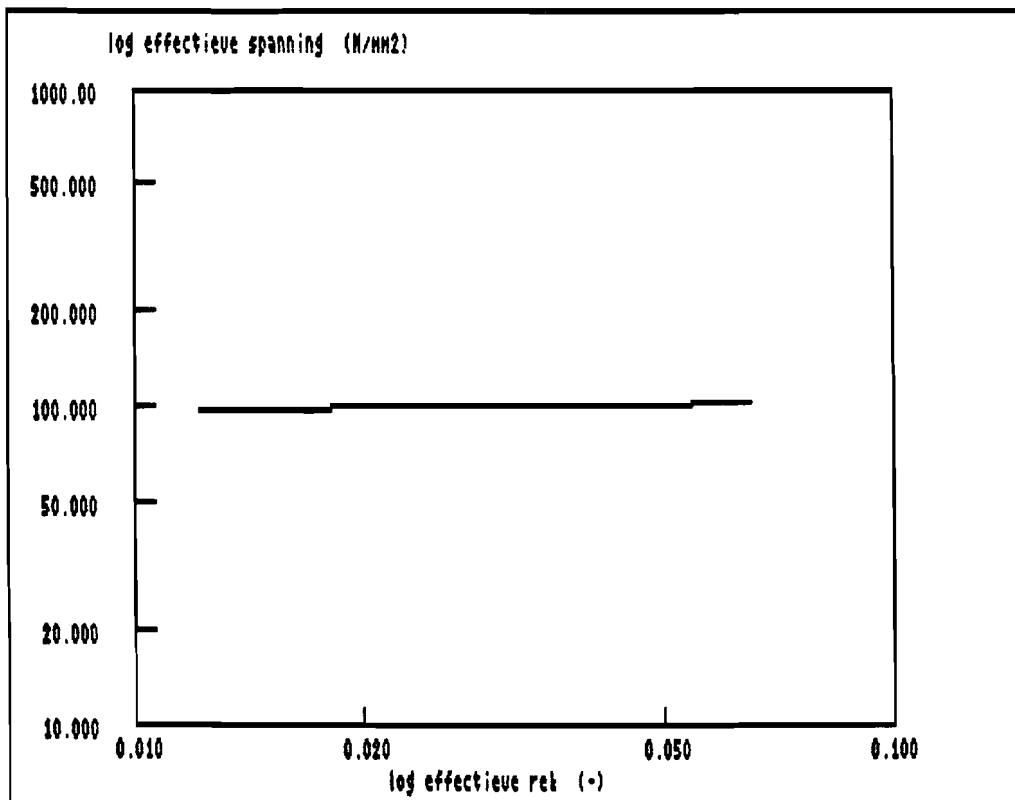


Fig. 4: Gemeten spannings-rek kromme (in dubbellog diagram).

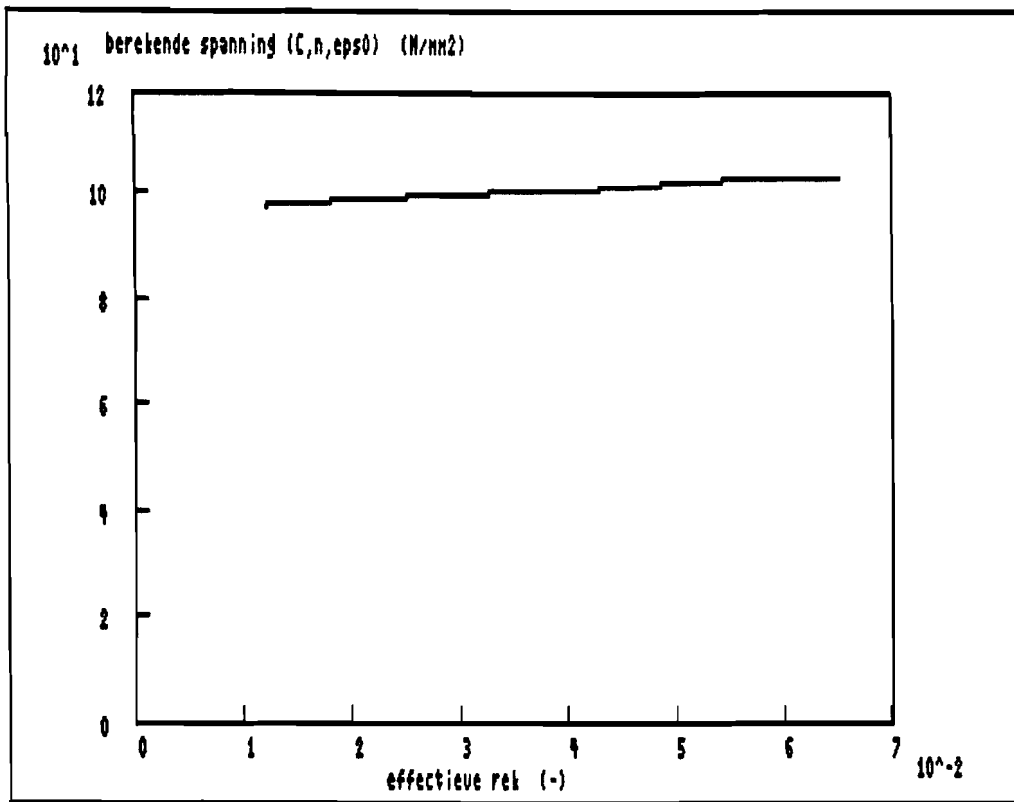


Fig. 5: Berekende spannings-rek kromme, met C,n en ϵ_0 als parameters.

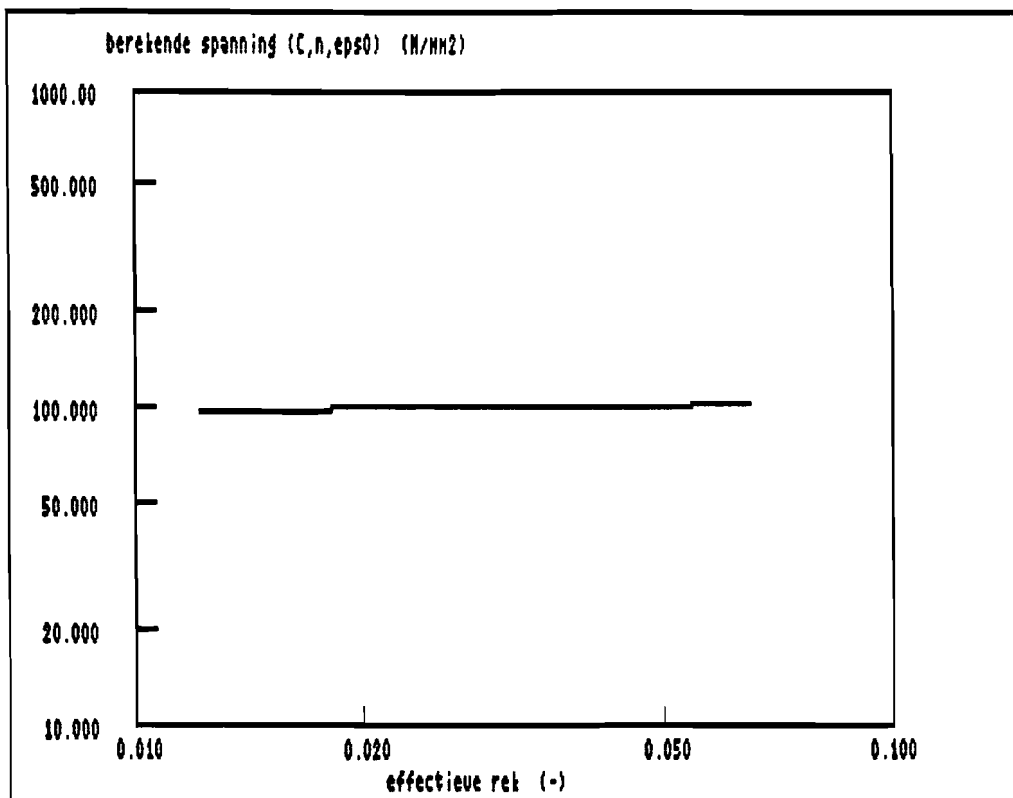


Fig. 6: Berekende spannings-rek kromme (in dubbellog diagram) met C,n en ϵ_0 als parameters.

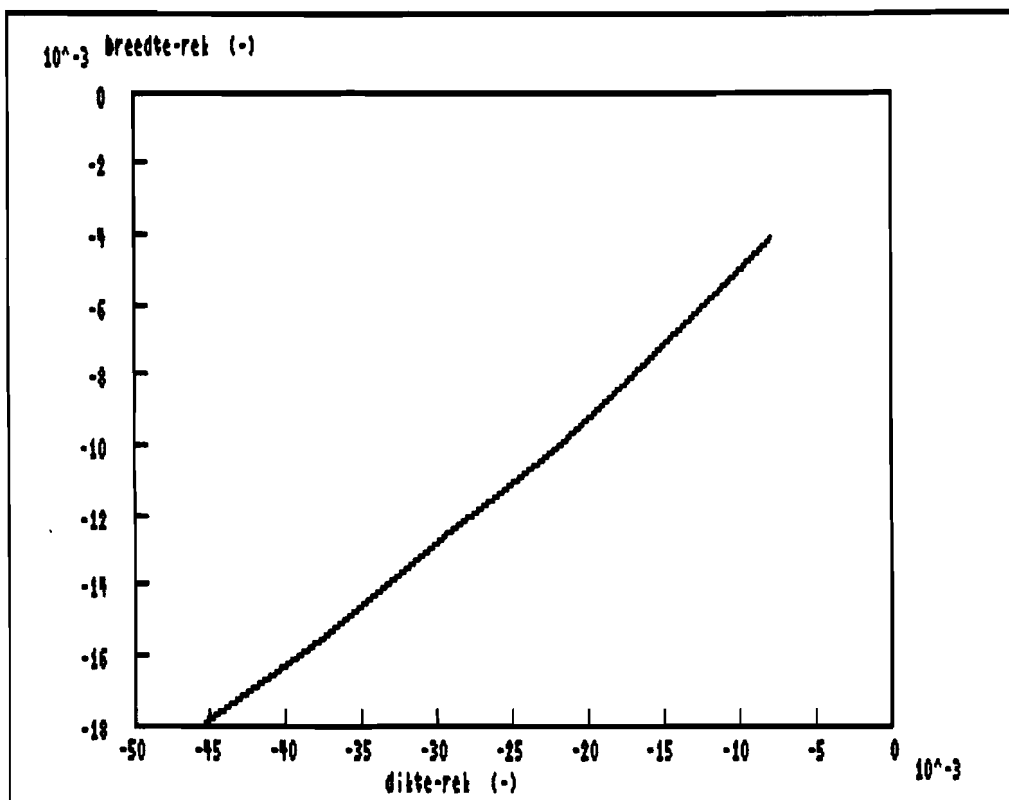


Fig. 7: Verhouding dikte-tek / breedte-tek.

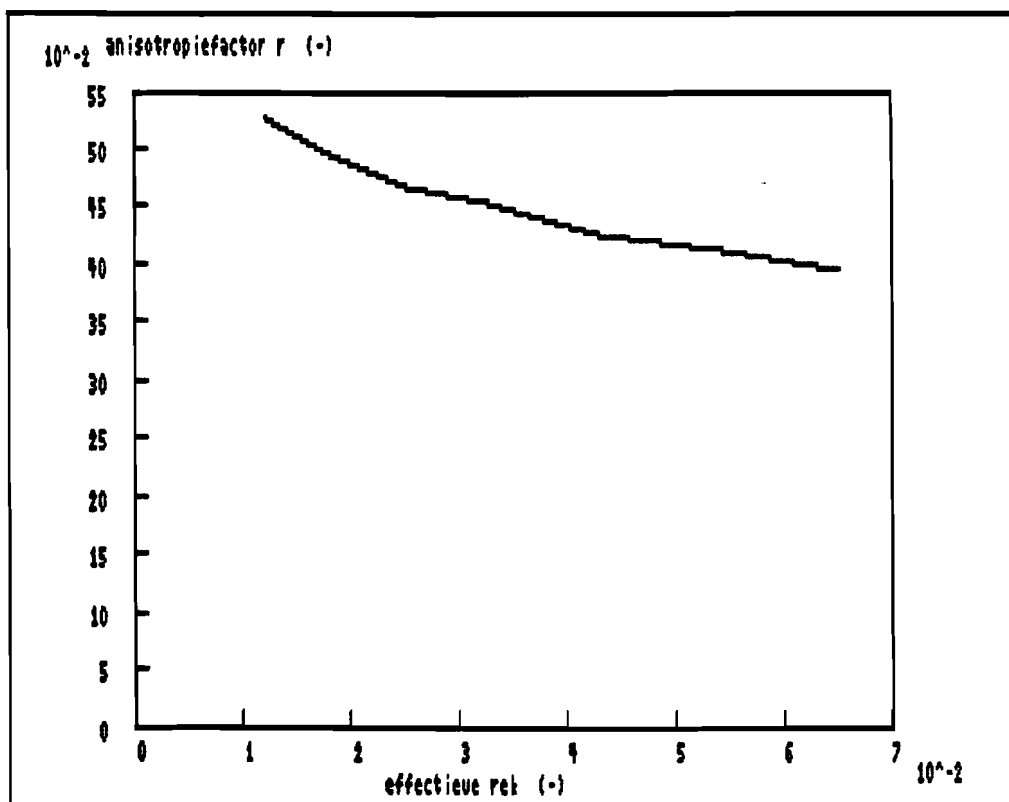
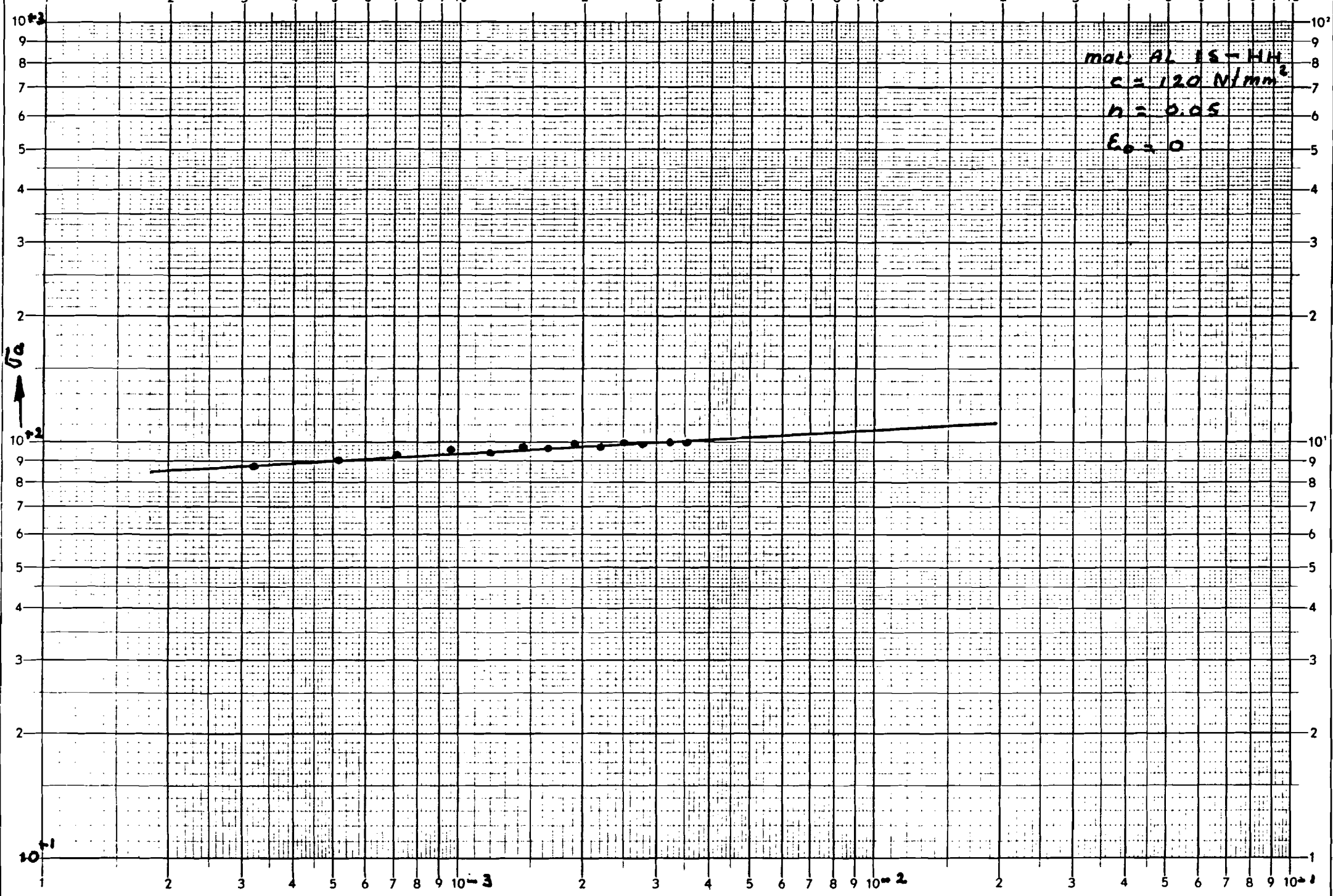
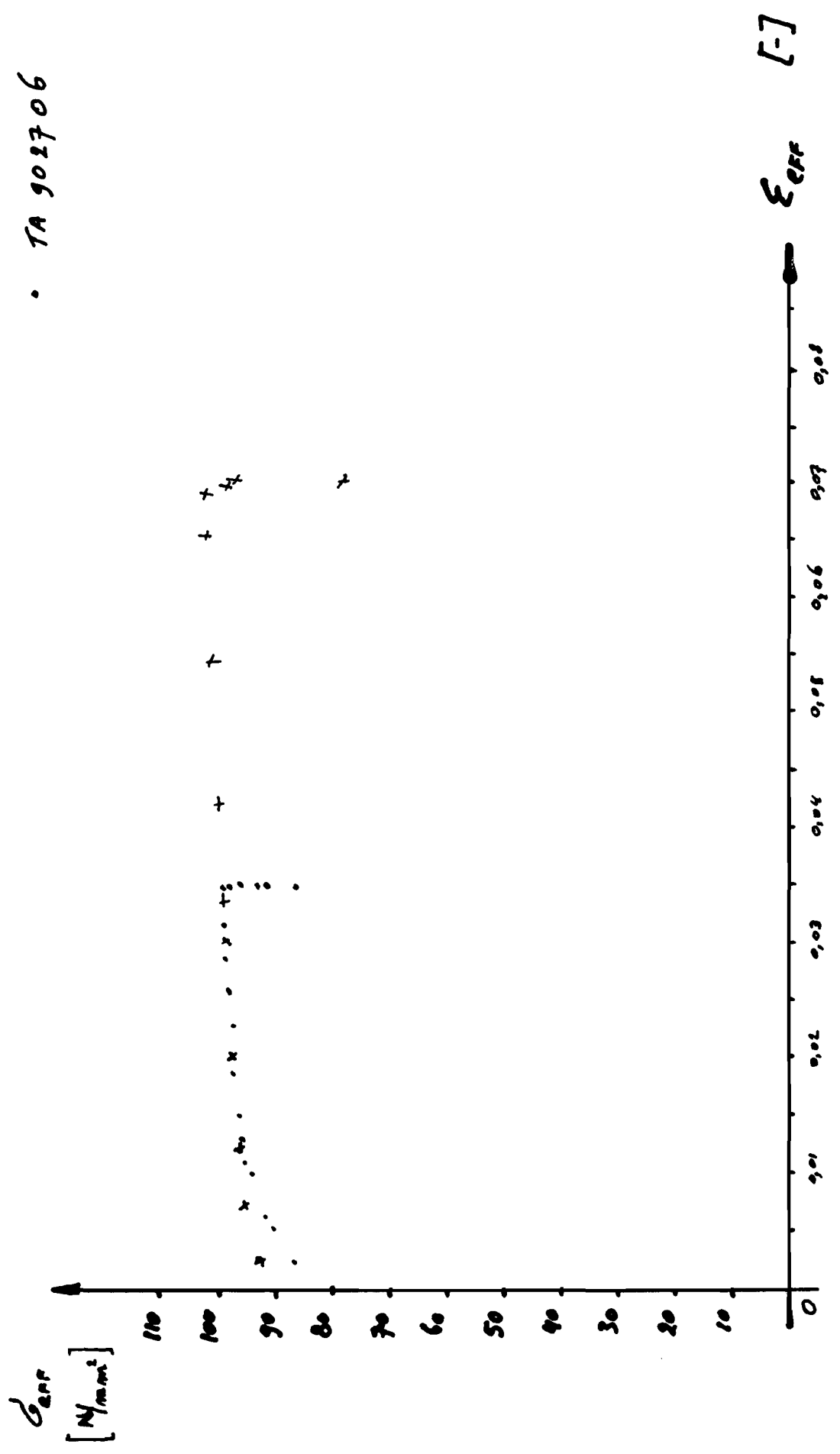


Fig. 8: Anisotropiefactor als functie van de effectieve tek.

mat. AL 1S-HH
 $c = 120 \text{ N/mm}^2$
 $n = 0.05$
 $E_0 = 0$



AL x TA 902705
 . TA 902706



- PROEFGEGEVENS: -

TR 902751

Codenaam: TR902751
 Materiaalsoort:
 Werkstoffnummer: ?
 Herkomst materiaal: RVS
 Plaatdikte (mm): 1.04
 Beginbreedte Bo (mm): 9.950
 Begindikte So (mm): 1.040
 Richting (t.o.v. walsricht.): 0 °
 Datum proef (jjmdd): 900706
 Aantal metingen: 84
 Operator: J.Koolen
 Projectleider: M.Th.de.Groot
 Banksnelheid (mm/min): 0.16
 Merk trekbank: Monsanto Houndsfield
 Type trekbank: Tensometer "type w"
 Serienummer: 9817
 Datatakerproef (J/N): J

Door Datataker gebruikte commandoregels:

P22=44
 P24=44
 /m /n /u
 R15S 1V 2V 3V

Opmerkingen:

geen

-

-

Datum van wijziging: 900706
 Naam wijziger: J.Koolen
 Opmerkingen Wijziging:
 Epseff<0.01 en Epseff>(Epseff bij Fmax) weggegooid

- MATERIAALPARAMETERS: -

Model 1: $\sigma = C * \epsilon^n$:

Karakteristieke spanning C : 1375 (N/mm²)
 Verstevingsexponent n : 0.386 (-)

Model 2 : $\sigma = C * (\epsilon_0 + \epsilon)^n$:

Karakteristieke spanning C : 1491 (N/mm²)
 Verstevingsexponent n : 0.495 (-)
 Voordeformatie ϵ_0 : 0.034 (-)

Anisotropiefactoren: r gem : 0.65
 r (0.1) : 0.61
 r (0.2) : 0.64

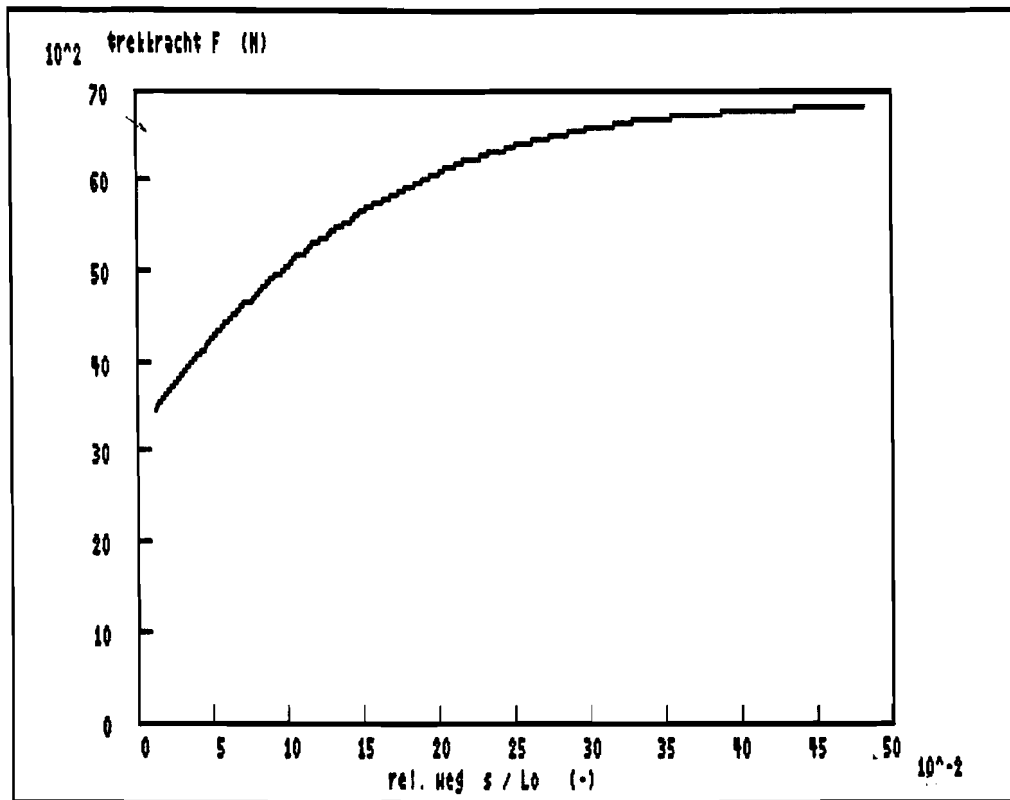


Fig. 1: Kracht-weg kromme.

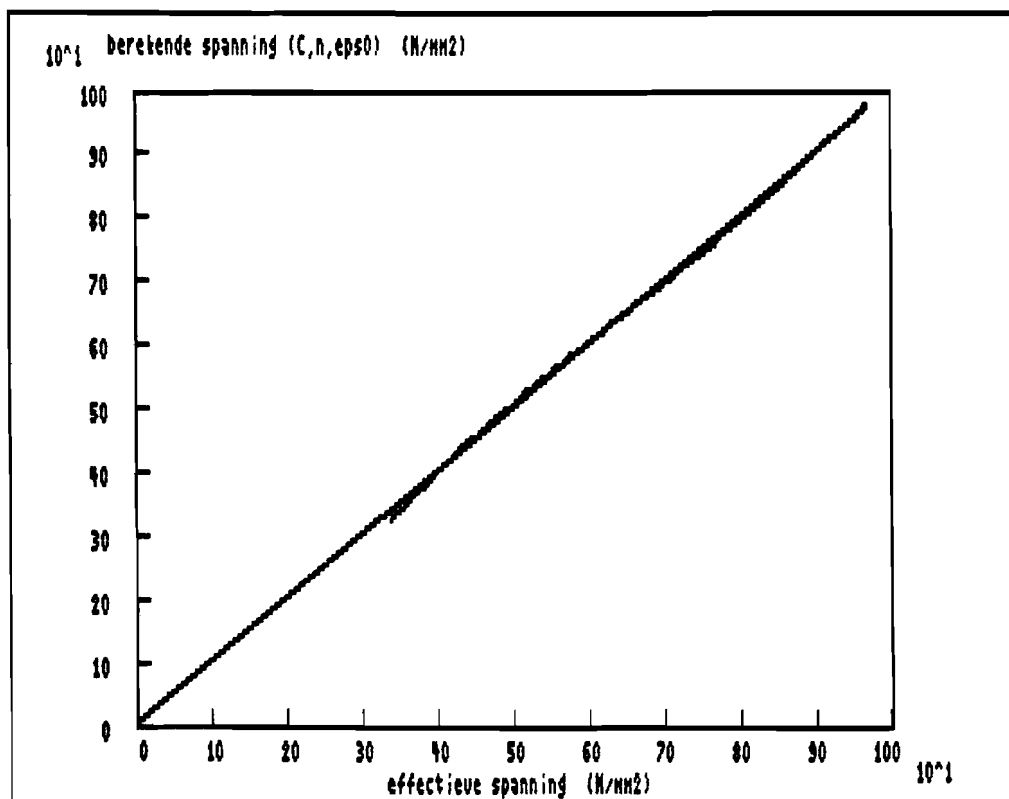


Fig. 2: Berekende spanningen uitgezet tegen de gemeten spanningen.
(In het ideale geval is dit een rechte lijn onder 45°)

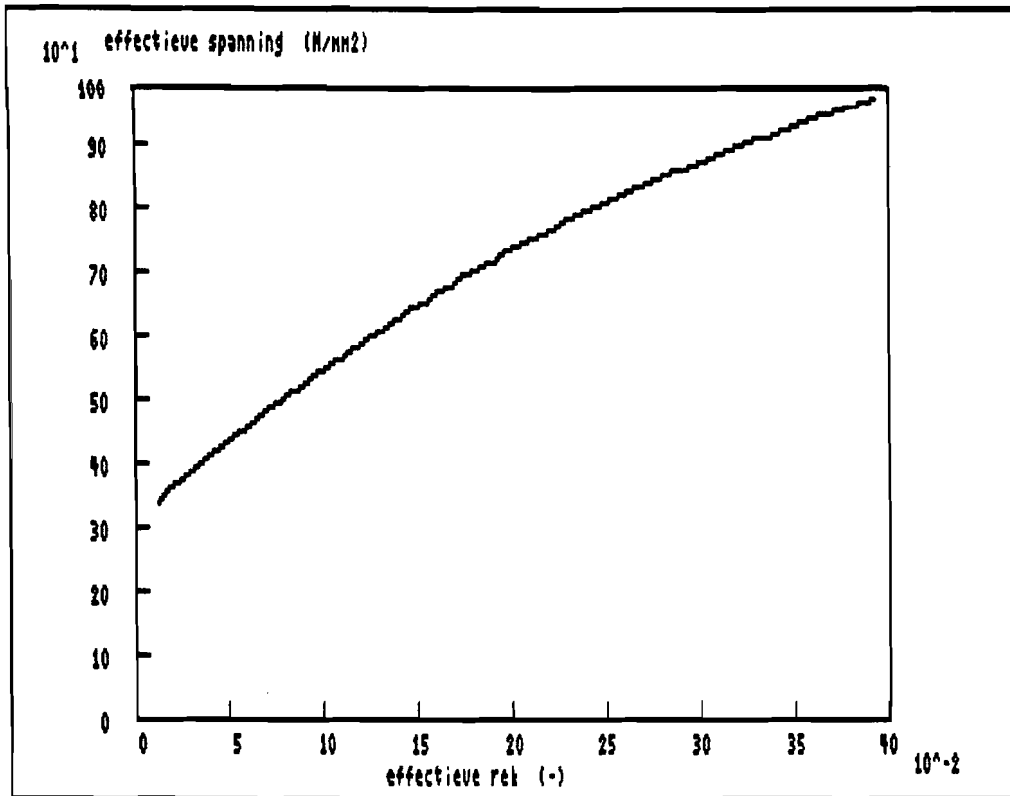


Fig. 3: Gemeten spannings-rek kromme.

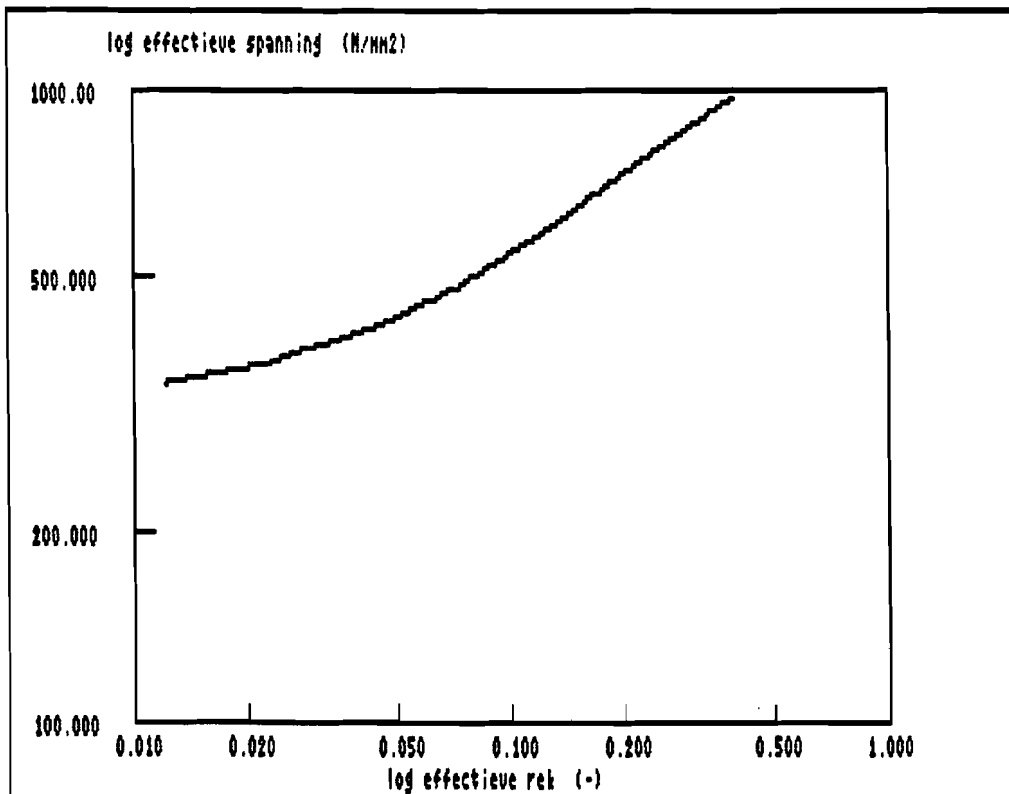


Fig. 4: Gemeten spannings-rek kromme (in dubbellog diagram).

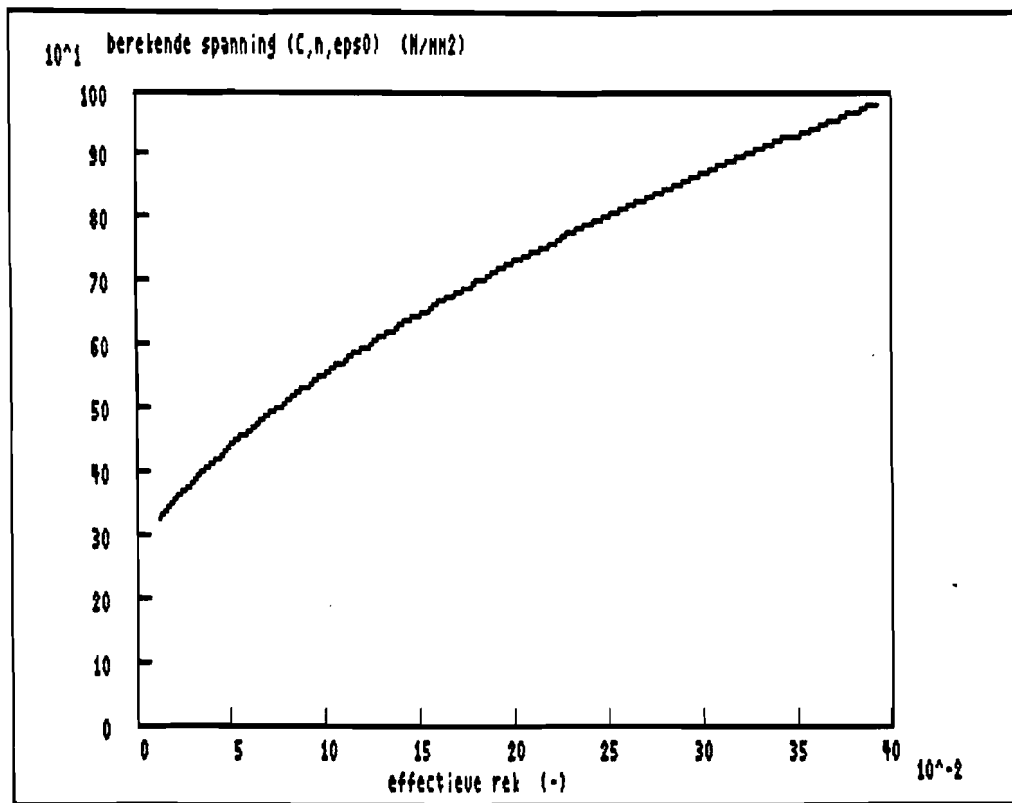


Fig. 5: Berekende spannings-rek kromme, met C, n en ϵ_0 als parameters.

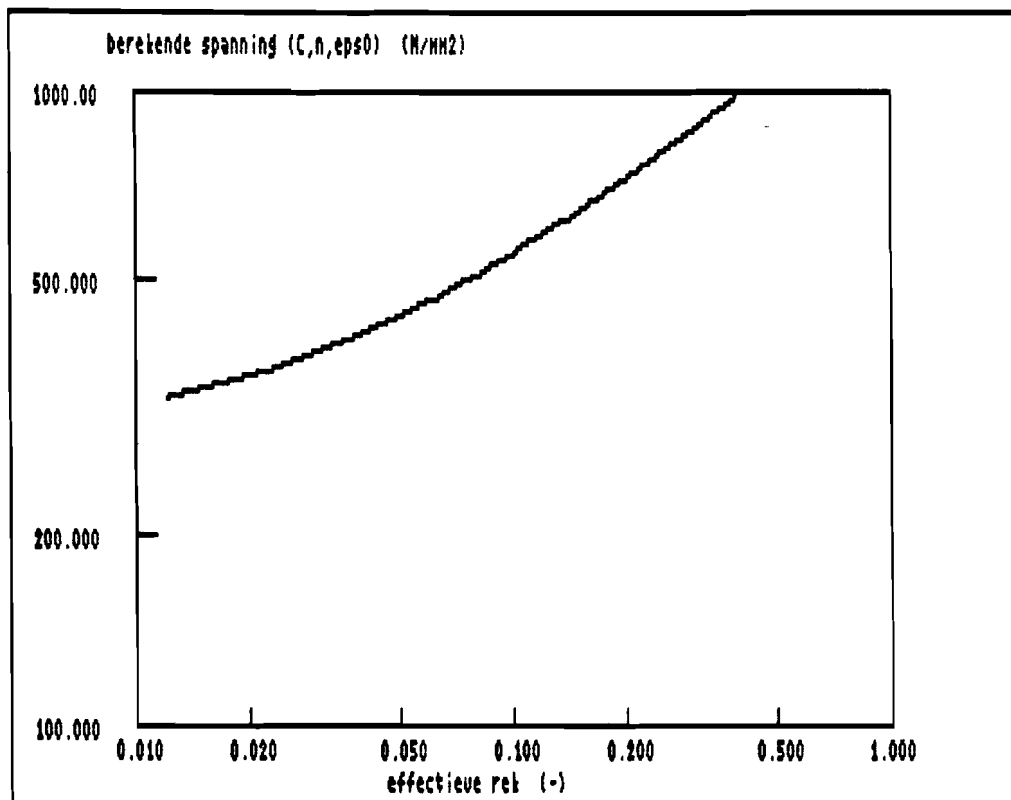


Fig. 6: Berekende spannings-rek kromme (in dubbellog diagram) met C, n en ϵ_0 als parameters.

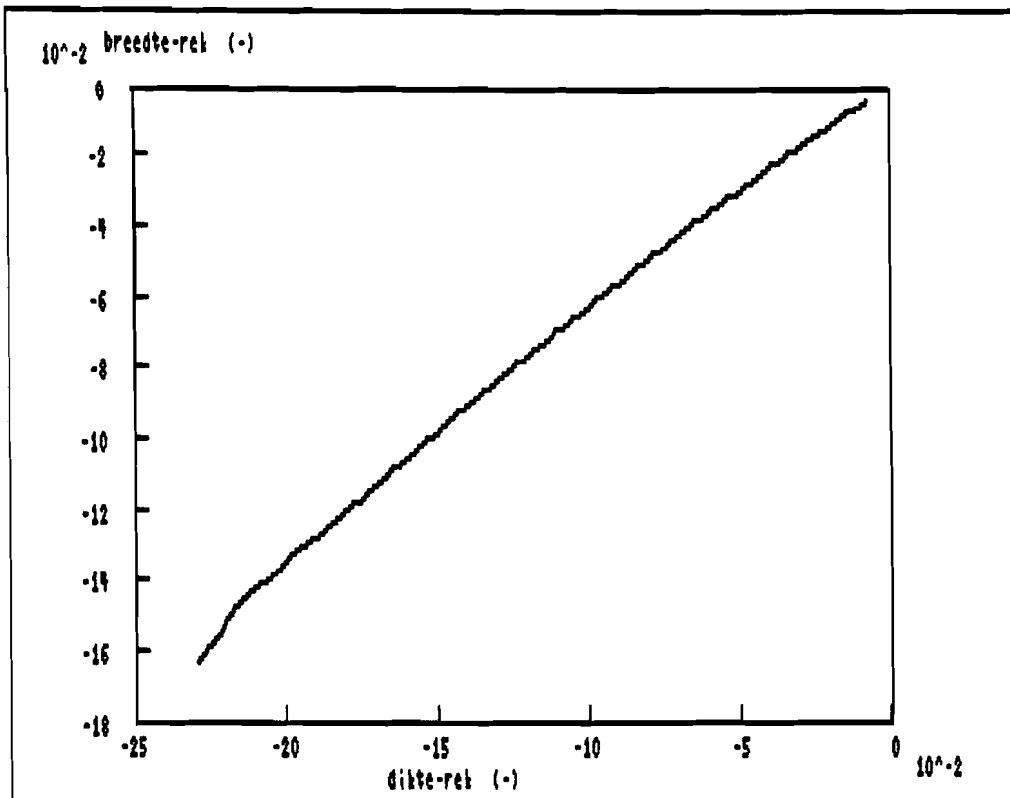


Fig. 7: Verhouding dikte-rek / breedte-rek.

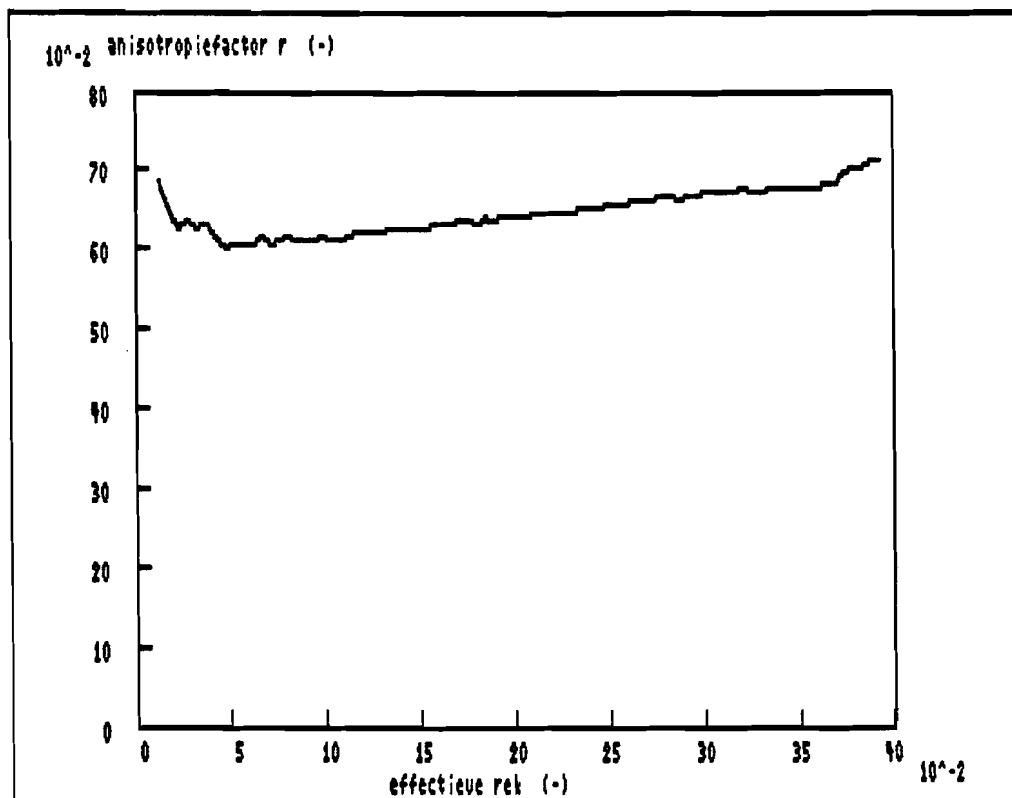


Fig. 8: Anisotropiefactor als functie van de effectieve rek.

Bijlage 5.

De meetopstelling en het instellen van de ladingsversterker.



Opnemer: Kistler quartzkristall–Messunterlagscheibe.
type 9021
meetbereik: 0 ÷ 35.000 N
gevoeligheid: 4,27 pC/N

Ladingsversterker: Kistler type 5001 (Abb. 1)
SN 18714

Verricht achtereenvolgens de volgende handelingen:

- Ladingsversterker op lichtnet aansluiten.
- Kistlercel installeren in opstelling en beide polen van de aansluitkabel kortsluiten.
- Sluit de Kistlercel aan op de ladingsversterker.
- Stel de pot–meter (transd.sens) van de ladingsversterker in op de gevoeligheid. (empfindlichkeit) van de Kistlercel (bij type 9021 is dit 4,27 pC/N).
- Stel de regelaar "transd. sens. range" in op de gevoeligheid van de Kistlercel. ($1 \leq 4,27 \leq 11$).
instelling in dit geval 1 ÷ 11
instellen m.b.v. zilverkleurige knop
Hierna kunt u m.b.v. de zwarte knop van "transd. sens. range" de meetrange vastleggen.

Belangrijk: vóór de eerste meting resetten, en na iedere volgende.



Abb. 1: Ladungsverstärker 5001