

# Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden : technical manual

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

Liempd, van, J. H. (1988). *Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden : technical manual*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0528). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1988

**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.

Ir. L. J. A. Houtackers

Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden.

Technical manual

J.H. van Liempd

jan 1988

VF code C2/D2 WPA rapport 0528

Begeleider Dr.Ir.J.H. Dautzenberg

## INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	1
INLEIDING	2
1 HOOFDMENU	3
2 DATABEWERKINGEN	4
2.1 invoer van nieuwe meetgegevens	4
2.1.1 invoer van nieuwe meetgegevens uit een rij meetwaarden	4
2.1.2 invoer van nieuwe meetgegevens uit een grafiek	8
2.2 wijzigen van bestaande meetgegevens	9
2.3 printen van bestaande gegevens	9
2.4 gereedmaken van een datadiskette voor gegevensopslag	10
3 BEREKENINGEN	11
3.1 berekeningen— invoermenu	11
3.1.1 selecteren van het materiaal	11
3.1.2 selecteren van het vloeimodel	12
3.1.3 keuze van reksnelheid en temperatuur	12
3.1.4 uitvoeren van de berekeningen	13
3.1.4.1 inleiding	14
3.1.4.2 de kleinste kwadratenmethode	14
3.1.4.3 berekening van de vloeiparameters met behulp van de kleinste kwadratenmethode	15
3.1.4.4 implementatie in het programma	17
3.1.5 veranderen instelwaarden	20
3.1.6 veranderen geïnterpoleerde spanningsrekwaarden	21
3.2 berekeningen—uitvoermenu	21
3.2.1 resultaten scherm zonder grafiek	22
3.2.2 resultaten printer, zonder grafiek	22
3.2.3 resultaten scherm met grafiek	22
3.2.4 resultaten printer met grafiek	23
3.2.5 afdrukken geïnterpoleerde kromme	23
3.2.6 afdrukken geïnterpoleerde tegen gemeten spanningen	23

## INLEIDING

In deze TECHNICAL MANUAL wordt de opbouw van het programma besproken. Dit wordt evenals in de USER'S MANUAL gedaan aan de hand van de menustruktuur. De achterliggende gedachten en rekenalgorithmen worden bij de bespreking van het betreffende scherm duidelijk gemaakt. Er wordt hierbij ook gebruik gemaakt van flowschema's. Iedere paragraaf bevat aan het einde een kursief gedrukte tekst met informatie over de in het programmadeel gebruikte procedures. Op deze manier verkrijgen we een duidelijk overzicht over de mogelijkheden van het programma, de manier waarop het programma werkt en de plaatsing van de programmaprocedures in de programmatekst. In het eerste hoofdstuk wordt het hoofdmenu en de keuze tussen de belangrijkste programmadelen besproken. In hoofdstuk 2 worden de programmadelen databewerkingen en databestand besproken. In hoofdstuk 3 is het programmadeel berekingen opgenomen. Tevens worden hierin de in- en uitvoermogelijkheden besproken.



## 2 DATABEWERKINGEN (Data control)

### Inleiding

In dit hoofdstuk komen de programmadelen aan bod die vallen onder het programmagedeelte databewerkingen. Het bijbehorende menu is weergegeven in figuur 2.1.

```
DATA CONTROL

-insert new data from a row of strain/stress values (1)
-insert new data from a strain/stress plot (2)
-update existing data (3)
-print existing data (4)
-prepare a datadisk (5)
-return to main menu (6)

<esc> : return to main menu
```

figuur 2.1 het databewerkingen menu (data control)

### 2.1 Invoer van nieuwe meetgegevens

Het invoeren van nieuwe meetgegevens is in het programma op twee verschillende manieren gerealiseerd. De eerste is invoeren van een rij spannings-rekwaarden en de tweede is invoeren van de grafiek van een vloeikromme.

#### 2.1.1 Invoer van nieuwe meetgegevens uit een rij meetwaarden (Insert new data from a row of strain/stress values)

Na aanroepen van deze menukeuze vraagt het programma eerst om een materiaalnaam, een nummeraanduiding, de herkomst van de gegevens en het type materiaalbeproeving waarbij de meetwaarden werden opgenomen (figuur 2.2). Na controle van het gegevensbestand op het reeds voorkomen van de materiaalnaam, verschijnt een invoermenu waarin het aantal reksnelheden, het aantal temperaturen en het aantal meetpunten per vloeikromme moeten worden ingevoerd. Vervolgens vraagt het programma om de waarden van reksnelheid, temperatuur, spanning en rek (figuur 2.3).

DATA CONTROL	
INSERT DATA (ROW)-1	
material	: C45
werkstoff-Nr	: 100000
source (literature)	: BFF
test:Compression,Tensile,tOrsion	: C
number of strain-rates	: 1
number of temperatures	: 2
number of points per str/str curve:	2

<esc> : return to data control menu
-------------------------------------

figuur 2.2 Invoer van nieuwe gegevens uit een rij meetwaarden, eerste scherm.

C45			
DATA CONTROL			
INSERT DATA (ROW)-2			
strain-rate	temperature	true strain	true stress
[1/s]	[degr C]	[-]	[N/mm2]
0.25	20.00	0.1000	234
0.25	20.00	0.2000	456
0.25	30.00	0.1000	

<esc> return to main menu
---------------------------

figuur 2.3 Invoer van nieuwe gegevens uit een rij meetwaarden, tweede scherm.

De meetgegevens die in het programmadeel databewerkingen (datacontrol) zijn ingelezen worden opgeslagen in het databestand. Dit bestaat uit alle ingevoerde meetwaarden, opgeslagen op zogenaamde datadiskettes. Door het rangschikken van de meetgegevens op een zo kort mogelijke manier kunnen veel gegevens op één datadiskette worden ondergebracht. Dit wordt in het navolgende besproken.

De meetgegevens bestaan uit vloeikrommen bij verschillende temperaturen en rek-snelheden. Ieder meetpunt van een vloeikromme wordt bepaald door vier groot-heden, te weten :

—reksnelheid $\dot{\bar{\epsilon}}$	[1/s]	
—temperatuur T	[°C]	
—effektieve rek $\bar{\epsilon}$	[—]	
—effektieve spanning $\bar{\sigma}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	(2.1)

Het opslaan van vloeikrommen, beschreven door 3 spannings—rekwaarden, bij 2 temperaturen en 2 reksnelheden resulteert in een reeks getalwaarden :

$$\begin{aligned}
 & \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_1, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_1, \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_1, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_2, \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_1, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_3, \\
 & \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_2, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_4, \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_2, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_5, \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_2, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_6, \\
 & \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_1, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_7, \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_1, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_8, \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_1, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_9, \\
 & \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_2, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_{10}, \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_2, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_{11}, \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_2, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_{12}.
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

Voor n reksnelheden, m temperaturen en k spannings—rekwaarden is het aantal getallen  $n \cdot m \cdot k \cdot 2$ .

Een veel kortere rij gegevens ontstaat als elke reksnelheid en elke temperatuur slechts één keer worden opgenomen. De rij getallen van bovenstaand voorbeeld gaat dan over in :

$$\begin{aligned}
 & \dot{\bar{\epsilon}}_1, T_1, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_1, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_2, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_3, T_2, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_4, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_5, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_6, \\
 & \dot{\bar{\epsilon}}_2, T_1, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_7, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_8, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_9, T_2, \bar{\epsilon}_1, \bar{\sigma}_{10}, \bar{\epsilon}_2, \bar{\sigma}_{11}, \bar{\epsilon}_3, \bar{\sigma}_{12}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

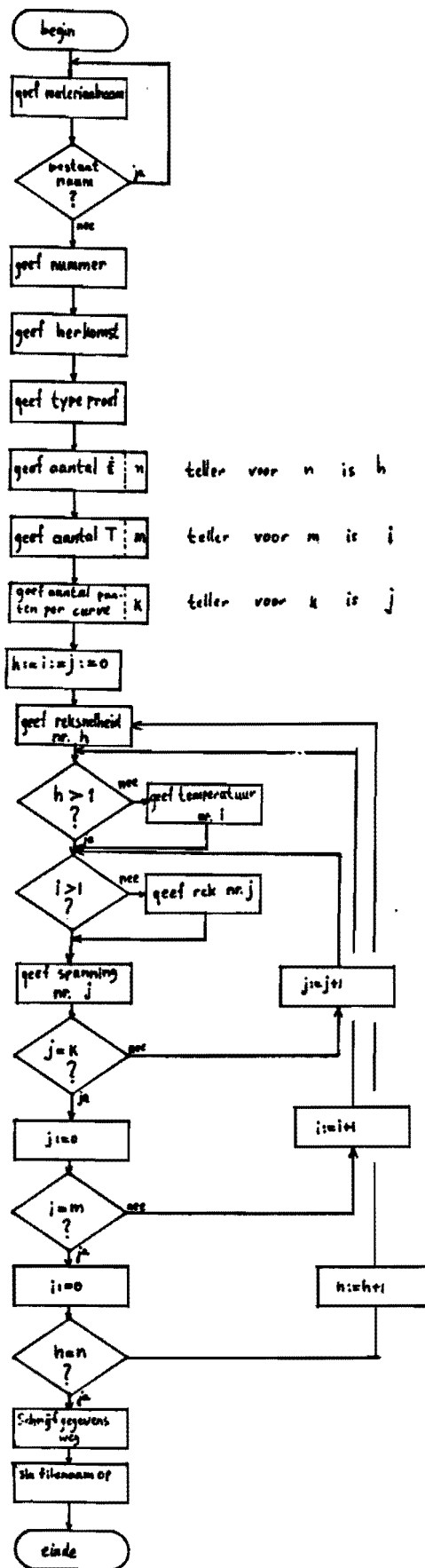
Het aantal getallen is nu  $n + m + k \cdot 2$ . De opslag van gegevens in het databestand is volgens de tweede methode geregeld.

Het programma is zo opgebouwd dat een gebruiker zo weinig mogelijk getallen hoeft in te voeren. In het flowschema van figuur 2.4 is weergegeven hoe de invoer van een rij getallen is geregeld.

Tegelijk met het wegschrijven van de meetgegevens naar het databestand (de data-diskette) krijgt de materiaalnaam een plaats in de inhoudsfile van de diskette. Deze file is opgenomen op de programmadiskette en bevat naast een getal dat het aantal materiaalfiles weergeeft, ook de namen van die materiaalfiles. De inhoudsfile is "NAMEN.BES" genoemd. Zowel het nummer als de namen hebben op de diskette een lengte van 16 karakters en zijn gescheiden door een return karakter, "EOL". Van de materiaalnaam worden de eerste acht karakters gebruikt als aanduiding van de materiaalfile op de datadiskette.

*In de procedure InvoerA wordt de invoer van de meetgegevens geregeld. Het inpassen van de materiaalnaam in de inhoudsfile geschiedt in de procedure SlaFilenaamOp die in InvoerA wordt aangeroepen. De procedures InvoerA en SlaFilenaamOp zijn ondergebracht in de module GBInvoer.*





figuur 2.4 flowschema meetgegevensinvoer

### 2.1.2 Invoer van nieuwe meetgegevens uit een grafiek (Insert new data from a strain/stress plot)

De meetgegevens in de literatuur bestaan meestal grafieken van vloeikrommen. Bij het invoeren van meetgegevens volgens de methode in paragraaf 2.1.1 moeten waarden voor deformatie en vloeispanning uit deze grafieken worden afgelezen en vervolgens worden ingevoerd in het programma. Om afleesfouten te vermijden is de volgende werkwijze ontwikkeld :

Met keuzemogelijkheid 2 van het databewerkingenmenu kunnen de grafieken van vloeikrommen door afstandsmetingen in het databestand worden ingelezen.

Het invoeren van de materiaalnaam, de nummeraanduiding, de herkomst van de gegevens, het type materiaalbeproeving, het aantal reksnelheden, temperaturen en spannings—rekwaarden gebeurt op dezelfde manier als in 2.1.1. Daarna vraagt het programma de :

—lengte van de  $\bar{\epsilon}$ —as in [mm]

—lengte van de  $\bar{\sigma}$ —as in [mm]

—het bereik van  $\bar{\epsilon}$  bij de opgegeven lengte van de  $\bar{\epsilon}$ —as in [—]

—het bereik van  $\bar{\sigma}$  bij de opgegeven lengte van de  $\bar{\sigma}$ —as in [N/mm<sup>2</sup>]

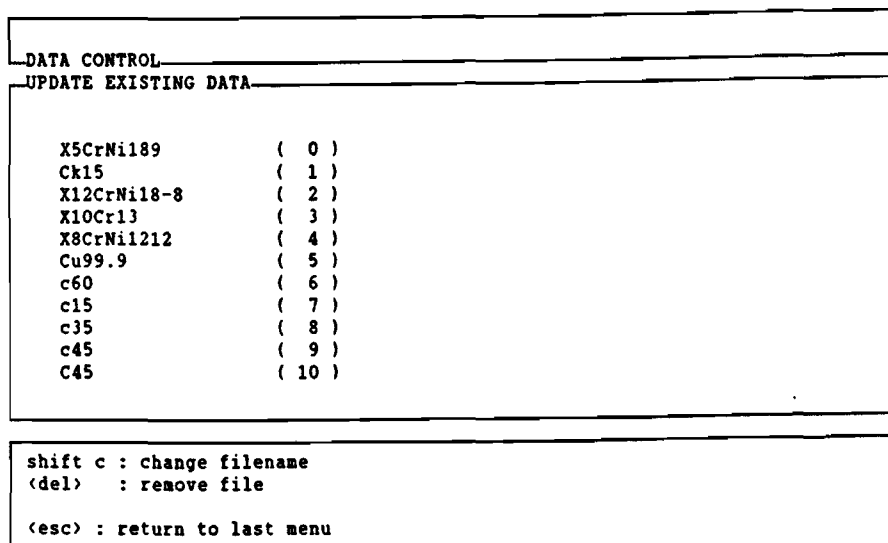
Het invoeren van een meetpaar ( $\bar{\sigma}, \bar{\epsilon}$ ) bestaat nu uit het meten en invoeren van de afstanden van het meetpunt in de grafiek tot aan respectievelijk de rek—as en de spannings—as. De metingen kunnen eventueel uitgevoerd worden met een meetmikroskoop. Na het inlezen van de gegevens worden de afstanden omgerekend naar rekken en spanningen en op dezelfde manier als in 2.1.1 opgeslagen in het databestand.

*De procedures die hier worden gebruikt zijn net als in 2.1.1. InvoerA en SlaFilenaamOp uit module GBInvoer.*

### 2.2 Het wijzigen van bestaande meetgegevens. (Update existing data)

Dit programmaonderdeel is onder meer nodig voor het corrigeren van foutief ingevoerde waarden in de menukeuzen 1 en 2.

Na aanroepen van menkeuze 3 in het databewerkingenmenu verschijnt de inhoudsfile van de datadiskette op het scherm (figuur 2.5).

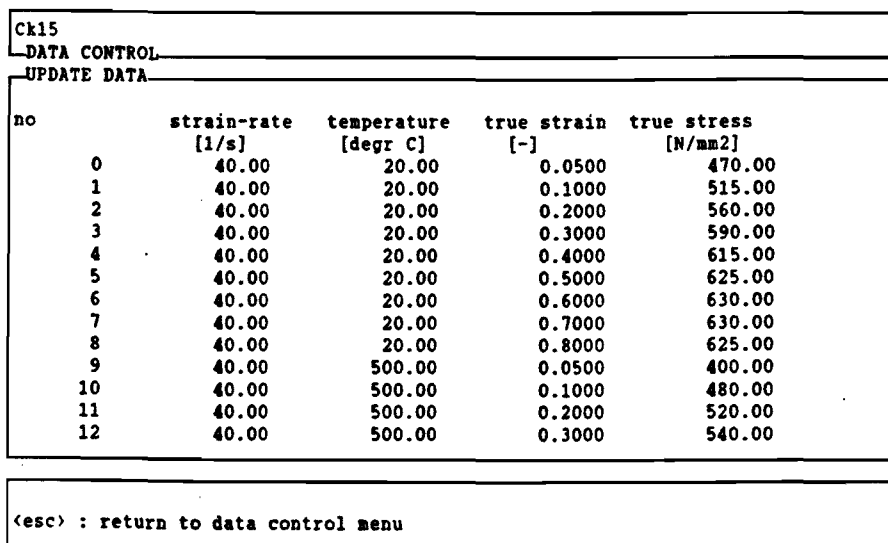


figuur 2.5 inhoudsfile datadiskette

We kiezen het materiaal dat we willen wijzigen door intypen van het volgnummer of met behulp van de cursorbesturing. De file met de meetgegevens van het gekozen materiaal kan worden verwijderd een andere naam gegeven worden. Het programma zoekt de gegevens op in het databestand en geeft in 5 kolommen (figuur 2.6):

- een volgnummer
- de reksnelheid
- de temperatuur
- de deformatie
- de vloeispanning

Met behulp van de cursorbesturing kan men de cursor verplaatsen naar de te wijzigen waarde en kan de nieuwe waarde worden ingetypt. Om de interpolatiemogelijkheden te behouden moeten bij verandering van een reksnelheid, temperatuur of deformatie alle dezelfde oude waarden worden veranderd in dezelfde gekorrigeerde waarden. Dit gebeurt automatisch. De veranderde gegevens kunnen naar wens worden opgeslagen in het databestand. Het is niet mogelijk waarden toe te voegen of te verwijderen.



figuur 2.8 het veranderen van bestaande gegevens

*Het zoeken van de materiaalfile gebeurt in procedure ZoekOpMateriaal. De procedures waarmee de bestaande gegevens gewijzigd kunnen worden, onder andere Verbeteringen, staan in module GBDatabeheer. Het aanpassen van de veranderde reksnelheden, temperaturen of rekken gebeurt in de procedure ControleOpVerandering die in procedure Verbeteringen wordt aangeropen.*

### 2.3 Het printen van bestaande gegevens (Print existing data)

Dit programmadeel kan worden gebruikt als hardcopy van een materiaalfile en bij het lokaliseren van foutieve invoer. Na aanroep van deze keuze verschijnt op het scherm de inhoudsfile van de datadiskette. Na het kiezen van het gewenste materiaal worden de gegevens in vijf kolommen afgedrukt op de printer.

*Het opzoeken van het materiaal vindt weer plaats in de procedure ZoekOpMateriaal. Procedure PrintGegevens zorgt voor de uitvoer van de gegevens naar de printer. ZoekOpMateriaal en PrintGegevens zijn beide te vinden in module GBDatabeheer.*

### 2.4 Het gereedmaken van een datadiskette voor gegevensopslag (Prepare datadisk)

In dit programmadeel worden datadiskettes aangemaakt. Hiertoe worden een lege inhoudsfile en een demonstratie-materiaal onder de naam "demo" naar de diskette geschreven.

*De procedure PrepareDataDisk is te vinden in module GBDatabeheer.*

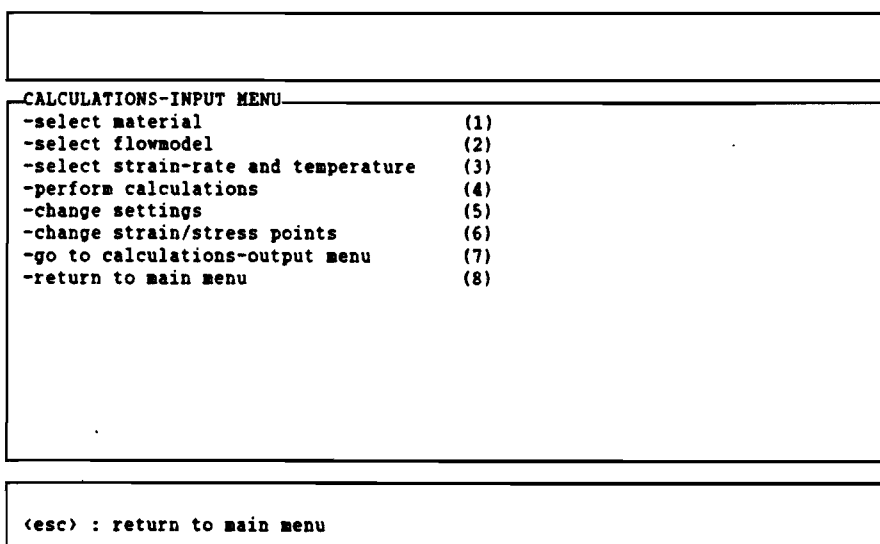
### 3 BEREKENINGEN (Calculations)

#### Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het programmadeel berekeningen (Calculations) besproken aan de hand van het "Calculations input menu" en het "Calculations output menu" van het materialenprogramma. De titels van de paragrafen in dit hoofdstuk komen overeen met de keuzen van het in- en uitvoermenu.

#### 3.1 Berekeningen— invoermenu (Calculations—input menu)

Voor we tot het berekenen van vloeiparameters kunnen overgaan moeten eerst een materiaal, een vloeimodel, een reksnelheid en een temperatuur worden ingevoerd. Dit gebeurt in de menukeuzes 1, 2 en 3 van het "Calculations—input menu" (figuur 3.1). Als hiervan één keuze wordt overgeslagen geeft het programma een foutmelding.



figuur 3.1 berekeningen—invoermenu

##### 3.1.1 Selecteren van het materiaal (select material)

Na intoetsen van deze eerste menukeuze verschijnt op het scherm de inhoudsfile van de datadiskette die zich in diskdrive A: van de computer bevindt (figuur 2.5). Door het intoetsen van een nummer of met behulp van de cursorbesturing wordt een materiaalnaam gekozen. Vervolgens worden de meetgegevens ingelezen.

*De procedure ZoekOpMateriaal uit module GBDatabeheer beschrijft de selectie van het materiaal.*

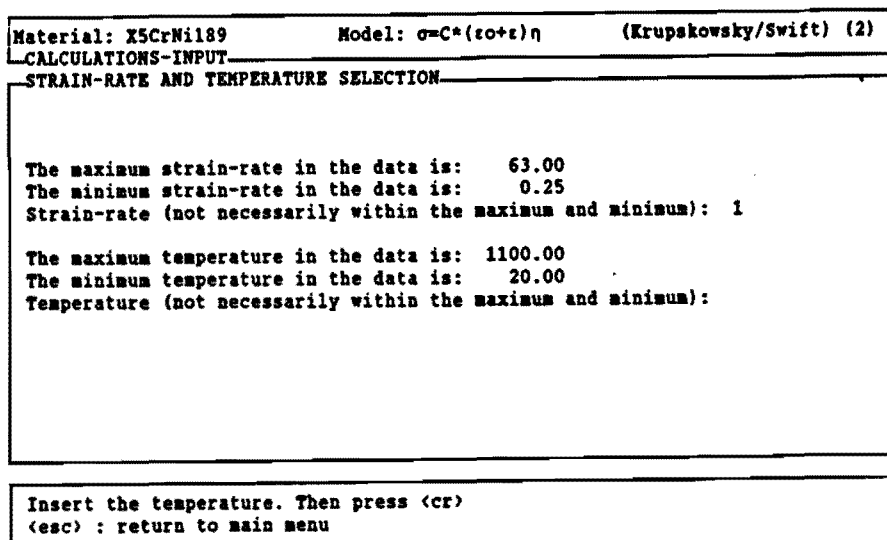
### 3.1.2 Selektieren van het vloeimodel (Select flowmodel)

Intoetsen van deze keuze heeft het verschijnen van een beeldscherm met de vloeimodellen tot gevolg. Met de cursorbesturing of door het intypen van een nummer kan een model worden gekozen.

*De modelkeuze wordt door procedure ModelKeuze uit module GBOnder verzorgd.*

### 3.1.3 Keuze van reksnelheid en temperatuur (Select strain-rate and temperature)

Het programma geeft op het scherm de uiterste waarden van de reksnelheid en de temperatuur in de meetgegevens weer (figuur 3.2). Bij het intypen van de gewenste reksnelheid en temperatuur is het niet noodzakelijk binnen deze reksnelheids- en temperatuurgrenzen te blijven. Door interpolatie wordt de vloeikromme bij de gewenste omstandigheden verkregen uit de meetgegevens



figuur 3.2 keuze reksnelheid en temperatuur

De interpolatie gaat als volgt : De meetgegevens zijn als "waaiers" gegroepeerd per reksnelheid. In de eerste stap vindt interpolatie plaats voor de juiste reksnelheid. Uit twee waaiers wordt een waaier berekend voor de gewenste reksnelheid.

De functie  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\dot{\epsilon}, T, \bar{\epsilon})$  gaat door deze interpolatie over in  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})$  volgens:

$$\bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{ber}} = \frac{\bar{\sigma}(\dot{\epsilon}_{\text{on}}, T, \bar{\epsilon})_{\text{on}} - \bar{\sigma}(\dot{\epsilon}_{\text{bo}}, T, \bar{\epsilon})_{\text{bo}}}{\dot{\epsilon}_{\text{on}} - \dot{\epsilon}_{\text{bo}}} \cdot (\dot{\epsilon}_{\text{gew}} - \dot{\epsilon}_{\text{bo}}) + \bar{\sigma}(\dot{\epsilon}_{\text{bo}}, T, \bar{\epsilon})_{\text{bo}} \tag{3.1}$$

waarin :

- $\dot{\bar{\epsilon}}_{\text{gew}}$  : gewenste reksnelheid
- $\dot{\bar{\epsilon}}_{\text{on}}$  : reksnelheid in de meetgegevens onder de gewenste reksnelheid
- $\dot{\bar{\epsilon}}_{\text{bo}}$  : reksnelheid in de meetgegevens boven de gewenste reksnelheid
- $\bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{ber}}$  : spanning als functie van de temperatuur en rek bij de gewenste reksnelheid
- $\bar{\sigma}(\dot{\bar{\epsilon}}, T, \bar{\epsilon})_{\text{on}}$  : spanning als functie van reksnelheid, temperatuur en rek bij  $\dot{\bar{\epsilon}}_{\text{on}}$
- $\bar{\sigma}(\dot{\bar{\epsilon}}, T, \bar{\epsilon})_{\text{bo}}$  : spanning als functie van reksnelheid, temperatuur en rek bij  $\dot{\bar{\epsilon}}_{\text{bo}}$

In de tweede stap vindt interpolatie plaats tussen twee temperaturen. De generatie van de gewenste vloeicurve  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon})$  uit de spanning als functie van temperatuur en rek  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})$  gaat als volgt :

$$\bar{\sigma}(\bar{\epsilon})_{\text{gew}} = \frac{\bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{beron}} - \bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{berbo}}}{T_{\text{bo}} - T_{\text{on}}} \cdot (T_{\text{gew}} - T_{\text{bo}}) + \bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{berbo}} \quad (3.2)$$

waarin :

- $T_{\text{gew}}$  : gewenste temperatuur
- $T_{\text{bo}}$  : temperatuur boven de gewenste temperatuur
- $T_{\text{on}}$  : temperatuur onder de gewenste temperatuur
- $\bar{\sigma}(\bar{\epsilon})_{\text{gew}}$  : spanning als functie van  $\bar{\epsilon}$  bij gewenste temperatuur
- $\bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{beron}}$  : in (3.1) berekende spanning bij  $T_{\text{on}}$
- $\bar{\sigma}(T, \bar{\epsilon})_{\text{berbo}}$  : in (3.1) berekende spanning bij  $T_{\text{bo}}$

*Met procedure TempReksScherm uit module GBSchermTeksten worden reksnelheid en temperatuur in het programma ingelezen. In de procedure TempReks van module*

*RekSnelEnTemp vindt de berekening van  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\epsilon})$  uit  $\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\dot{\bar{\epsilon}}, T, \bar{\epsilon})$  plaats.*

### 3.1.4 Uitvoeren van de berekeningen (Perform calculations)

#### 3.1.4.1 Inleiding

De bestpassende vloeikromme door de geïnterpoleerde meetwaarden wordt berekend met behulp van de kleinste kwadratenmethode.

#### 3.1.4.2 De kleinste kwadratenmethode algemeen

Stel een aantal meetpunten  $n$  dat voldoet aan een lineaire relatie van  $\eta$  als functie van de variabele  $x$  :

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x \quad (3.3)$$

waarin  $\beta_0$  en  $\beta_1$  constanten zijn. Verder geldt voor ieder meetpunt :

$$y_i = \eta_i + e_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i \quad (3.4)$$

waarin  $e_i$  het random verschil voorstelt. In de kleinste kwadratenmethode gaat het erom door kiezen van de juiste waarden voor  $\beta_0$  en  $\beta_1$  het totale random verschil zo klein mogelijk te maken. Deze  $\beta_0$  en  $\beta_1$  die de kleinste "verschilsom" leveren bepalen de vergelijking van de bestpassende rechte lijn door de meetpunten. De verschilsom wordt berekend met :

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \eta_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (3.5)$$

RSS is minimaal als de partiële afgeleiden naar  $\beta_0$  en  $\beta_1$  nul zijn, dus als :

$$\begin{aligned} \frac{\delta RSS}{\delta \beta_0} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \\ \frac{\delta RSS}{\delta \beta_1} &= -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) = 0 \end{aligned} \quad (3.6)$$

De volgende matrixvergelijking wordt verkregen :

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 1 & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Na oplossen van deze vergelijking wordt de bestpassende rechte lijn door de meetpunten bepaald door  $\beta_0$  en  $\beta_1$ .



De nauwkeurigheid waarmee de berekende lijn door de meetpunten past wordt naast de kwadratische verschilssom aangeduid met de correlatiecoëfficiënt. Dit getal geeft aan hoe nauwkeurig een aantal punten  $(Y, y)$  een rechte lijn vormt. De correlatiecoëfficiënt is gedefiniëerd als :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.8)$$

De correlatiecoëfficiënt kan waarden aannemen tussen  $-1$  en  $1$ . Voor  $R = 1$  liggen de punten  $(Y, y)$  precies op een rechte lijn. Dit geldt ook voor grafieken waarin berekende spanningswaarden zijn uitgezet tegen gemeten spanningswaarden.

Met behulp van de kleinste kwadratenmethode kunnen door meetpunten rechte lijnen worden berekend van de vorm :

$$y = a \cdot x + b \quad (3.9)$$

Door substitutie van wiskundige relaties voor  $x$  blijft het berekenen van bestpassende lijnen niet beperkt tot rechten. Substitutie van  $x = f(x)$  levert :

$$y = a \cdot f(x) + b \quad (3.10)$$

#### 2.1.4.3 Berekening van vloeiparameters met behulp van de kleinste kwadratenmethode

Vloeimodel 1, Hollomon

$$\bar{\sigma} = C \cdot \bar{\epsilon}^n \quad (3.11)$$

Door nu zowel van linker- als van rechtergedeelte van de vergelijking de logaritme te berekenen wordt een vergelijking van een rechte verkregen :

$$\ln \bar{\sigma} = \ln C + n \cdot \ln \bar{\epsilon} \quad (3.12)$$

Uit (3.9) en (3.12) volgt met  $\ln \bar{\sigma} = y$  en  $\ln \bar{\epsilon} = x$  :

$$a = n \text{ en } b = \ln C. \quad (3.13)$$

Ook zonder de logaritmische tussenstap is het mogelijk de parameters  $C$  en  $n$  te bepalen. We substitueren in (3.10) voor  $f(x) : x^c$  waarmee een vergelijking van de vorm:

$y = a \cdot x^c + b$  wordt verkregen.

Met behulp van de kleinste kwadratenmethode zijn, voor een vaste waarde van  $c$ ,  $a$  en  $b$  direkt te bepalen. De waarde van  $c$  moet worden bepaald door een

schattingstrategie: We bepalen voor iedere schatting van  $c$  de waarden van  $a$  en  $b$  en berekenen volgens (3.5) de kwadratische verschilsom. De bestpassende kromme wordt bepaald door de waarden  $a$ ,  $b$  en  $c$  met de laagste kwadratische verschilsom.

Bij de berekening van de parameters van het vloeimodel van Hollomon moet bij de berekening van de kwadratische verschilsom de waarde van  $b$  gelijk aan 0 worden gesteld.

De eerste methode noemen we in het vervolg de logaritmische methode en de tweede de lineaire methode. De voordelen van de lineaire methode ten opzichte van de logaritmische methode worden verderop in deze paragraaf besproken.

Vloeimodel 2, Krupskowski en Swift

$$\bar{\sigma} = C \cdot (\bar{\epsilon}_0 + \bar{\epsilon})^n \quad (3.14)$$

Voor toepassing van de logaritmische methode wordt (3.14) gelogarithmiseerd :

$$\ln \bar{\sigma} = \ln C + n \cdot \ln (\bar{\epsilon}_0 + \bar{\epsilon}) \quad (3.15)$$

Kiezen we voor de voordeformatie  $\bar{\epsilon}_0$  een waarde dan kunnen we met behulp van de kleinste kwadratenmethode de waarden van de parameters  $C$  en  $n$  bepalen. Door verschillende waarden te kiezen voor de voordeformatie is het mogelijk de oplossing te vinden met de kleinste kwadratische verschilsom.

De lineaire methode is bij dit verstevigingsmodel niet toepasbaar. Voor  $f(x)$  in (3.10) is geen passende functie te vinden. Het is echter mogelijk de kwadratische verschilsom niet in het logaritmische vlak maar in het lineaire vlak te berekenen waardoor via een omweg toch een oplossing volgens de lineaire methode te vinden is.

Vloeimodel 3, Ludwik

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_0 + C \cdot \bar{\epsilon}^n \quad (3.16)$$

Door logaritmiseren wordt verkregen :

$$\ln (\bar{\sigma} - \bar{\sigma}_0) = \ln C + n \cdot \ln \bar{\epsilon} \quad (3.17)$$

Door variëren van  $\bar{\sigma}_0$  wordt de lijn berekend die de laagste kwadratische verschilsom oplevert. In (3.9) is  $a = n$  en  $b = \ln C$ . Bij toepassing van de lineaire methode wordt in (3.16)  $x^c$  voor  $f(x)$  gesubstitueerd. We verkrijgen nu de vergelijking van de vorm  $y = a x^c + b$ . Door variëren van de waarde van  $c$  wordt de kromme berekend met de laagste kwadratische verschilsom.

Vloeimodel 4, Voce

$$\bar{\sigma} = B - (B - A) \exp(-n \cdot \bar{\epsilon}) \quad (3.18)$$

Door substitutie van  $b = B$  en van  $a = -(B - A)$  gaat (3.18) over in

$$\bar{\sigma} = b + a \exp(-n \cdot \bar{\epsilon}) \quad (3.19)$$

Door substitutie van  $\exp(c)$  voor  $f(x)$  in (3.10) verkrijgen we

$$y = a \exp(c \cdot x) + b$$

De uitkomst wordt bepaald door de waarden van  $a$ ,  $b$  en  $c$  met de kleinste kwadratische verschilsom.

De voordelen van de lineaire methode ten opzichte van de kwadratische methode :

1. De tussenstap van het logaritmiseren van de meetpunten kan worden overgeslagen wat resulteert in een kortere rekentijd.
2. De fout die wordt gemaakt bij het berekenen van de bestpassende lijn volgens de logaritmische methode wordt vermeden.

We zullen voordeel 2 kort toelichten. De kleinste kwadratenmethode berekent een lijn die zich op een zo kort mogelijke gesommeerde afstand van de meetpunten bevindt. Alle meetpunten hebben zowel bij de logaritmische als de lineaire methode een even grote invloed op deze gesommeerde afstand. Echter bij het terugrekenen van het logaritmische naar het lineaire vlak is de invloed van ieder punt niet meer even groot. In het lineair vlak verkrijgen we met de logaritmische methode dus een andere bestpassende lijn dan met de lineaire methode.

In tabel 3.1 zijn enkele rekenvoorbeelden opgenomen. Hieruit blijkt dat de lijn berekend met de lineaire methode een lagere kwadratische verschilsom geeft dan de lijn berekend met de logaritmische methode.

Tabel 3.1 De kwadratische verschilsom RSS bij lineaire en logaritmische methode.

	hollomon	krups-sw	materiaal X5CrNi18-9 reksnelheid 0.25 [1/s]
lin	2046.8	1872.5	100 [°C]
log	2059.9	1914.8	
lin	650.6	597	300 [°C]
log	656.7	615.3	
lin	237.9	202.4	500 [°C]
log	241.3	210.5	
lin	1089.7	392.6	700 [°C]
log	1141.5	403.7	

#### 3.1.4.4 Implementatie in het programma

In de vorige paragraaf hebben we gezien dat bij de vloeimodellen van Krupskowski en Swift, Ludwik en Voce met het variëren van één van de vloeiparameters de laagste kwadratische afwijkingensom verkregen werd. In het materialenprogramma wordt een iteratieproces gebruikt om deze "variëerwaarde" te vinden. Aannames bij het iteratieproces zijn :

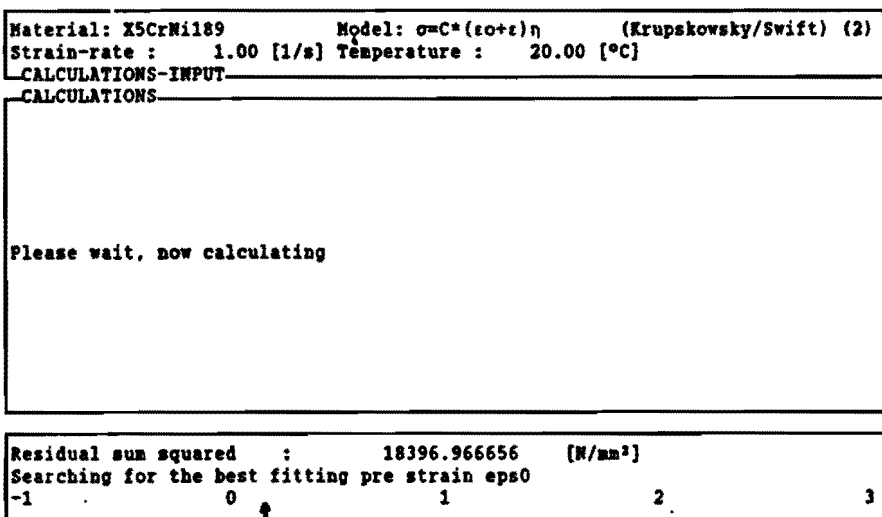
- er bestaat slechts één waarde van de variëerparameter bij de minimale kwadratische verschilsom.
- de kwadratische verschilsom heeft een continu verloop als functie van de variëerparameter.

Het iteratieproces bepaalt de variëerwaarde met behulp van twee hulpvariabelen "variabele0" en "variabele1". Variabele0 krijgt de waarde van de "beginschatting" van de variëerparameter. Variabele1 krijgt de waarde van de beginschatting vermeerderd met de waarde van de beginstap. De bestpassende lijn wordt nu berekend voor zowel variabele0 als variabele1. De kwadratische verschijsom is bepalend voor de nauwkeurigheid van de berekening van de bestpassende lijn. Er kunnen zich twee gevallen voordoen :

1. De kwadratische afwijkingensom behorend bij de berekening met variabele0, RSS0, is groter dan de kwadratische afwijkingensom behorend bij de berekening met variabele1, RSS1.
2. RSS0 is kleiner dan RSS1.

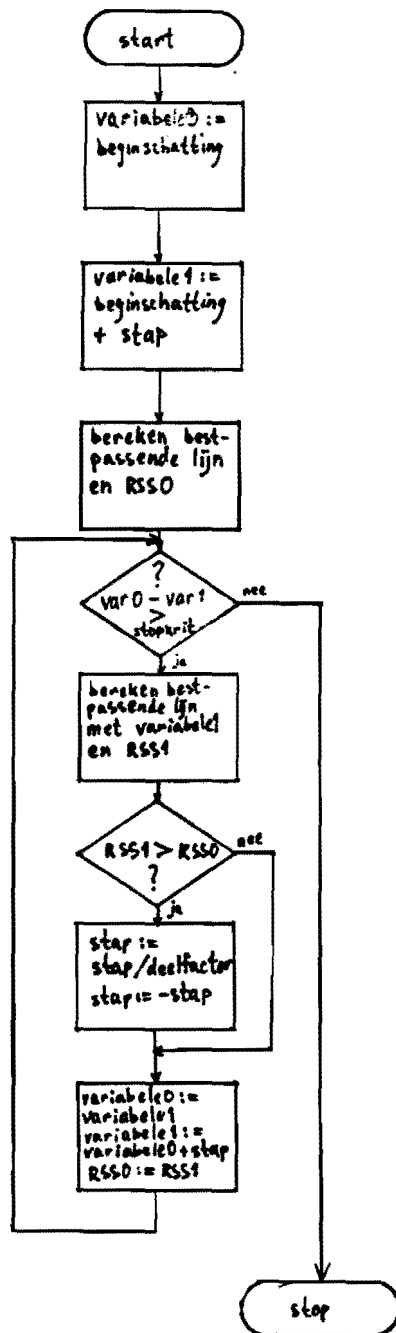
Het eerste geval betekent dat de beste oplossing dichterbij de buurt van variabele1 als van variabele0 ligt. Het tweede geval betekent dat de beste oplossing dichterbij de buurt van variabele0 ligt. In de volgende iteratiestap wordt aan variabele0 de waarde van variabele1 toegekend. Variabele1 krijgt de waarde van variabele0 vermeerderd met een stap. Deze "stapwaarde" is in het eerste geval de waarde van de beginstap en in het tweede geval het negatieve quotiënt van de beginstap en een "deelfactor". Tevens krijgt RSS0 de waarde van RSS1. Vervolgens wordt weer een kwadratische afwijkingensom, behorend bij de nieuwe variabele1 berekend. Dit proces gaat door tot een vooraf ingesteld verschil tussen variabele0 en variabele1 is bereikt. In figuur 3.3 is dit iteratieproces weergegeven in een flowschema.

Tijdens de het iteratieproces plaatst het programma op het scherm een pijltje in de schaalverdeling van variëerparameter als indicatie voor de momentane waarde van de variëerparameter (figuur 3.4).



figuur 3.4 Het beeldscherm tijdens het iteratieproces

*De procedures die de bestpassende krommen berekenen staan grotendeels in module GBModellen. De eigenlijke berekening staat in de procedure VulMatrixEnReken. In de procedure RekenUit worden bewerkingen op de verschillende verstevigingsmodellen losgelaten als logaritmiseren, voorspanning bepalen en voordeformatie bepalen. Procedure BerekenLoop bevat het iteratieproces dat gebruik maakt van de procedure RekenUit. In de procedures Hollomon, KrupsSwift, Ludwik en Voce vindt de schermopbouw plaats en wordt de procedure BerekenLoop gebruikt. Een niveau hoger in het programma worden de procedures Hollomon, KrupsSwift, Ludwik en Voce verwerkt in procedure Berekening van module GBonder.*



figuur 3.3 flowschema iteratieproces

### 3.1.5 Veranderen van de instelwaarden (Change settings)

Met deze keuze is het mogelijk bepaalde instellingen van het iteratieproces in 3.1.4.4 te wijzigen. Het bij deze menukeuze behorende scherm is opgenomen in figuur 3.5.

CALCULATIONS-INPUT MENU			
SETTINGS			
Changeable items :		default	
(1) Screentype (ega (e) or cga (c))	:	e	e
(2) Option(Rlin (1), Rlog (2), RSSlin (3), RSSlog (4)):	:	3	3
(3) Width of numeric results	:	10	10
(4) Maximum number of steps in calculations	:	50	50
(5) Model belonging to following items	:	2	
(6) Stop-value	model 2 :	0.0000100000	0.0000100000
(7) Value of first step	model 2 :	0.0500000000	0.0500000000
(8) Value of first estimate	model 2 :	0.1000000000	0.1000000000
(9) Value of step-division	model 2 :	2.0000000000	2.0000000000

Select one item to change (1..9)
Change value of
<esc> : return to main menu

figuur 3.5 het instelwaarden-scherm

De te veranderen instelwaarden zijn

-beginschatting	(value of first estimate)
-deelfactor	(value of step division)
-stapwaarde	(value of first step)
-stopkriterium	(stop value)

De andere instellingen die we kunnen veranderen in dit programmadeel zijn :

-het schermtype (cga of ega)	(displaytype)
-het maximum aantal stappen in het iteratieproces	(maximum number of steps)
-het aantal significante cijfers van de getalrepresentatie	(width of numeric results)
-rekenoptie	(option)

Met de rekenoptie kan het programma het iteratieproces met vier verschillende criteria doorlopen :

1. Maximale correlatiecoëfficiënt volgens de lineaire methode
2. Maximale correlatiecoëfficiënt volgens de logaritmische methode
3. Minimale kwadratische verschilsom volgens de lineaire methode
4. Minimale kwadratische verschilsom volgens de logaritmische methode.

*De procedure SetSettings uit module Settings bevat het programmagedeelte waarmee de instelwaarden kunnen worden gewijzigd.*

### 3.1.6 Veranderen van de geïnterpoleerde spannings/rek waarden (change strain/stress points)

Met dit deel van het programma is het mogelijk de punten van de uit de meetgegevens geïnterpoleerde vloeikromme te veranderen (figuur 3.6).

CALCULATIONS - INPUT	
CHANGE STRAIN/STRESS COMBINATIONS	
strain	stress
[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]
0.0500	556.77
0.10	672.90
0.20	804.83
0.30	904.83
0.40	1002.90
0.50	1011.93
0.60	1010.96
0.70	1000.00
0.80	988.06

<esc> return to calculations

figuur 3.6 veranderen spanning/rek waarden

*De procedure ChangeStrainStress uit module GBOnder bevat de programmatekst van deze bewerkingen.*

### 3.2 Berekeningen uitvoer-menu (Calculations output menu)

Na intoetsen van keuze 7 van het berekeningen-invoermenu verschijnt het berekeningen-uitvoermenu (figuur 3.7). Dit geeft de mogelijkheid te kiezen uit verschillende presentaties van de berekende resultaten.

Material: X5CrNi189		Model: $\sigma=C*(\epsilon_0+\epsilon)^n$		(Krupskowsky/Swift) (2)	
Strain-rate :		1.00 [1/s]		Temperature : 20.00 [°C]	
CALCULATIONS-OUTPUT MENU					
-results on the screen, without graphics	(1)				
-printed results, without graphics	(2)				
-results on the screen, with graphics	(3)				
-printed results, with graphics	(4)				
-plot measured strain/stress	(5)				
-plot calculated against measured stresses	(6)				
-go to calculations-input menu	(7)				
-return to main menu	(8)				

<esc> : return to main menu

figuur 3.7 berekeningen-uitvoermenu (calculations outputmenu)

### 3.2.1 Resultaten op het scherm zonder grafiek (results on the screen without graphics)

Met deze keuze wordt een lijst van resultaten op het beeldscherm van de computer afgedrukt :

- de materiaalnaam en het versterkingsmodel
- de reksnelheid en temperatuur
- de berekende versterkingsparameters
- de nauwkeurighedaanduidingen kwadratische afwijkingensom en correlatiecoefficient
- het soort materiaalbeproeving waarmee de meetgegevens zijn opgenomen
- het werkstoffnr en de herkomst
- de manier waarop de bestpassende lijn berekend is (figuur 3.8)

Material: X5CrNi189	Model: $\sigma=C*(\epsilon_0+\epsilon)\eta$	(Krupskowsky/Swift) (2)
CALCULATIONS-OUTPUT		
RESULTS SCREEN - NO GRAPHICS		
Temperature	: 20.00000	[°C]
Strain rate	: 1.00000	[1/s]
Work hardening exponent n:	0.15436	[-]
Characteristic stress C :	1092.97959	[N/mm <sup>2</sup> ]
Pre strain eps0 :	-0.03880	[-]
Correlation coefficient R :	0.9806243	[-]
Residual sum squared RSS :	13019.558	[N/mm <sup>2</sup> ]
Option : lowest residual sum squared, linear approach		
werkstoff-nr :	000000	
source (literature) :	avoera	
test :	unknown	
Press <cr> to continue		

figuur 3.8 resultaten op het scherm

*Procedure Resultaat1 in module GBUitvoer verzorgt de presentatie van de resultaten op het beeldscherm.*

### 3.2.2 Resultaten naar de printer, zonder grafiek (printed results, without graphics)

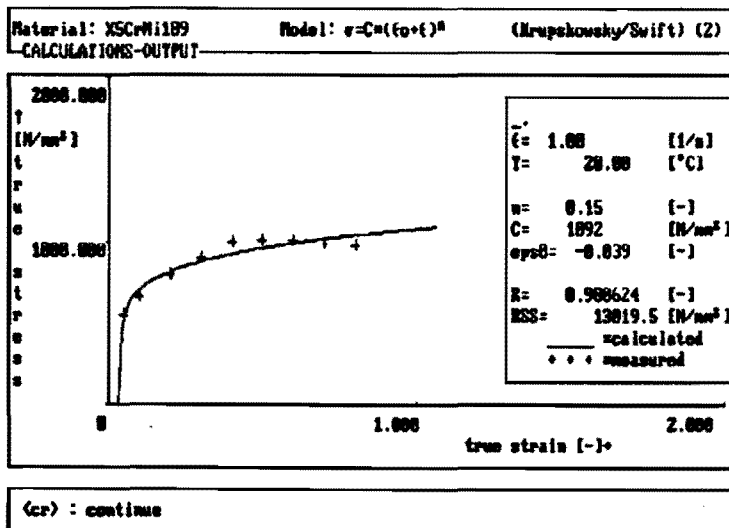
Met deze keuze worden dezelfde resultaten als in de vorige menukeuze afgedrukt op de printer.

*Procedure Resultaat2 uit module GBUitvoer verzorgt de uitvoer naar de printer.*

### 3.2.3 Resultaten naar het scherm met grafiek (results on the screen with graphics)

Na aanroep van deze menukeuze wordt een grafiek van zowel de gemeten punten als de berekende kromme op het beeldscherm getekend (figuur 3.9).





figuur 3.9 grafiek op het scherm

*De bijbehorende procedure is Resultaat3 uit module GBUIvoer.*

### 3.2.4 Resultaten naar de printer met grafiek (printed results with graphics)

Nu worden zowel de berekende getalwaarden uit keuze 2 als de grafiek uit keuze 3 naar de printer gestuurd.

*De bijbehorende procedures zijn zowel Resultaat2 als Resultaat3 uit module GBUIvoer.*

### 3.2.5 Afdrukken van de geïnterpoleerde vloeikromme (plot measured strain stress)

Alleen de uit de meetgegevens geïnterpoleerde meetwaarden worden met deze menu-keuze op het beeldscherm afgedrukt. Deze optie kan worden gebruikt als het programma geen bestpassende kromme vindt voor de ingegeven meetwaarden. Het is mogelijk met keuze 6 van het berekeningen-invoermenu de waarden zo te veranderen dat berekening van de bestpassende kromme wel goed gaat.

*De programmatekst is opgenomen in procedure Resultaten uit module GBUIvoer.*

### 3.2.6 Afdrukken van de geïnterpoleerde spanningswaarden tegen de berekende spanningswaarden (plot claculated against measured stresses)

De gemeten spanningen als functie van de berekende spanning vormen een exacte rechte lijn als de correlatiecoëfficiënt gelijk is aan 1. De punten moeten dan ook op de lijn  $x=y$  liggen.

*De programmatekst is opgenomen in procedure Resultaat4 uit module GBUIvoer.*

## VERSLAGEN

"Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden"

Interne TUE publikatie WPA-rapport 0526. (hoofdverslag)

"Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden. User's manual."

Interne TUE publikatie WPA-rapport 0527.

"Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden. Technical manual."

Interne TUE publikatie WPA-rapport 0528.

"Een computerprogramma voor het genereren van vloeiparameters uit meetgegevens, bij willekeurige procesomstandigheden. Program listing."

Interne TUE publikatie WPA-rapport 0529.