

De invloed van de materiaalgegevens en de gereedschap geometrie op de nauwkeurigheid van de produkthoek bij vrijbuigen van plaat

Citation for published version (APA):

Daly, K. J. A., Perduijn, A. B., & Ramaekers, J. A. H. (1990). *De invloed van de materiaalgegevens en de gereedschap geometrie op de nauwkeurigheid van de produkthoek bij vrijbuigen van plaat*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/06/1990

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.

Technische Universiteit Eindhoven

Faculteit Werktuigbouwkunde

Vakgroep Productietechnologie en— Automatisering

Laboratorium voor Omvormtechnologie

De invloed van de materiaalgegevens en de
gereedschap geometrie op de nauwkeurigheid
van de produkthoek bij vrijbuigen van plaat

WE 1

HS—Venlo—Eindstudie Verslag

door: K.J.A. Daly

38p
56 + 66

juni 90

VF code: D3

WPA nr.0892

Gekommitteerde:

ir. L.J.A. Houtackers

Afstudeerleraar:

ir. P.B.G. Peeters

Begeleiders:

ir. A.B. Perduijn

dr.ir. J.A.H. Ramaekers

Voorwoord

In het kader van de eindstudie-opdracht HS-werktuigbouwkunde heb ik in de periode van 5 maart 1990 t/m 15 juni 1990 een onderzoek gedaan naar de invloeden van materiaal- en gereedschapsgegevens op het vrijbuigproces.

Deze opdracht werd uitgevoerd in het Laboratorium voor Omvormtechnologie, Vakgroep WPA, TU-Eindhoven.

Ik wil dit voorwoord gebruiken om iedereen te bedanken die geholpen hebben om mijn opdracht zo goed mogelijk te voltooien. Met name mijn begeleider ir.A.B.Perduijn en afstudeerleraar ir.P.B.G.Peeters voor hun adviezen en hun inzet, R.Sniekers voor zijn corrigeerwerk en niet op de laatste plaats ir. M.Th. de Groot die mij bij proefnemingen heeft geholpen.

Samenvatting

In de industriële fabricage wordt vaak gebruik gemaakt van buigprocessen. Het probleem bij vrijbuigen is het feit dat een bepaalde produkhoek(onbelast) gerealiseerd dient te worden door het instellen van een procesweg van de pers. In de praktijk gebeurt dit door een iteratief proces uit te voeren. Een proefplaatje wordt gebogen en aan de hand van de gerealiseerde hoek wordt de procesweg bijgesteld, waarna een nieuw plaatje wordt gebogen, etc.

Een ander probleem bij vrijbuigen is het feit dat er grote hoektoleranties optreden. Het is moeilijk om met hetzelfde gereedschap een bepaalde onbelaste hoek te repeteren.

Een eerste stap die gezet is om het buigproces beter te beheersen is het ontwikkelen van een buigmodel LIT[1], waardoor een beter inzicht verkregen wordt in de invloed van de parameters die bij het buigproces een rol spelen. Een volgende stap die is gezet om de buigproblemen op te lossen is het ontwikkelen van een buig-software pakket (IOP_VB_1 t/m 7). Met dit pakket wordt onder andere de procesweg voor een onbelaste hoek bepaald. Om het pakket te verifiëren zijn de werkelijke proceswegen en belaste hoeken vergeleken met de berekende waarden. Het blijkt dat het pakket redelijk goed voldoet. Alleen bij kleine produkhoeken en grote proceswegen gaan de berekende waarden sterker afwijken.

Om het vaste hoekverschil te verklaren worden de materiaal- en gereedschapinvloeden apart bekeken. Het blijkt dat een variatie op de ingevoerde materiaalgegevens een hoekverschil kan veroorzaken. Om het hoekverschil te verkleinen zijn voor een aantal gereedschap geometrieën experimenten uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat afhankelijk van de benodigde hoekgeometrie er een optimaal gereedschap te vinden is, waarmee het hoekverschil zo klein mogelijk wordt gehouden.

Aansluitend volgt een analyse naar de invloed van de sleepsnelheid en kontaktdruk van het buigplaatje in de oplegpunten. De daarvoor benodigde berekeningen zijn in het buig-pakket ingebouwd (IOP_VB_7). Dit is gedaan ten behoeve van eventuele toekomstige slijtageberekeningen.

Summary

Bending processes in industrial manufacturing are commonly used. The problem in airbending of sheet metal is the fact that a product angle after relaxation has to be realized by means of imposing a displacement of the punch of the press to the sheet. Normally this is done by executing an iterative process. A test sheet has to be bent and the displacement of the punch will be adjusted on the basis of the realized shape of the product. This process has to be repeated until the right angle has been obtained.

An other problem of the airbending process is the existence of a wide spread in the obtained product angles. As a result of this, the reproducibility of the airbending process is low.

Firstly in order to control the bending process a bending model is developed LIT[1]. This bending model gives a better insight of the effects of the bending parameters. Secondly this bending model is integrated in a bend-software-program (IOP_VB_1 – OP_VB_7). This program calculates the displacement of the punch given a certain angle after relaxation. Thirdly the program can be verified by comparing the real displacements of the punch and loaded angles, with the calculated results. The results of the program show good agreement with the experiments. It has to be noted that the calculated values start to deviate stronger for small product angles and for long displacements of the punch.

In order to solve the problem of the spread in the obtained product angle, material and tool influences are analysed separately. It appears that a small variation of one of the material data can cause a huge spread in product angle. In order to reduce this spread, experiments with several tool geometries have been carried out. From this it can be concluded that for every product angle an optimum tool can be found, with which the

spread in product angle can be kept as small as possible.

Finally an analysis is given for the effect of the drag velocity and contact pressure of a sheet metal bending product in the lay on points of the die. The therefore necessary calculations are integrated in the bend software-program (IOP_VB_7). This is done on behalf of eventual wear calculations in future.

Inhoudsopgave

Symbolenlijst	3
Literatuuroverzicht	4
Hoofdstuk 1. Inleiding	
1.1 Algemeen	7
1.2 Factoren die de onbelaste hoek beïnvloeden	8
1.3 Het vrijbuig softwarepakket	10
1.4 Indeling rapport	11
Hoofdstuk 2. Verificatie van het vrijbuigprogramma (IOP_VB_1 t/m 7)	
2.1 Algemeen	12
2.2 Opzet van het onderzoek	12
Hoofdstuk 3. Invloed van de materiaalgegevens op de produkthoek	
3.1 Werking van het genereerprogramma (Gene_tool)	15
3.2 Tolerantie van de produkthoek	18
3.3 Resultaten	18
Hoofdstuk 4. Invloed van de gereedschapsgeometrie op de produkthoek	
4.1 Vermindering van de invloed van de materiaalgegevens op de onbelaste hoek	19
4.2 Conclusies en resultaten	22

Hoofdstuk 5. Analyse sleepsnelheid en contactdruk

5.1 Inleiding	23
5.2 Sleepsnelheid bij vrijbuigen	24
5.3 Bepaling van de contactdruk	29

Hoofdstuk 6. Conclusies

6.1 Conclusies	30
6.2 Conclusies en aanbevelingen	31

Bijlagen

- A. Nauwkeurigheid meting contourfoto's
- B. Verificatie vrijbuig softwarepakket (IOP_VB_1 t/m 8)
- C. Resultaten trekproeven
- D. Invloed materiaal
- E. Invloed gereedschap
- F. Flowchart + uitdraai genereerprogramma (Gene_tool)

SYMBOOL	EENHEID	OMSCHRIJVING
β_{onb}	[-]	De onbelaste produkthoek
β_{bel}	[-]	De belaste produkthoek
α	[-]	De beenhoek
ρ_{D}	[mm]	De afrondingsstraal van de matrijs
ρ_{P}	[mm]	De afrondingsstraal van de stempel
W_0	[mm]	De oorspronkelijke matrijswijdte
W_{D}	[mm]	De kleinste matrijswijdte
s_0	[mm]	De plaatdikte
b	[mm]	De plaatbreedte
C	[N/mm ²]	De karakteristieke deformatieweerstand
n	[-]	De verstevigings exponent
ϵ_0	[-]	De voordeformatie
E	[N/mm ²]	De elasticiteitsmodulus
ν	[-]	De dwarscontractie
S	[mm]	De procesweg
μ	[-]	De wrijvingscoëfficiënt
L	[mm]	De lengte
L_{zr}	[mm]	De zuiver gerolde lengte
u_{sl}	[mm]	De totale sleeplengte
\dot{u}_{sl}	[mm/s]	De sleepsnelheid
Δt	[s]	Een klein tijdsinterval
σ_{KZ}	[N/mm ²]	De kontaktspanning volgens Herz
F	[N]	De normaalkracht per lengteenheid

LITERATUURLIJST

Nr	AUTEUR	
[1]	S.M.Hoogenboom	Analyse Vrijbuigen
	A.C.E.C.Melis	TUE-WPA rapport 0694
	A.B.Perduijn	Eindhoven (mei 1989)
[2]	S.Arts	Vrijbuigen: toetsing theoretisch
	M.v.Haren	model TUE/TNO aan de praktijk
	M.v.d.Wiel	TUE-WPA rapport 0765
	F.Cardinaal	Eindhoven (mei 1989)
[3]	L.J.A.Houtackers	Overzicht van de gebruikte codes
	F.Cardinaal	TUE-WPA rapport 0710, bijlage
		Eindhoven (mei 1989)
[4]	L.J.A.Houtackers	Foto's contourvastlegging tijdens het vrij-/
	S.Arts	strijkbuigen van staal SP/D en aluminium S1
	M.v.Haren	TUE-WPA rapport 0752
	M.Th.de Groot	Eindhoven (mei 1989)

- | Nr | AUTEUR | |
|-----|---|---|
| [5] | L.J.A.Houtackers
M.Th de Groot
F.Cardinaal | De materiaaleigenschappen van staal SP/D en
aluminium AL S1
TUE-WPA rapport 0723
Eindhoven (mei 1989) |
| [6] | L.J.A.Houtackers
M.Th de Groot
F.Cardinaal | De materiaaleigenschappen van staal SP/D en
aluminium AL S1
TUE-WPA rapport 0725
Eindhoven (mei 1989) |
| [7] | L.J.A.Houtackers
S.Arts
M.v.Haren
H.v.d.Wiel
F.Cardinaal
P.Dings | Meetgegevens vrijbuigen staal en
aluminium
TUE-WPA rapport 0750
Eindhoven (mei 1989) |
| [8] | W.Beitz
K.-H.Küttner | Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau
16e druk, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
New York London Paris Tokyo 1987 |

- [9] L.J.A.Houtackers Rastermetingen en contourvastlegging van
 S.Arts vrij- en strijkbuigen van staal SP/D en
 M.v.Haren Aluminium AL S1
 TUE-WPA rapport 0745
 Eindhoven (mei 1989)
- [10] L.J.A.Houtackers Cirp Unified Terminology
 April 1986
- [11] D.Landheer Tribotechniek, Adhesie, Wrijving, Slijtage
 TUE-Vakgroep Werktuigbouwkundige
 Materialen Dictaatnummer 4000
 Eindhoven
- [12] J.A.H.Rameakers Plastische Bewerken van Metalen
 L.J.A.Houtackers Mierlo (juli 1987)
 P.B.G.Peeters

1. Inleiding

1.1 Algemeen

Er bestaan verschillende manieren om plaatmateriaal te buigen. Afhankelijk van de gewenste produktgeometrie en het toe te passen buiggereedschap wordt een methode gekozen. Voorkomende processen zijn onder andere: Matrijs-, vrij-, U- en strijkbuigen. In dit rapport wordt het vrijbuigen verder onderzocht.

De kenmerken van het vrijbuigen zijn: Een plaat wordt op twee punten opgelegd, waarna een stempel drukt op een punt gelegen midden tussen de twee oplegpunten. Door de verplaatsing van het stempel wordt het produkt gebogen. De plaat ondervindt nergens een knellende of drukkende positie (behalve in de oplegpunten). Figuur 1 geeft het vrijbuigproces weer.

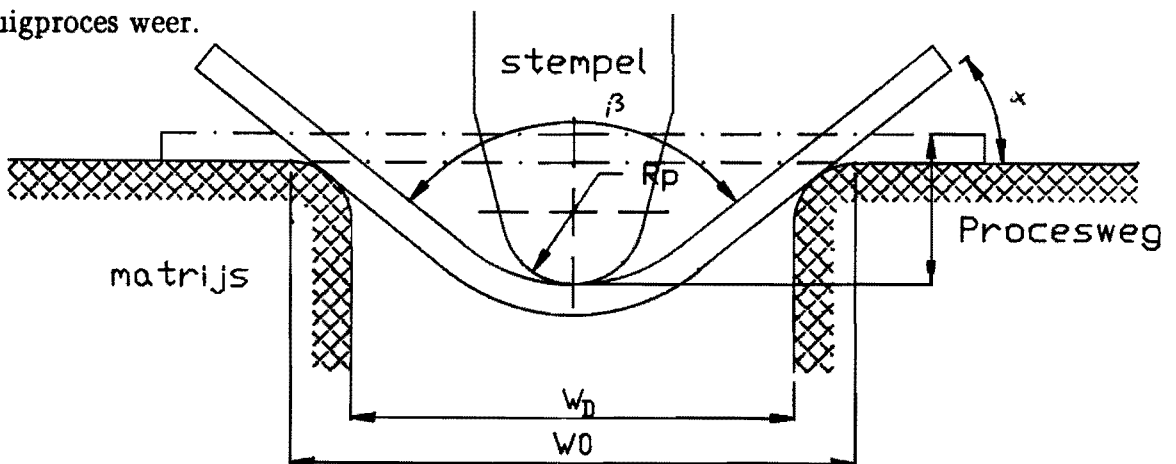
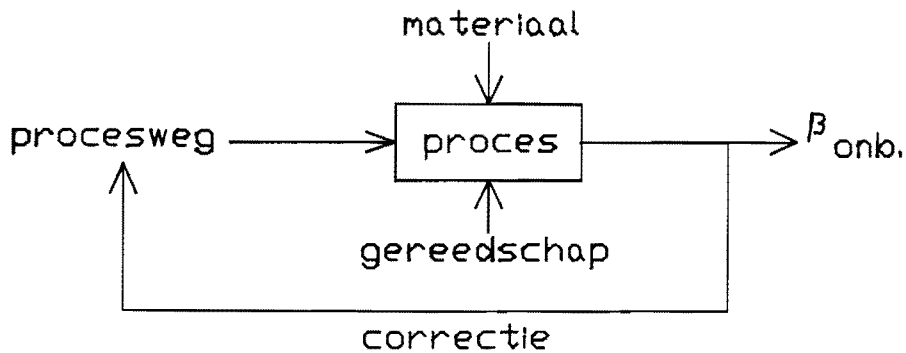


fig. 1: het vrijbuigproces

Eén van de problemen bij het vrijbuig proces is het voorspellen van de onbelaste hoek. Onder de onbelaste hoek wordt verstaan de hoek die het plaatje aanneemt na het wegnemen van de belasting van het stempel.

1.2 Factoren die de onbelaste hoek beïnvloeden.

Zoals te zien in figuur 1. is de afgelegde weg (procesweg) bepalend voor de belaste en onbelaste hoek (β). In de praktijk wordt de procesweg op een iteratieve manier bepaald. In figuur 1.2.1. is dit schematisch weergegeven.



*figuur 1.2.1. Iteratie-proces voor het vinden
van de juiste procesweg*

Om een β_{onb} te realiseren zullen er dus een aantal proefplaatjes moeten worden gebogen, om de juiste procesweg te bepalen.

Uit figuur 1.2.1. blijkt dat niet alleen de procesweg bepalend is voor de onbelaste hoek. De materiaolgegevens hebben ook invloed. Dit blijkt uit het volgende voorbeeld:

Een koperen en tinnen plaatje worden gebogen met één en hetzelfde gereedschap. De afmetingen van beide plaatjes zijn gelijk en de procesweg van het stempel is ook hetzelfde. Alleen de materiaolgegevens van tin en koper verschillen van elkaar. Het blijkt dat tin een scherpere buiging laat zien dan koper (zie fig.1.2.2).

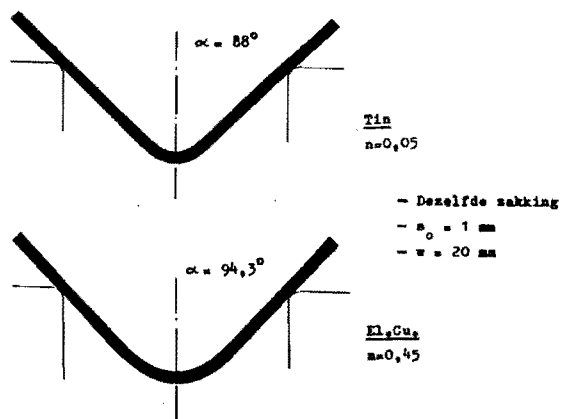


fig.1.2.2 Contour na buiging van twee verschillende materialen

De onbelaste hoek van het tinnen plaatje is kleiner dan die van het koperen plaatje.

Als laatste punt is ook de gereedschapsgeometrie bepalend voor de onbelaste hoek. Met de gereedschapsgeometrie worden onder andere, afrondingsstralen van stempel en matrijs alsmede de matrijswijdte, bedoeld.

De hierboven beschreven factoren zijn van invloed op β_{onb} . Een kleine afwijking van één van deze factoren veroorzaakt een verandering in de β_{onb} . Dit is een reden waarom in de praktijk de tolerantie op de hoek zo groot is. Omdat deze hoekverschillen optreden, moet het proces konstant worden bijgestuurd. Gezien de huidige opkomst van de flexibele productieautomatisering moet het optreden van deze hoekverschillen geminimaliseerd worden.

1.3 Het vrijbuig softwarepakket (IOP_VB_1 t/m 7)

Om tot een oplossing te komen van bovenstaande problemen is er door het Laboratorium voor Omvormtechnologie een software pakket (IOP_VB_1 t/m 8) ontwikkeld waarmee het buigproces kan worden gesimuleerd. De opzet was om een pakket te ontwikkelen waarmee de procesweg kon worden berekend bij een bepaalde onbelaste hoek. Daarnaast is het pakket ook nuttig voor andere doeleinden, zoals:

- Nagaan van de invloed van de materiaalgegevens op het buigproces.
- Nagaan van de invloed van het gereedschap op het buigproces.
- Optimalisatie van het buigproces.

Het pakket heeft een zodanige structuur, dat het mogelijk is om nieuwe stukken programmering eraan toe te voegen. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk om van een plaatje de sleepsnelheid langs de matrijsafronding en de kontaktdruk, te bepalen(in verband met eventuele slijtage berekeningen).

Er zijn in totaal zeven versies van het vrijbuigprogramma geschreven.(Versie zeven is afgeleid van versie één. Het enige verschil is dat de sleepsnelheid en de kontaktdruk van het buigplaatje in de oplegpunten wordt berekend). Er is een opsplitsing van de versies door het type gereedschap (V-blok of 2 blokken). Het V-blok is een massieve matrijs waarin een v-vormige groef is gefreest. De matrijs met twee blokken heeft het voordeel dat de matrijswijdte instelbaar is. De verschillende versies kunnen verder opgesplitst worden door het type invoer die ingegeven dient te worden. Namelijk is één van de gegevens belaste hoek, onbelaste hoek of procesweg bekend, dan kunnen de twee resterende gegevens uitgerekend worden. Figuur 1.3.1. geeft de mogelijkheid van iedere versie weer.




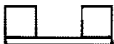


Versie	Gereedschap	Invoer
1		onbelaste hoek
2		procesweg
3		onbelaste hoek
4		procesweg
5		belaste hoek
6		belaste hoek

fig.1.3.1 Vrijbuigversie IOP-VB-1 tot en met IOP-VB-6

Het rapport is als volgt ingedeeld:

In hoofdstuk 2 komt de verificatie van het vrijbuigpakket aan de orde. Daarna wordt nagegaan hoe het vrijbuigproces verbeterd kan worden. Dit gebeurt in hoofdstuk 3 door na te gaan wat de invloed is van de materiaalgegevens op de produkthoek. En in hoofdstuk 4 zullen de gereedschapsinvloeden op de produkthoek bekeken worden. Aansluitend volgt in hoofdstuk 5 een analyse van de sleepsnelheid. Verder wordt met behulp van de formules van Herz de kontaktdruk bepaald.

2. Verificatie van het vrijbuigprogramma

2.1 Algemeen

Als criterium voor de verificatie van het vrijbuigprogramma (IOP_VB_1 t/m 7) is bepaald in hoeverre de berekende belaste hoek en procesweg afwijken van de werkelijke belaste hoek en procesweg. Er is voor dit criterium gekozen omdat de procesweg en de produkthoek in de praktijk de twee belangrijkste factoren vormen. Dit is in te zien omdat uitgaande van een produkthoek, een procesweg moet worden ingesteld op de pers. Het is dus niet mogelijk om hoeken in te stellen.

Opmerking: In de praktijk wordt uitgegaan van de produkthoek in onbelaste toestand. Voor de verificatie wordt gebruik gemaakt van de belaste hoek. Dit is gedaan omdat de belaste hoek tijdens het buigproces relatief eenvoudig te bepalen is. Zou er worden uitgegaan van de onbelaste hoek dan zou het stempel tijdens het buigproces telkens moeten worden teruggetrokken om de onbelaste hoek te bepalen. Daarna kan het buigproces weer hervat worden.

2.2 Opzet van het onderzoek

Van een aantal buigproeven zijn contourfoto's gemaakt. Een voorbeeld van zo'n foto is te zien in figuur 2.2.1. Het raster dient om afwijkingen die door het ontwikkelen of kopiëren zijn ontstaan, te bepalen. De procesweg bij iedere foto is bekend uit metingen LIT [9]. Ter bepaling van de belaste hoek is gebruik gemaakt van een hoekmeter. De nauwkeurigheid waarmee de hoeken opgemeten worden, wordt besproken in bijlage[A]..

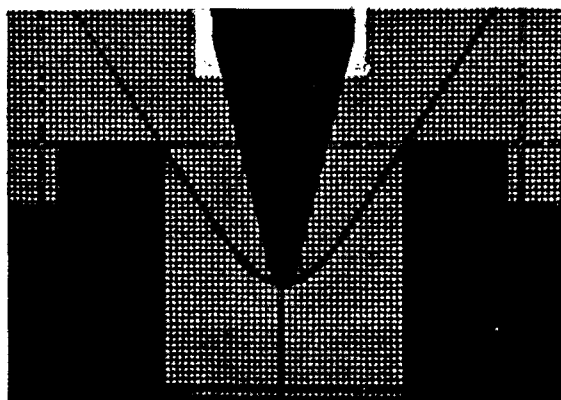


fig.2.2.1 Contourfoto van het vrijbuigproces

Voor staal SP/D zijn er in totaal van 9 buigprocessen contourfoto's gemaakt en voor aluminium AL S1 bedragen dit er 10 LIT[4]. Per buigproces zijn er 4 tot 7 foto's (bij kleine proceswegen kunnen het er zelfs minder zijn). Van elke foto is bekend wat de werkelijke bijbehorende procesweg en belaste hoek is. Naast deze gegevens is ook bekend welk gereedschap is gebruikt (matrijswijdte, afrondingen van stempel en matrijs) alsmede de materiaalgegevens. Al deze gegevens kunnen worden ingevoerd in het vrijbuigprogramma (IOP_VB_1 t/m 7). Met versie (3) van het vrijbuigpakket wordt een procesweg berekend, door de werkelijke belaste hoek in te voeren. En met versie (4) wordt een belaste hoek berekend, door de werkelijke procesweg in te voeren.

In figuur 2.2.2 is een voorbeeld gegeven van de tabellen en grafieken die gemaakt kunnen worden. In de tabel is opgenomen de plaatcode en de gereedschapsgeometrie. De meetpunten zijn terug te vinden in 4 kolommen. De eerste 2 kolommen zijn de werkelijke waarden en de laatste 2 de berekende. Ook in de grafieken zijn de plaatcode en de gereedschapsgeometrie opgenomen. Van elk buigproces worden twee grafieken gemaakt. Enerzijds wordt de werkelijke belaste hoek uitgezet tegen de werkelijke procesweg en de berekende procesweg, anderzijds wordt de werkelijke procesweg uitgezet tegen de werkelijke belaste hoek en de berekende belaste hoek.

Dus in elke grafiek bevinden zich twee lijnen; een werkelijke en een berekende lijn.

De ideale situatie zou zijn, wanneer in beide grafieken de berekende lijn over het hele traject in de buurt van de werkelijke lijn zou liggen. De rest van de tabellen en grafieken zijn terug te vinden in bijlage B.

A1101100	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=66$	Alle maten in [mm]
Werkelijke		Berekende		
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg	
0	180	180	0	
9.5	141.10	141.19	9.56	
20.4	103.35	102.25	20.02	
30	78.3	76.02	28.97	
39.7	59.25	56.2	37.97	

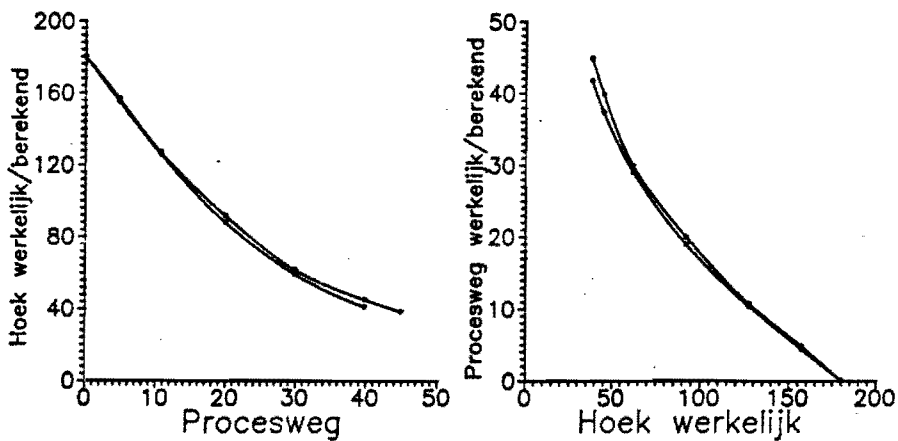


fig.2.2.2 Grafieken en tabellen ter verificatie van het vrijbuigpakket

3. Invloed van de materiaalgegevens op de produkthoek

3.1 Werking van het genereerprogramma (gene tool)

De materiaaleigenschappen spelen een grote rol bij het buigen van plaat. Denk maar aan het voorbeeld van het koperen en tinnen plaatje. Het gebruikte gereedschap was identiek (stempel en matrijs geometrie). De procesweg van het stempel en de afmetingen van beide plaatjes waren ook gelijk. Maar toch trad er een hoekverschil op van $6,3^\circ$.

Doelstelling: hoe groot is de invloed van de materiaalgegevens op de onbelaste hoek. Deze doelstelling is op de volgende manier bereikt:

Om met het vrijbuigprogramma een onbelaste hoek te berekenen, zullen eerst een aantal invoerwaarden geïnitieerd moeten worden. De invoer van versie(4) ziet er als volgt uit:

-Plaatdikte	s_0	-Procesweg	S
-Karakteristieke deformatieweerstand	C	-Stempelradius	ρ_P
-Verstevigingsexponent	n	-Matrijsinloopradius	ρ_D
-Voordeformatie	ϵ_0	-Matrijswijdte	W_D
-Elasticiteitsmodulus	E	-Wrijvingscoëfficiënt	μ
-Dwarscontractie	ν		

Uit al deze gegevens wordt een onbelaste hoek berekend. Deze hoek geldt voor één bepaalde combinatie van materiaalconstanten. Stel we veranderen één van de materiaalconstanten en we laten de stempel en matrijsgeometrie gelijk. De onbelaste hoek die dan wordt uitgerekend verschilt met het eerste geval.

Uit trekproeven is gebleken dat de materiaalconstanten van één en hetzelfde materiaal kunnen variëren. Uit 18 trekproeven van staal (SPD) en evenzovele voor aluminium zijn maximale en minimale waarden voor de materiaalgegevens bepaald (Bijlage [C]). Voor staal SPD zijn de volgende toleranties gevonden:

C varieert tussen 499 en 549	$\Delta C = 50$	[N/mm ²]
n varieert tussen 0.23 en 0.29	$\Delta n = 0.06$	[-]
ϵ_0 varieert tussen 0 en 0.006	$\Delta \epsilon_0 = 0.006$	[-]

Uit een serie diktemetingen LIT [5] en LIT [6] is een tolerantie gevonden:

s_0 varieert tussen 0.967 en 0.982	$\Delta s_0 = 0.015$	[mm]
--------------------------------------	----------------------	--------

Voor aluminium is gevonden:

C varieert tussen 117 en 141	$\Delta C = 24$	[N/mm ²]
n varieert tussen 0.28 en 0.34	$\Delta n = 0.06$	[-]
ϵ_0 varieert tussen 0 en 0.004	$\Delta \epsilon_0 = 0.004$	[-]

Uit een serie diktemetingen LIT [5] en LIT [6] is een tolerantie gevonden:

s_0 varieert tussen 1.004 en 1.013	$\Delta s_0 = 0.009$	[mm]
--------------------------------------	----------------------	--------

Met behulp van een turbo-pascal programma (in TP 5.0) kunnen waarden gegenereerd worden, binnen het tolerantiegebied, van bovenstaande materiaalgegevens. Dit genereer-programma (Gene_tool, bijlage F) werkt als volgt:

De gebruiker van het genereer-programma voert zelf een gemiddelde waarde in voor een bepaald materiaalgegeven. De tolerantie hoeft niet meer ingevoerd te worden. Deze is namelijk als constante gedefiniëerd, in het genereer-programma. Het bepalen van de te genereren waarde, ziet er als volgt uit:

$$\text{Mat_const}[\text{tel}] := \text{Random}(\Delta_Mat_const) + \text{Mat_const_gemid} - (\Delta_Mat_const/2)$$

Waarbij:

`Mat_const[tel]` : De gegenereerde waarde voor een bepaalde materiaalconstante wordt opgeslagen in een rijstructuur, op plaats 'tel'.

`Δ_Mat_const` : Het verschil tussen maximale en minimale waarde van een materiaalconstante. Deze waarde is gedefinieerd in het programma. Met het commando `Random()` genereert de computer een waarde tussen 0 en de waarde voor `Δ_Mat_const`.

`Mat_const_gemid` : Dit is de gemiddelde waarde van een materiaalconstante die door de gebruiker zelf wordt ingevoerd.

Het nut van het programma is dat er random combinaties van materiaalgegevens worden gegenereerd. De stempel en matrix gegevens blijven constant. De output van het genereerprogramma, welke wordt opgeslagen in een file, dient als input voor het vrijbuigprogramma. Wanneer een invoerfile is gegenereerd, kan vanuit het genereerprogramma de betreffende vrijbuigversie (IOP_VB_1 t/m 7) worden aangeroepen. In de gekozen versie zal de invoer verder verwerkt worden. Dat wil zeggen voor iedere combinatie van materiaalgegevens wordt een onbelaste hoek uitgerekend. Al deze onbelaste hoeken worden opgeslagen in een uitvoerfile.

Dus toleranties op de materiaalconstanten leveren een tolerantie op de onbelaste hoek. Met behulp van beide programma's is de tolerantie op de onbelaste hoek te bepalen.

3.2 Tolerantie van de produkthoek

Ter bepaling van de tolerantie van de produkthoek, wordt een invoerfile gegenereerd met 100 combinaties van materiaalgegevens. Vervolgens wordt versie (4) van het vrijbuigprogramma aangeroepen (via procesweg de hoek berekenen). De computer berekent 100 onbelaste hoeken. De tolerantie op de onbelaste hoek is het verschil tussen maximale en minimale onbelaste hoek.

Voor de zekerheid wordt nog twee keer een invoerfile gegenereerd, ter verificatie van de gevonden tolerantie (bijlage D).

3.3 Resultaten

Voor de drie invoerfiles zijn de volgende toleranties voor de onbelaste hoek gevonden :

File 1: 5° 52' [Gr.min]

File 2: 5° 26' [Gr.min]

File 3: 5° 40' [Gr.min]

4 Invloed van de gereedschapsgeometrie op de produkthoek

4.1 Vermindering van de invloed van de materiaalgegevens op de onbelaste hoek

De materiaaleigenschappen hebben invloed op de onbelaste hoek. Zelfs kleine veranderingen in de materiaalgegevens brengen een hoekverschil te weeg. Verbetering van het materiaal houdt automatisch in, dat het produceren van het materiaal een stuk duurder wordt. Een andere mogelijkheid is om het buiggereedschap aan te passen. Dit aanpassen houdt in: experimenten uitvoeren met verschillende afrondingsstralen van matrijs en stempel en met verschillende matrijswijdten. Het doel hiervan is om een optimale gereedschapscombinatie voor de gekozen β_{onb} te selecteren, waarvoor het onbelaste hoekverschil, ongeacht de toleranties van de materiaalgegevens, minimaal is. Deze doelstelling wordt als volgt bereikt:

Met het genereerprogramma wordt een invoerfile gecreëerd voor het vrijbuigprogramma. In deze file staan voor één materiaal 10 verschillende combinaties van materiaalgegevens. Deze combinaties zijn binnen de tolerantie genomen, welke zijn bepaald uit trekproeven LIT[5] en LIT[6]. Achter elke combinatie staat telkens één en hetzelfde gereedschap. De procesweg voor dit gereedschap wordt apart bepaald. Deze procesweg wordt berekend door te stellen dat de onbelaste hoek, voor de gemiddelde materiaalgegevens, gelijk is aan 90° . De procesweg blijft in één file constant. Wanneer deze file wordt ingevoerd in het vrijbuigprogramma worden er 10 onbelaste hoeken uitgerekend. Schematisch is dit weergegeven in figuur 4.1.1.

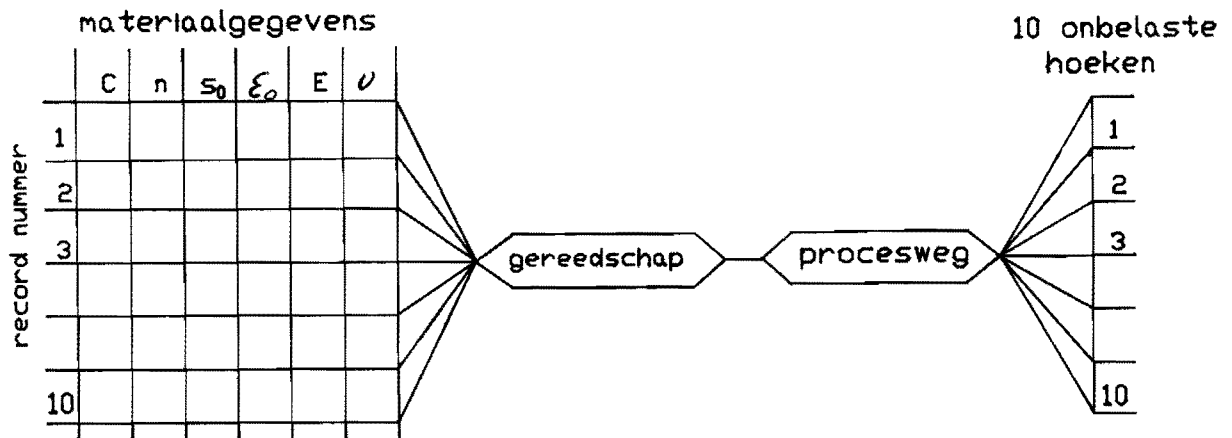


Fig 4.1.1 Opbouw van de invoerfile

Vervolgens wordt in de reeds bestaande invoerfile, dus met dezelfde 10 combinaties van materiaalgegevens, een ander gereedschap ingevoerd. Een ander gereedschap houdt in aanpassing van radii en/of matrijswijdte. Ook deze file dient als invoer voor het vrijbuigprogramma. Er worden nu weer 10 onbelaste hoeken uitgerekend.

Alle uitvoerfile's leveren dus 10 onbelaste hoeken. Door van elke file de kleinste hoek af te trekken van de grootste, kan de tolerantie bepaald worden van elk gereedschap.

Om een idee te krijgen hoe de hoektoleranties, theoretisch, zullen gaan variëren is de volgende proef uitgevoerd:

Zoals eerder gezegd bestaat de gereedschapsgeometrie uit een matrijswijdte en uit afrondingsstralen voor stempel en matrijs. De matrijswijdte (W_0) neemt de volgende waarden aan:

Alle maten in mm.:15, 20, 30, 40, 50, 80, 90, 100

Voor de afrondingsstralen van stempel en matrijs is gekozen voor de volgende waarden:

Alle maten in mm.:1, 5, 10, 20

In figuur 4.1.2 staan de combinaties die voor de matrijsinloop- en stemelradius te maken zijn.

		Stempelradius			
		1	5	10	20
Matrijsradius	1	1 1	1 5	1 10	1 20
	5	5 1	5 5	5 10	5 20
	10	10 1	10 5	10 10	10 20
	20	20 1	20 5	20 10	20 20

figuur 4.1.2 Combinaties radii

Elke radiuscombinatie wordt weer gecombineerd met de bovenstaande matrijswijdtes. De nu verkregen gereedschapsgeometrieën leveren allemaal een bepaalde hoektolerantie op, op de manier die aan het begin van deze paragraaf beschreven is.

Om de verkregen resultaten overzichtelijk weer te geven worden grafieken gemaakt. Hierin wordt de matrijswijdte uitgezet tegen de hoektolerantie. Elke lijn stelt een bepaalde combinatie voor van matrijs- en stemelradius. De grafieken en tabellen met invoerwaarden zijn terug te vinden in bijlage[E].

4.2 Resultaten en conclusies

In figuur 4.2.1 is een voorbeeld te zien van een grafiek uit bijlage E. Al de lijnen hebben een stijgend verloop. Dus hoe groter de matrijswijdte, hoe groter de hoektolerantie zal zijn. De beste combinatie van ρ_p en ρ_D uit elke grafiek, dus de combinatie die de kleinste hoektolerantie oplevert, zijn in één grafiek getekend. Deze grafiek is terug te vinden in bijlage E.8.

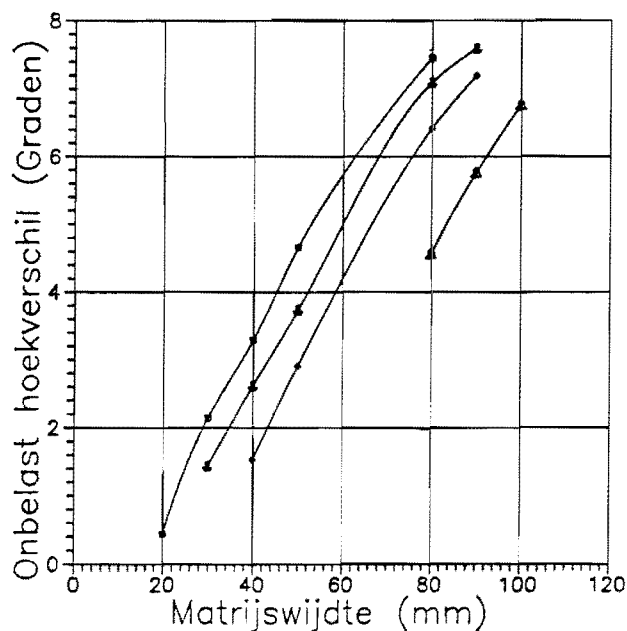


Fig 4.2.1 Grafiek matrijswijdte tegen de hoektolerantie

De kleinste hoektolerantie die is gevonden bedraagt 0,443 [Gr.]. Deze tolerantie is gerealiseerd met een ρ_D van 10 mm en een ρ_p van 1 mm. De W_0 -maat bedraagt 20 mm.

5. Analyse slijpsnelheid en kontaktdruk

5.1 Inleiding

Het gereedschap bij vrijbuigen is onderhevig aan slijtage. Door deze slijtage zal de inloopradius van de matrijs groter worden. Dit heeft automatisch uitwerking op de produkthoek (fig. 5.1.1).

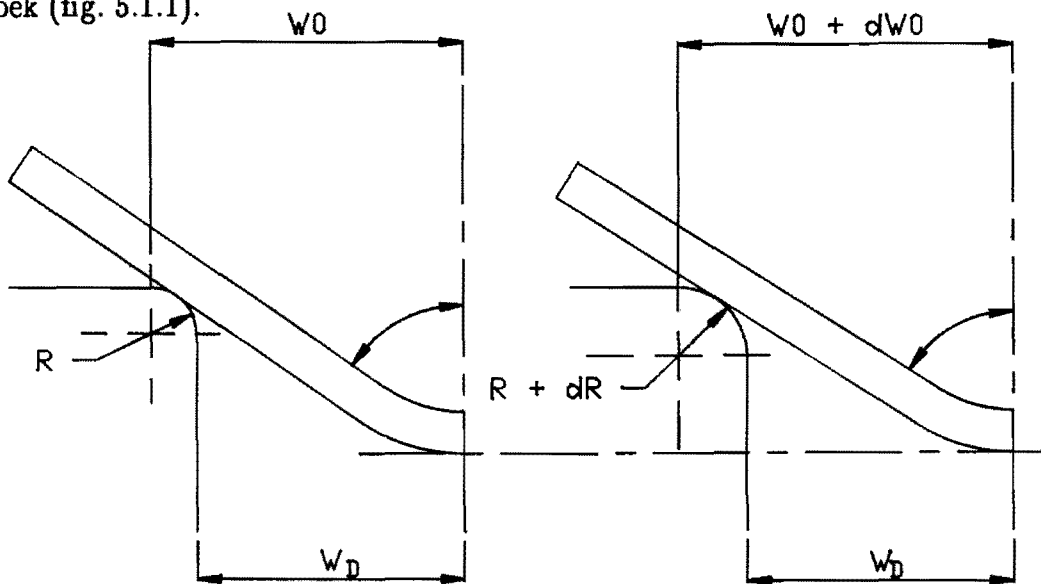


fig.5.1.1 Uitwerking slijtage op produkthoek

De W_D -maat blijft hetzelfde, maar de W_0 -maat neemt toe. Hierdoor zal de produkthoek dus ook toe gaan nemen.

Bij de bepaling van de slijtage zijn een aantal factoren van belang (zie figuur 5.1.2).

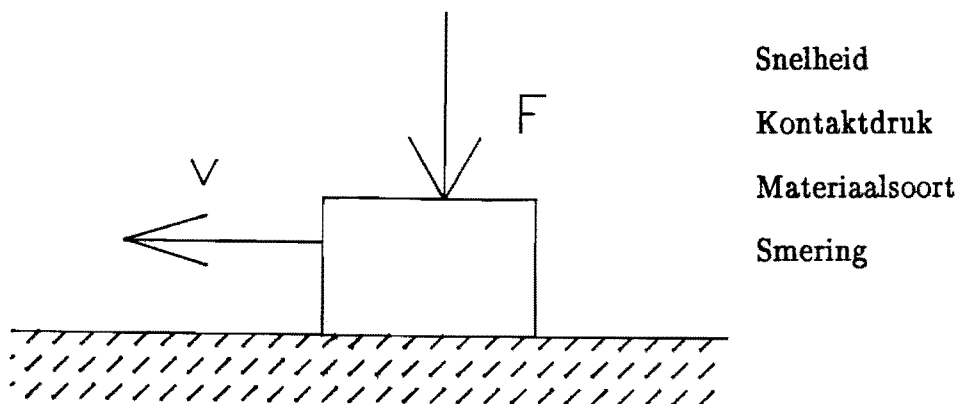


fig.5.1.2 Slijtagefactoren

In LIT[11] pag. 5.28, is een verband voor de slijtagesnelheid gegeven, namelijk:

$$\dot{h} = \text{factor} * \text{kontaktdruk} * \text{sleepsnelheid} = \text{factor} * \sigma_{\text{HZ}} * \dot{u}_{\text{sl}}$$

Waarbij 'factor' een constante is waarin de materiaaleigenschappen, de ruwheid, de smering, enz. verwerkt zit. Het produkt van kontaktdruk en sleepsnelheid zegt dus iets over de snelheid waarmee een gereedschap slijt. De snelheidsfactor en kontaktdruk bij vrijbuigen worden nu nader bekeken.

5.2 Sleepsnelheid bij vrijbuigen

Bij vrijbuigen beweegt een plaatje over een matrijsafroning. De snelheid waarmee dit gebeurt loopt van 0 m/s tot een bepaalde maximale waarde, terwijl de stempelsnelheid konstant blijft.

De snelheid langs de matrijsafronding in één punt is te berekenen, door de procesweg te bepalen voor een $\Delta\alpha$. De afstand die het plaatje over het matrijs sleept is afhankelijk van de grootte van de procesweg.

Het bepalen van de sleepsnelheid gaat als volgt:

De volgende twee aannames moeten worden gemaakt:

- Snelheid van de pers blijft konstant
- Dikte van plaatje blijft konstant

Tijdens het buigproces sleept het plaatje niet alleen over de afronding, maar er treedt ook gedeeltelijk zuiver rollen op (zie fig. 5.2.1).

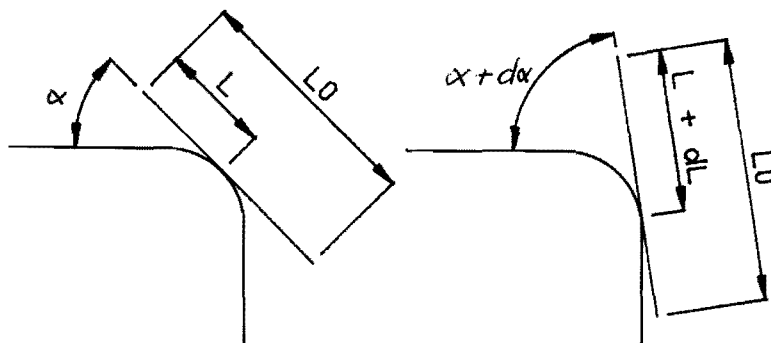


fig.5.2.1 Zuiver rollen

Door het zuiver rollen neemt het uiteinde L (in fig 5.2.1) in lengte toe (namelijk $L + dL$). In figuur 5.2.2 is de situatie te zien bij vrijbuigen.

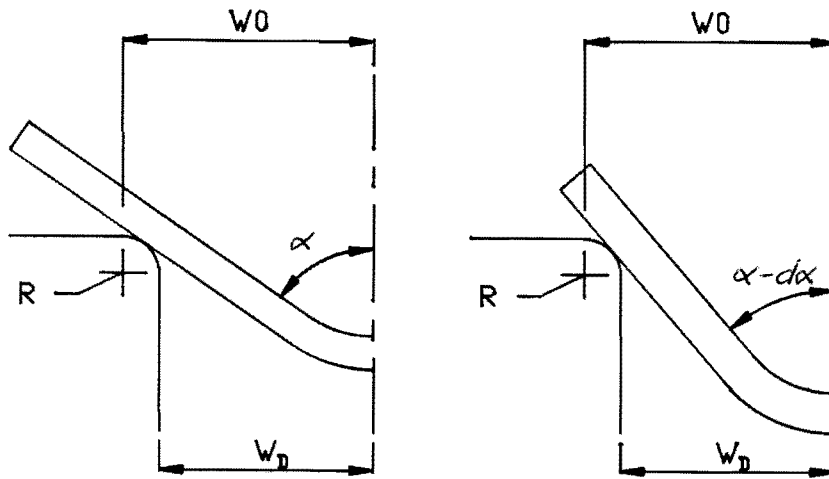


fig.5.2.2 Situatie vrijbuigen

Bij het buigen zal L in lengte afnemen. De zuiver gerolde lengte, die voor een lengte toename zorgt, is teniet gedaan door het slepen van de plaat over de matrijsafronding. Er kan worden geconcludeerd dat de totale gesleepte lengte bestaat uit de lengteafname van L vermeerderd met de zuiver gerolde lengte.

Het vrijbuig softwarepakket bepaalt de lengte van het plaatje vanaf het kontaktpunt van de matrijs tot aan de stempel (zie fig 5.2.3).

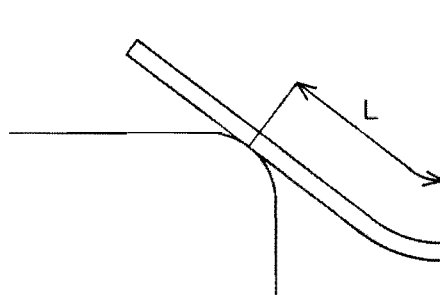
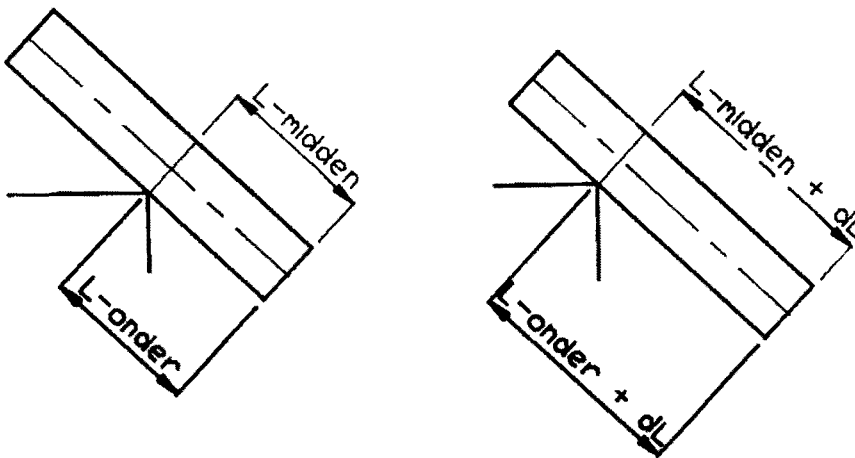


fig.5.2.3. Lengte van gebogen been tot kontaktpunt

De lengte die wordt bepaald is die van het middenvlak van het buigplaatje. De lengtetoe name van het middenvlak, door de verplaatsing van het stempel, is gelijk aan de lengtetoe name van het vlak dat over de afronding sleept. Dit is in te zien wanneer voor de afrondingsstraal 0 mm wordt gekozen (zie fig. 5.2.4). Door het zuiver rollen

treedt geen lengteverandering op, maar door het slepen zal L verlengen met dL . Het onder- en middenvlak ondervinden dezelfde lengteafname.



figuur 5.2.4 Bewijs $L_{\text{onder}} = L_{\text{midden}}$

Er kan nu worden uitgegaan van twee situaties, namelijk:

-situatie[1] : α

-situatie[2] : $\alpha + \Delta\alpha$

Op beide situaties kan de momentane procesweg (S) worden bepaald. Het verschil tussen beide proceswegen levert een ΔS op. Bij deze ΔS hoort een Δt . De totale lengte die het plaatje sleept over de matrijsafroning is te bepalen door:

$$u_{sl} = L_2 - L_1 + L_{zr}$$

Hierbij is L_{zr} de zuiver gerolde lengte. L_{zr} wordt bepaald door:

$$L_{zr} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{360} \cdot 2 \cdot \Pi \cdot \rho_D$$

\Leftrightarrow

$$L_{zr} = \frac{\Delta \alpha}{360} \cdot 2 \cdot \Pi \cdot \rho_D$$

Dus voor de snelheid volgt:

$$\dot{u}_{sl} = \frac{u_{sl}}{\Delta t}$$

5.3 Bepaling van de kontaktdruk

Het vrijbuig softwarepakket berekent de normaalkracht op het oppervlak van het plaatje. De normaalkracht F is in het buigprogramma (IOP_VB_1 t/m 8) gedefiniëerd per lengte eenheid. De afrondingsstraal van de matrijs is ingevoerd in het programma. De elasticiteitsmodulus en de dwarscontractie van de plaat worden ook ingevoerd. Voor het gereedschap worden elasticiteitsmodulus en dwarscontractie als constanten gedefiniëerd in het vrijbuigprogramma

Nu kan met behulp van de formule van Herz (zie lit[8], pag C36) de kontaktdruk worden berekend.

$$\sigma_{HZ} = \sqrt{\frac{1}{\pi} * \left\{ \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right\}^{-1} * \left\{ \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right\} * F}$$

Waarbij indice 1 bijvoorbeeld de matrijs voorstelt en indice 2 het buigplaatje. Aangezien de afrondingsstraal van het plaatje, ter hoogte van het oplegpunt, zeer groot is, wordt de factor $1/\rho_2$ gelijk aan nul. De formule van Herz wordt dan:

$$\sigma_{HZ} = \sqrt{\frac{1}{\pi} * \left\{ \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right\}^{-1} * \frac{1}{\rho_1} * F}$$

6. Conclusies

De werking van het vrijbuig softwarepakket is redelijk goed te noemen. Er treden afwijkingen op bij alle produkthoeken. Deze afwijking is niet voor elke procesweg en produkthoek even groot. Zo blijkt dat bij proceswegen groter dan 25 mm, de afwijking in de berekende hoek toeneemt. Bij produkthoeken kleiner dan 50° , wordt de afwijking in de berekende procesweg ook groter. Dan blijkt ook nog dat aluminium AL S1 voor alle produkthoeken een grotere afwijking vertoont dan staal SP/D. Verder blijkt bij aluminium bijna alle berekende hoeken kleiner te zijn dan de werkelijke. Bij staal SP/D schommelt daarentegen de berekende waarde om de werkelijke heen.

De materiaalgegevens hebben invloed op de produkthoek (belast en onbelast). Door op C , n , s_0 en ϵ_0 een spreiding te zetten, varieert de onbelaste hoek binnen een gebied van 5.53 [Gr.Min]. Deze variatie op de materiaalgegevens is een verklaring voor het vaste hoekverschil dat een onvoorkombaar probleem vormt in de praktijk.

Een goede mogelijkheid om het vaste hoekverschil kleiner te maken is het aanpassen van de gereedschapsgeometrie. Bepaalde combinaties van matrijswijdten en afrondingsstralen hebben een gunstige uitwerking op het hoekverschil. De grafieken in bijlage [E] kunnen in de praktijk toegepast worden. Afhankelijk van de benodigde gebogen geometrie kan een optimale gereedschapsgeometrie uitgekozen worden. De grafieken kunnen nog worden uitgebreid voor bijvoorbeeld verschillende plaatdikten en materialen.

Het vrijbuig softwarepakket biedt de mogelijkheid om stukken software eraan toe te voegen. Een voorbeeld hiervan is een slijtage berekening. Een begin hiervoor is gemaakt door een routine te schrijven waarmee de sleepsnelheid en de kontaktdruk kan worden berekend. Deze routine is ingebouwd in IOP_VB_7. De sleepsnelheid die wordt berekend is dimensieloos. Om een snelheid te bepalen moet dit dimensieloze getal worden vermenigvuldigd met de snelheid van de pers. De sleepsnelheid is een factor van de stempelsnelheid.

6.1 Conclusies en aanbevelingen

Wanneer gebruik wordt gemaakt van het vrijbuig-pakket, moet er op gelet worden dat de invoer op de juiste wijze gebeurt. Met name de matrijswijdte kan problemen opleveren. Bij de vrijbuigversies met twee blokken moet voor de matrijswijdte de W_0 maat ingevuld worden. Bij de vrijbuigversies met het v-blok kunnen niet zoveel fouten worden gemaakt. De matrijswijdte die in dit geval ingevuld moet worden is aangegeven in figuur 6.1.1.

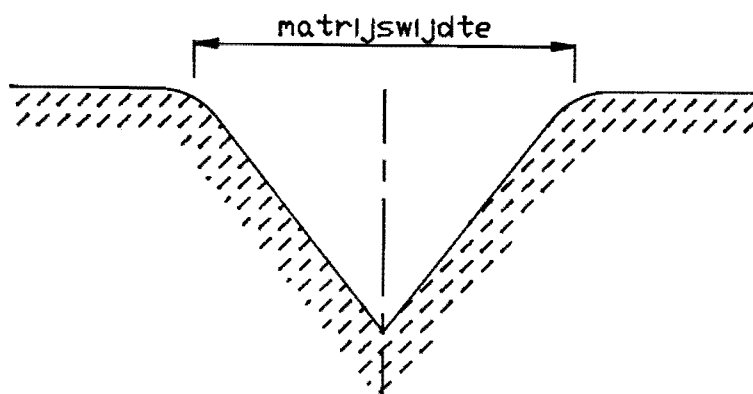


Fig 6.1.1 Matrijswijdte bij V-blok

In hoofdstuk 4 wordt besproken hoe de invloed van de materiaatgegevens op de tolerantie van de onbelaste hoek verkleind kan worden door verschillende gereedschappen te onderzoeken. Er kan nog meer onderzoek hiernaar gedaan worden. Hierbij is te denken aan het experimenteren met andere gereedschapvormen en hun

invloed op verschillende hoekgeometriën. De theoretische waarden kunnen dan worden geverifieerd door ze te vergelijken met waarden uit de praktijk. Interessant is om grafieken te ontwikkelen die in de praktijk te gebruiken zijn, zodat voor elke hoekgeometrie het beste gereedschap kan worden uitgekozen.

BIJLAGE A
NAUWKEURIGHEID METING CONTOURFOTO'S

Nauwkeurigheid van de metingen van de contourfoto's

Bij het opmeten van de belaste hoeken is gebruik gemaakt van kopieën van de contourfoto's. Al de foto's zijn genomen door een zogenaamd raster. Eventuele verstoringen in de foto door het ontwikkelproces of door het kopieëren van de foto zijn nu eenvoudig op te sporen.

De belaste hoek kan op twee manieren bepaald worden.

- Door het tellen van de hokjes in het raster in x- en y-richting. De hoek is dan de tangens van $\frac{\text{aantal } y}{\text{aantal } x}$
- Of door te controleren of het raster geen onregelmatigheden vertoont en vervolgens met een hoekmeter de hoeken af te lezen.

Het raster kan gecontroleerd worden door binnen een afstand van 50 mm. in x- en y-richting het aantal hokjes te tellen. Dit gebeurt voor een aantal contourfoto's. Het blijkt dat het aantal hokjes in de y-richting groter is als het aantal hokjes in de x-richting. Voor de grootste afstand wordt gevonden:

x-richting: 24 hokjes

y-richting: 24,5 hokjes

Bij het tellen van het aantal hokjes wordt een fout gemaakt van $\pm \frac{1}{4}$ hokje. Dus in het slechtste geval zijn er op een afstand van 50 mm. in de y-richting 24,75 hokjes en in de x-richting 23,75 hokjes.

Een rechte lijn onder 45° , in werkelijkheid, zal op de vertekende kopie een steiler verloop hebben. (fig. 2.3.1)

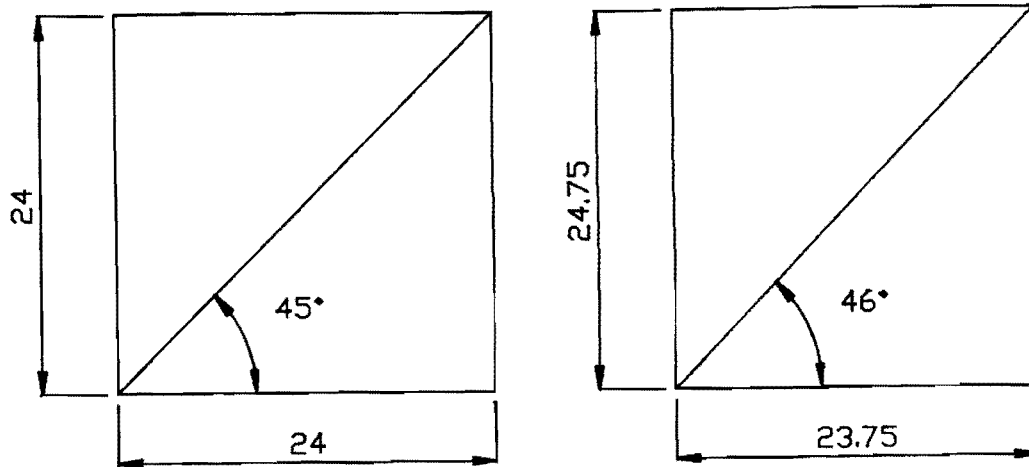


fig. 2.3.1 Invloed vertekening op verloop van een lijn

Hoe steiler het verloop van de oorspronkelijke lijn, des te groter zal de afwijking worden in de contourfoto. Dit komt omdat de y -richting een steeds grotere invloed krijgt.

Dus als een hoek wordt opgemeten in een contourfoto met een hoekmeter, zal de werkelijke produkthoek kleiner zijn. De grootte van de afwijking is afhankelijk van de grootte van de hoek.

In plaats van een hoekmeter kan de produkthoek ook bepaald worden door de hokjes van het raster in x - en y -richting te tellen. De tangens van y/x levert de halve produkthoek op (zie fig.2.3.2)

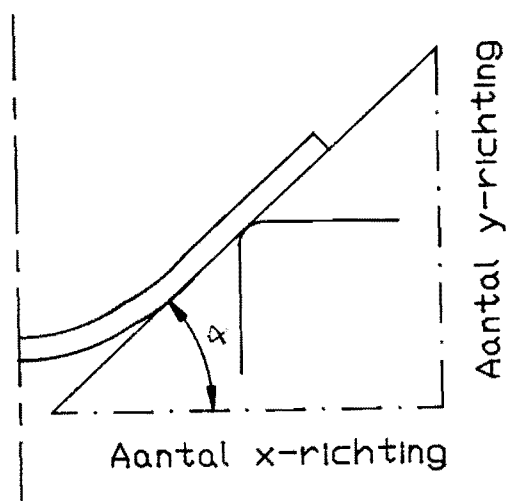


fig 2.3.2 Hoekbepaling door het tellen van hokjes

Het blijkt dat de hoek die wordt berekend met het raster een afwijking vertoont ten opzichte van de produkthoek gemeten met de hoekmeter van $+/- 1^\circ$.

Dit houdt in dat het meten met de hoekmeter, in tegenstelling tot wat eerst werd beweerd, redelijk nauwkeurig te noemen is. Het kleine verschil tussen de twee methoden is te verklaren door de wijze waarop de hoeken zijn opgemeten.

In LIT[3] staan de voorschriften om een produkthoek goed op te meten. In dat rapport wordt uitgegaan dat er werkelijk aan het plaatje gemeten wordt. Tijdens dit onderzoek zijn in plaats van werkelijke produkten, contourfoto's gebruikt om de hoek te bepalen. Dus er kan niet volgens de voorschriften worden gemeten. Figuur 2.3.3 laat zien waar de fout ligt bij het opmeten van een contourfoto met een hoekmeter.

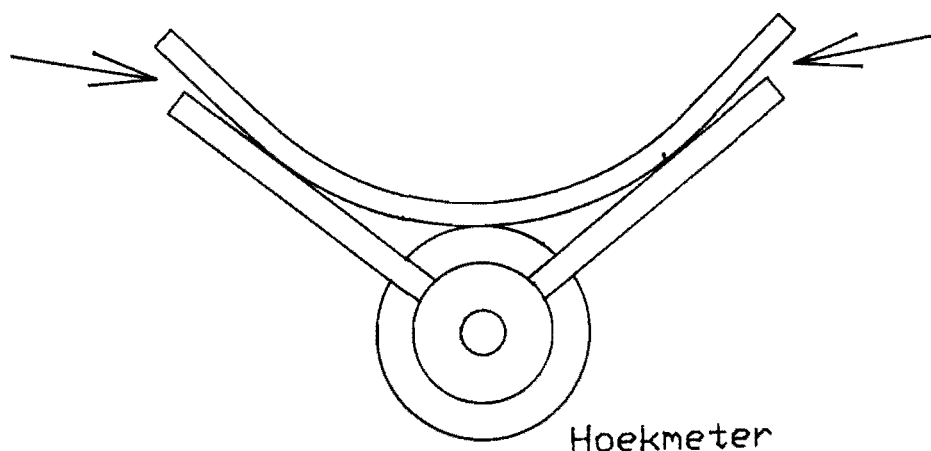


fig.2.3.3 Situatie meting contourfoto

De hoekmeter wordt telkens tegen de onderkant van het plaatje aangelegd. De produkthoek die wordt afgelezen is groter dan de werkelijke. Dit komt omdat bij het aanleggen van de hoekmeter tegen het plaatje wordt gestreefd naar een zo groot mogelijk te meten gebied. Zoals in figuur 2.3.3. te zien is, ligt de hoekmeter niet precies langs het plaatje. Bij de pijlen is er ruimte tussen de benen van de hoekmeter en van het plaatje.

Conclusie: Het meten met een hoekmeter van een contourfoto gebeurt met een nauwkeurigheid van $\pm 1^\circ$.

BIJLAGE B
VERIFICATIE VRIJBUIG-PAKKET

In deze bijlage bevinden zich de tabellen met werkelijke en berekende waarden voor de belaste hoek en de procesweg. In de bijbehorende grafieken zijn de waarden van de afwijkingen bijgeschreven. Een positieve afwijking betekent dat de berekende waarde groter is dan de werkelijke waarde. Een negatieve waarde betekent dat de berekende waarde kleiner is dan de werkelijke waarde.

A1101100	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=66$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
9.5	141.10	141.19	9.56
20.4	103.35	102.25	20.02
30	78.3	76.02	28.97
39.7	59.25	56.2	37.97

A1101170	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=36$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
10.6	101.45	103.11	10.83
21.8	53	51.35	21.36
29.9	34.4	30.44	28.05
39.9	22	-	34.81

A1101180	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=46$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
9.7	122.35	123.46	9.92
20.5	76.15	75.32	20.31
29.6	51.4	49.23	28.64
39.6	35	30.45	36.91

A1101190	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=56$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
9.6	133	134.05	9.84
19.7	94.15	93.14	19.41
29.9	66.3	63.43	28.77
39.6	48.2	44.28	37.35

A1101500	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=62$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg

0	180	180	0
5.1	159.55	157.51	4.62
9.9	140.5	137.4	9.13
19.8	103.4	101.21	19.09
29.7	77.25	73.55	28.25
41.1	58.25	51.41	37.17
45.1	50.35	45.38	41.8

A1101570	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=32$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg

0	180	180	0
4.8	142.4	139.24	4.41
10.2	96.3	94.11	9.91
19.6	42.45	41.06	19.13
30	20.05	-	29.25

A1101580	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=42$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg

0	180	180	0
4.9	151	148.31	4.51
9.9	119.1	118.22	9.78
19.7	72.2	70.48	19.31
30.1	44	41.51	29.05
39.6	29.45	-	37.46
44.9	24.15	-	41.93

A1101590	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=52$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg

0	180	180	0
4.8	157.05	155.07	4.42
10.7	127.4	126.06	10.36
20	92	88.14	18.95
29.9	62	59.57	29.02
39.8	45.3	41.29	37.28
44.9	38.4	-	41.73

F1101160	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=36$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
9.8	108.3	109.41	9.99
19.5	62.45	62.05	19.32
30.1	36.3	33.25	28.6
40	26.1	-	34.23

F1101170	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=46$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
10.6	118.45	120.03	10.96
19.4	82.05	81.31	19.6
29.4	53.5	52.27	29.31
40.3	36	32.41	38.95

F1101180	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=56$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
10.1	130.55	132.25	10.46
19.6	95.1	95.1	19.6
29.5	67.2	66.5	29.31
39.3	48.05	47.31	38.95

F1101190	$\rho_D=3$	$\rho_P=3$	$W_0=66$	Alle maten in [mm]
----------	------------	------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
9.6	139.35	141.18	10.06
19.3	105.15	107.08	19.89
29.5	78.3	79.03	29.73
39.6	58.1	58.43	39.92

F1101500	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=62$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
4.8	158.3	159.03	4.97
10.4	135.35	136.1	10.55
20.3	100.4	101.05	20.43
30.2	73.1	74.23	30.75
39.7	57	56.02	39.11
45.1	49.55	-	43.7

F1101570	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=32$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg
0	180	180	0
4.8	140.45	-	4.71
10	97.2	96.18	9.88
20.1	40.2	40.1	20.07
32.4	18.05	-	-
39.9	14.45	-	-

F1101580	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=42$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg

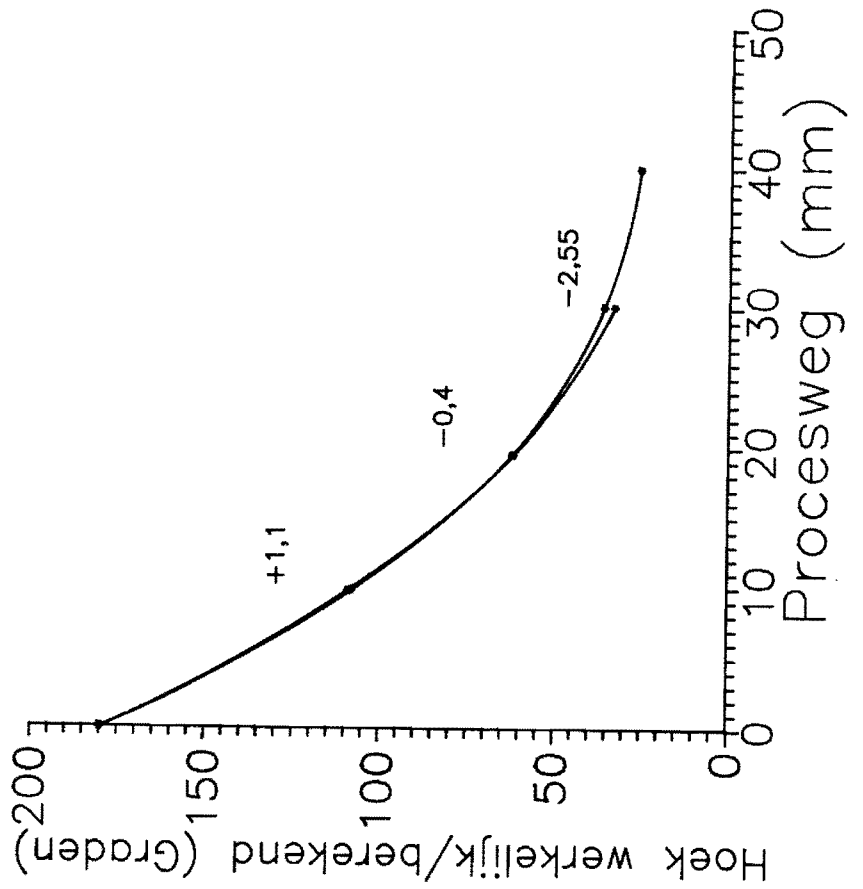
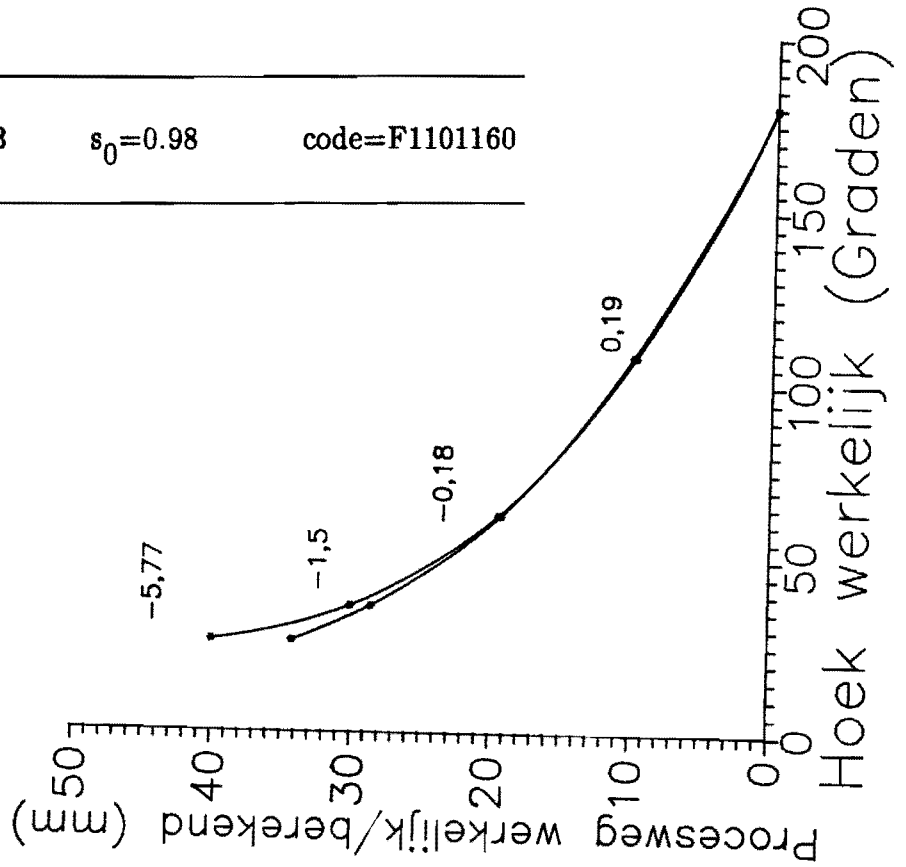
0	180	180	0
5.1	147.3	147.41	5.13
11.3	110.3	111.16	11.44
20.1	71.1	70.13	19.76
30.6	41.55	42.05	30.67
40.1	27.2	-	40.66
45	22.55	-	44.95

F1101590	$\rho_D=1$	$\rho_P=10$	$W_0=52$	Alle maten in [mm]
----------	------------	-------------	----------	--------------------

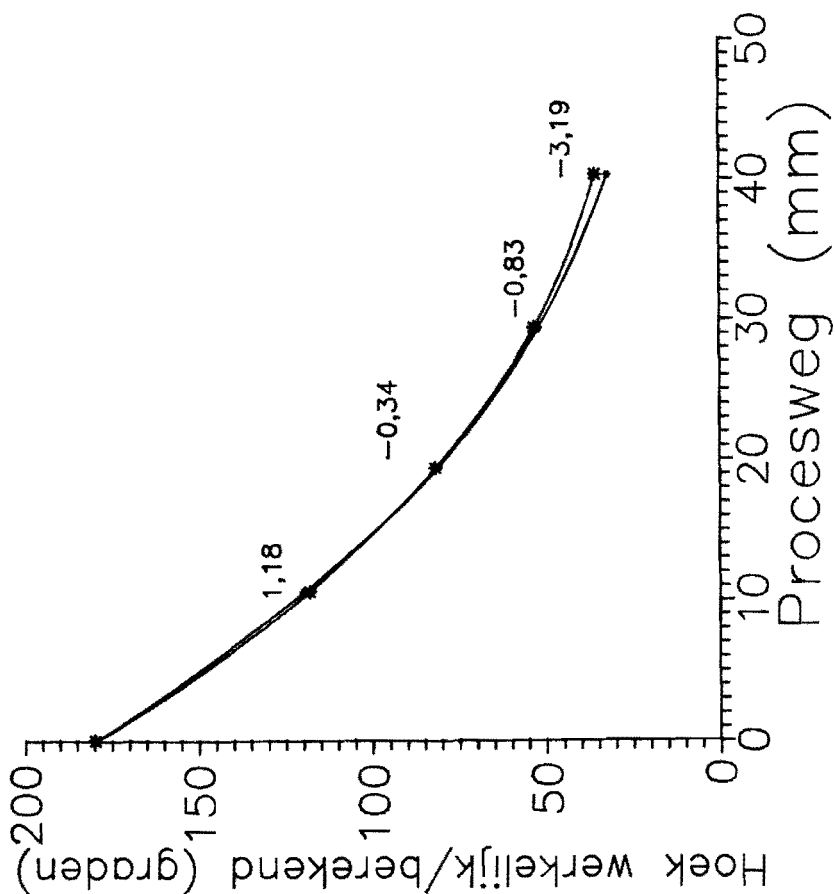
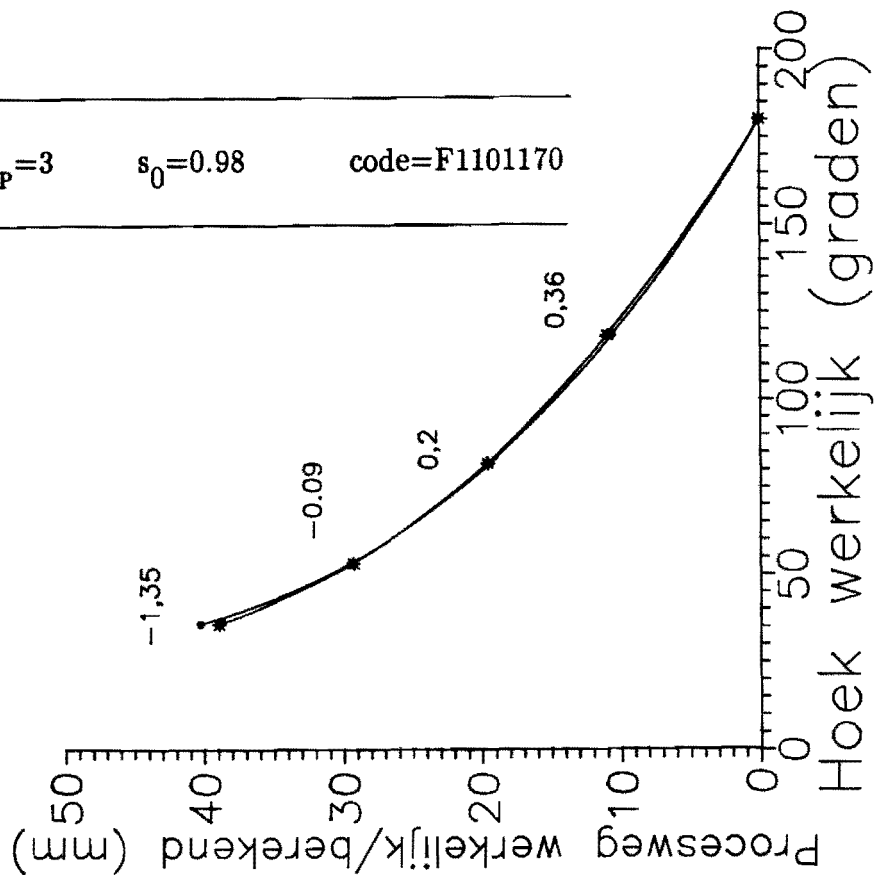
Werkelijke		Berekende	
Procesweg	Belaste Hoek [gr.min]	Belaste Hoek [gr.min]	Procesweg

0	180	180	0
4.8	156.35	155.12	4.57
9.9	130.25	130.36	9.94
19.9	90.1	89.4	19.77
30.2	61.55	60.38	29.63
39.8	44	43.16	39.3
45.1	35.45	-	45.51

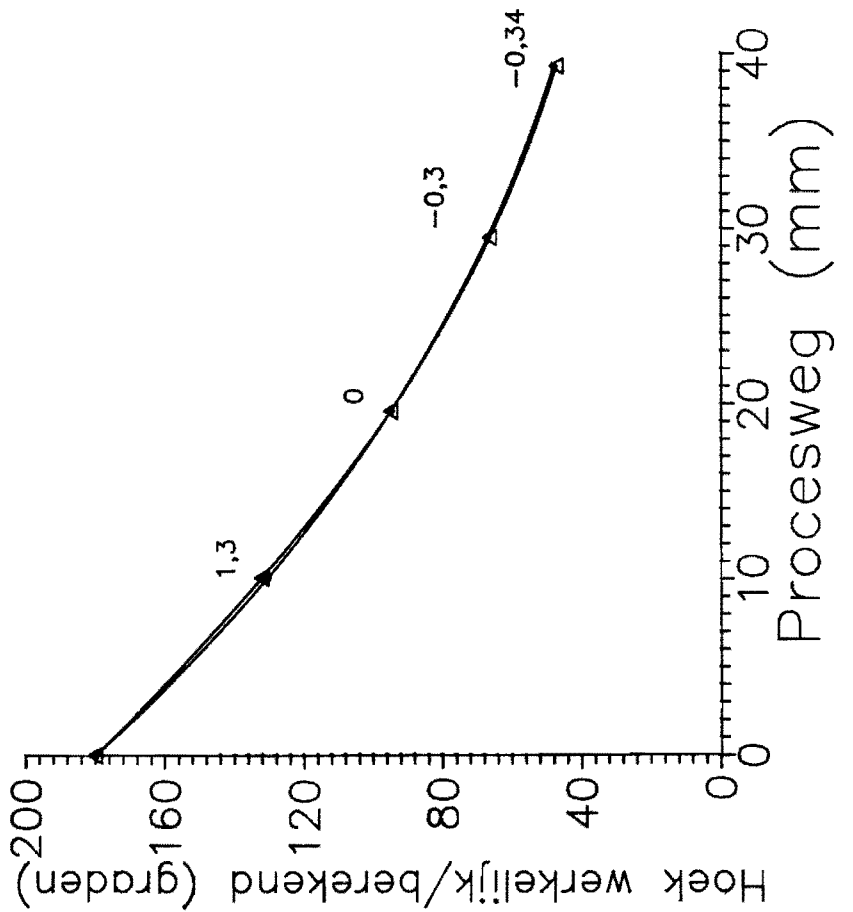
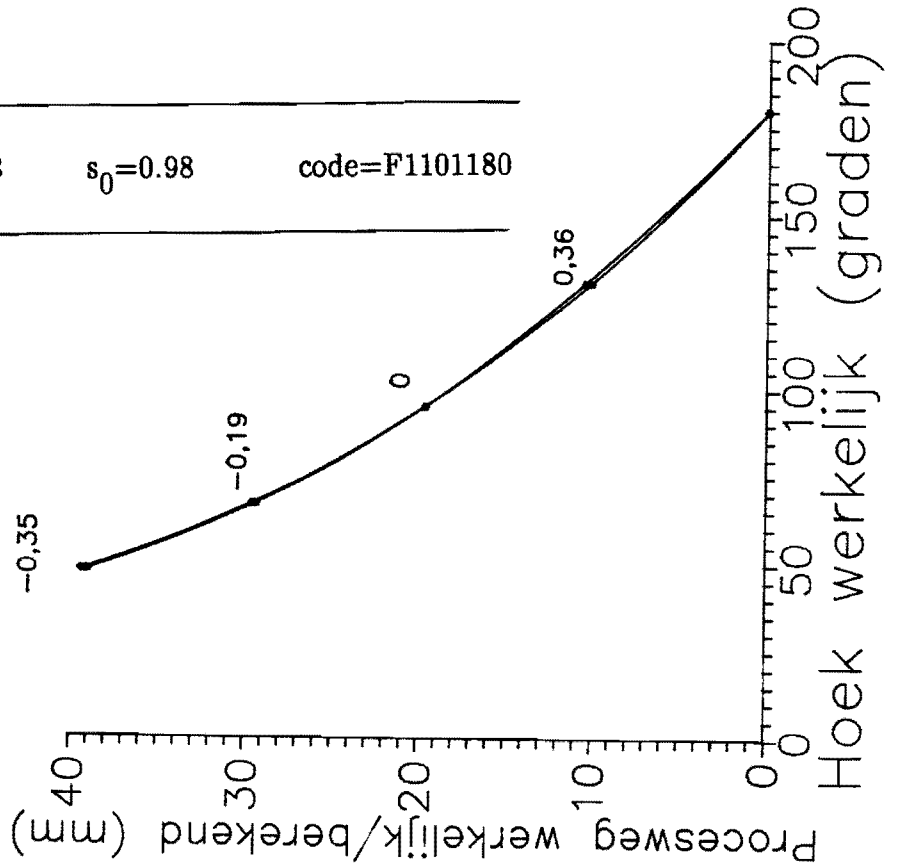
$W_0=36$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $s_0=0.98$ code=F1101160



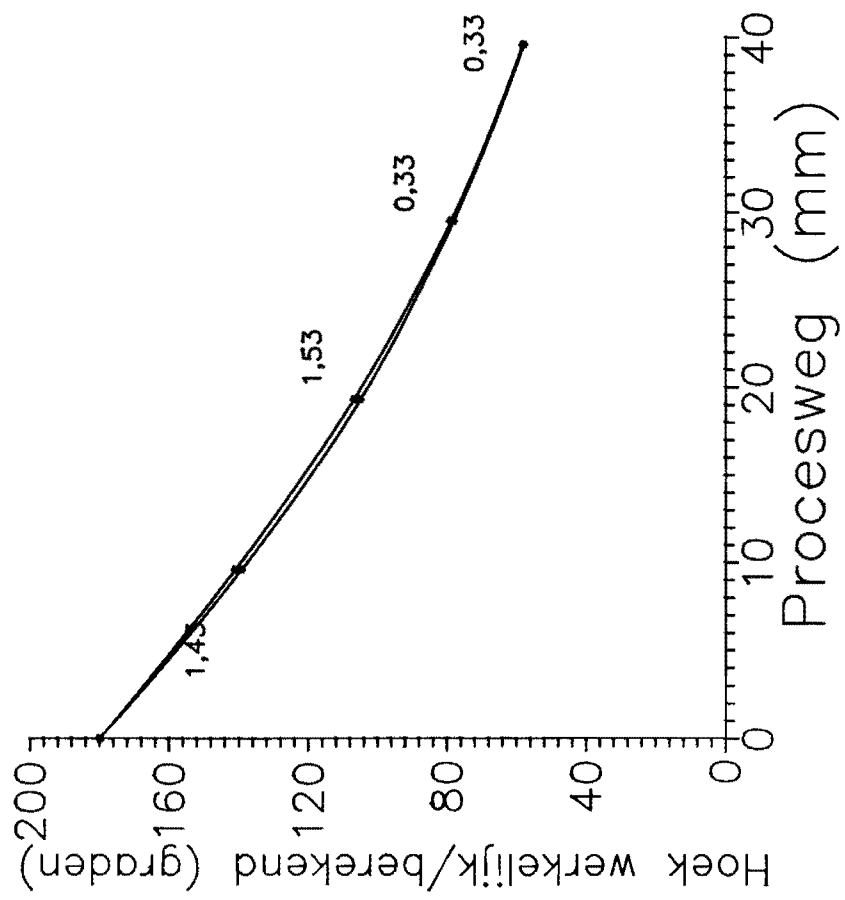
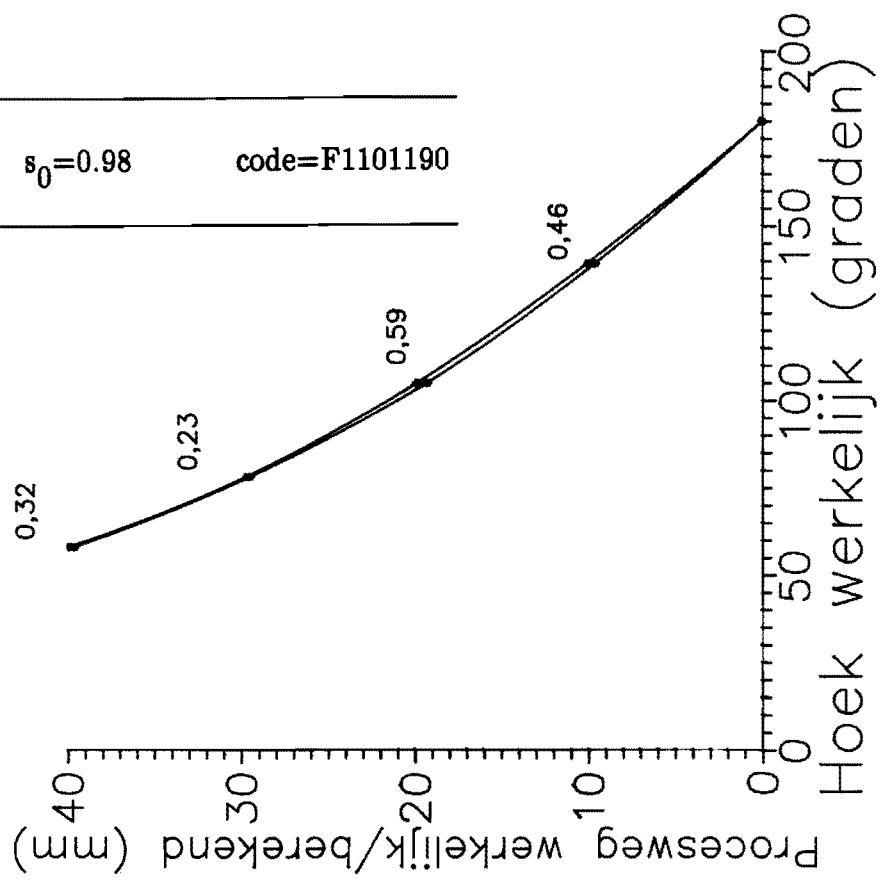
$W_0=46$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $s_0=0.98$ code=F1101170



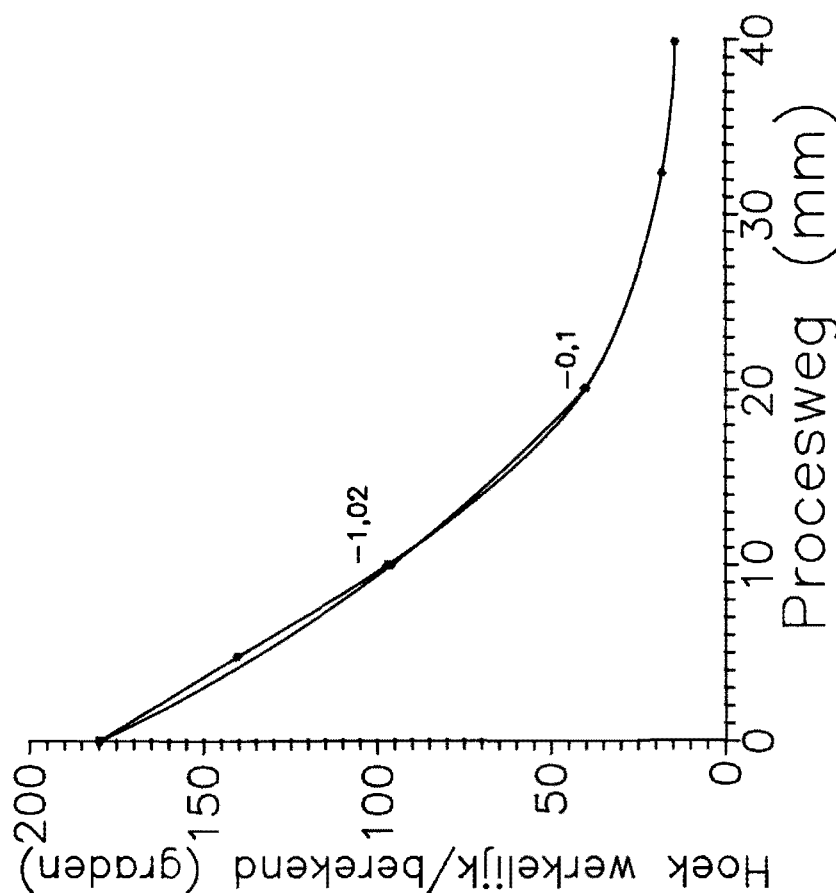
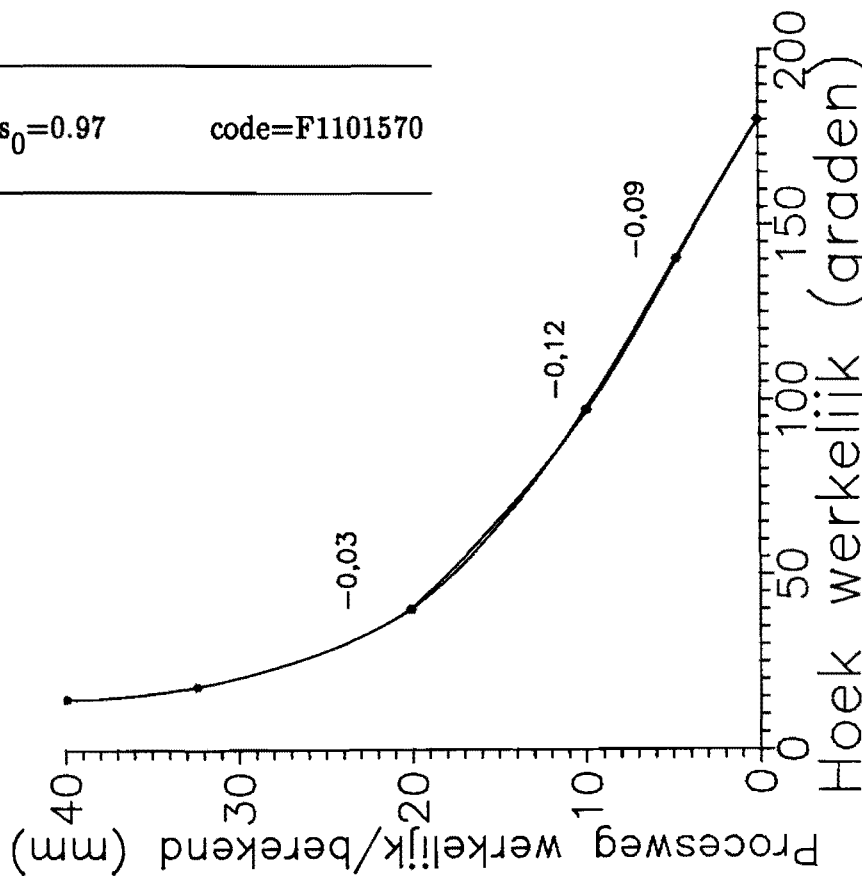
$W_0=56$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $s_0=0.98$ code=F1101180



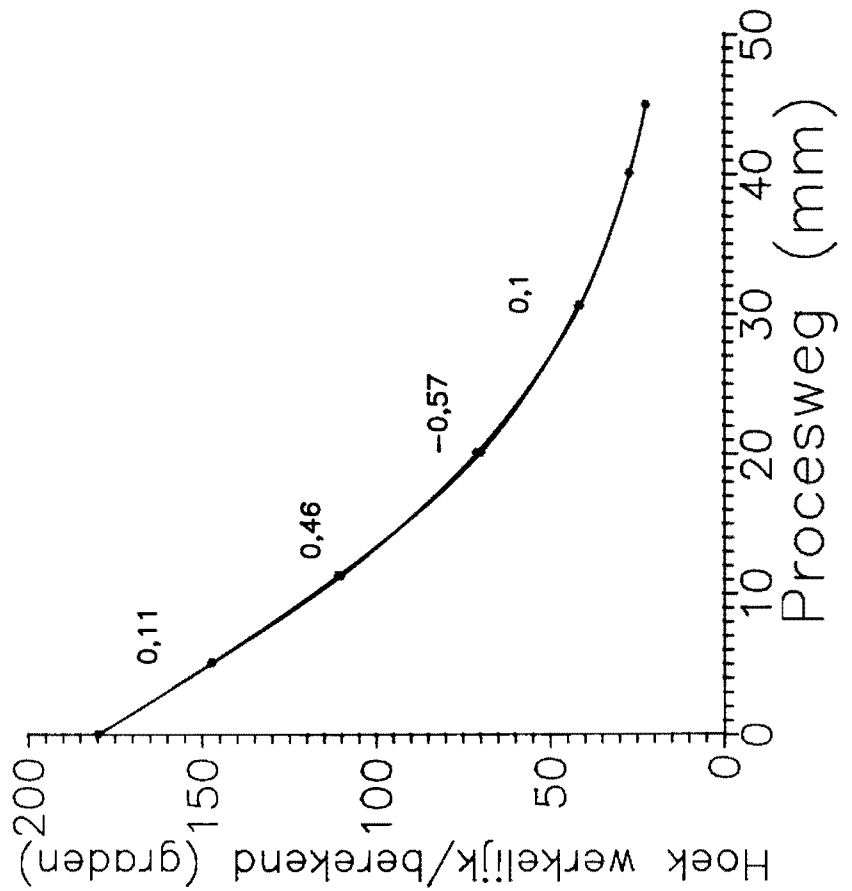
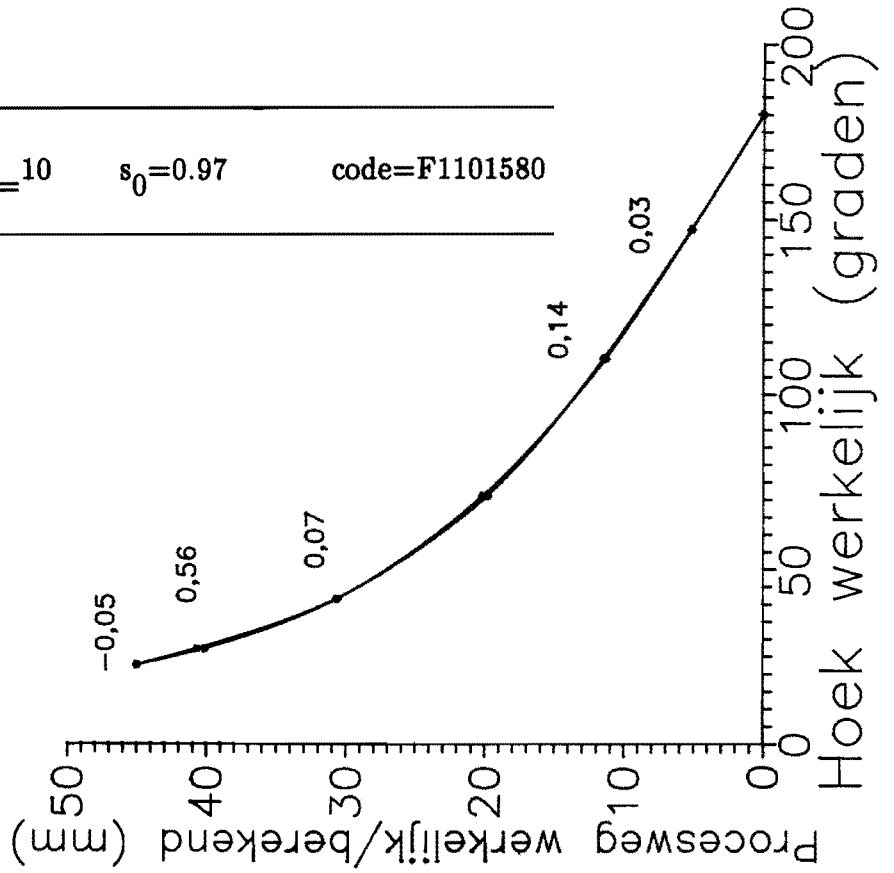
$W_0=66$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $\varepsilon_0=0.98$ code=F1101190



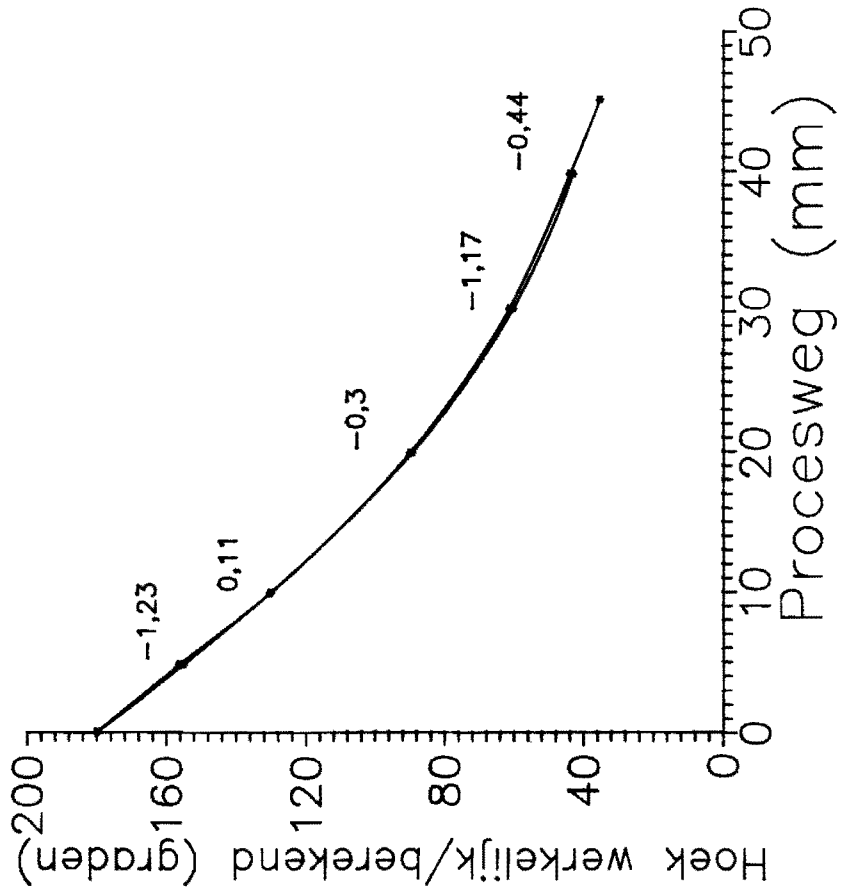
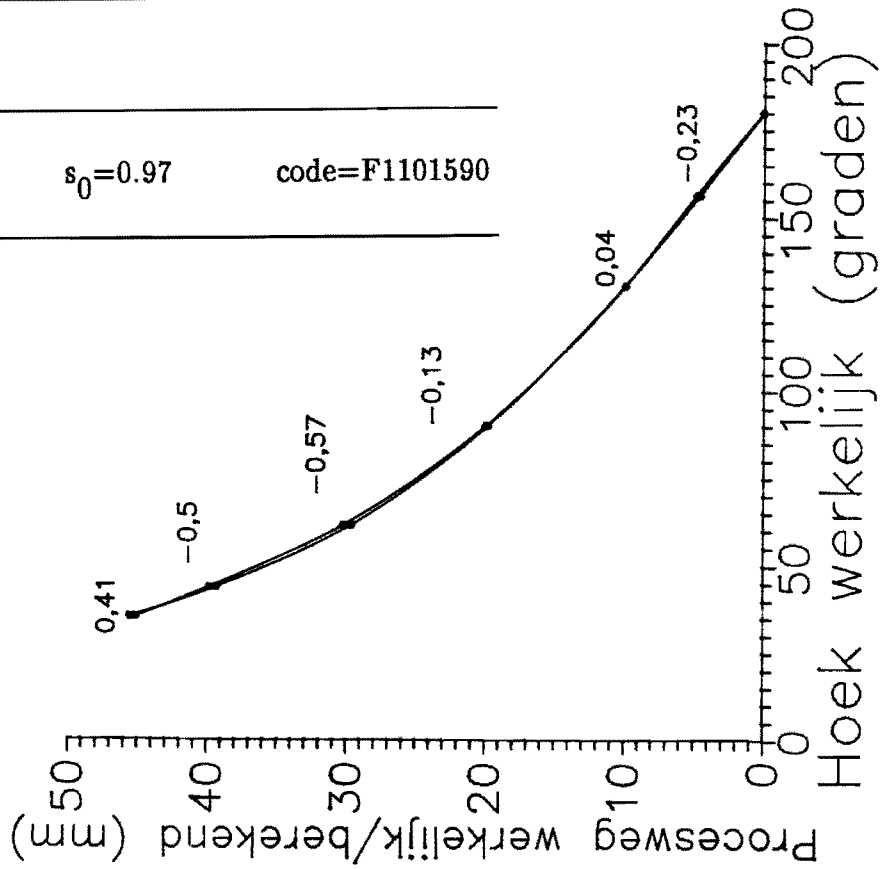
$W_0=32$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=0.97$ code=F1101570



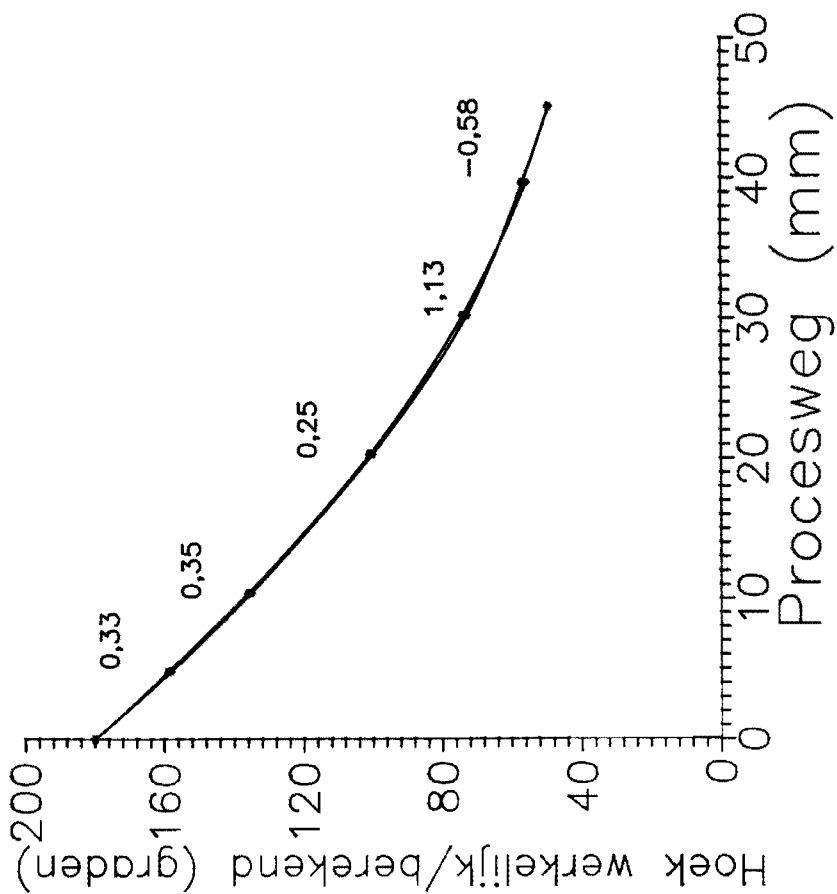
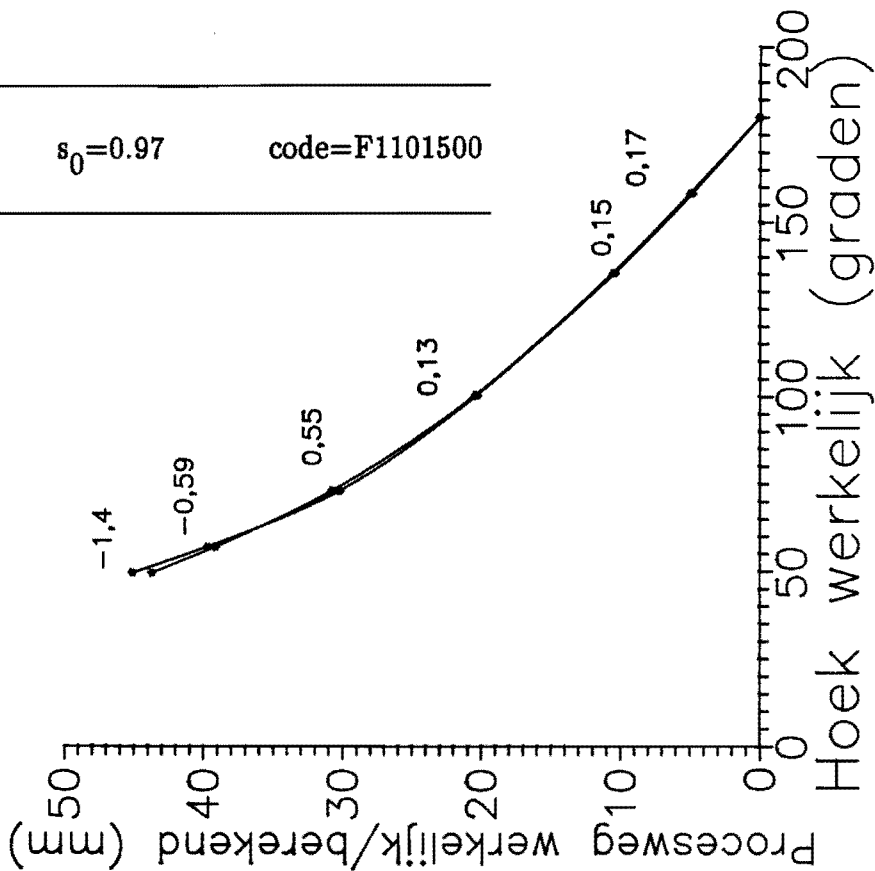
$W_0=42$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=0.97$ code=F1101580



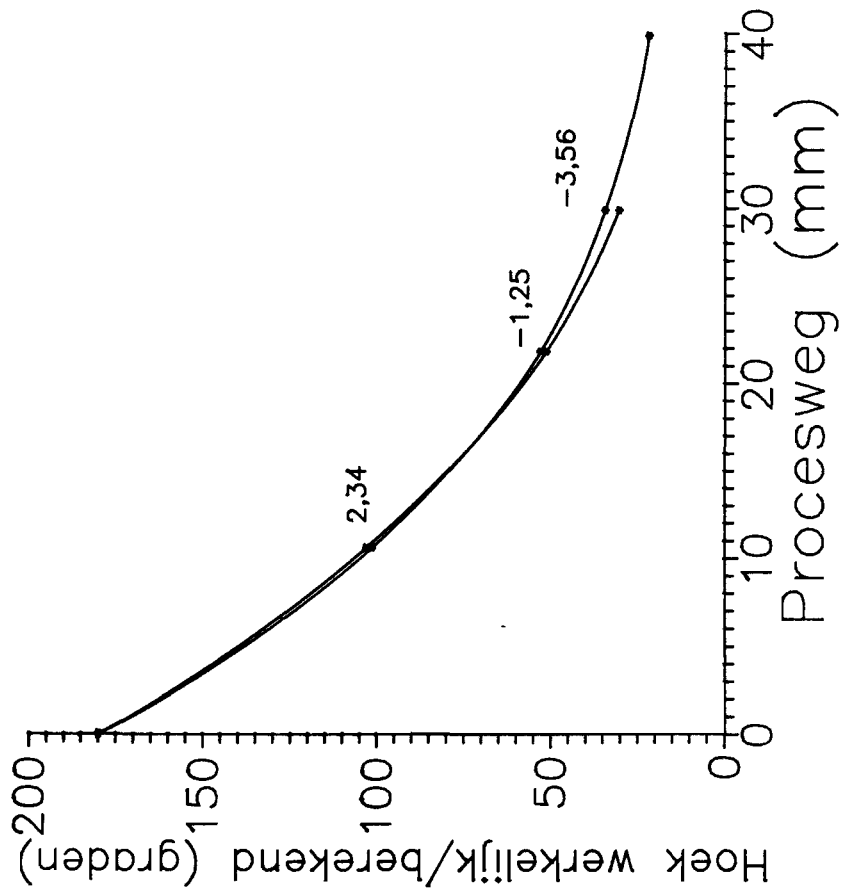
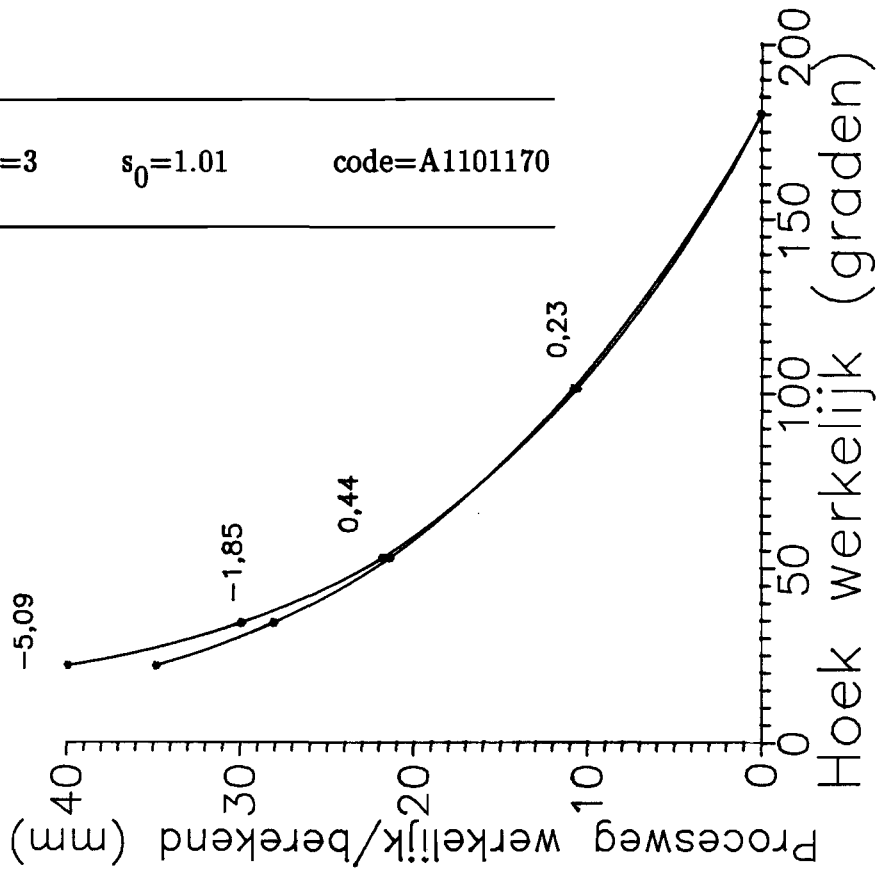
$W_0=52$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=0.97$ code=F1101590



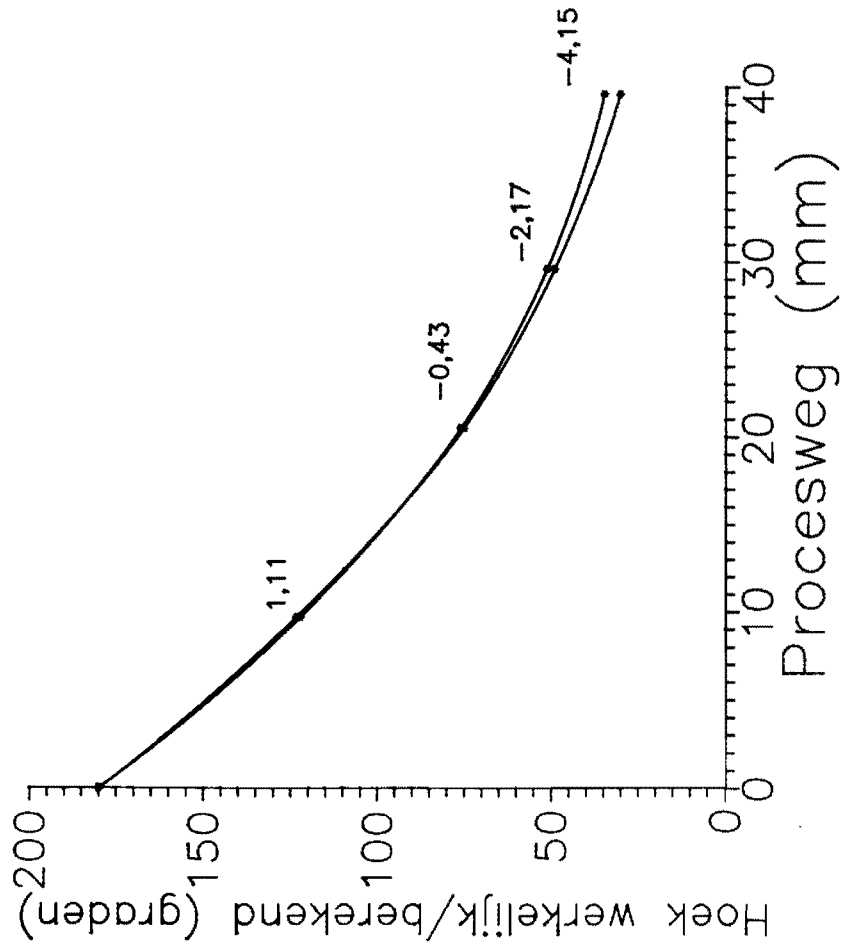
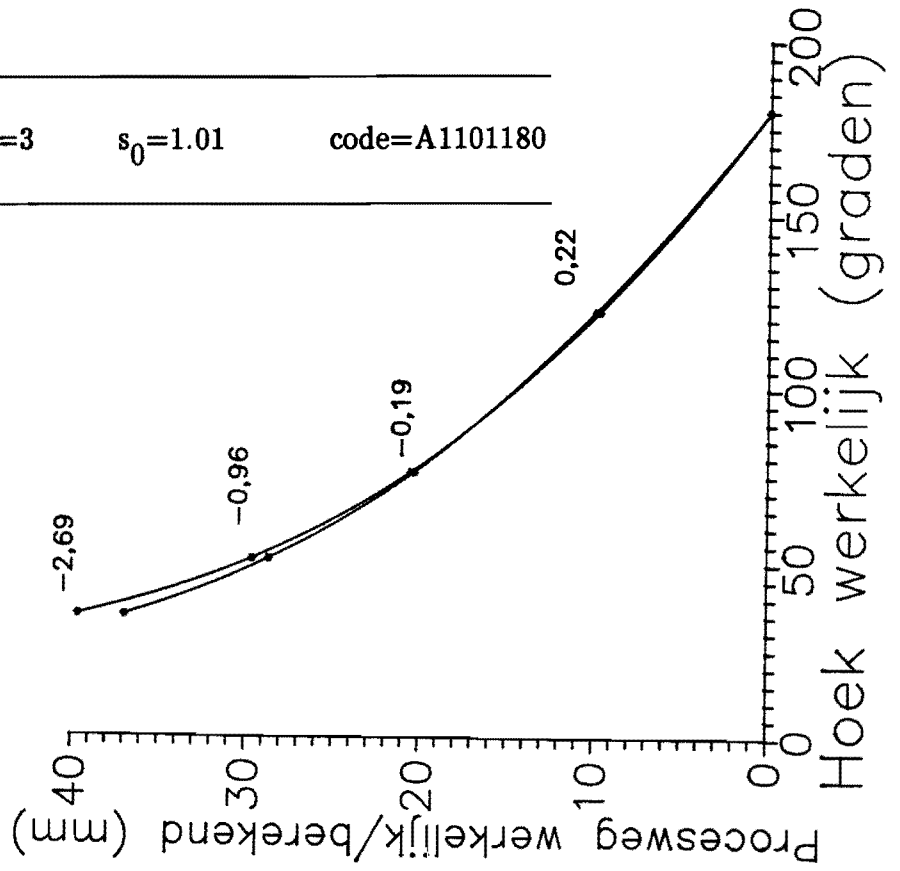
$W_0=62$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=0.97$ code=F1101500



$W_0=36$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $s_0=1.01$ code=A1101170



$W_0=46$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $s_0=1.01$ code=A1101180



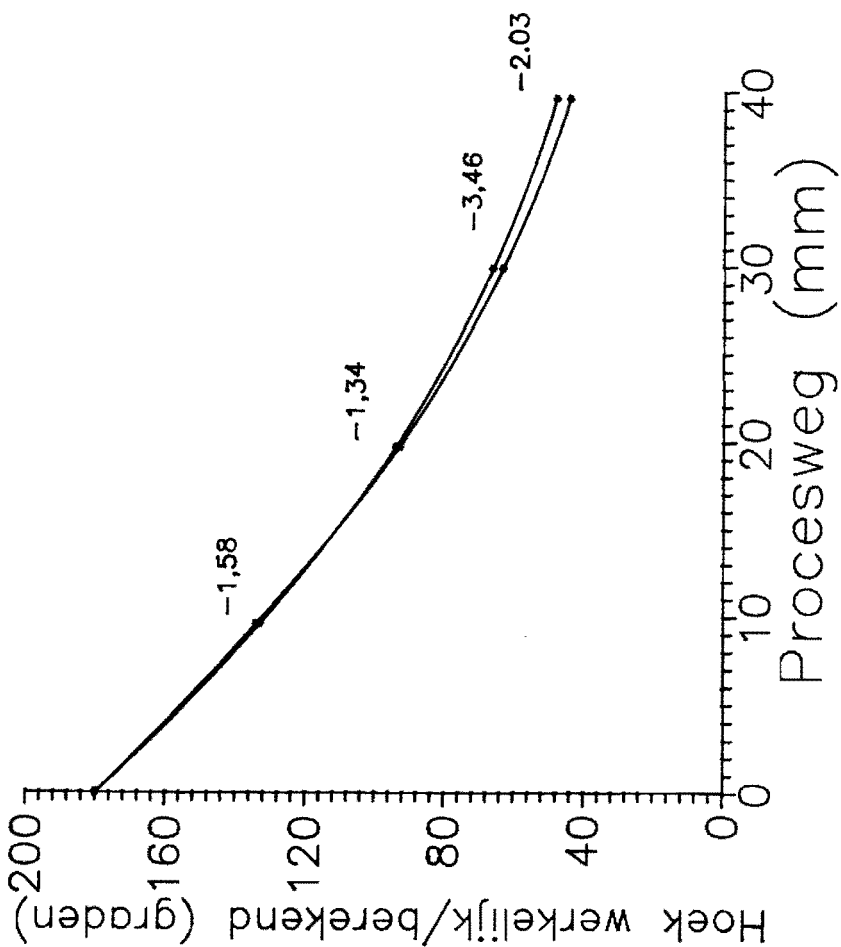
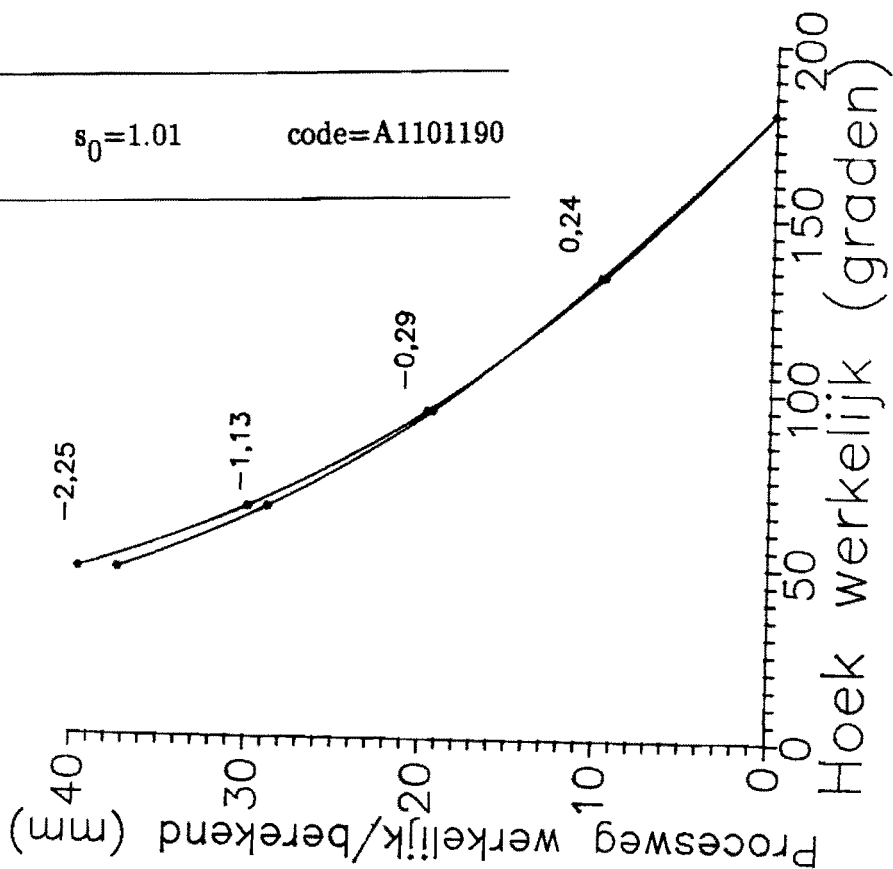
$W_0=56$

$\rho_D=3$

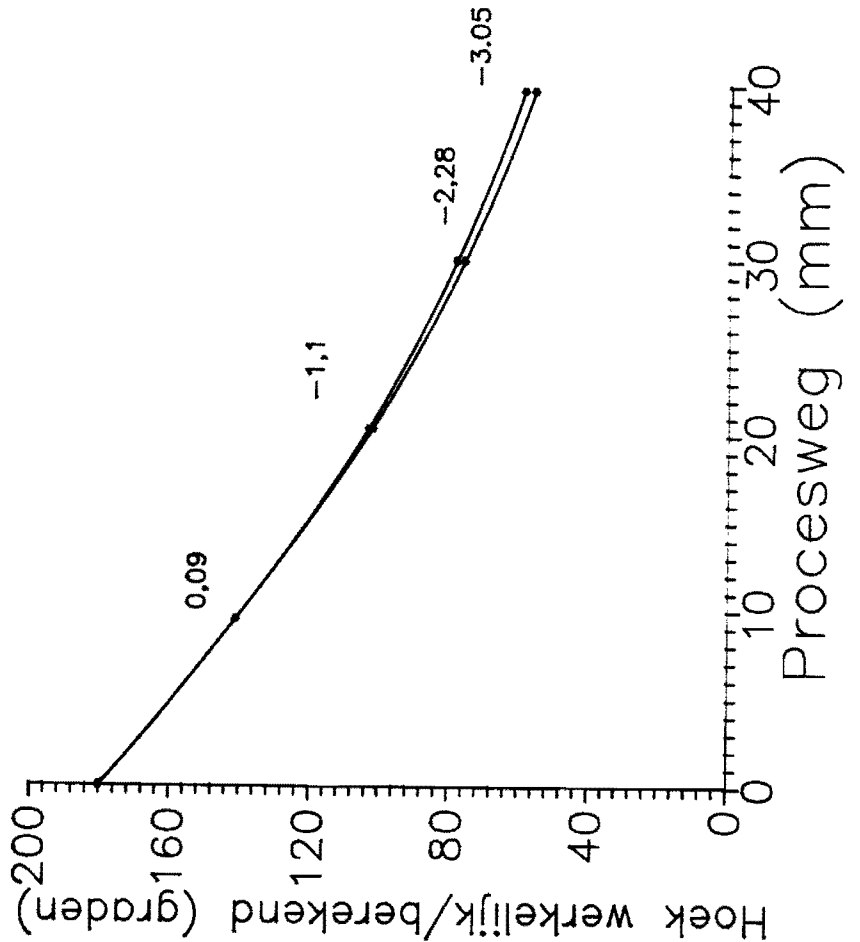
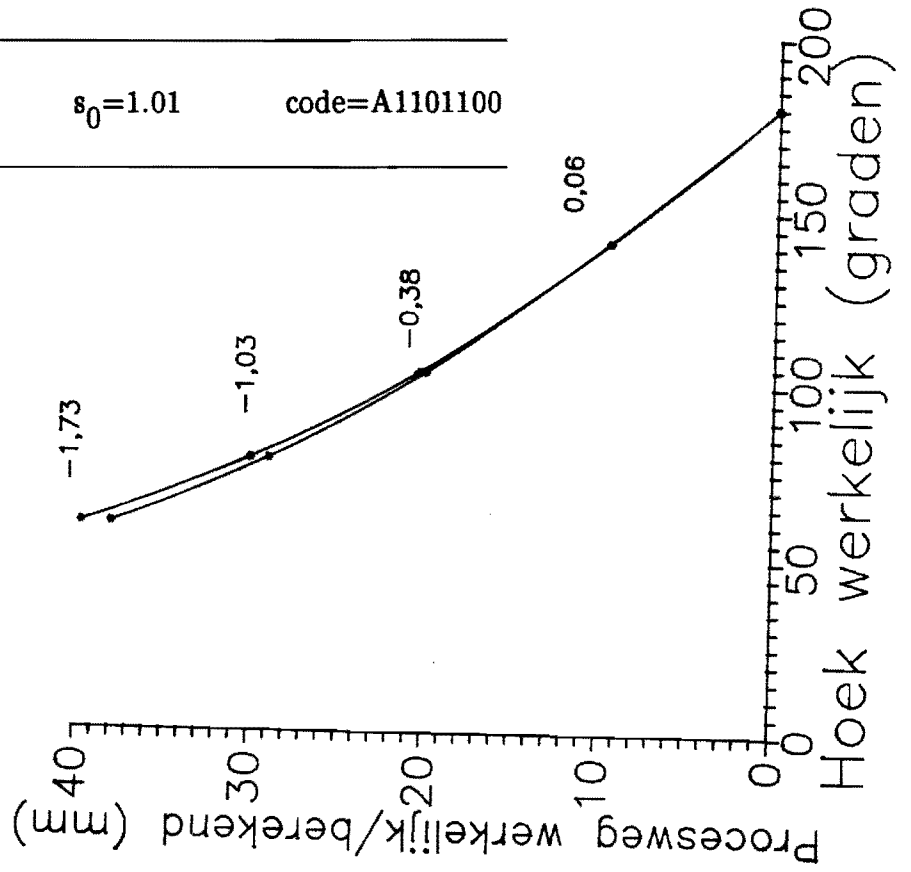
$\rho_P=3$

$s_0=1.01$

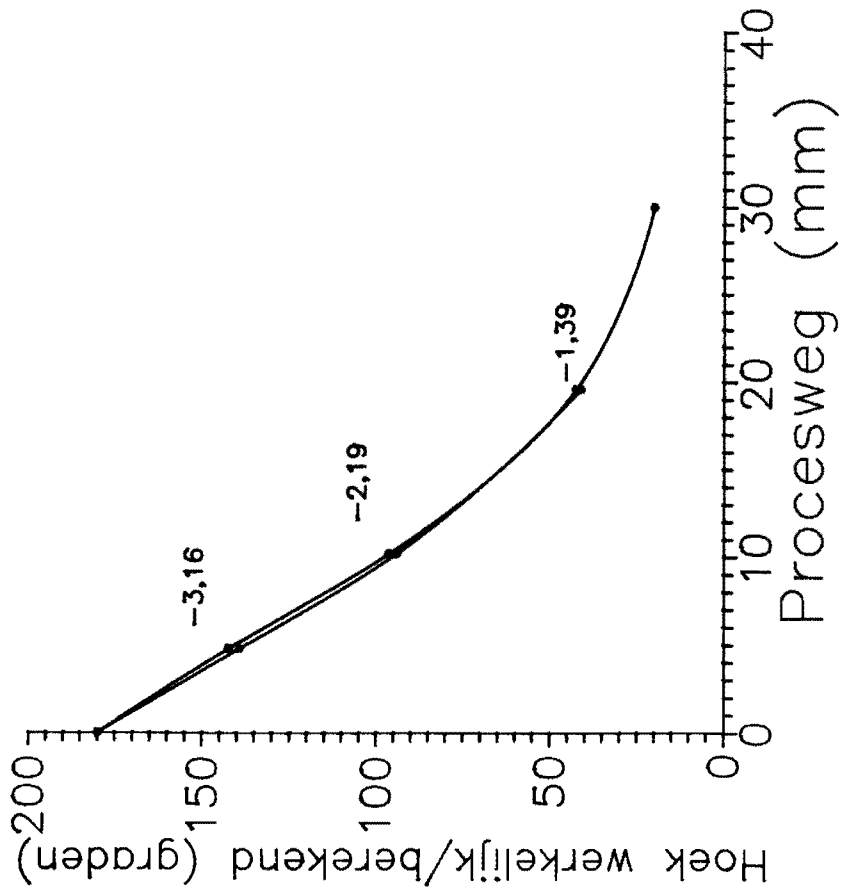
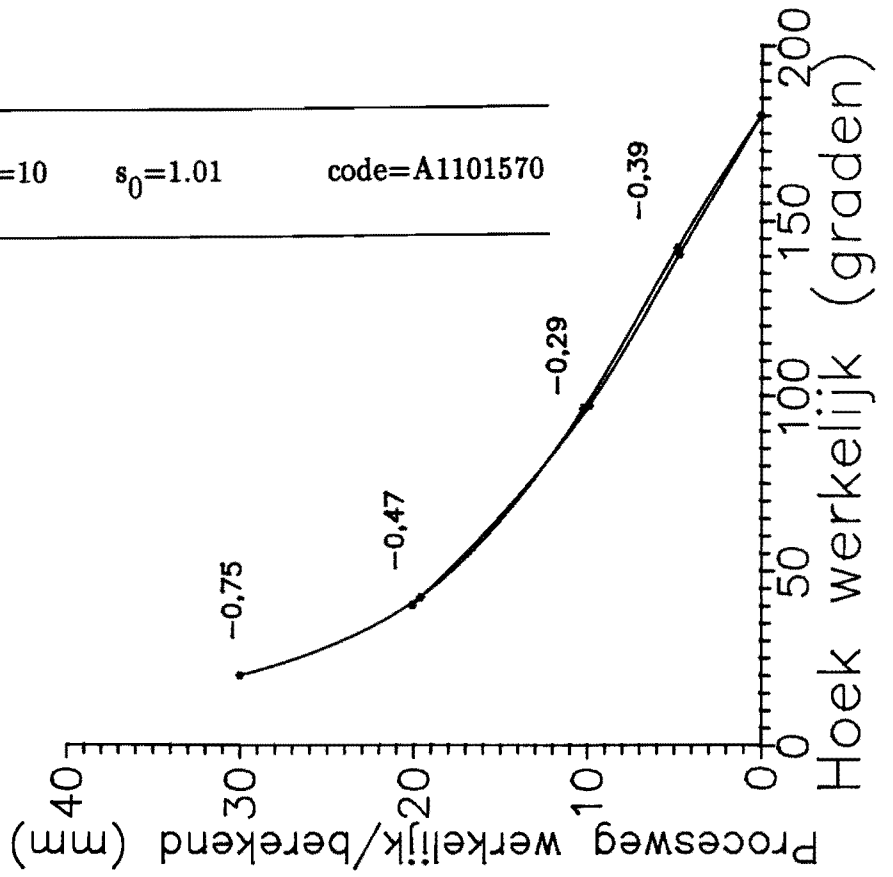
code=A1101190



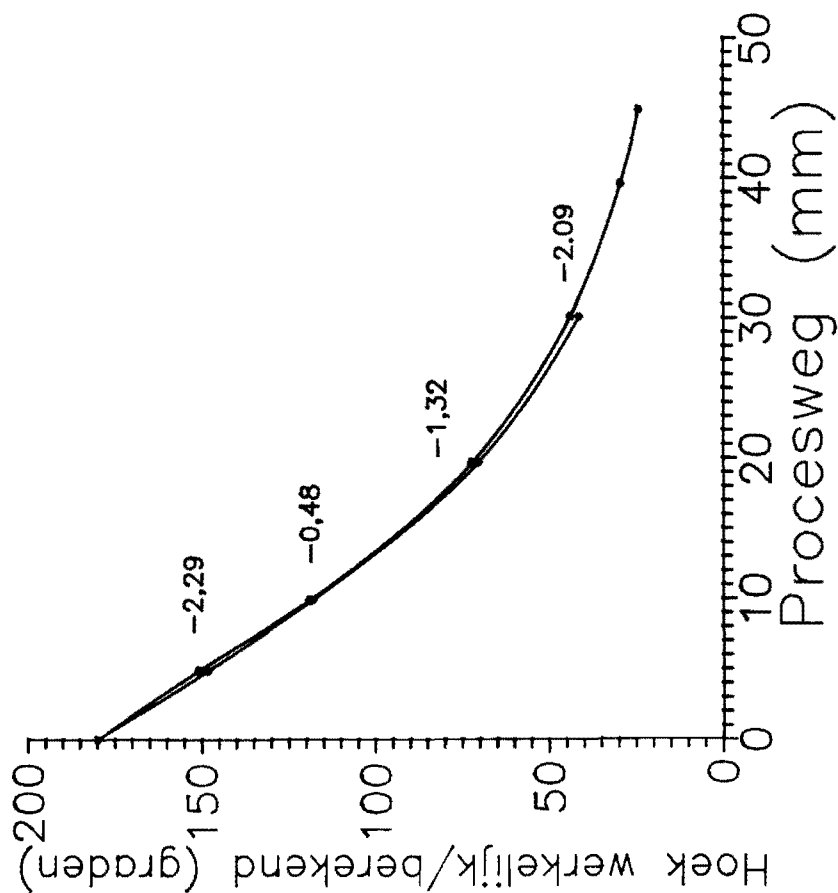
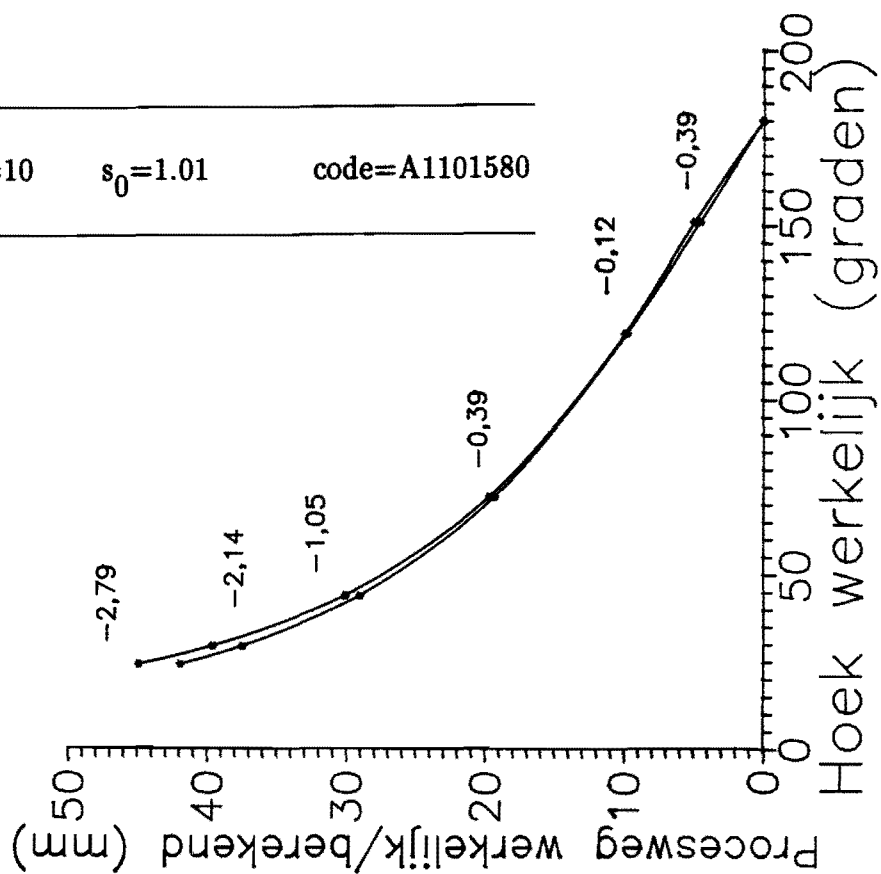
$W_0=66$ $\rho_D=3$ $\rho_P=3$ $s_0=1.01$ code=A1101100



$W_0=32$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=1.01$ code=A1101570



$W_0=42$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=1.01$ code=A1101580



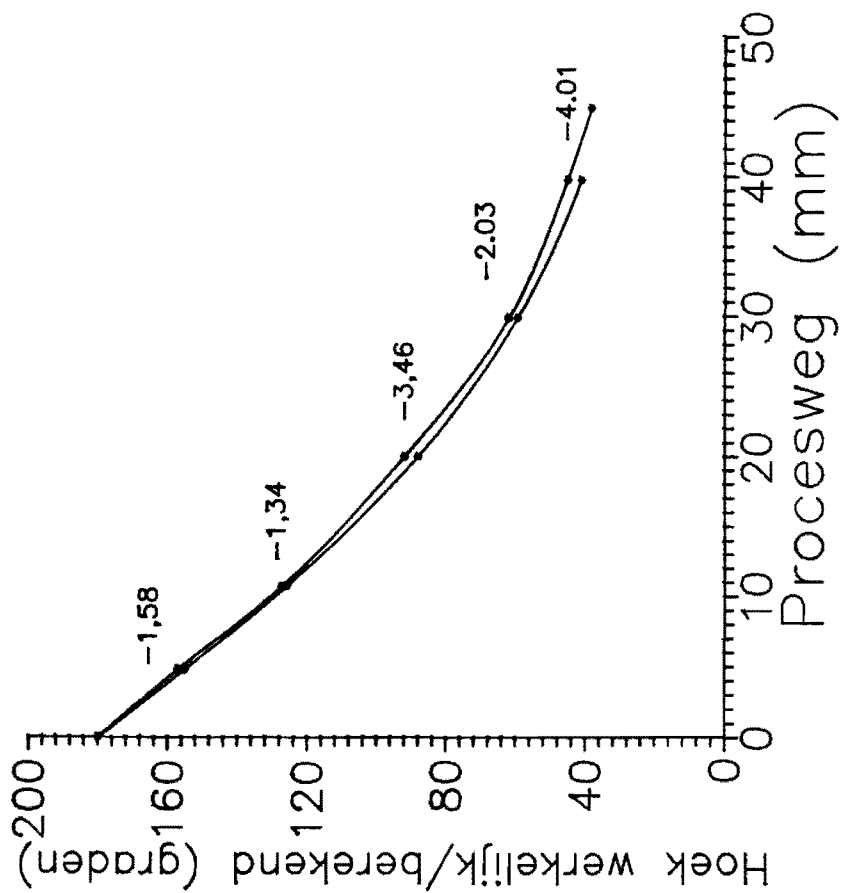
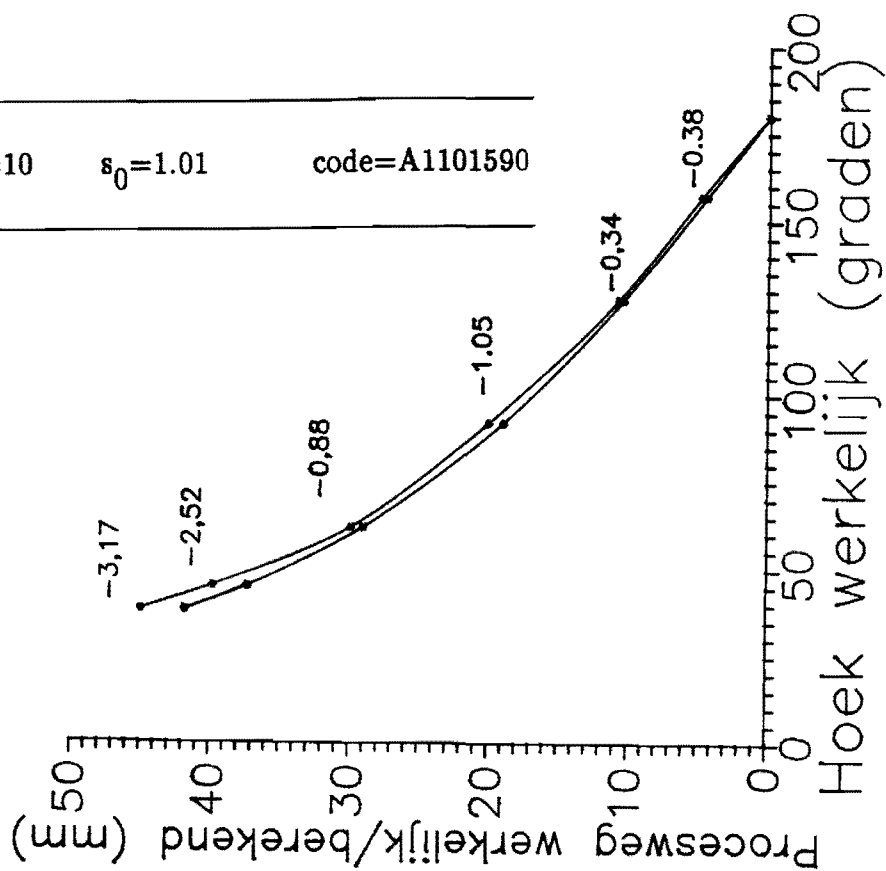
$W_0=52$

$\rho_D=1$

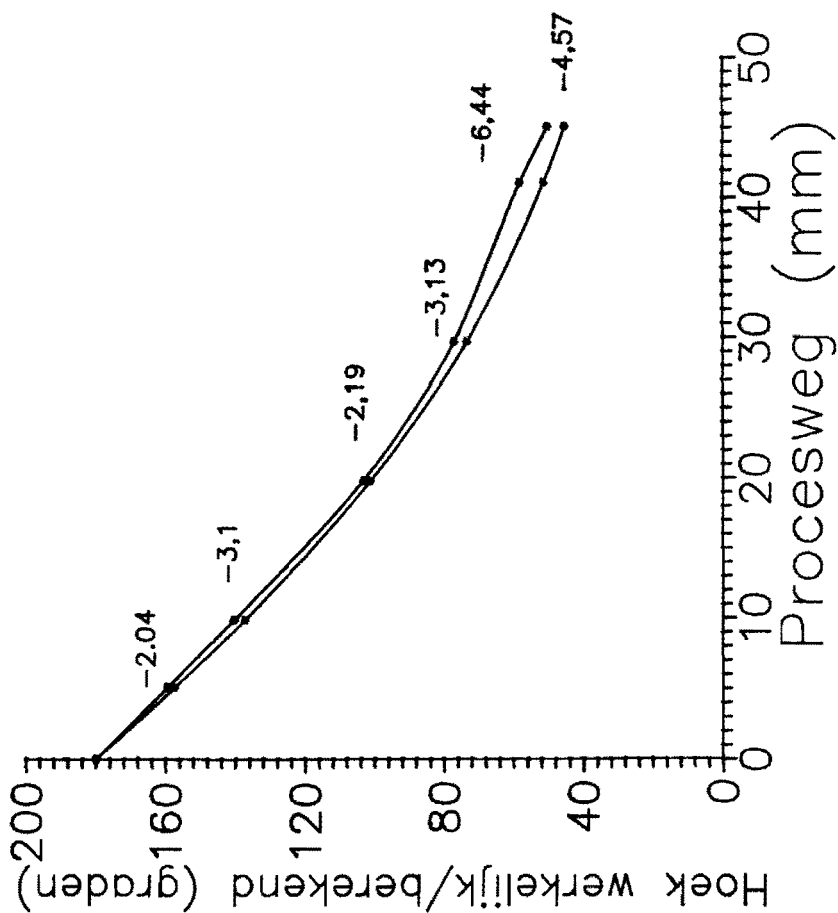
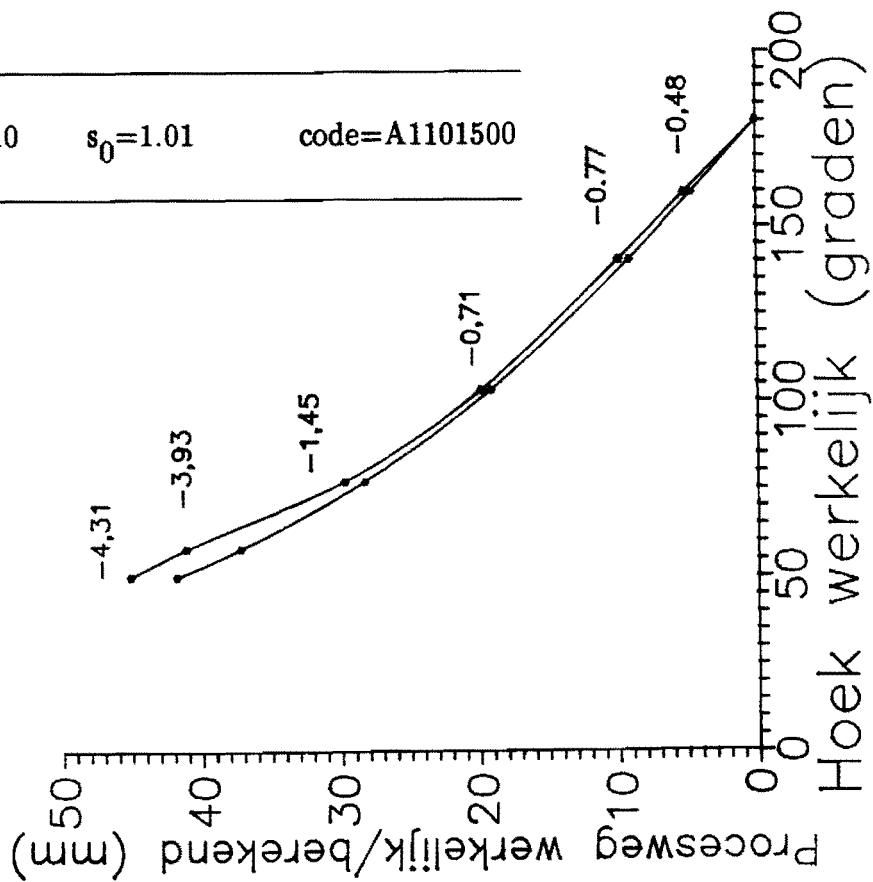
$\rho_P=10$

$s_0=1.01$

code=A1101590



$W_0=62$ $\rho_D=1$ $\rho_P=10$ $s_0=1.01$ code=A1101500



BIJLAGE C
TREKPROEVEN

In deze bijlage bevinden zich twee standaard rapporten van twee trekproeven die zijn uitgevoerd, voor één materiaal.

TUE LABORATORIUM VOOR OMVORMTECHNIEK
STANDAARD MEETRAPPOR T TREKPROEF

- PROEFGEGEVENS: -

Codenaam: TF901751
Materiaalsoort: spd
Werkstoffnummer: ?
Herkomst materiaal: MCB
Plaatdikte (mm): 1
Beginbreedte Bo (mm): 10.020
Begindikte So (mm): 0.980
Richting (t.o.v. walsricht.): 0 °
Datum proef (jjmmdd): 900423
Aantal metingen: 48
Operator: K.Daly H.T.S. Venlo
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:

geen
-
-

Datum van wijziging: 900423
Naam wijziger: K.Daly
Opmerkingen Wijziging:
 Epseff<0.01 en Epseff>(Epseff bij Fmax) verwijderd

- MATERIAALPARAMETERS: -

Model 1: $\sigma = C * \epsilon^n$:
 Karakteristieke spanning C : 520 (N/mm²)
 Verstevigingsexponent n : 0.237 (-)

Model 2 : $\sigma = C * (\epsilon_0 + \epsilon)^n$:
 Karakteristieke spanning C : 525 (N/mm²)
 Verstevigingsexponent n : 0.245 (-)
 Voordeformatie ϵ_0 : 0.003 (-)

Anisotropiefactoren: r gem : 1.90
 r (0.1) : 1.96
 r (0.2) : 1.77

- PROEFGEGEVENS: -

Codenaam: TF901752
 Materiaalsoort: spd
 Werkstoffnummer: ?
 Herkomst materiaal: MCB
 Plaatdikte (mm): 1
 Beginbreedte Bo (mm): 10.000
 Begindikte So (mm): 0.970
 Richting (t.o.v. walsricht.): 0 °
 Datum proef (jjmdd): 900423
 Aantal metingen: 47
 Operator: K.Daly
 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
 R155 1V 2V 3V

Opmerkingen:

geen
 -
 -

Datum van wijziging: 900423
 Naam wijziger: K.Daly
 Opmerkingen Wijziging:
 Epseff<0.01 en Epseff>(Epseff bij Fmax) verwijderd

- MATERIAALPARAMETERS: -

Model 1: $\sigma = C * \epsilon^n$:
 Karakteristieke spanning C : 535 (N/mm²)
 Verstevingsexponent n : 0.252 (-)

Model 2 : $\sigma = C * (\epsilon_0 + \epsilon)^n$:
 Karakteristieke spanning C : 535 (N/mm²)
 Verstevingsexponent n : 0.252 (-)
 Voordeformatie ϵ_0 : 0.000 (-)

Anisotropiefactoren: r gem : 1.49
 r (0.1) : 1.55
 r (0.2) : 1.58

BIJLAGE D
INVLOED VAN DE MATERIAALGEGEVENS

In deze bijlage bevinden zich een invoerfile en een uitvoerfile waarmee is nagegaan wat de invloed is van de materiaalgegevens op de produkthoek. De rest van de files staan op floppy. In de uitvoerfile staan een aantal gegevens die niet worden gebruikt voor dit onderzoek. Alleen de onbelaste hoek is relevant.

Invoerfile 1

s_0	C	n	ϵ_0	E	ν	S	ρ_P	ρ_D	W_0	μ
1.01	516.00	0.28	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	541.00	0.27	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	521.00	0.26	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	543.00	0.27	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	537.00	0.28	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	517.00	0.26	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	514.00	0.28	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	523.00	0.27	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	536.00	0.27	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	549.00	0.24	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	509.00	0.28	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	522.00	0.25	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	522.00	0.25	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	507.00	0.26	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	502.00	0.26	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	511.00	0.26	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	523.00	0.27	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	517.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	503.00	0.27	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	534.00	0.27	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	507.00	0.29	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	535.00	0.29	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	519.00	0.24	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10

Invoerfile 1

s_0	C	n	ϵ_0	E	ν	S	r_P	r_D	W_0	μ
0.99	504.00	0.28	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	533.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	515.00	0.28	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	507.00	0.24	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	540.00	0.26	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	528.00	0.28	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	545.00	0.27	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	509.00	0.25	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	518.00	0.27	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	528.00	0.28	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	515.00	0.26	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	508.00	0.23	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	507.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	509.00	0.28	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	51	3.00	0.24	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	36.00	0.10
1.01	530.00	0.28	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	545.00	0.23	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	509.00	0.25	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	514.00	0.28	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	529.00	0.24	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	514.00	0.24	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	547.00	0.26	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	513.00	0.29	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	533.00	0.27	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10

Invoerfile 1

s_0	C	n	ϵ_0	E	ν	S	r_P	r_D	W_0	μ
1.01	538.00	0.26	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	510.00	0.25	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	533.00	0.24	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	525.00	0.24	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	531.00	0.28	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	541.00	0.29	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	511.00	0.27	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	533.00	0.23	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	516.00	0.28	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	548.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	528.00	0.25	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	500.00	0.29	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	507.00	0.27	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	501.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	501.00	0.27	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	532.00	0.26	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	536.00	0.26	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	526.00	0.26	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	524.00	0.24	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	508.00	0.27	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	522.00	0.29	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	532.00	0.24	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	537.00	0.23	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	546.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10

Invoerfile 1

s_0	C	n	ϵ_0	E	ν	S	r_P	r_D	W_0	μ
0.99	547.00	0.23	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	505.00	0.25	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	528.00	0.26	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	549.00	0.24	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	522.00	0.25	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	530.00	0.24	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	546.00	0.26	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	519.00	0.28	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	545.00	0.26	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	520.00	0.24	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	543.00	0.25	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	541.00	0.27	0.004	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	522.00	0.24	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	500.00	0.25	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	541.00	0.23	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	532.00	0.28	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	537.00	0.28	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	525.00	0.25	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	525.00	0.28	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	505.00	0.28	0.005	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	505.00	0.24	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.00	506.00	0.29	0.001	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
1.01	549.00	0.27	0.002	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10
0.99	548.00	0.26	0.003	210.00	0.30	15.00	3.00	3.00	36.00	0.10

uitvoerfile 1

Hoek bel	Hoek onbel	F- eind	max rek	min r inw	l- -corr
81.012	85.394	5.209	0.101	4.501	-3.562
80.579	86.009	5.340	0.100	4.476	-3.608
79.423	84.358	5.124	0.096	4.656	-3.495
79.140	84.081	5.271	0.095	4.780	-3.477
78.482	83.298	5.030	0.092	4.905	-3.412
80.537	85.478	5.341	0.101	4.441	-3.582
79.317	84.019	5.002	0.096	4.783	-3.447
80.300	85.184	5.220	0.099	4.564	-3.550
80.279	85.212	5.470	0.100	4.561	-3.570
81.381	87.129	5.935	0.106	4.193	-3.714
80.376	85.119	4.969	0.098	4.589	-3.523
81.165	86.228	5.580	0.104	4.316	-3.630
80.451	85.466	5.640	0.103	4.407	-3.598
80.214	85.053	5.291	0.100	4.535	-3.530
79.427	84.234	5.052	0.097	4.650	-3.466
80.230	85.135	5.098	0.098	4.544	-3.534
79.576	84.457	5.037	0.096	4.669	-3.506
80.082	85.067	5.390	0.100	4.519	-3.541
81.013	85.431	4.967	0.100	4.474	-3.551
80.281	85.203	5.450	0.100	4.561	-3.567
79.078	83.259	4.763	0.093	4.903	-3.388
80.125	84.499	5.161	0.097	4.702	-3.521
80.344	85.436	5.605	0.102	4.384	-3.592
81.240	86.085	5.186	0.102	4.388	-3.583

Hoek bel	Hoek onbel	F- eind	max rek	min r inw	l- -corr
81.390	86.523	5.902	0.108	4.184	-3.669
80.096	84.410	4.751	0.096	4.686	-3.478
80.079	85.179	5.432	0.099	4.525	-3.567
80.358	85.113	5.141	0.099	4.586	-3.533
82.070	87.184	5.540	0.108	4.106	-3.662
79.411	84.454	5.310	0.096	4.657	-3.526
81.015	85.483	5.212	0.100	4.504	-3.578
79.550	84.529	5.368	0.097	4.666	-3.541
82.060	87.089	5.553	0.108	4.150	-3.649
79.146	83.530	5.145	0.096	4.774	-3.440
80.361	85.206	5.153	0.098	4.590	-3.550
81.443	86.416	5.435	0.105	4.271	-3.627
81.370	86.517	5.752	0.108	4.145	-3.658
80.097	85.046	5.168	0.099	4.524	-3.524
79.341	84.058	4.733	0.094	4.791	-3.437
82.044	87.145	5.860	0.110	4.100	-3.673
80.346	85.180	5.290	0.099	4.587	-3.554
82.451	88.322	6.207	0.112	3.907	-3.774
81.425	86.410	5.623	0.107	4.226	-3.633
79.317	84.019	5.002	0.096	4.783	-3.447
81.101	86.278	5.785	0.105	4.280	-3.652
81.115	86.202	5.622	0.105	4.279	-3.627
79.407	84.489	5.379	0.096	4.657	-3.537
79.097	83.348	4.604	0.092	4.911	-3.394
79.153	84.061	5.058	0.094	4.785	-3.461

Hoek bel	Hoek onbel	F- eind	max rek	min r inw	l- corr
82.240	88.062	6.292	0.112	3.978	-3.762
81.177	86.236	5.745	0.104	4.350	-3.643
82.070	87.129	5.441	0.107	4.153	-3.650
80.340	85.541	5.627	0.101	4.390	-3.616
81.105	86.258	5.742	0.105	4.280	-3.645
80.076	84.535	5.004	0.096	4.688	-3.518
78.212	82.539	5.001	0.091	5.023	-3.362
79.165	83.553	4.850	0.094	4.784	-3.427
81.353	87.082	5.900	0.107	4.151	-3.702
80.074	84.432	4.975	0.096	4.683	-3.497
80.069	85.256	5.584	0.099	4.526	-3.592
81.406	86.502	5.831	0.107	4.227	-3.663
80.165	84.378	4.718	0.096	4.703	-3.471
79.167	83.534	4.812	0.094	4.784	-3.420
80.101	85.015	5.107	0.099	4.524	-3.514
80.317	85.080	5.001	0.099	4.563	-3.517
79.416	84.414	5.232	0.096	4.657	-3.513
81.409	86.480	5.782	0.106	4.270	-3.660
81.211	86.250	5.372	0.102	4.356	-3.623
80.340	85.462	5.659	0.102	4.384	-3.601
79.151	83.482	5.046	0.096	4.774	-3.425
79.430	84.113	4.973	0.095	4.797	-3.463
82.033	87.274	5.942	0.109	4.105	-3.704
82.461	88.281	6.117	0.112	3.906	-3.760
80.063	85.215	5.691	0.100	4.520	-3.589

Hoek bel	Hoek onbel	F- eind	max rek	min r inw	l- -corr
82.051	87.039	5.645	0.109	4.147	-3.645
82.449	88.332	6.230	0.112	3.907	-3.778
80.098	85.036	5.148	0.099	4.524	-3.521
79.411	84.363	5.312	0.097	4.651	-3.507
81.372	87.093	6.069	0.107	4.190	-3.714
81.165	86.228	5.580	0.104	4.316	-3.630
82.026	87.229	6.052	0.110	4.102	-3.701
80.523	86.052	5.512	0.100	4.446	-3.627
80.368	85.165	5.066	0.098	4.589	-3.537
81.181	86.305	5.691	0.103	4.354	-3.653
80.350	85.473	5.491	0.101	4.389	-3.594
81.391	86.575	5.996	0.107	4.228	-3.687
80.579	86.009	5.340	0.100	4.476	-3.608
80.339	85.426	5.766	0.103	4.379	-3.599
82.069	87.045	5.456	0.108	4.149	-3.635
82.005	87.353	6.326	0.111	4.054	-3.739
78.476	83.246	5.098	0.093	4.900	-3.406
78.482	83.298	5.030	0.092	4.905	-3.412
82.054	87.203	5.600	0.106	4.154	-3.674
78.488	83.242	4.918	0.093	4.905	-3.394
81.035	85.379	4.986	0.100	4.502	-3.544
80.361	85.394	5.333	0.101	4.389	-3.568
78.237	82.406	4.573	0.090	5.027	-3.311
79.538	84.517	5.531	0.098	4.662	-3.548
80.521	86.062	5.532	0.100	4.446	-3.630

BIJLAGE E
GEREEDSCHAPSINVLOEDEN

In deze bijlage bevinden zich de tabellen met hoektoleranties behorende bij een bepaalde radius- en matrijs combinatie. Tevens zijn de grafieken toegevoegd die het verloop van de hoektolerantie weergeven. Bij elke matrijswijdte worden twee hoeken geplaatst. De eerste hoek is in graden en minuten opgegeven. De tweede hoek is de eerste hoek omgerekend naar graden.

W_0 [Gr.min]	[Gr]	W_0 [Gr.min]	[Gr]	W_0 [Gr.min]	[Gr]
$\rho_D=1, \rho_P=1$		$\rho_D=5, \rho_P=1$		$\rho_D=10, \rho_P=1$	
15	4° 13'	4.22	15	1° 07'	1.12
20	4° 36'	4.60	20	2° 09'	2.15
30	5° 14'	5.23	30	4° 13'	4.22
40	5° 45'	5.76	40	5° 45'	5.75
50	6° 17'	6.29	50	6° 14'	6.24
80	7° 27'	7.46	80	7° 28'	7.46
90	—	—	90	—	—
100	—	—	100	—	—
$\rho_D=1, \rho_P=5$		$\rho_D=5, \rho_P=5$		$\rho_D=10, \rho_P=5$	
15	2° 47'	2.79	15	—	—
20	3° 54'	3.90	20	1° 01'	1.02
30	4° 44'	4.73	30	3° 02'	3.03
40	5° 22'	5.36	40	4° 59'	4.99
50	5° 53'	5.88	50	5° 53'	5.88
80	7° 12'	7.21	80	7° 12'	7.20
90	—	—	90	—	—
100	—	—	100	—	—
$\rho_D=1, \rho_P=10$		$\rho_D=5, \rho_P=10$		$\rho_D=10, \rho_P=10$	
15	—	—	15	—	—
20	—	—	20	—	—
30	3° 56'	3.94	30	1° 34'	1.57
40	4° 46'	4.78	40	3° 26'	3.44
50	5° 24'	5.40	50	5° 16'	5.27
80	6° 50'	6.84	80	6° 50'	6.84
90	—	—	90	—	—
100	—	—	100	—	—
$\rho_D=1, \rho_P=20$		$\rho_D=5, \rho_P=20$		$\rho_D=10, \rho_P=20$	
15	—	—	15	—	—
20	—	—	20	—	—
30	—	—	30	—	—
40	—	—	40	—	—
50	4° 06'	4.10	50	—	—
80	6° 03'	6.05	80	6° 03'	6.05
90	—	—	90	6° 31'	6.52
100	—	—	100	—	—
15	—	—	15	—	—
20	—	—	20	—	—
30	—	—	30	—	—
40	—	—	40	—	—
50	—	—	50	—	—
80	4° 34'	4.56	80	4° 34'	4.56
90	5° 45'	5.75	90	5° 45'	5.75
100	6° 45'	6.76	100	6° 45'	6.76

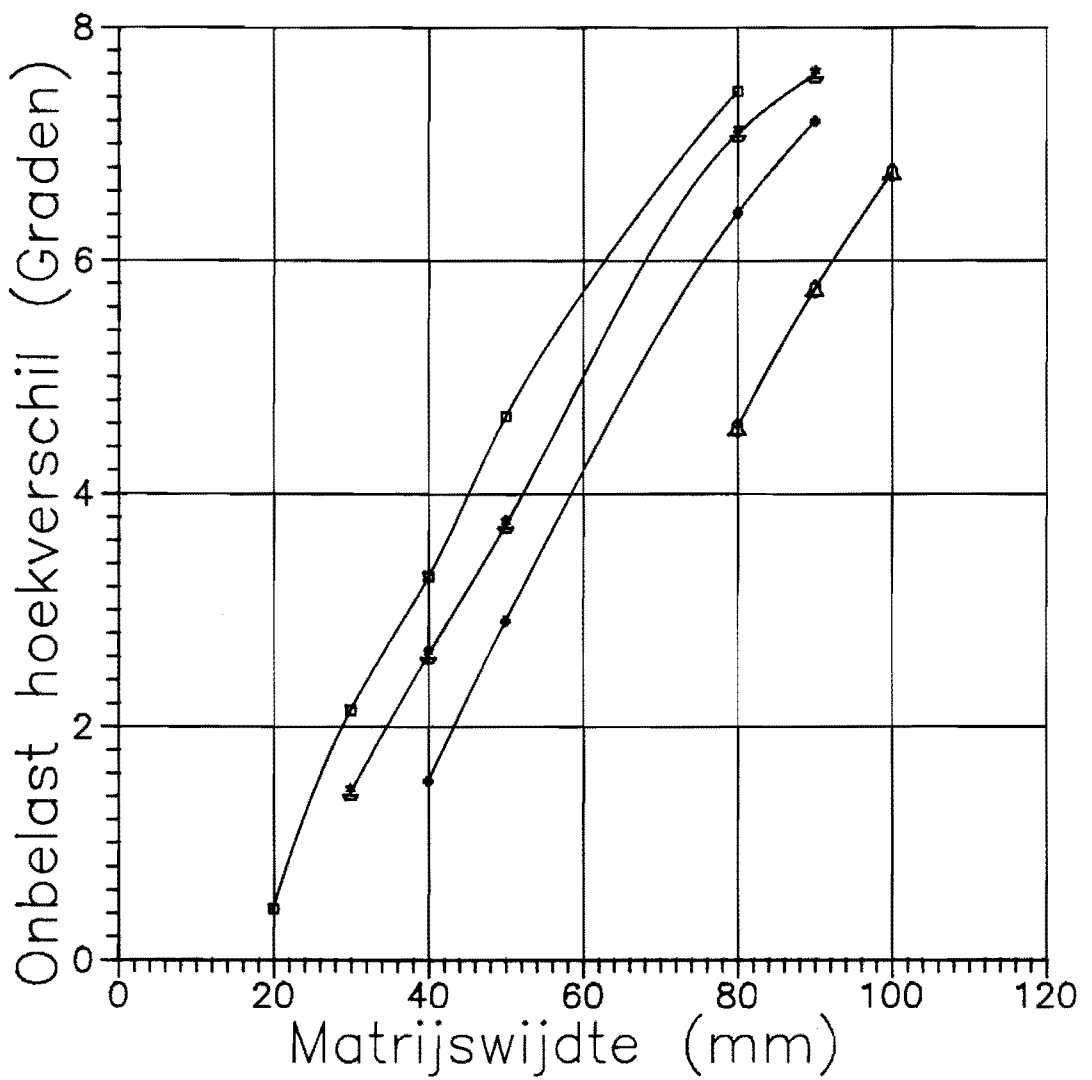
W_0 [Gr.min]		[Gr]	W_0 [Gr.min]		[Gr]
$\rho_D=20, \rho_P=1$			$\rho_D=20, \rho_P=20$		
15	—	—	15	—	—
20	—	—	20	—	—
30	—	—	30	—	—
40	2° 15'	2.25	40	—	—
50	2° 52'	2.88	50	—	—
80	4° 54'	4.90	80	2° 53'	2.89
90	5° 38'	5.64	90	3° 31'	3.52
100	—	—	100	4° 15'	4.25

□ $\rho_D=10, \rho_P=1$

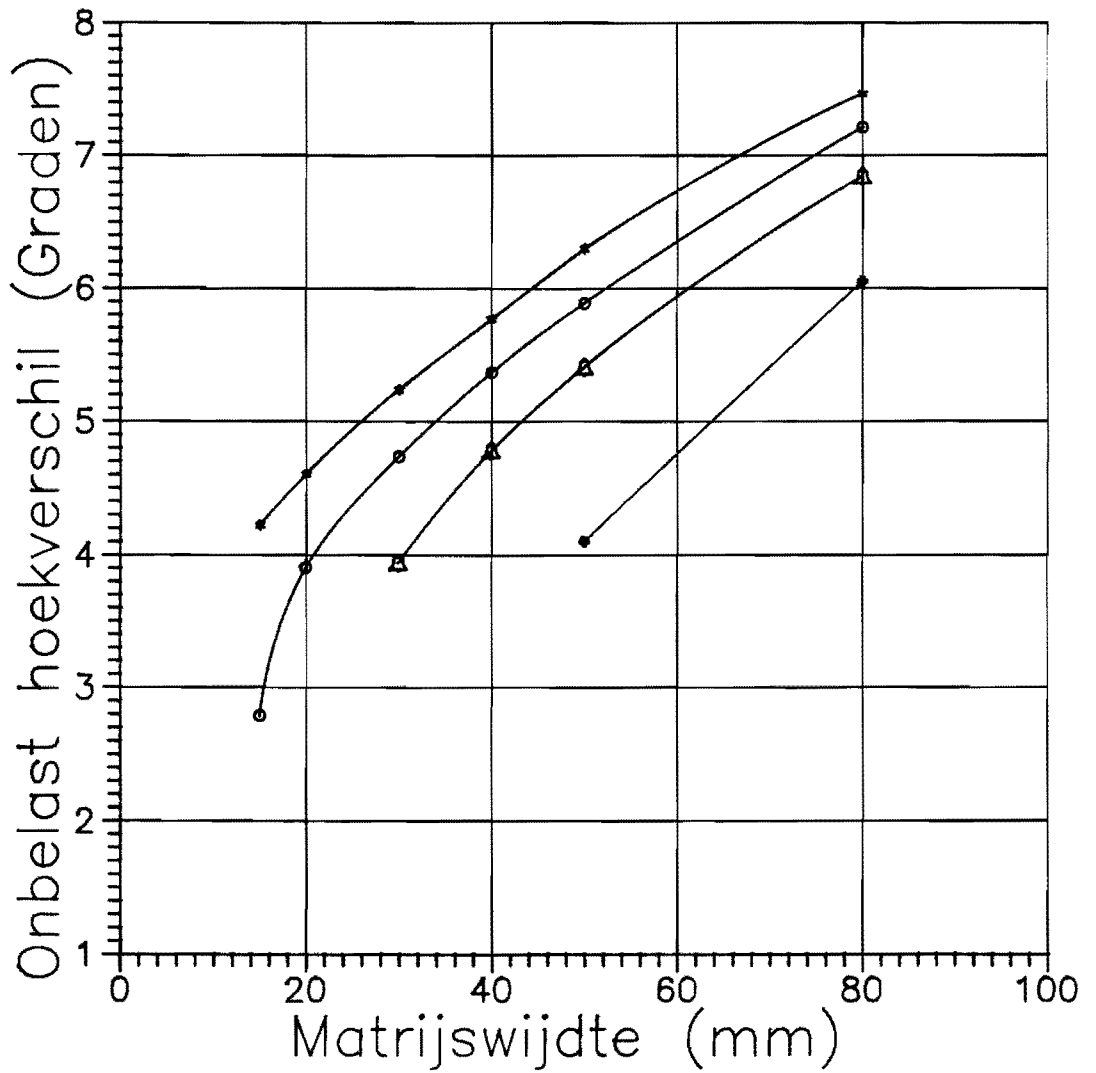
⊗ $\rho_D=10, \rho_P=5$

⊕ $\rho_D=10, \rho_P=10$

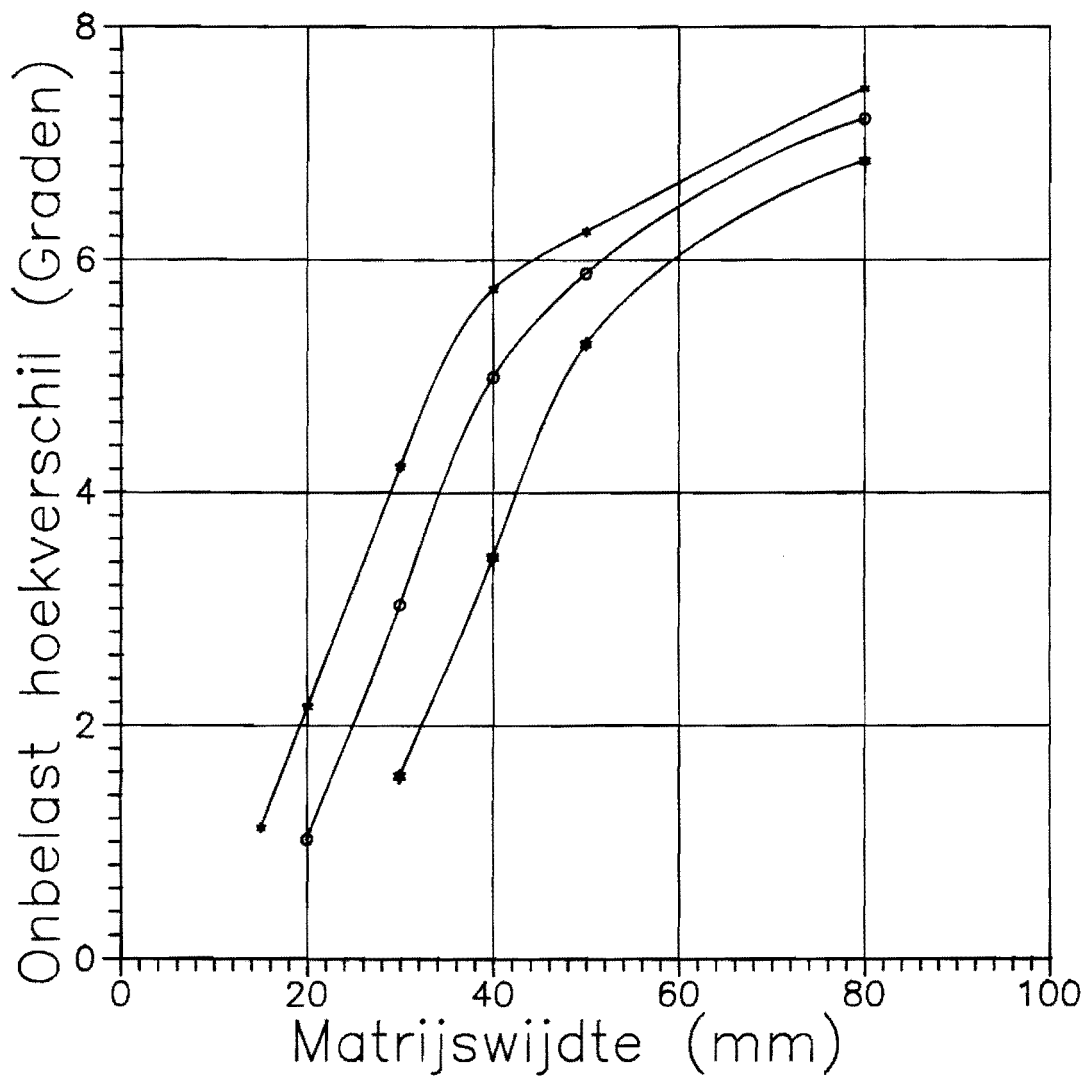
△ $\rho_D=10, \rho_P=20$



*	o	Δ	+
$\rho_D=1, \rho_P=1$	$\rho_D=1, \rho_P=5$	$\rho_D=1, \rho_P=10$	$\rho_D=1, \rho_P=20$



* ○ ☆
 $\rho_D=5, \rho_P=1$ $\rho_D=5, \rho_P=5$ $\rho_D=5, \rho_P=10$

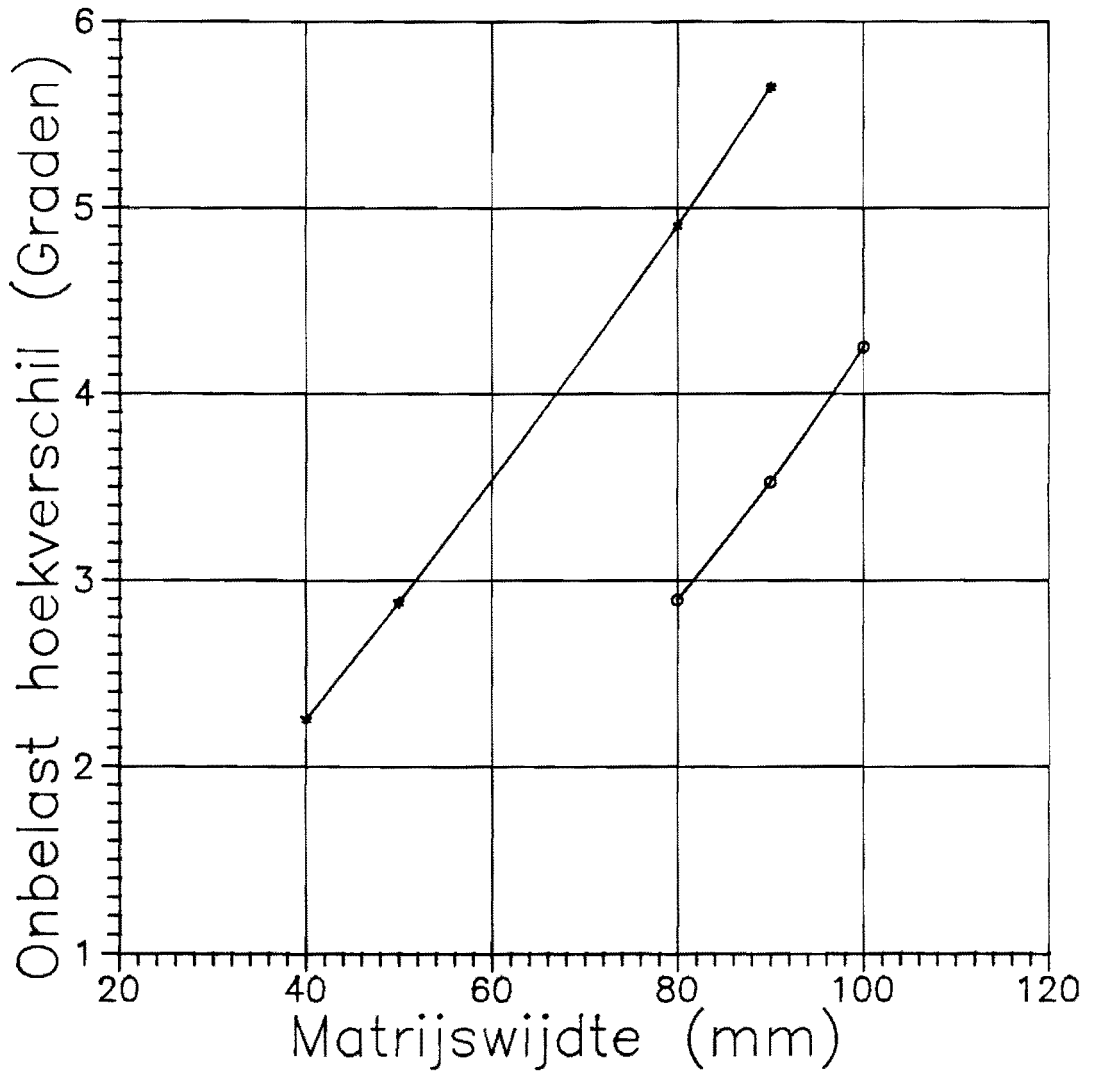


*

o

$\rho_D=20, \rho_P=1$

$\rho_D=20, \rho_P=20$

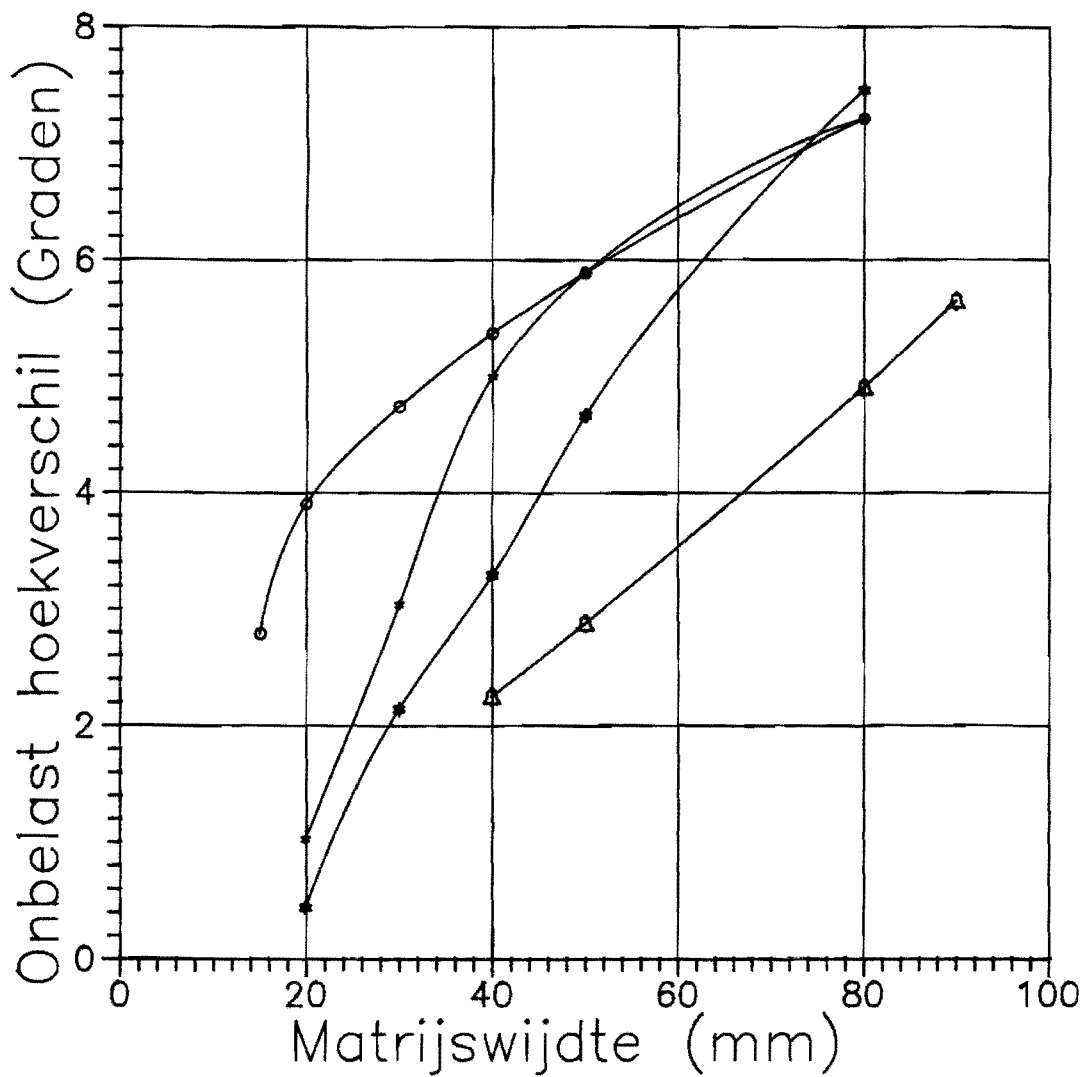


$\rho_D=1, \rho_P=5$

$\rho_D=5, \rho_P=5$

$\rho_D=10, \rho_P=1$

$\rho_D=20, \rho_P=1$



BIJLAGE F
LISTING VAN HET GENEREERPROGRAMMA (GENE_TOOL)

```

PROGRAM genereren(input,output);

USES crt,
    graph3,
    main,
    init_var,
    inlees,
    rand_get;

BEGIN
textbackground(lightblue);
clrscr;
window(9,6,71,18);
textcolor(black);
textbackground(7);
clrscr;

REPEAT
WRITE('Van welke vrijbuigversie wilt u gebruik maken ?: ');
READLN(versie);
WRITE('Geef code naam voor file : ');
READLN(f_code);
WRITE('Invoerfile genereren (j/n) anders uitvoerfile sorteren: ');
REPEAT
    READ(antw);
UNTIL upcase(antw) in ['J'..'N'];

IF upcase(antw)='J' THEN

    BEGIN
        initvar;
        randomize;
        WHILE tel <= X DO
            BEGIN
                bereken; {Random getallen bepalen}
            END;
        STR(f_code,cod);
        STR(versie,vers);

        ASSIGN(data,'a:\TP\kevin\inv'+vers+'_'+cod+'.txt');
        REWRITE(data);
        tel:=1;
        WHILE tel <= X DO
            BEGIN

```

```

WRITELN (data,s[tel]:7:2,
         c[tel]:7:2,
         n[tel]:7:2,
         ep[tel]:7:3,
         e1:7:2,
         mu1:7:2,
         s0:7:2,
         rp:7:2,
         rinl:7:2,
         vop[tel]:7:2,
         wr_co:7:2);
tel:=tel+1;
END;
CLOSE(data);
END
ELSE
BEGIN

  {Aanroep vrijbuigprogramma}
  STR(f_code,cod);
  STR(versie,vers);

  ASSIGN(input,'a:\tp\kevin\inv'+vers+'_'+cod+'.txt');
  RESET(input);
  ASSIGN(output,'a:\tp\kevin\uitv'+vers+'_'+cod+'.txt');
  REWRITE(output);
  execute;
  CLOSE(input);
  CLOSE(output);
  ASSIGN(input,'');RESET(input);
  ASSIGN(output,'');REWRITE(output);

  {Uitvoerverwerking}

  ASSIGN(data,'a:\tp\kevin\uitv'+vers+'_'+cod+'.txt');
  RESET(data);
  tel:=1;
  WHILE tel <= X DO
  BEGIN
    READLN(data,a_bel[tel],on1,zak[tel],on2,on3,on4);
    tel:=tel+1;
  END;
  CLOSE(data);

  END;
  WRITE('Terug naar TP (j/n) : ');
  REPEAT
    READ(antw);
  UNTIL upcase(antw) in ['J'..'N'];
  UNTIL upcase(antw) = 'J';
END.

```

```
UNIT init_var;
```

```
INTERFACE
```

```
CONST
```

```
  X=10;  
  dc=50;  
  dn=60;  
  ds=25;  
  dep=6;  
  dvop=0;
```

```
TYPE
```

```
  Trij=ARRAY[1..X] of REAL;
```

```
VAR
```

```
  antw : CHAR;  
  tel  : INTEGER;  
  c    : Trij;  
  n    : Trij;  
  s    : Trij;  
  ep   : Trij;  
  a_bel: Trij;  
  zak  : Trij;  
  vop  : Trij;  
  rp,rinl,vopen,hoekmat,s0: REAL;  
  cl,n1,s1,e1,mul,ep1,vop1: REAL;  
  data : TEXT;  
  s_dev_c,  
  s_dev_n,  
  s_dev_s,  
  s_dev_ep,  
  s_dev_a_bel,  
  s_dev_zak: REAL;  
  a_onb: REAL;  
  wr_co: REAL;  
  on1,  
  on2,  
  on3,  
  on4 : REAL;  
  versie,  
  f_code: INTEGER;  
  cod,  
  vers: STRING;
```

```
IMPLEMENTATION
```

```
  END.
```

UNIT inlees;

INTERFACE

USES

init_var;
procedure initvar;

IMPLEMENTATION

```
procedure initvar;  
begin  
  s0:=10;  
  rp:=1.0;  
  rinl:=1.0 ;  
  vopen:=15.0;  
  hoekmat:=40.0;  
  wr_co:=0.10;  
  mul:=0.3;  
  e1:=210;  
  tel := 1;  
  WRITELN;  
  WRITE('Geef C      : ');  
  READLN(c1);  
  WRITE('Geef n      : ');  
  READLN(n1);  
  WRITE('Geef dikte plaat : ');  
  READLN(s1);  
  WRITE('Geef epsilon   : ');  
  READLN(ep1);  
  {WRITE('Geef alfa onbelast: ');}  
  {READLN(a_onb);}  
  WRITE('Geef V-opening  : ');  
  READLN(vop1);  
end;  
end.
```

```
UNIT rand_get;

INTERFACE

USES
  init_var;

  PROCEDURE bereken;

IMPLEMENTATION

  PROCEDURE bereken;

  BEGIN
    c[tel]:=RANDOM(dc) + c1 - (dc/2);
    n[tel]:=RANDOM(dn)/1000 + n1 -(dn/2000);
    s[tel]:=RANDOM(ds)/1000 + s1 -(ds/2000);
    vop[tel]:=RANDOM(dvop) + vop1 - (dvop/2);
    ep[tel]:=RANDOM(dep)/1000 + ep1 -(dep/2000);
    IF ep[tel]<=0.001 THEN
      BEGIN
        ep[tel]:=0.001;
      END;
      tel:=tel+1;
    END;
  END.
```