

# Meetverslag striptrekproeven : experimentele bepaling van de wrijvingscoëfficiënt door middel van de striptrekproef

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

Net, van der, A. J., Iedema, E., & Groot, de, M. T. (1991). *Meetverslag striptrekproeven : experimentele bepaling van de wrijvingscoëfficiënt door middel van de striptrekproef*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1112). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1991

**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.

---

**MEETVERSLAG STRIPTREKPROEVEN**

6  
experimentele bepaling van de  
wrijvingscoëfficiënt door middel  
van de striptrekproef

A.J. van der Net  
E. Iedema  
begel.: M.T. de Groot

juni '91

WPA 1112

---

## SYMBOLENLIJST

$F_{hor}$	: trekkracht	N
$F_{vert}$	: remkracht	N
$F_{wr}$	: wrijvingskracht	N
$W_B$	: buigarbeid	J
$W_{Bs}$	: specifieke buigarbeid	N/mm <sup>2</sup>
C	: karakteristieke spanning	N/mm <sup>2</sup>
n	: verstevigingsexponent	-
$r_{gen}$	: gemiddelde anisotropiefactor	-
$\epsilon_0$	: voordeformatie	-
$\mu$	: wrijvingsfactor Coulomb	-
$b_0$	: beginbreedte trekstrip	mm
$s_0$	: begindikte trekstrip	mm
$b_1$	: breedte juist vóór buigcylinder	mm
$s_1$	: dikte juist vóór buigcylinder	mm
$b_2$	: breedte juist ná buigcylinder	mm
$s_2$	: dikte juist ná buigcylinder	mm
$r, \rho$	: straal buigcylinder	mm
$u_1$	: verplaatsing vóór buigcylinder	mm
$u_2$	: verplaatsing ná buigcylinder	mm
$\sigma_1$	: spanning in trekstrip vóór buigcylinder	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_2$	: spanning in trekstrip ná buigcylinder	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_m$	: gemiddelde spanning	N/mm <sup>2</sup>
$p_m$	: gemiddelde vlaktedruk	N/mm <sup>2</sup>
$\tau_m$	: gemiddelde schuifspanning	N/mm <sup>2</sup>

**LITERATUUR**

Koolen, J.H.R. analyse van het buigproces ter plaatse van  
Hoogenboom, S.M. de matrijsradius bij het dieptrekken.  
Sniekers, R.J.J.M. WPA-nr. 1024 (1991)

## 1. Gegevens van de proef:

### 1.1 materialen;

Voor de proeven zijn twee materialen gebruikt, de materiaalparameters zijn bepaald met een standaard trekproef (de strips zijn uitgesneden in de walsrichting, d.w.z. hoek = 0°):

\* Cockerill (St bekleed), hierna te noemen materiaal I.

- $C=490 \text{ N/mm}^2$
- $n=0,236$
- $\epsilon_0=0,003$
- $r_0=1,75; r_{45}=1,38; r_{90}=2,15$

\* Sidmar-ocas (St bekleed), hierna te noemen materiaal II.

- $C=498 \text{ N/mm}^2$
- $n=0,246$
- $\epsilon_0=0,000$
- $r_0=1,47; r_{45}=1,55; r_{90}=1,90^1$

### 1.2 stripafmetingen;

De afmetingen van de gebruikte strips zijn als volgt:

- \* Materiaal I heeft een dikte van 0,69 à 0,70 millimeter. De strips zijn ongeveer 15 millimeter breed.
- \* Materiaal II heeft een dikte van 0,88 à 0,89 millimeter, de strips zijn ongeveer 15 of ongeveer 20 millimeter breed.

### 1.3 smeermiddelen;

De strips worden gesmeerd met twee verschillende smeermiddelen, te weten:

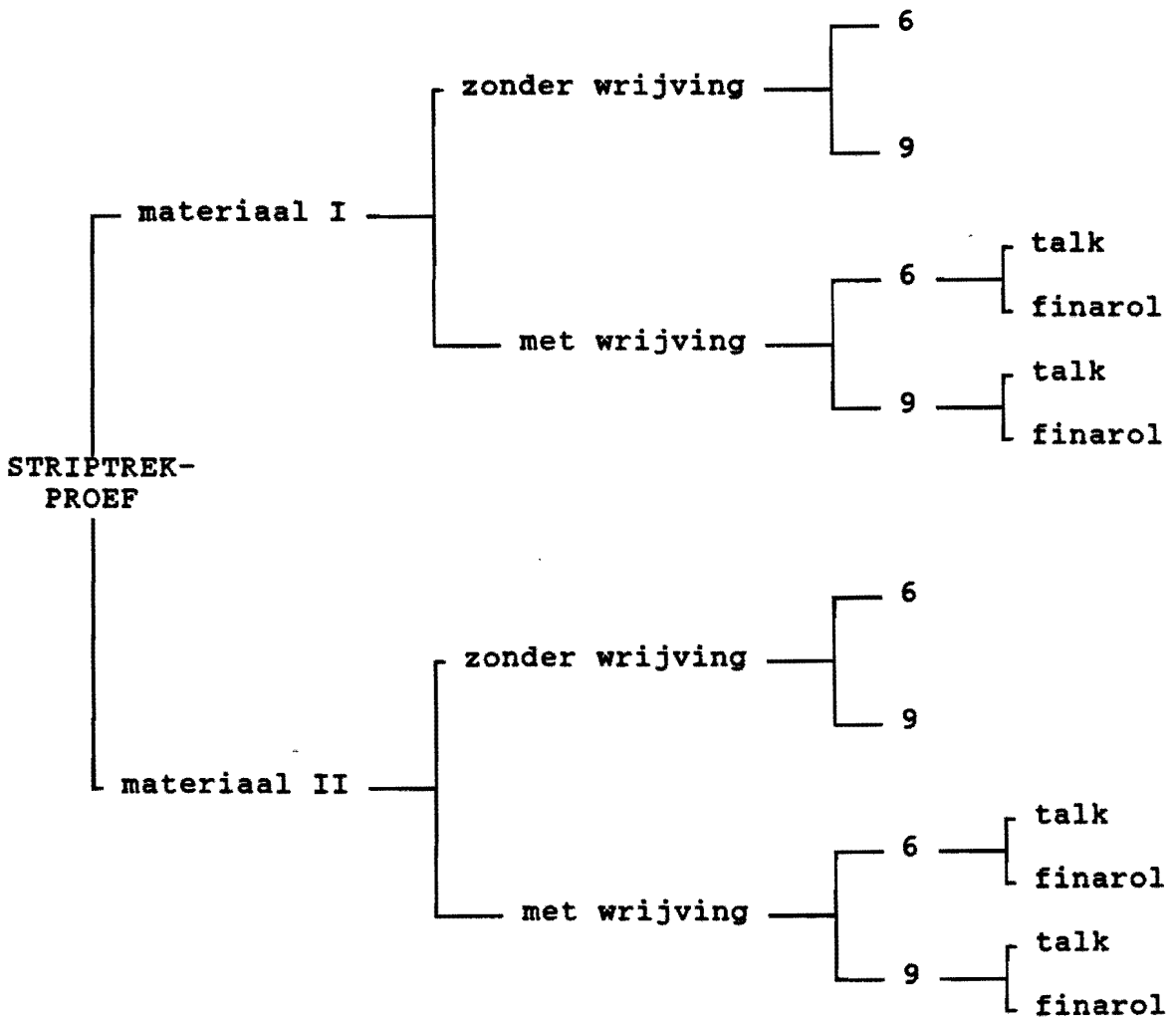
- \* talk (vast smeermiddel, schapevet).
- \* finarol (vloeibaar smeermiddel, synthetische olie).

<sup>1</sup> Normaal zijn de r-waarden in de walsrichting en loodrecht op de walsrichting ongeveer gelijk en is de waarde voor 45 graden kleiner, hier is echter de waarde voor 45 graden niet de kleinste. Er is dus een afwijkend gedrag in anisotropie gevonden.

1.4 buigradii;

De proeven zijn uitgevoerd voor buigstralen  $p$  van 6 en 9 millimeter.

2. Schema voor de verdeling van de proeven:



### 3. Uitvoering van de proef:

#### 3.1 Gebruikt gereedschap:

De gebruikte metalen strips worden om een buigcylinder getrokken. De experimenten zijn uitgevoerd op een standaard universele trekbank, de Universal Hounsfield tensometer. Hierop is een speciaal voor deze proeven ontwikkeld gereedschap geplaatst. In dit gereedschap bevinden zich de buigcylinder en een remmechanisme (zie 3.3 voor een schets van de opstelling).

De proeven met wrijving worden uitgevoerd met een vaste buigcylinder en voor de proeven zonder wrijving wordt een losse buigcylinder gebruikt. De losse buigcylinder kan praktisch wrijvingsloos roteren.

De horizontale (trek-) en verticale (rem-) kracht worden met behulp van piëzo-opnemers bepaald en kunnen op de display van een ladingsversterker (in Volt) worden afgelezen.

#### 3.2 Verloop van de proef:

Voordat een strip in het gereedschap wordt geplaatst moet deze worden opgemeten met behulp van een schroefmaat. De maten worden zorgvuldig genoteerd. Daarna wordt de strip met één van de twee smeermiddelen ingesmeerd en in de proefopstelling aangebracht.

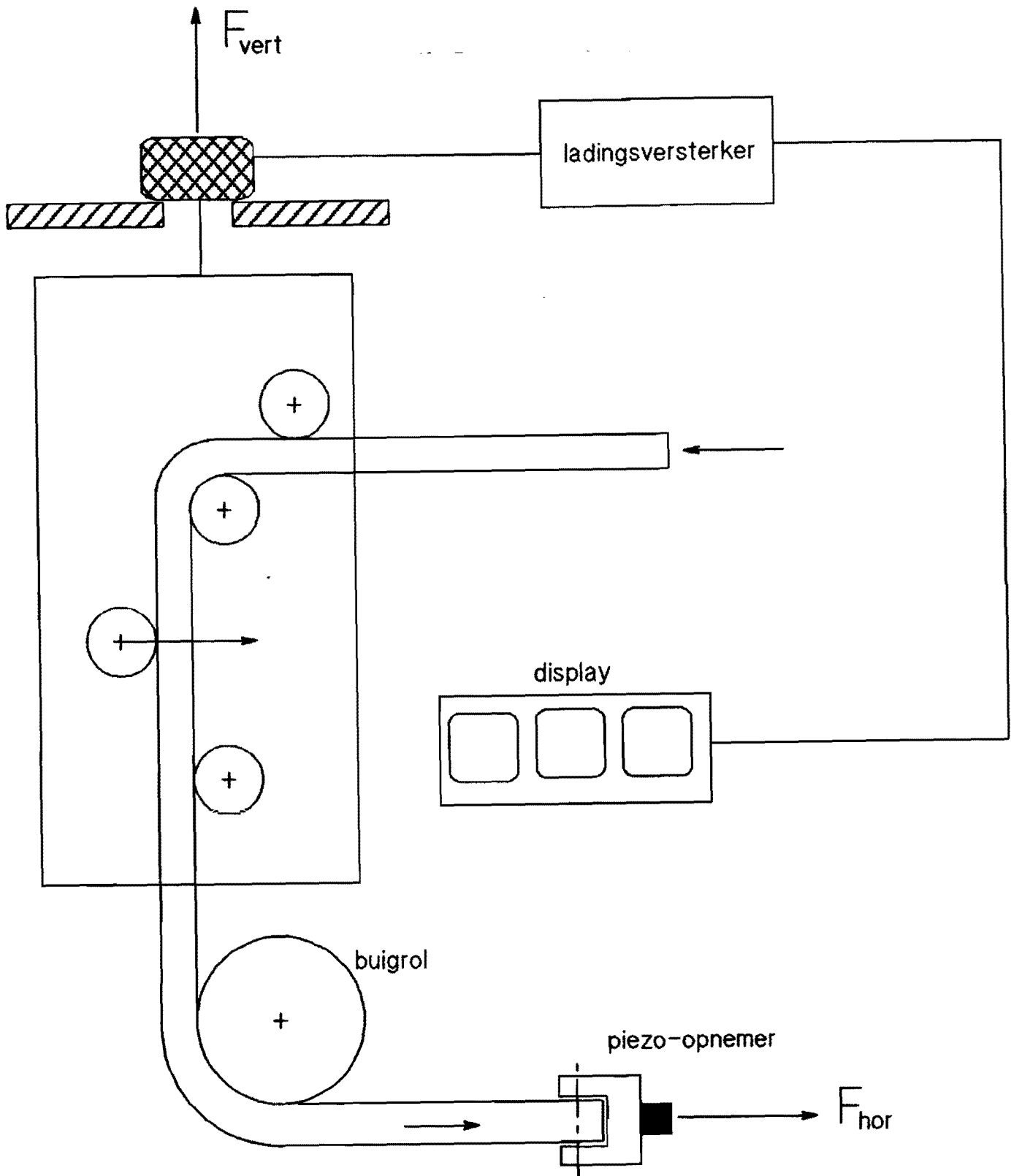
De trekbank wordt aangezet en met behulp van een bout kan de gewenste remkracht worden ingesteld.

Vervolgens moet men wachten tot het proces een stationaire toestand heeft bereikt, dat wil zeggen dat de krachten die worden afgelezen niet meer veranderen.

De trekkrachten  $F_{hor}$  en  $F_{vert}$  worden afgelezen en zorgvuldig genoteerd (in volt of in Newton;  $1V = 2000N$ ).

De strip wordt vervolgens uit het gereedschap gehaald, schoongemaakt en op meerdere plaatsen opgemeten met een schroefmaat. Ook deze maten worden weer zorgvuldig genoteerd.

### 3.3 Schets van de opstelling





#### 4. Meetgegevens

De resultaten van de metingen zijn als volgt (kracht in Volt):

materiaal I,  $\rho=9$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
01	15,06	0,71	15,05	0,705	15,00	0,69	0,27	0,24
02	15,06	0,70	15,06	0,695	15,02	0,69	0,25	0,18
03	15,08	0,70	15,07	0,695	15,04	0,69	0,22	0,18
04	15,13	0,71	15,12	0,70	15,08	0,69	0,53	0,46

materiaal I,  $\rho=9$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
05	15,13	0,71	15,12	0,69	15,06	0,68	0,53	0,46
06	15,05	0,70	15,045	0,70	15,01	0,68	0,54	0,48

materiaal I,  $\rho=6$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
07	15,07	0,70	15,07	0,70	15,02	0,69	0,28	0,20
08	15,07	0,705	15,07	0,70	15,02	0,69	0,25	0,17
09	15,12	0,70	15,12	0,695	15,02	0,67	0,57	0,49
10	15,01	0,68	15,01	0,68	14,90	0,66	0,52	0,44

materiaal I,  $\rho=6$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
11	15,06	0,695	15,06	0,695	15,00	0,68	0,28	0,20
12	15,12	0,69	15,12	0,69	15,07	0,68	0,31	0,23
13	15,12	0,695	15,11	0,69	15,10	0,68	0,64	0,56
14	15,12	0,70	15,15	0,69	15,03	0,68	0,51	0,42

**materiaal I,  $\rho=9$  mm, zonder wrijving**

proef no.	$b_0$	$s_0$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{vert}$
15	15,12	0,69	15,12	0,69	15,09	0,68	0,22	0,17
16	15,11	0,705	15,10	0,695	15,05	0,685	0,54	0,49
17	15,10	0,70	15,09	0,70	15,07	0,69	0,32	0,25
19	15,10	0,69	15,095	0,685	15,04	0,675	0,46	0,42

**materiaal I,  $\rho=6$  mm, met wrijving, smering talk**

proef no.	$b_0$	$s_0$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{vert}$
19	15,12	0,695	15,11	0,695	15,05	0,69	0,28	0,16
20	15,11	0,695	15,11	0,691	15,03	0,67	0,43	0,29
21	15,05	0,70	15,03	0,695	14,99	0,675	0,60	0,45
22	15,115	0,69	15,11	0,69	15,06	0,67	0,63	0,45

**materiaal I,  $\rho=6$  mm, met wrijving, smering finarol**

proef no.	$b_0$	$s_0$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{vert}$
23	15,12	0,70	15,11	0,70	15,06	0,685	0,30	0,13
24	15,12	0,695	15,11	0,695	15,06	0,68	0,36	0,16
25	15,08	0,695	15,075	0,69	15,01	0,68	0,59	0,29
26	15,06	0,70	15,06	0,70	14,90	0,665	1,12	0,62

**materiaal I,  $\rho=9$  mm, met wrijving, smering talk**

proef no.	$b_0$	$s_0$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{vert}$
27	15,03	0,70	15,03	0,70	14,97	0,69	0,44	0,26
28	15,03	0,70	15,025	0,70	15,00	0,685	0,36	0,22
29	15,04	0,70	15,04	0,70	15,02	0,69	0,63	0,39
30	15,11	0,70	15,07	0,69	14,97	0,675	0,87	0,51

materiaal I,  $\rho=9$  mm, met wrijving, smering finarol

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
31	15,16	0,68	15,15	0,675	15,11	0,665	0,30	0,16
32	15,02	0,695	15,01	0,695	14,95	0,68	0,49	0,24
33	15,17	0,675	15,16	0,675	15,09	0,655	0,65	0,36
34	15,18	0,685	15,16	0,68	15,09	0,66	0,84	0,44

materiaal II,  $\rho=6$  mm, met wrijving, smering talk

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
01	20,135	0,88	20,14	0,88	20,06	0,85	0,72	0,45
02	20,145	0,88	20,14	0,87	20,06	0,86	0,70	0,43
03	20,14	0,88	20,09	0,88	19,98	0,83	1,19	0,89
04	20,14	0,88	20,135	0,88	20,00	0,83	1,17	0,86

materiaal II,  $\rho=6$  mm, met wrijving, smering finarol

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
05	20,03	0,89	20,02	0,875	20,015	0,87	0,55	0,29
06	20,03	0,885	20,02	0,89	19,83	0,84	1,60	1,10
07	20,05	0,885	20,05	0,885	19,99	0,85	0,79	0,44
08	20,04	0,88	20,04	0,875	19,82	0,825	1,54	1,07

materiaal II,  $\rho=9$  mm, met wrijving, smering talk

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$F_{hor}$	$F_{vert}$
09	20,15	0,89	20,15	0,885	20,13	0,87	0,54	0,36
10	20,04	0,885	20,03	0,88	20,01	0,87	0,61	0,39
11	20,04	0,88	20,03	0,875	19,99	0,85	1,255	0,89
12	20,16	0,88	20,16	0,875	20,09	0,85	1,31	0,87

materiaal II,  $\rho=9$  mm, met wrijving, smering finarol

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{10rt}$
13	15,185	0,88	15,175	0,875	15,095	0,855	0,62	0,31
14	15,18	0,88	15,16	0,88	15,04	0,845	0,94	0,56
15	15,13	0,88	15,11	0,875	14,92	0,835	1,26	0,75
16	15,15	0,88	15,08	0,875	14,70	0,835	1,55	0,95

materiaal II,  $\rho=6$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{10rt}$
17	19,94	0,89	19,94	0,88	19,86	0,86	0,52	0,33
18	20,15	0,88	20,14	0,87	20,07	0,845	0,58	0,43
19	19,94	0,89	19,93	0,885	19,81	0,845	1,12	0,99
20	20,16	0,89	20,15	0,885	20,09	0,86	1,10	0,95

materiaal II,  $\rho=6$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{10rt}$
21	20,02	0,88	19,97	0,88	19,455	0,86	0,55	0,40
22	20,06	0,89	20,05	0,885	20,00	0,855	0,77	0,63
23	20,16	0,88	20,15	0,88	20,09	0,85	1,16	1,04
24	20,15	0,87	20,15	0,87	20,13	0,845	1,07	0,97

materiaal ,  $\rho=9$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_1$	$s_1$	$b_1$	$s_1$	$b_2$	$s_2$	$F_{10r}$	$F_{10rt}$
25	20,045	0,885	20,045	0,885	19,98	0,86	0,57	0,47
26	15,17	0,87	15,15	0,865	15,12	0,845	0,43	0,37
27	15,15	0,88	15,13	0,875	15,08	0,85	0,85	0,81
28	15,145	0,88	15,11	0,87	15,04	0,84	0,92	0,88

materiaal II,  $\rho=9$  mm, zonder wrijving

proef no.	$b_i$	$s_i$	$b_i$	$s_i$	$b_i$	$s_i$	$F_{ber}$	$F_{vert}$
29	15,13	0,88	15,12	0,875	15,10	0,87	0,31	0,26
30	15,155	0,88	15,14	0,875	15,10	0,86	0,52	0,47
31	15,165	0,88	15,15	0,87	15,10	0,85	0,62	0,58
32	15,17	0,87	15,12	0,86	15,065	0,84	0,80	0,73

#### 4. Uitvoering van de berekeningen:

##### 4.1 Berekeningsmethode:

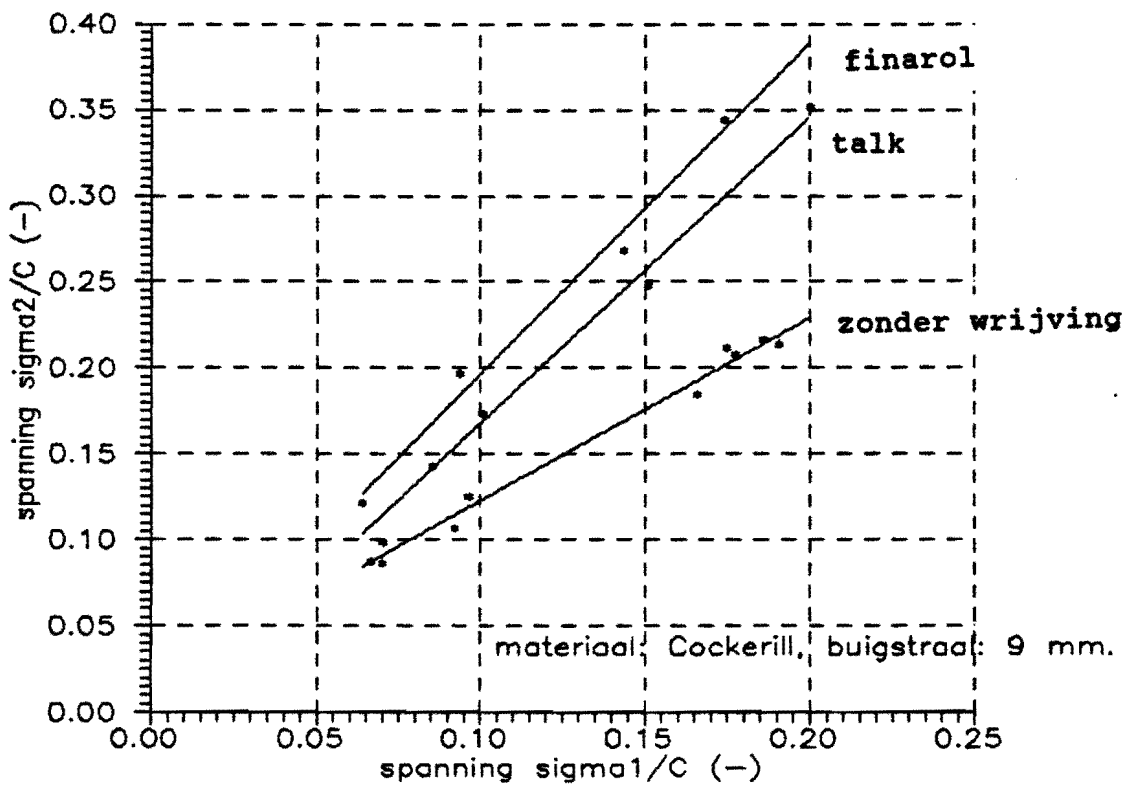
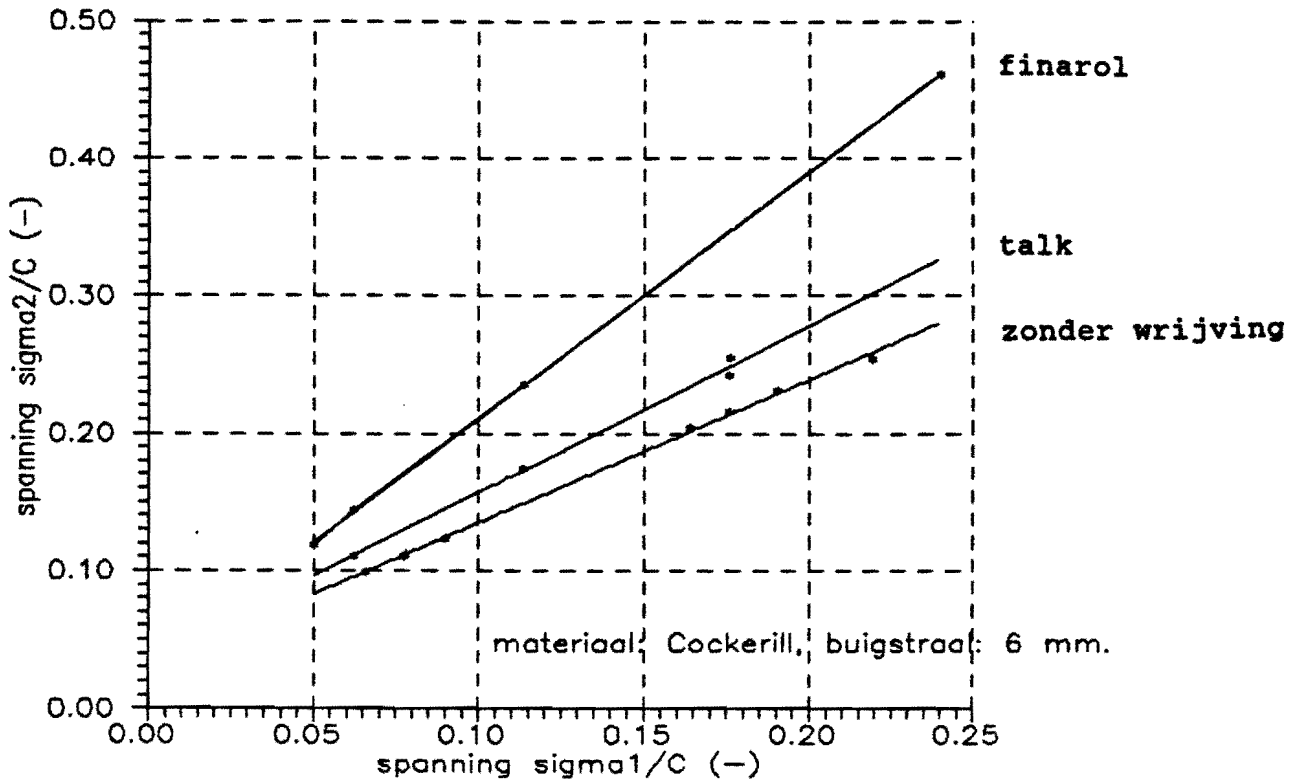
Het berekenen van de wrijvingscoëfficiënt gaat als volgt:

- \* Met behulp van de verticale kracht, de horizontale kracht en de stripafmetingen worden de spanningen in de trekstrip voor en na de buigcylinder berekend. Deze spanningen kunnen tegen elkaar uitgezet worden. Uitgaande van het Coulomb wrijvingsmodel zou er dan een lineair verband moeten zijn tussen de spanningen.
- \* Met de berekende spanningen van de proef zonder wrijving worden de gemiddelde spanning en de specifieke buigarbeid bepaald. De specifieke buigarbeid wordt berekend met het lineaire verband  $\sigma_2 = f(\sigma_1)$  in plaats van met de meetpunten zelf om de nauwkeurigheid te vergroten.  $\sigma_2$  voldoet aan  $\sigma_2 = a \cdot \sigma_1 + b$  (a en b uit lineaire regressie), waardoor  $W_{Bs} = \sigma_1 \cdot (a-1) + b$ .
- \* De specifieke buigarbeid wordt uitgezet tegen de gemiddelde spanning en door de meetwaarden wordt met behulp van lineaire regressie een rechte lijn getrokken, die voldoet aan  $W_{Bs} = a + b \cdot \sigma_1$ .
- \* De waarden van a en b worden bepaald, waarna de buigarbeid voor alle waarden van de spanning bekend is.
- \* Nu wordt de gemiddelde schuifspanning bepaald, met behulp van de stripafmetingen, de zojuist berekende spanningen en de specifieke buigarbeid die is berekend uit de resultaten van de proef zonder wrijving.
- \* Met behulp van de gemiddelde spanning, de buigstraal en de stripafmetingen wordt de gemiddelde vlaktedruk bepaald.
- \* De berekende schuifspanning wordt uitgezet tegen deze vlaktedruk. Als wordt uitgegaan van het model van Coulomb geldt:  $\tau_1 = \mu * p_1$  (lineair verband). De richtingscoëfficiënt in deze grafiek is dus de gezochte  $\mu$ .

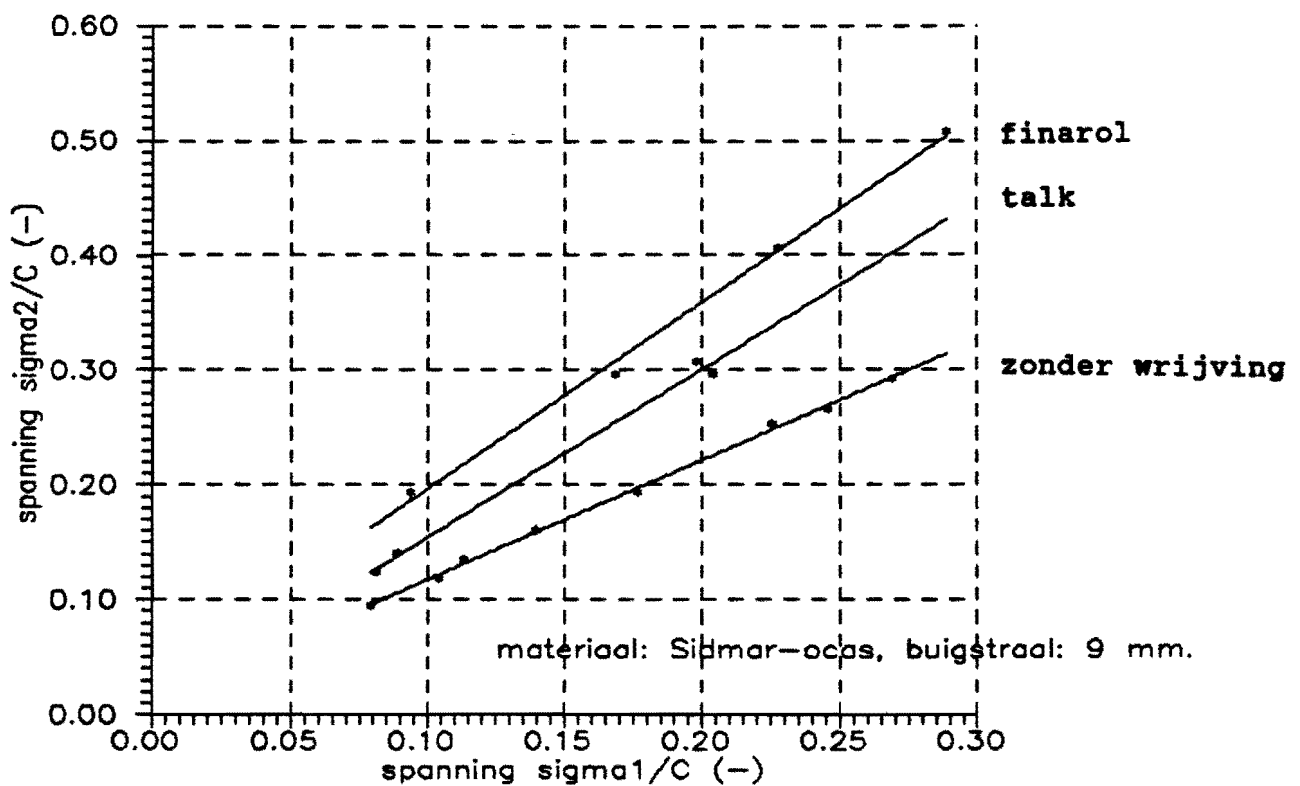
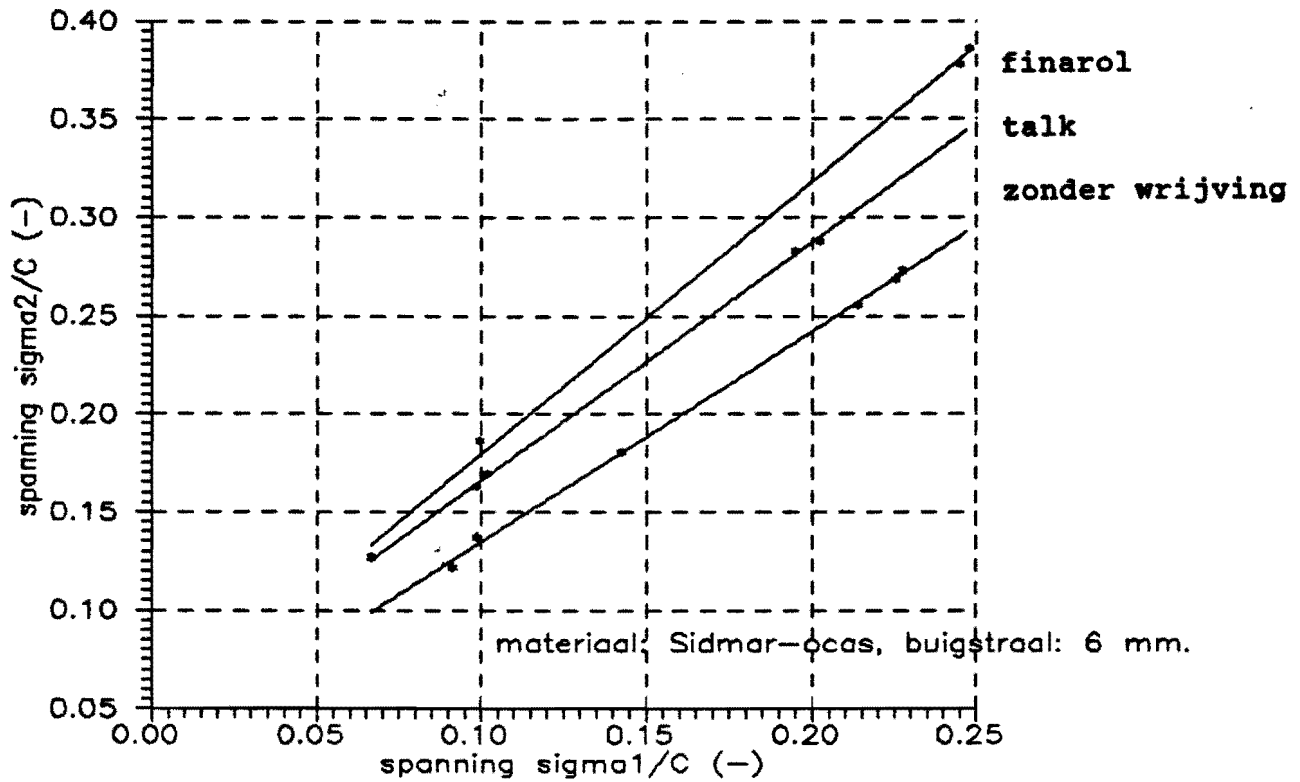
De formules die gebruikt zijn bij bovenstaande berekeningen zijn opgenomen in de bijlage.

#### 4.2 Grafieken bij de berekeningen:

grafieken van de (dimensieloze) spanningen (materiaal I):

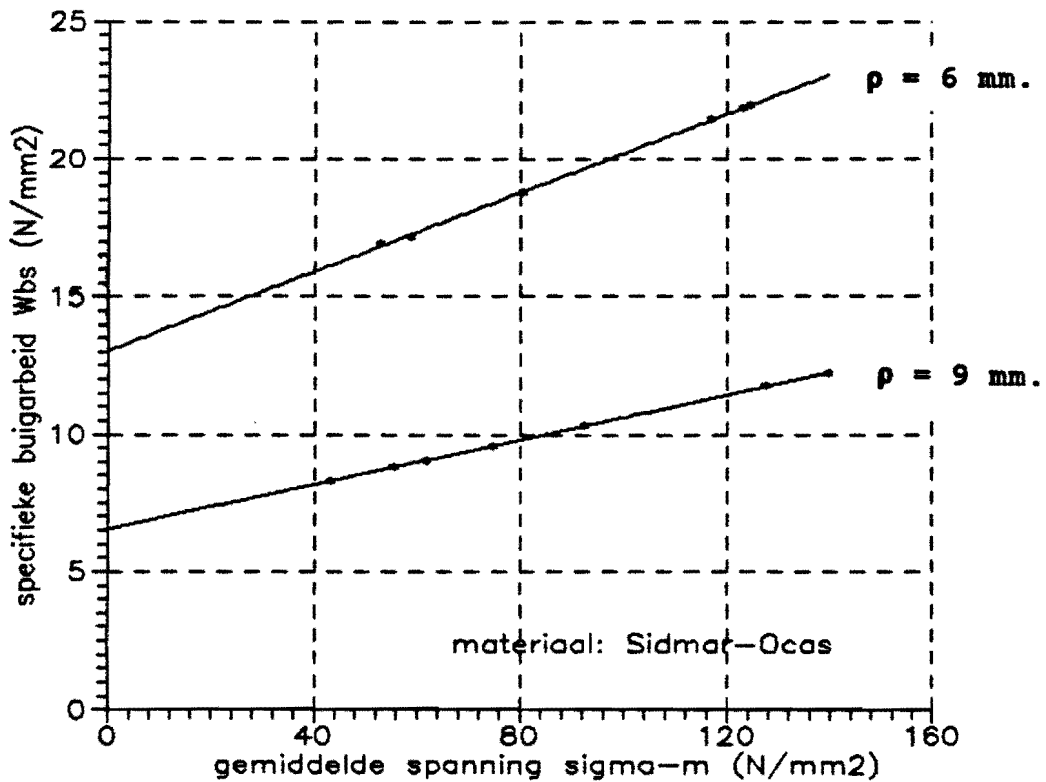
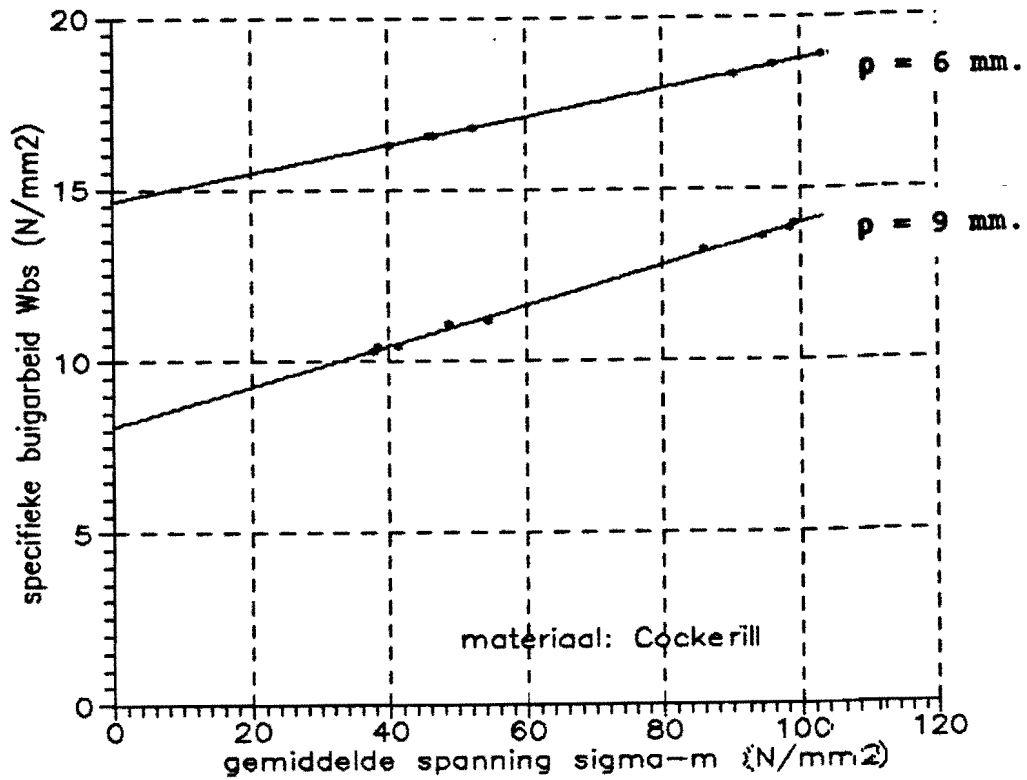


grafieken van de (dimensieloze) spanningen (materiaal II):





grafieken van de specifieke buigarbeid, uitgezet tegen de gemiddelde spanning:

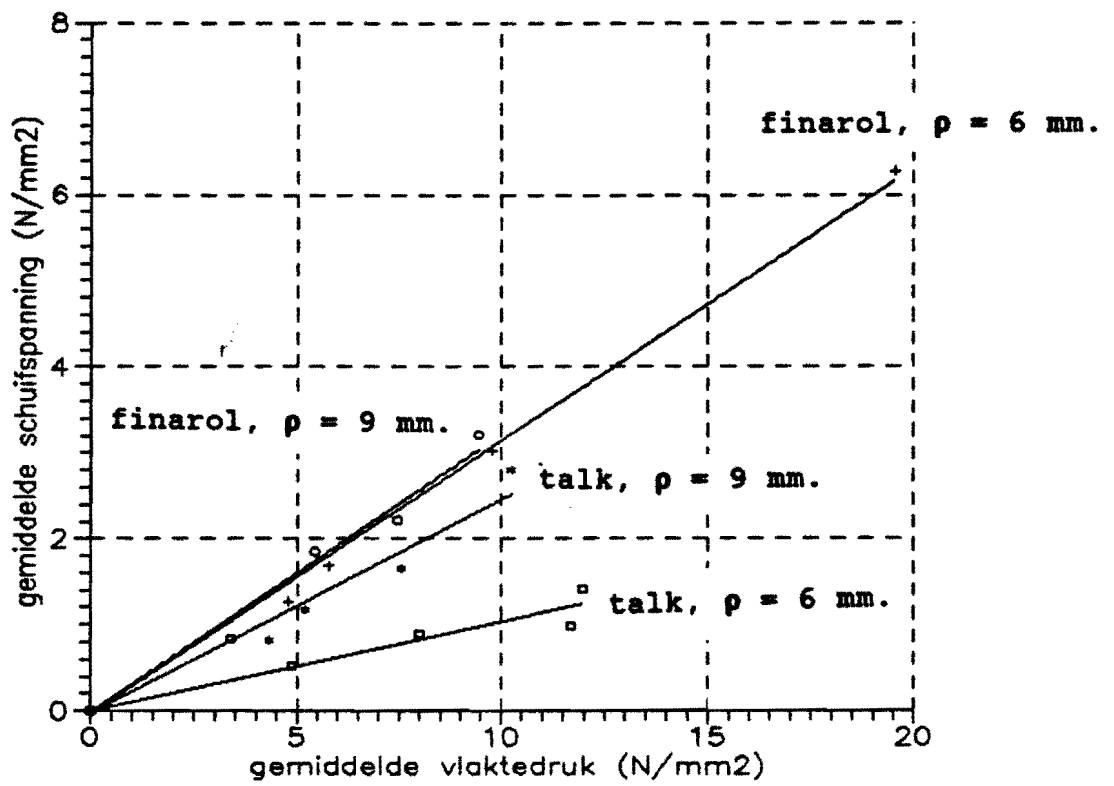


De waarden van de coëfficiënten a en b uit de eerder genoemde functie  $W_{Bs} = a + b \cdot \sigma_1$  zijn als volgt:

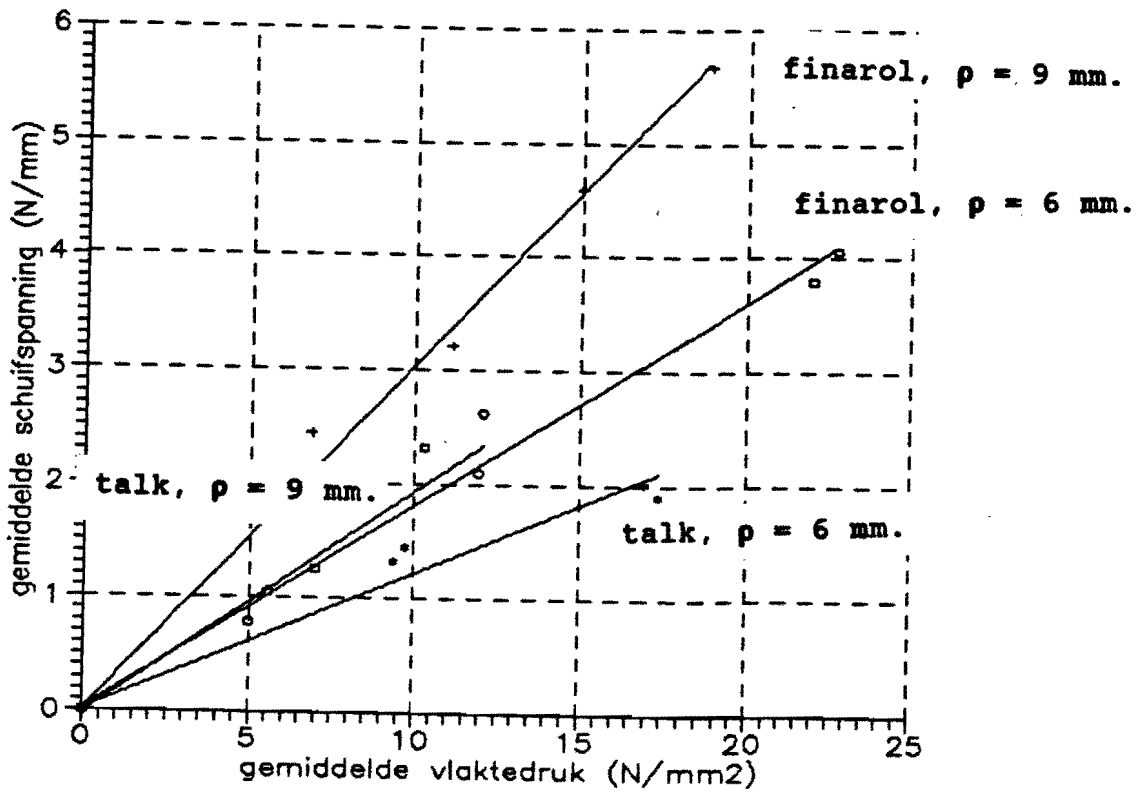
materiaal I:	$\rho = 6$ [mm]	$a = 14.65$	$b = 0.041$
	$\rho = 9$ [mm]	$a = 8.10$	$b = 0.059$
materiaal II:	$\rho = 6$ [mm]	$a = 13.04$	$b = 0.072$
	$\rho = 9$ [mm]	$a = 6.54$	$b = 0.041$

Vervolgens wordt de gemiddelde schuifspanning uitgezet tegen de vlaktedruk.

schuifspanning tegen vlaktedruk materiaal I, smering talk resp. finarol.



schuifspanning tegen vlaktedruk materiaal II, smering talk resp. finarol.



De waarden voor de wrijvingscoëfficiënten zijn voor de verschillende combinaties buigstraal-materiaal-smeermiddel bepaald.

Er wordt aangenomen dat de wrijvingcoëfficiënt afhankelijk is van de combinatie materiaal-smeermiddel. Daarom zijn ook de gemiddelde waarden voor iedere materiaal-smeermiddel combinatie bepaald. De resultaten zijn als volgt:

materiaal I:	talk	$\rho = 6$	$\mu = 0.1$	$\mu_{gen.} = 0.18$
		$\rho = 9$	$\mu = 0.25$	
	finarol	$\rho = 6$	$\mu = 0.32$	$\mu_{gen.} = 0.32$
		$\rho = 9$	$\mu = 0.32$	
materiaal II:	talk	$\rho = 6$	$\mu = 0.12$	$\mu_{gen.} = 0.16$
		$\rho = 9$	$\mu = 0.19$	
	finarol	$\rho = 6$	$\mu = 0.18$	$\mu_{gen.} = 0.24$
		$\rho = 9$	$\mu = 0.30$	

**BIJLAGE: Formules voor de berekening  
van de wrijvingscoëfficiënt**

1) zonder wrijving:

met virtuele arbeid geldt:

$$F_{\text{vert}} \cdot u_1 + W_B - F_h \cdot u_2 = 0 \quad [1]$$

met volumeinvariantie:

$$u_1 \cdot b_1 \cdot s_1 = u_2 \cdot b_2 \cdot s_2 \quad [2]$$

voor de spanningen geldt:

$$\sigma_1 = \frac{F_{\text{vert}}}{b_1 \cdot s_1} \quad \text{en}$$

$$\sigma_2 = \frac{F_{\text{hor}}}{b_2 \cdot s_2} \quad [3]$$

de specifieke buigarbeid en de gemiddelde spanning:

$$W_{Bs} = \frac{W_B}{u_1 \cdot b_1 \cdot s_1} \quad \sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad [4]$$

invullen in [1] levert:

$$W_{Bs} = \sigma_2 - \sigma_1 \quad [5]$$

2) met wrijving:

met virtuele arbeid geldt:

$$F_{\text{vert}} \cdot u_1 + F_{\text{wr}} \cdot \frac{1}{2}(u_1 + u_2) + W_B - F_h \cdot u_2 = 0 \quad [6]$$

deel door  $u_1 \cdot b_1 \cdot s_1$ :

$$\sigma_1 + F_{\text{wr}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{b_1 \cdot s_1} \cdot \frac{1}{b_2 \cdot s_2} + \frac{W_{Bs}}{u_1 \cdot b_1 \cdot s_1} - \sigma_2 = 0 \quad [7]$$

voor de gemiddelde schuifspanning geldt:

$$\tau = \frac{F_{vr}}{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r \cdot (b_1 + b_2)} \quad [8]$$

invullen levert:

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

voor de vlaktedruk geldt:

$$p = \sigma \cdot \frac{1}{2 \cdot r} \cdot (s_1 + s_2)$$

(De verwerking van de meetgegevens met behulp van deze formules gebeurt met behulp van een computerprogramma.)