

MASTER

Uitwerking van het technologieprogramma voor achterwaartse hulsextrusie

van Rijckevorsel, J.W.

Award date:
1985

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

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

T E C H N I S C H E H O G E S C H O L E I N D H O V E N

Afdeling Werktuigbouwkunde

Vakgroep Produktietechnologie en Bedrijfsmechanisatie

Uitwerking van het technologie-
programma voor
achterwaartse hulsextrusie.

J.W. van Rijckevorsel

WPB - rapport 0184

mei 1985

Dit rapport maakt deel uit van de
verslaglegging van het afstudeerwerk
van J.W. van Rijckevorsel binnen
sectie Omvormtechnologie.

Voorwoord

In dit rapport zijn de flowdiagrammen en de afleidingen van de daarin voorkomende formules opgenomen die geleid hebben tot het technologieprogramma voor het achterwaartse hulsextrusieproces. Dit studieproject vormde het afstudeerwerk van J.W. van Rijckevorsel aan de Technische Hogeschool Eindhoven, afdeling Werktuigbouwkunde, vakgroep Produktietechnologie en Bedrijfsmechanisatie, werkeenheid mechanische bewerkingen.

Voor een samenvattend overzicht wordt verwezen naar WPB - rapport 0183 "Technologieprogramma voor achterwaartse hulsextrusie".

Het technologieprogramma is tot stand kunnen komen dankzij de begeleiding van J.A.H. Ramaekers en S. Hoogenboom en dankzij de vele uren die N.A.L. Touwen besteed heeft aan het omzetten van de flowdiagrammen in een goed werkend programma.

Inhoud

Voorwoord	I
Symbolenlijst	III
Inleiding	1
I Het invoergedeelte	2
Toegift en blenkdikte beschouwing	4
Tekenroutines	8
II De berekeningen	14
Inleiding	14
De berekeningen volgens model 11 en 21	15
De flowdiagrammen van model 11 en 21	26
De berekeningen volgens de modellen 31, 32 en 41	32
De flowdiagrammen van de modellen 31, 32 en 41	41
De spanningen op het gereedschap	49
De selectie van de modellen	55
III Het uitvoergedeelte	56
Wijzigen invoergegevens	56
Terugmelding invoergegevens	57
Perskracht	57
Spanningen op het gereedschap	61
Scheurvoorspelling	64
Knik van de stempel	66
Zwemmen van de stempel	70
Invering van de stempel	73
Konventionele methoden om de perskracht te berekenen	76
Literatuurlijst	78

Symbolenlijst

a	wanddikte van de huls	[mm]
C	karakteristieke spanning	[N/mm ²]
c	inklemfaktor bij knik	[-]
D	diameter van de huls	[mm]
E	elasticiteitsmodulus	[N/mm ²]
fr	oppervlakteverhouding	[-]
h	momentane bodemdikte	[mm]
he	eind-bodemdikte, bodemdikte van de huls	[mm]
hh	hoogte van de huls	[mm]
h _o	begin-bodemdikte, dikte van de blenk	[mm]
h _p	passeerrandhoogte	[mm]
J	vermogen	[W]
J*	dimensieloos vermogen	[-]
J _D	vermogen door deformatie binnen een snelheidsgebied	[W]
J _r	vermogen door afschuiving in een discontinuïteitsvlak	[W]
J _w	vermogen door wrijving	[W]
ΣJ*	som van het dimensieloze vermogen	[-]
ΣJ _{hw} *	som van de vermogenstermen van het hoek- en wandgebied	[W]
m	wrijvingsfaktor volgens von Mises	[-]
m _{ij}	wrijving/afschuifparameter voor vlak ij	[-]
n	verstevingsexponent	[-]
r, ,z	cilinderkoordinaten	[-]
R	hulsstraal (uitwendig)	[mm]
R _s	stempelstraal, inwendige hulsstraal	[mm]
r _g	grensstraal	[mm]
s	dikte aktieve zone	[mm]
u	stempelsnelheid	[mm/s]
u _r , u _z	materiaalsnelheid in de r en z-richting	[mm/s]
u	materiaalsnelheidsverschil langs een -vlak	[mm/s]

α, β	hoeken	[grad.]
Γ	aanduiding discontinuïteitsvlak	[-]
$\bar{\epsilon}$	effectieve rek	[-]
$\bar{\epsilon}_0$	effectieve beginrek	[-]
$\bar{\epsilon}_i$	effectieve rek in gebied i of over vlak i	[-]
$\dot{\epsilon}$	reksnelheid	[1/s]
$\dot{\epsilon}_r, \dot{\epsilon}_\varphi, \dot{\epsilon}_z$	reksnelheden in r, φ en z-richting	[1/s]
ρ	maat voor afschuining	[mm]
ρ_v	maat voor voorgeschreven afschuining	[mm]
σ	spanning	[N/mm ²]
$\bar{\sigma}$	gemiddelde spanning	[N/mm ²]
σ_v	vloeispanning	[N/mm ²]
σ_{v_0}	begin-vloeispanning	[N/mm ²]
σ_k	knikspanning	[N/mm ²]
$\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$	spanningen in r, φ en z-richting	[N/mm ²]
τ	schuifspanning	[N/mm ²]
τ_w	schuifspanning ten gevolge van wrijving	[N/mm ²]

Af en toe zijn er lokaal andere symbolen gebruikt. Deze zijn dan ter plaatse gedefinieerd. Dit is nodig wanneer er formules uit de literatuur overgenomen zijn.

symbolen ten behoeve van het programma:

A	wanddikte
AANT	aantal te berekenen situaties (stappen)
AFKNTG	afschuining (schuin gemeten)
AFSCHN	afschuining (schuin gemeten)
AGRSGR	grenswaarde voor wanddikte gedeeld door stempelstraal
BPA	Boes-Pouw-faktor a
BPB	Boes-Pouw-faktor b
BPPRSK	Boes-Pouw perskracht
C	karakteristieke spanning
D	hulsdiameter
DELTAD	uitzetting van de stempeldiameter
DELTAH	increment, stapgrootte
E	elasticiteitsmodulus
EGEM1 - EGEM2	hulpvariabelen gemiddelde rekken
EPS1 - EPS2	effectieve rekken
ES	elasticiteitsmodulus van staal
FR	oppervlakte verhouding
Gi	hulpvariabelen bij vragen aan gebruiker (vraag i)
GEZWF	faktor voor gevoeligheid voor zwemmen
H	momentane bodemdikte
HE	eind-bodemdikte, bodemdikte van de huls
HGRNS	grenswaarde momentane bodemdikte
HO	begin-bodemdikte, blenkdikte
HP	passeerrandhoogte
HWB	blenkhoogte nodig voor wand
I	teller, situatienummer, stapnummer
INVRNG	invering van stempel
KNKFK1 - KNKFK2	knikfactoren
KNKSP	knikspanning
M	wrijvingsfaktor volgens von Mises
Mij	wrijving/afschuif parameter voor vlak ij
MKVRM	maximale vermogen uit tabel MIN.VERMOGEN
MIN.VERMOGEN	tabel met geselecteerde resultaten

N	verstevigingsexponent
PERSK	perskracht
PHU	hulpvariabele bij perskrachtverwerking
PI	3.1416
PRSKR1 - PRSKR2	perskracht routines
R	hulsstraal
RED	oppervlakte verhouding, reductie
RG	grensstraal
RHO	maat voor afschuining
RHOV	maat voor voorgeschreven afschuining matrijs
RHCS	maat voor afschuining stempel
RKC	Romanovski-faktor
RKKN1 - RKKN2	routines ter berekening van de rekken
ROPRSK	Romanovski perskracht
S	dikte aktieve zone
SCH	schaalfaktor in verwerking spanningen
SGGE	routine ter bepaling van spanningen op gereedschap
SGGE1 - SGGE4	de spanningen op het gereedschap
SGHU1 - SGHU2	hulpvariabelen in routine SGGE
SPO	begin-vloeispanning
SOPT1 - SOPT2	hulpvariabelen bij bepalen optimale S-waarde
SP1 - SP3	spanningsfactoren voor vloeispanningen
STFAK	stempelfaktor
STMPLL	stempellengte
TGFT	toegift gemeten langs hulswand
TGFTB	blenkdikte nodig voor toegift hulswand
VERM	dimensieloos vermogen
VERMHW	dimensieloos vermogen van de hoek en de wand
VLSPG1 - VLSPG2	routine ter bepaling van de spanningsfactoren
WD	wortel drie
WNDH	wandhoogte
WT	wortel twee

Dit zijn de symbolen die in de flowdiagrammen voorkomen. In het programma komen er naast deze nog een aantal andere voor.

Inleiding

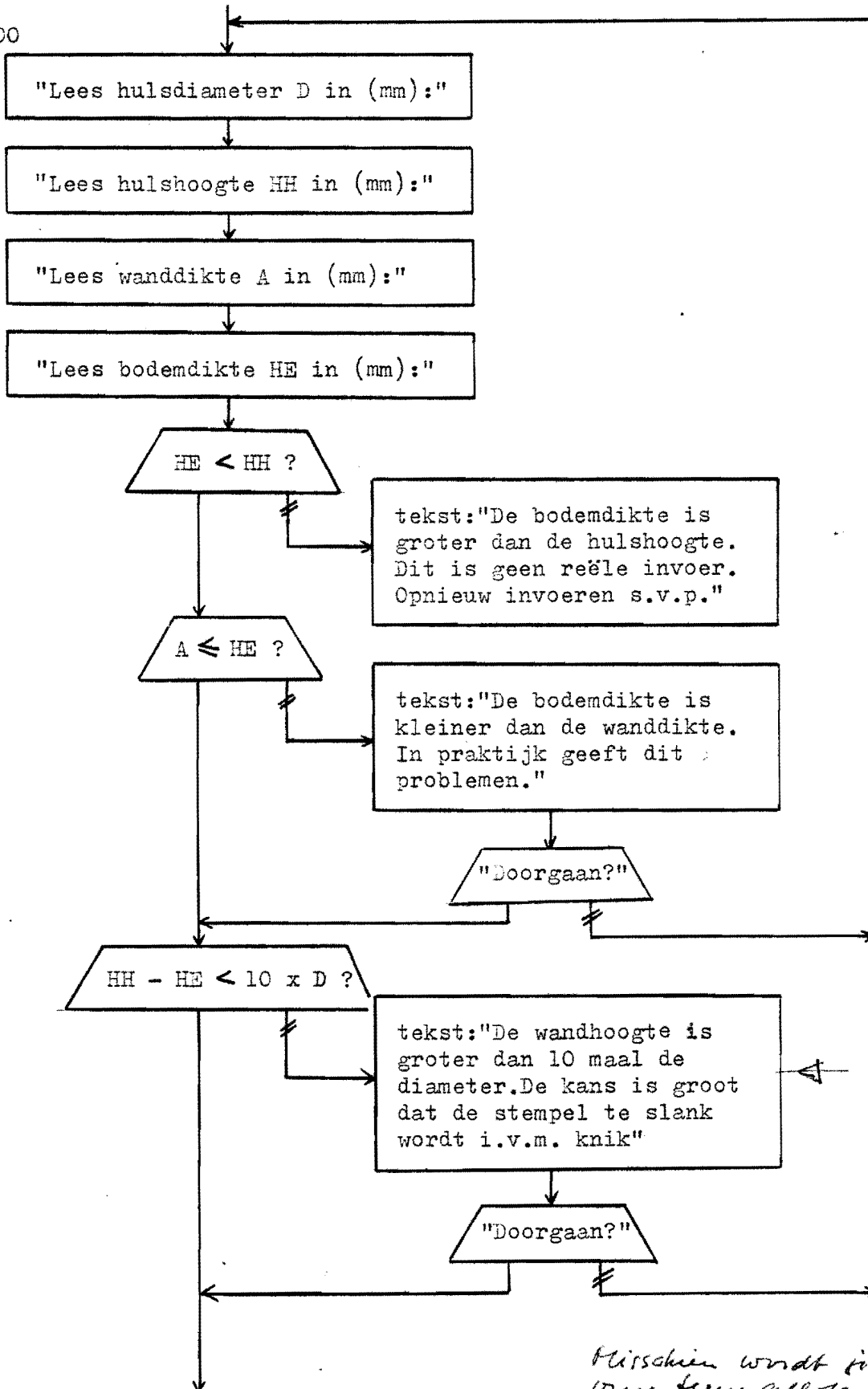
In dit rapport staan de afleidingen en de flowdiagrammen met behulp waarvan het technologieprogramma betreffende het achterwaartse hulsextrusieproces tot stand gekomen is.

Het programma is in drie delen opgedeeld: het invoergedeelte; de berekeningen en het uitvoergedeelte. De flowdiagrammen zijn niet tot in alle details uitgewerkt. Zij zijn slechts bedoeld als hulp bij het doorgronden van het programma. Ditzelfde geldt voor de gebruikte formules. Alleen die, waarbij een toelichting nodig is, zijn uitgewerkt. Deze afleidingen staan steeds voor het desbetreffende flowdiagram.

De teksten in de flowdiagrammen die tussen aanhalingstekens staan verschijnen op het beeldscherm. De hokjes met schuine kanten zijn vragen. Alleen wanneer deze tussen aanhalingstekens staan zijn dit vragen die op het scherm verschijnen en die door de gebruiker met ja of nee beantwoord moeten worden. Onder elk hokje met een vraag komen twee pijltjes uit. Bij een nee-antwoord moet het rechter en bij een ja-antwoord moet het linker pijltje gevolgd worden. Voor de duidelijkheid zijn de pijltjes betreffende de nee-antwoorden tweemaal doorstreept.

Het invoergedeelte

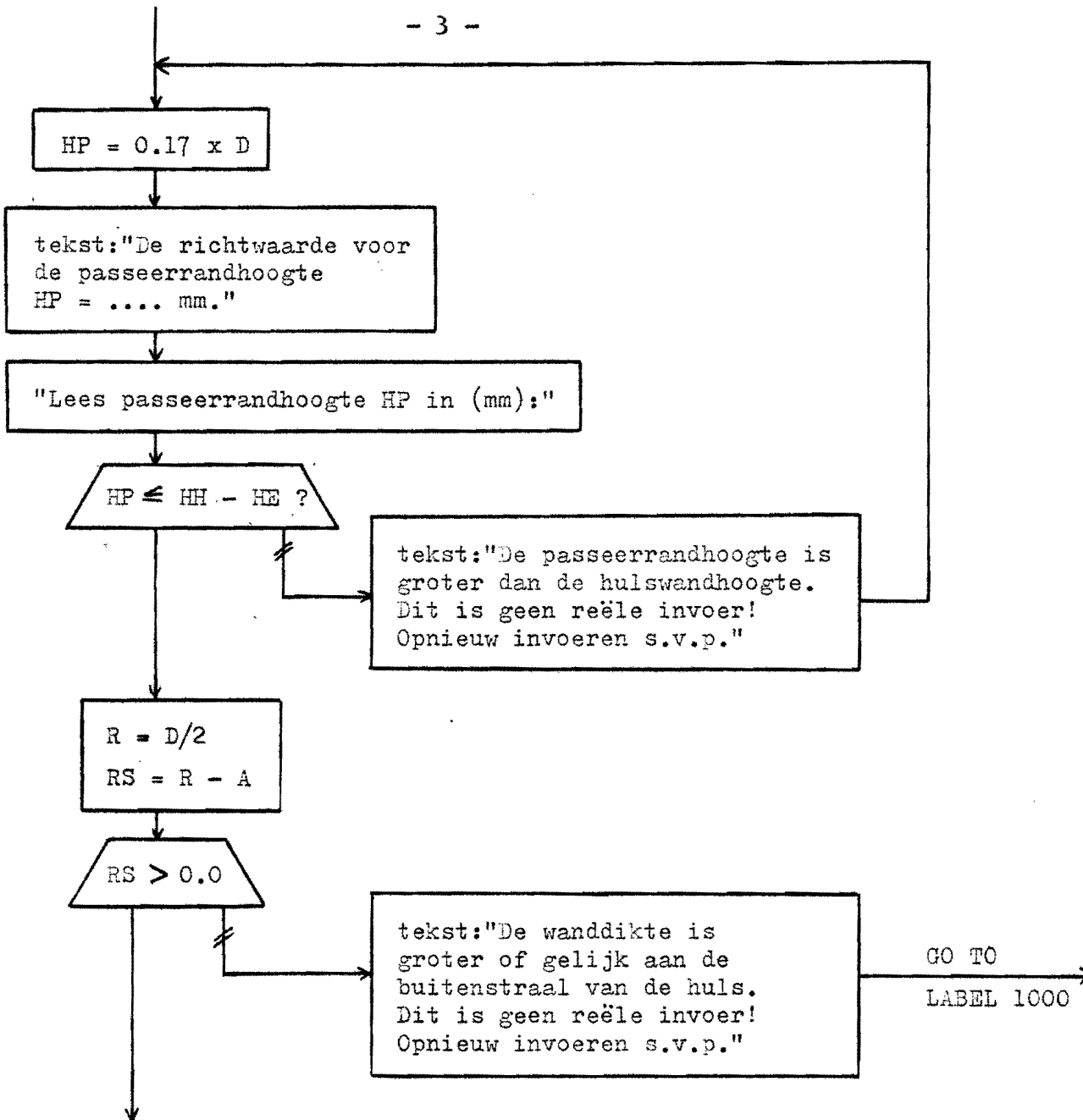
Label 1000



*de algemene
want de
gebruikelijk
just loop
steunen.
Getal is
uit Roma-
nowski.
Bij staal
meestal
dikke wanden*

*Mitsdien wordt er niet te
vrij terug gefloten.*

*|| Overbodig, knikcontrole
komt nog*

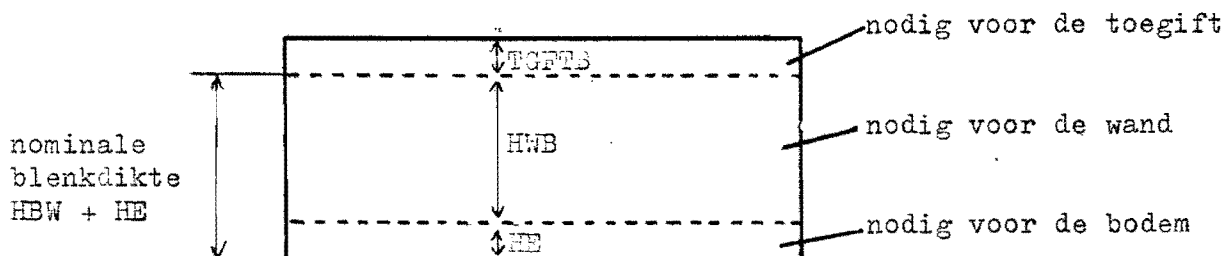


Toegift en blenkdikte beschouwing

De toegift in de wandhoogte wordt in het programma in beginsel gesteld op 0.15 maal de nominale hulswandhoogte.

$$\text{Dus } \text{TGFT} = 0.15 \times (\text{HH} - \text{HE})$$

Door de toegift wordt de blenk dikker:

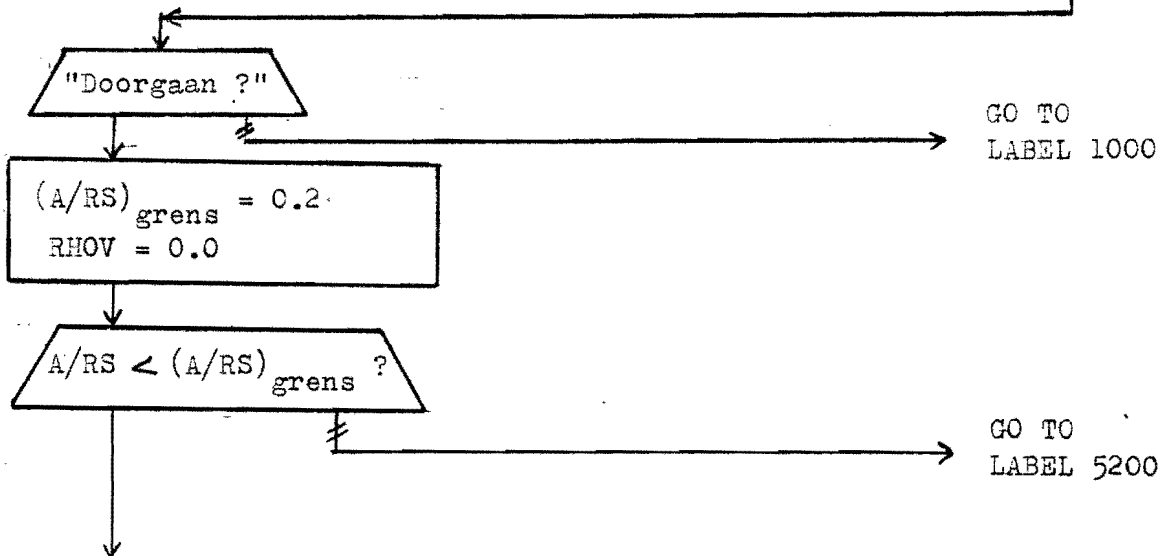
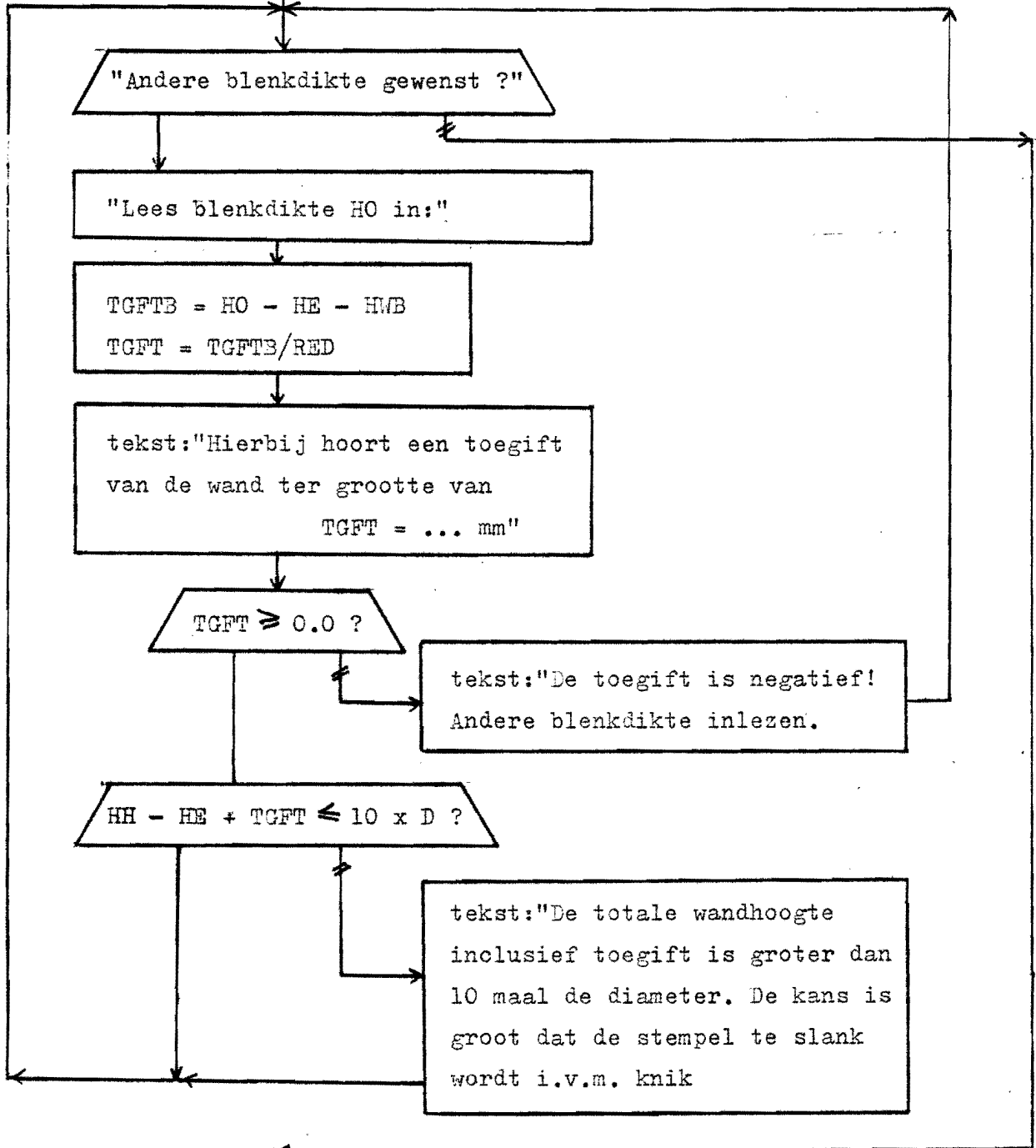


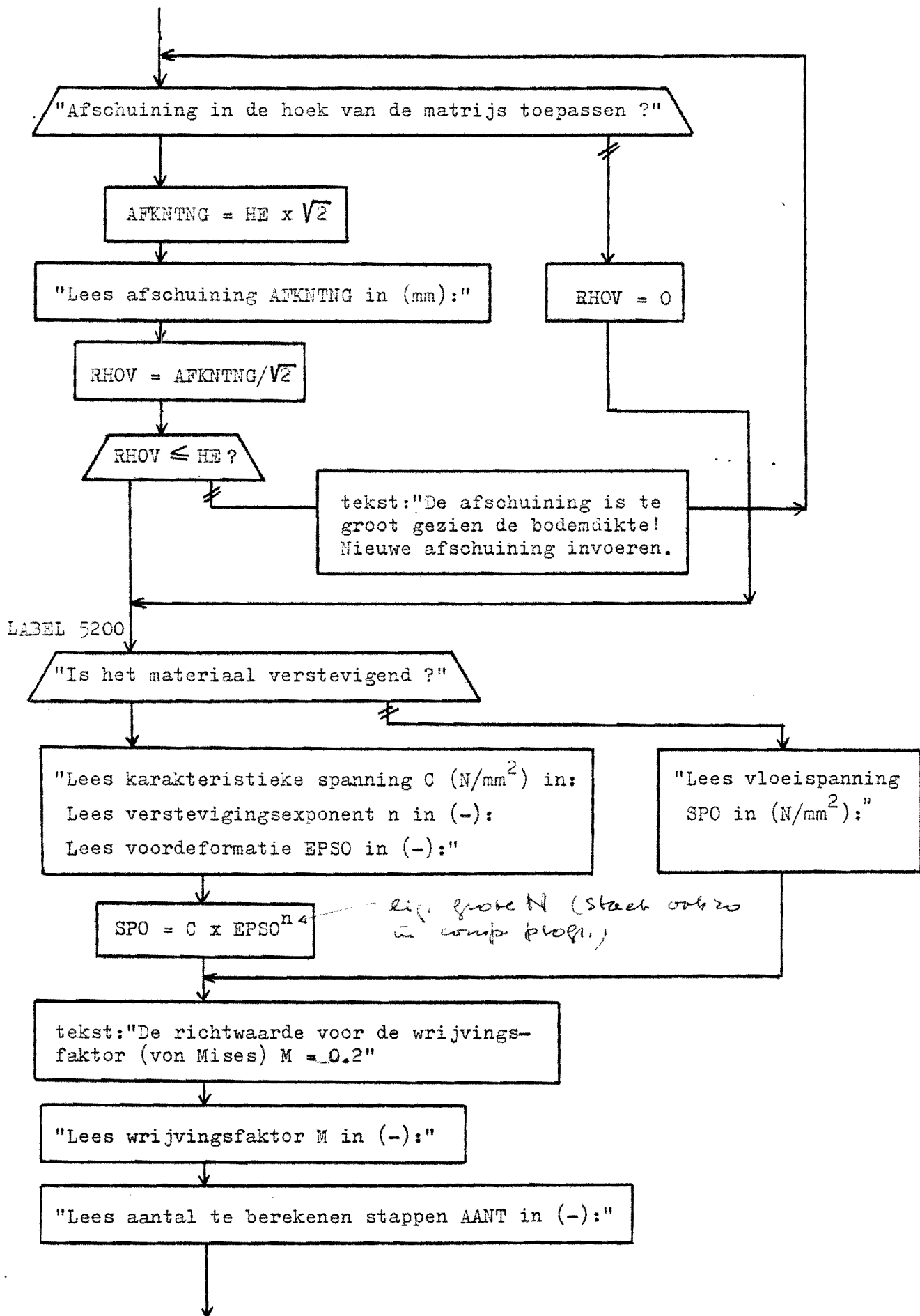
Opmerking: Voor hulzen met een dikke wand is een kleinere toegift nodig. Dit is nog niet in het programma verwerkt.

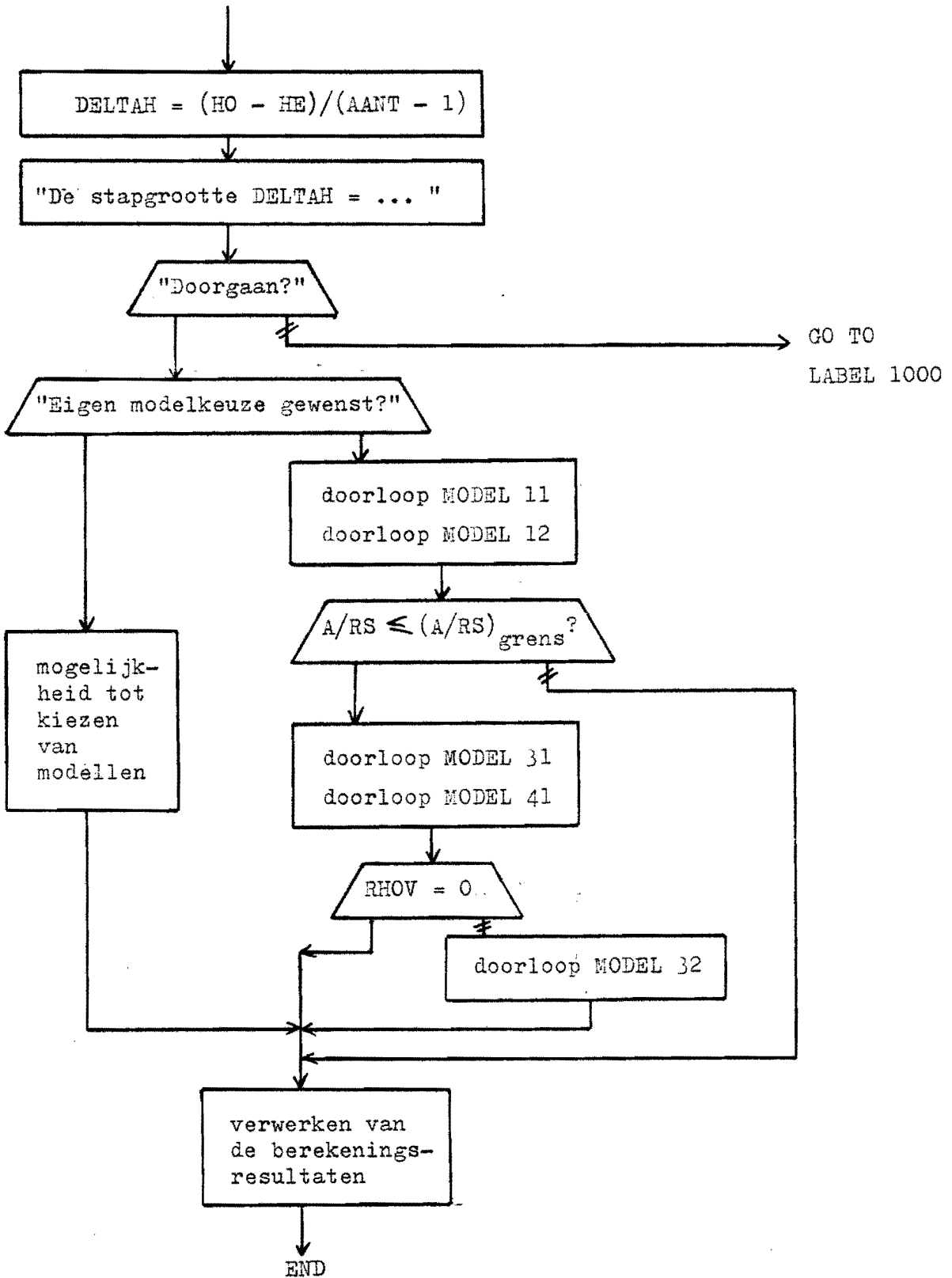
$$\begin{aligned} \text{RED} &= (R^2 - \text{RS}^2) / R^2 \\ \text{HWB} &= (\text{HH} - \text{HE}) \times \text{RED} \\ \text{TGFTB} &= 0.15 \times \text{HWB} \\ \text{TGFT} &= \text{TGFTB} / \text{RED} \\ \text{HO} &= \text{HE} + \text{HWB} + \text{TGFTB} \end{aligned}$$

tekst:

"De uitwendige hulsstraal $R = \dots$ mm
De inwendige hulsstraal $\text{RS} = \dots$ mm
De nominale blenkdikte $= \dots$ mm
Richtwaarde blenkdikte i.v.m. toegift $\text{HO} = \dots$ mm
De hierbij horende toegift van
de wand $\text{TGFT} = \dots$ mm
Indien geen andere blenkdikte ingevoerd wordt, dan wordt verder gerekend met de richtwaarde."







Voor uitwerking van de modellen zie Hfdst. "Berekeningen".
Voor uitwerking van de verwerking zie Hfdst. "Verwerken".

Tekenroutines

De invoer wordt desgewenst voorafgegaan door een tekening waaruit het principe van het achterwaartse hulsextrusieproces blijkt (tekenroutine I). Hierin staan tevens alle geometriefactoren gedefinieerd. Wanneer alle invoergegevens ingegeven zijn kan het produkt en de bijbehorende blenk op schaal op het beeldscherm afgebeeld worden met tekenroutine II. Naast deze afbeelding verschijnt een kolom met alle invoergegevens op het scherm. Zoals alle tekeningen kunnen de afbeeldingen gemaakt door de beide tekenroutines uitgeplot worden.

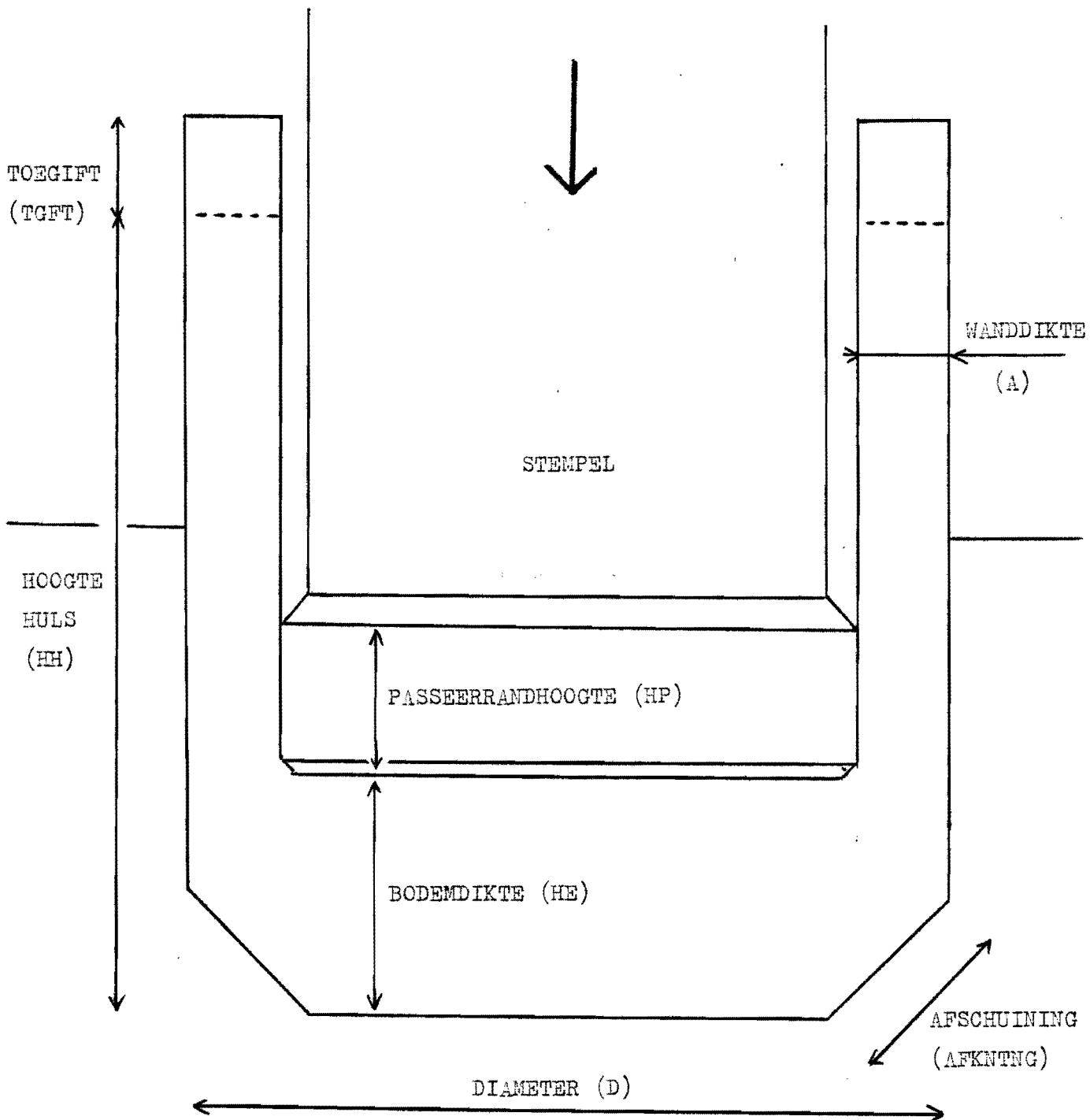
Omdat bij het tot stand komen van dit rapport de tekenroutines nog niet in het programma opgenomen waren, zijn ze volledig met alle koördinaten op de volgende bladzijden uitgewerkt.

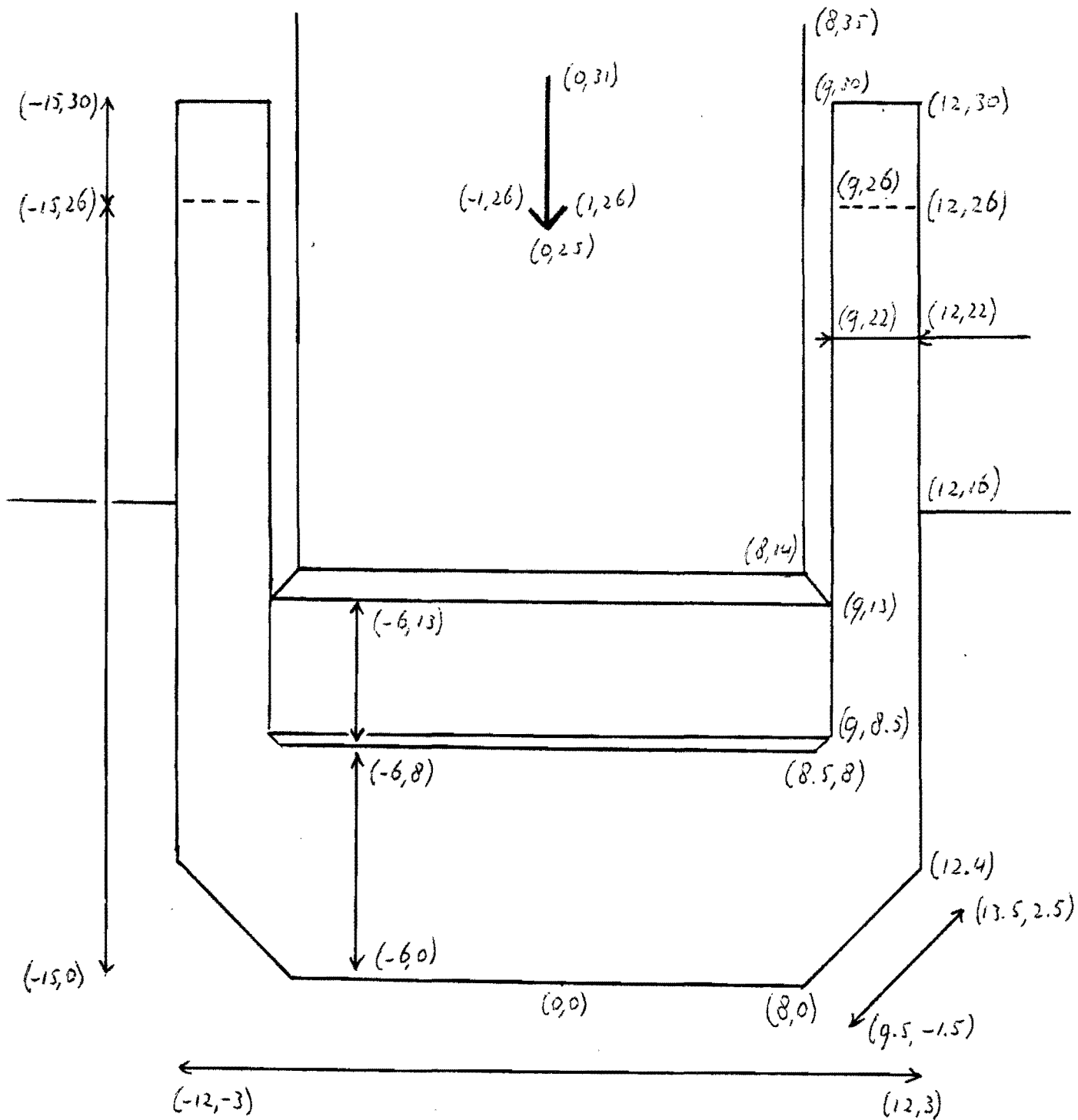
Tekenroutine I

Hieronder staat de tekening zoals die op het scherm verschijnt.

Op de volgende bladzijde worden de koördinaten gegeven.

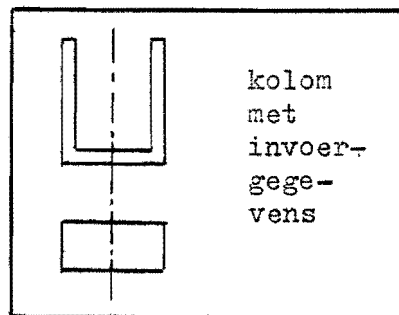
ACHTERWAARTSE HULSEXTRUSIE
VOOR RONDE HULZEN



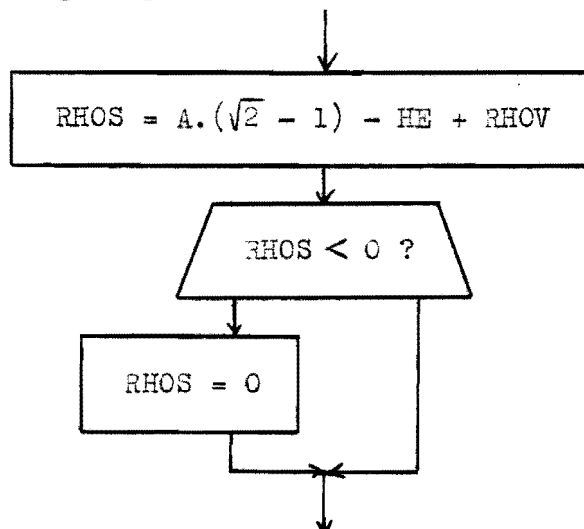


Tekenroutine II

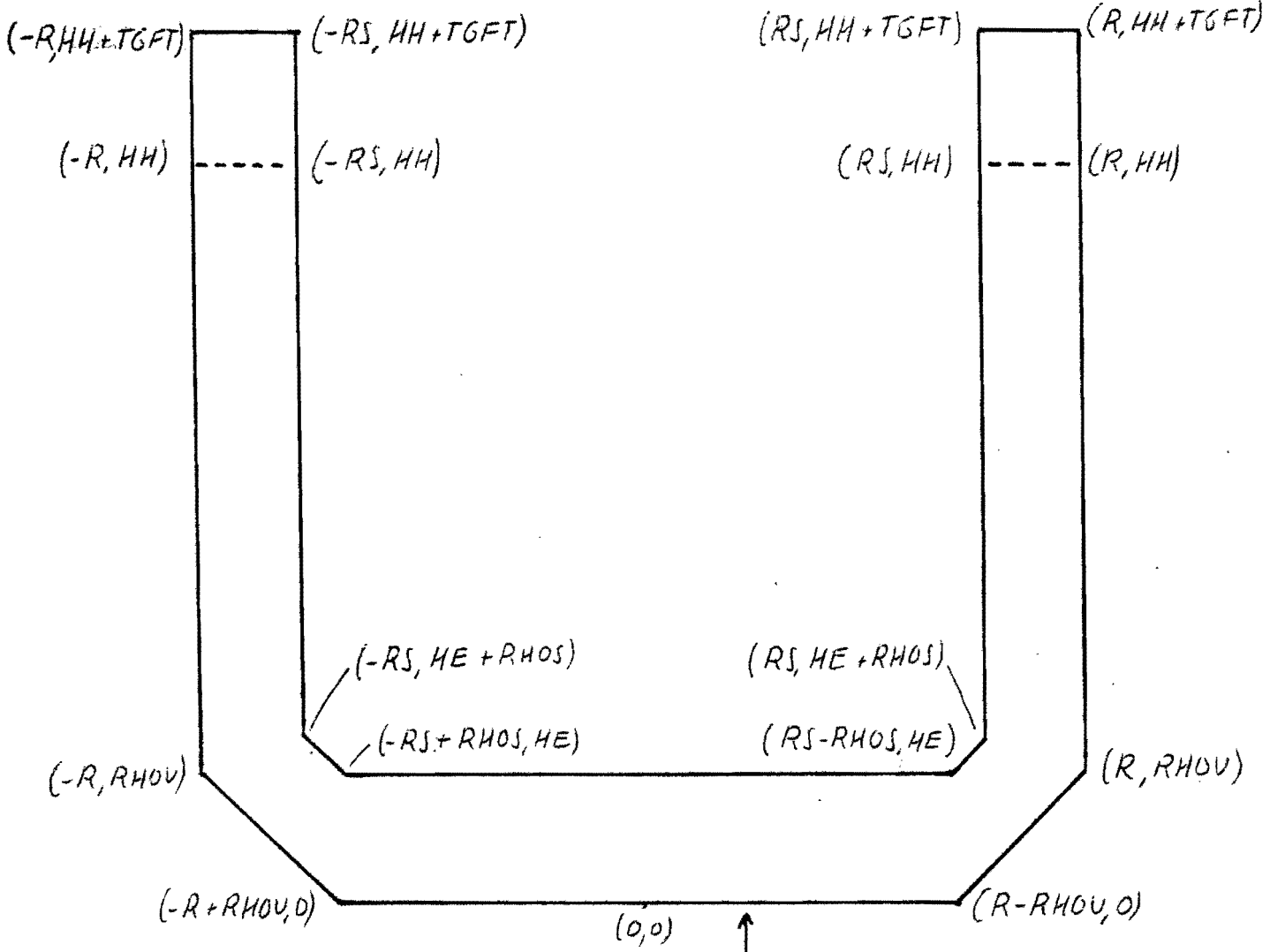
Deze tekenroutine kan, nadat de computer de invoergegevens heeft, een afbeelding maken van de huls en de bijbehorende blenk. Deze tekening kan zowel voor de berekeningen direkt na de invoer als na de berekeningen (door een verwerkingskommando) opgevraagd worden. De tekening wordt samen met een kolom met alle invoergegevens op het scherm afgebeeld:



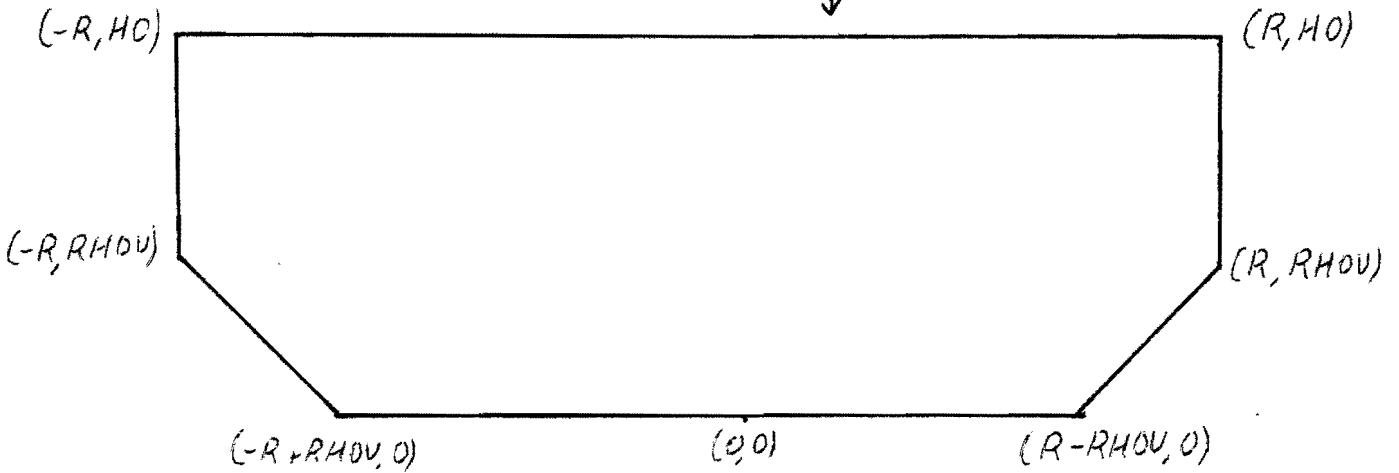
De koördinaten en de eigenlijke figuur staan hier in een tekening afgebeeld. In de tekening die op het scherm verschijnt staan de koördinaten uiteraard niet vermeld. Een van de koördinaten is RHOS. Dit is de afschuining van de stempel die het mogelijk maakt om de berekeningen met een wat grotere RHOV te doorlopen. In de modellen is deze RHOS niet meegenomen. Daarom zijn de berekeningen alleen voor kleine RHOS-waarden voldoende nauwkeurig. Deze dient er alleen voor om in de tekeningen het materiaal in de hoek niet af te knippen. Zie ook de opmerkingen bij "Spanningen op het gereedschap". RHOS wordt als volgt bepaald:



EINDPRODUKT



BLENK



$1,25 * HO$



EINDPRODUKT

DIAMETER HULS	[mm]	D	=	...
HOOGTE HULS	[mm]	HH	=	...
HOOGTE TOEGIFT	[mm]	TGFT	=	...
BODEMDIKTE	[mm]	HE	=	...
WANDDIKTE	[mm]	A	=	...
AFSCHUINING	[mm]	AFKNTG	=	...

BLENK

DIAMETER BLENK	[mm]	D	=	...
HOOGTE BLENK	[mm]	HO	=	...
AFSCHUINING	[mm]	AFKNTG	=	...

MATERIAAL

KARAKTERISTIEKE SPANNING	[N/mm ²]	C	=	...
VOORDEFORMATIE	[-]	EPSO	=	...
VERSTEVIGINGSEXONENT	[-]	N	=	...
VLOEISPANNING	[N/mm ²]	SPO	=	...

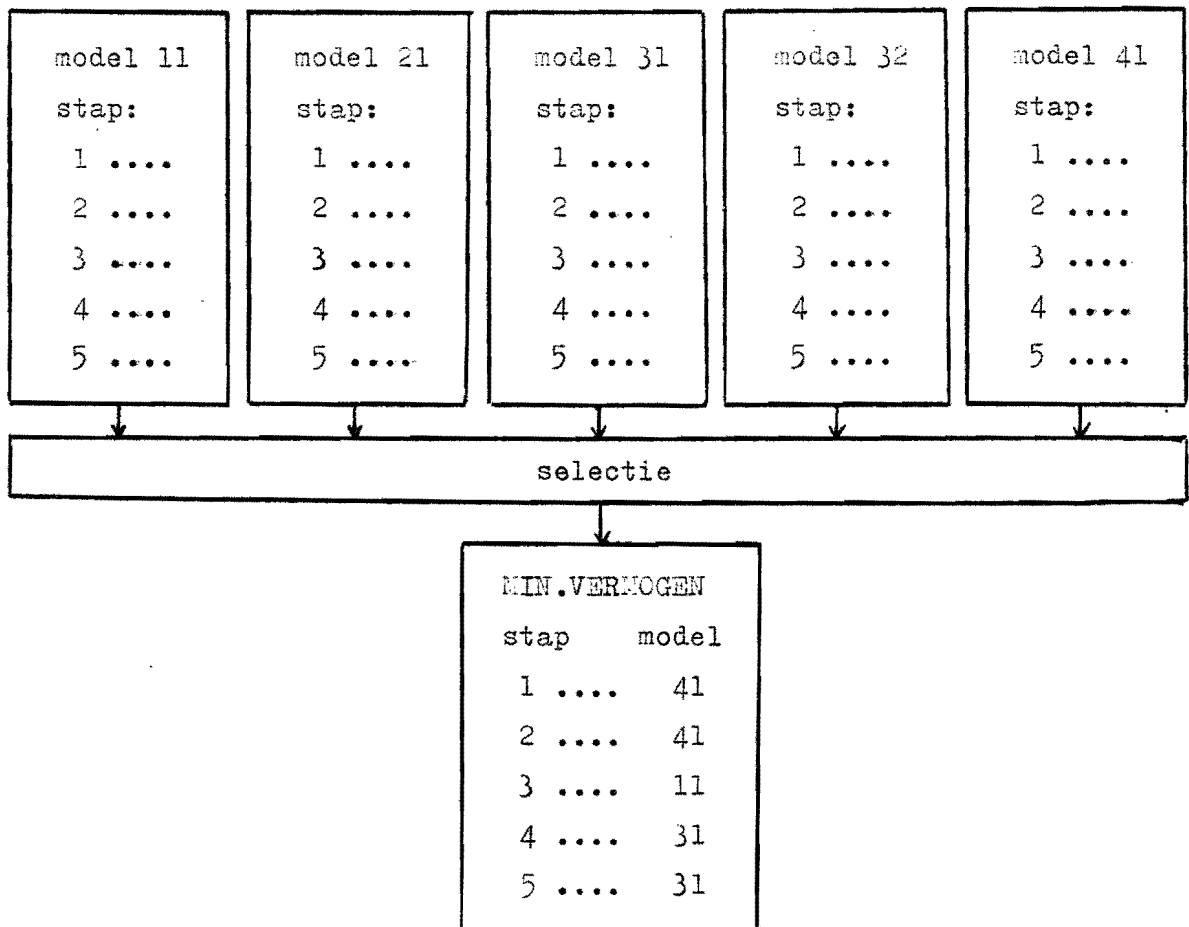
OVERIGE GEGEVENS

PASSEERRANDHOOGTE	[mm]	HP	=	...
WRIJVINGSFAKTOR	[-]	M	=	...
MINIMUM AFSCHUINING STEMPEL	[mm]	AFSST	=	...

II DE BEREKENINGEN

Inleiding

De toegepaste formules zijn gebaseerd op de bovengrensmethode, de schillenmethode en volumeinvariantie. Allereerst worden een aantal verschillende bovengrensmodellen doorgerekend. Dit gebeurt voor een door de gebruiker te kiezen aantal verschillende stadia (stappen) van het proces. Het is nodig verschillende bovengrensmodellen naast elkaar te hanteren omdat in het achterwaartse hulsextrusieproces verschillende fasen te onderscheiden zijn. Elke fase wordt door een ander model beter benaderd. Nadat alle daarvoor in aanmerking komende modellen doorgerekend zijn kan er aan de hand van de resultaten geselecteerd worden. Het model met de laagste berekende perskracht (of dimensieloos vermogen) is het beste. Deze selectie gebeurt voor elke stap van het proces. Van stap tot stap kan er dus overgesprongen worden op een ander model. Uiteindelijk wordt op deze manier een tabel verkregen waarin de beste resultaten voor elke fase van het proces staan. Deze wordt in het vervolg de tabel MIN.VERMOGEN genoemd.

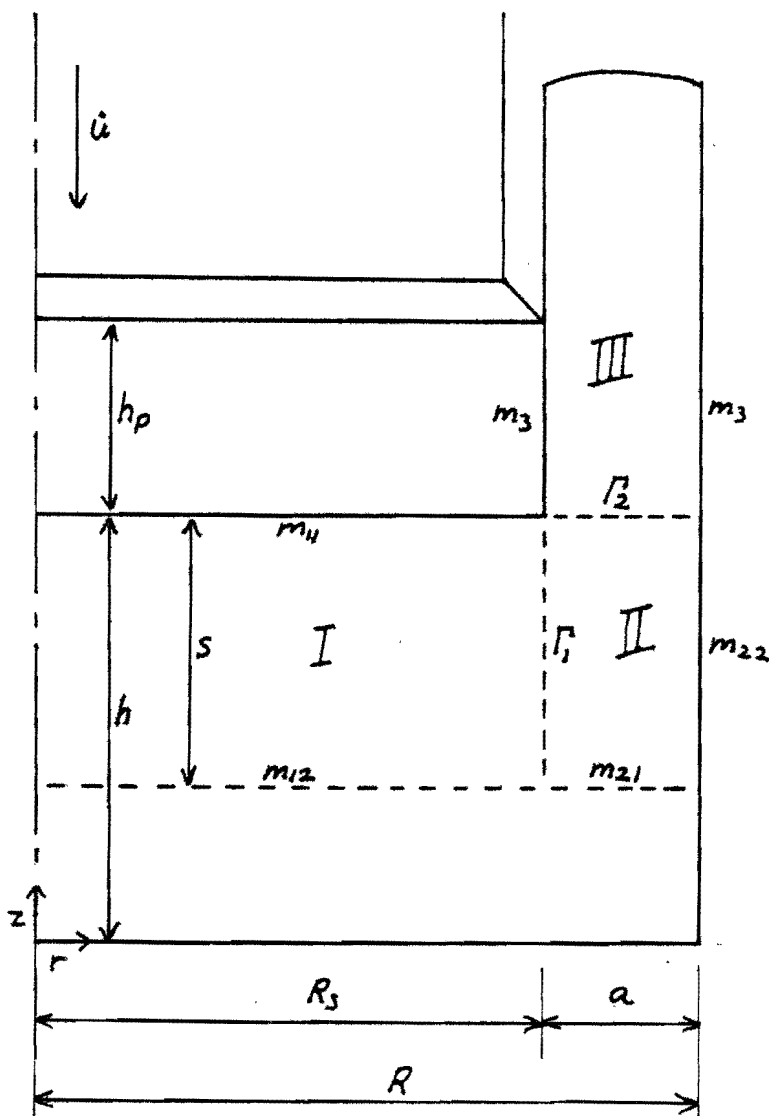


De modelberekeningen worden direct gevolgd door de formules om de spanningen op het gereedschap te bepalen.

De formules behorende bij de bovengrensmoedellen 11 en 21 zijn zodanig afgeleid dat ze gelden voor hulzen met dikke en dunne wanden. De formules van de modellen 31, 32 en 41 gelden echter alleen voor dunwandige hulzen. Om de procesanalyse voor dikwandige hulzen uit te voeren staan dus alleen de modellen 11 en 21 ter beschikking. In het programma wordt de grens tussen dik- en dunwandig aangegeven door $(A/RS)_{\text{grens}}$ (= (wanddikte/inwendige straal)_{grens} = AGRSGR). Deze grens is voorlopig gesteld op 0.2.

De berekeningen volgens model 11 en model 21.

Model 11 en 21 zijn de dubbelstuikmodellen zonder en met code bodemzone.



In het programma worden de onvereenvoudigde formules RAMAEKERS [2] toegepast. Ter vergelijking zijn ook de onvereenvoudigde volgens VAN DER BURGH [1] hieronder gegeven. Beide formule-pakketten zijn veralgemeniseerd zodat ze zowel voor het geval zonder als voor het geval met dode zone gelden.

Zonder dode bodemzone geldt:

$$m_{11} = m_{12} = m_{21} = m_{22} = m_3 = m$$

$$s = h$$

Met dode bodemzone geldt:

$$m_{11} = m_{22} = m_3 = m$$

$$m_{12} = m_{21} = 1$$

$$s = \text{nog te bepalen}$$

De vermogenstermen:

v/d BURGH [1]

RAMAEKERS [2]

$$f_r = \frac{R_s^2}{R^2 - R_s^2}$$

$J_{D_1}^*$	1	1
$J_{D_2}^*$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R^2}{R^2 - R_s^2} \cdot \left(2 - \ln 3 - \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_s}{R} \right)^4} + \ln \left\{ \left(\frac{R}{R_s} \right)^2 + \sqrt{3 + \left(\frac{R}{R_s} \right)^4} \right\} \right)$
$J_{I_1}^*$	$\frac{s}{2\sqrt{3} \cdot a}$	$\frac{s}{\sqrt{3} \cdot R_s} \cdot (1 + f_r)$
$J_{I_2}^*$	$\frac{a}{2\sqrt{3} \cdot s}$	$\frac{a}{3\sqrt{3} \cdot s} \cdot \left(1 + \frac{R}{R + R_s} \right)$
$J_{W_1}^*$	$\frac{(m_{11} + m_{12}) \cdot R_s}{3\sqrt{3} \cdot s}$	$\frac{(m_{11} + m_{12}) \cdot R_s}{3\sqrt{3} \cdot s}$
$J_{W_2}^*$	$\frac{m_{21} \cdot a}{2\sqrt{3} \cdot s}$	$\frac{m_{21} \cdot a}{3\sqrt{3} \cdot s} \left(1 + \frac{R}{R + R_s} \right)$
$J_{W_3}^*$	$\frac{m_{22} \cdot s}{2\sqrt{3} \cdot a}$	$\frac{m_{22} \cdot s \cdot R}{\sqrt{3} (R^2 - R_s^2)}$
$J_{W_4}^*$	$\frac{2m_3 \cdot h p}{\sqrt{3} \cdot a}$	$\frac{2m_3 \cdot h p}{\sqrt{3} \cdot a}$

De vermogenstermen zijn dimensieloos gemaakt met: $J^* = \frac{J}{\sigma_{v_0} \cdot \pi \cdot \dot{u} \cdot R_s^2}$

Verstevinging voor de modellen 11 en 21

De verstevinging wordt in rekening gebracht met het materiaalmodel van Nadai/Ludwick/Swift.

$$\sigma_v = C \cdot \bar{\epsilon}^n$$

σ_v = vloeispanning

C = karakteristieke spanning

$\bar{\epsilon}$ = deformatie (rek)

n = verstevingingsexponent

Aangenomen wordt dat C en n tijdens het proces constant blijven en dat de rek $\bar{\epsilon}$ toeneemt. Deze rek kan in principe berekend worden uit het gekozen snelheidsveld waaruit ook de vermogenstermen afgeleid zijn. In RAMAEKERS [2] worden de rekken voor het geval zonder dode bodemzone berekend/geschat.

De rek voor gebied I (model 11 en 21)

Voor geval zonder dode bodemzone geldt:

$$\bar{\epsilon}_I = \ln \frac{h_0}{h}$$

Dit is de exacte formule voor de rek die het materiaal ondergaat tijdens het proces. De rek is dus constant in het hele gebied. Soms heeft de blenk echter al een voordeformatie $\bar{\epsilon}_0$ die bij $\bar{\epsilon}_I$ opgeteld moet worden. Voor het geval met dode bodemzone is de oplossing, exact berekend volgens het snelheidsveld, ingewikkeld omdat de ondergrens van dit gebied zich zodanig verplaatst dat er steeds onvervormd materiaal ($\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}_0$) binnenkomt. De rek is daardoor direct onder de stempel het hoogst en neemt af naar beneden toe. Behalve dat de oplossing ingewikkeld is, is zij ook onrealistisch voor voldoende verstevigd materiaal. Bij experimenten is gebleken dat de rek nage-
noeg uniform is. Dat is als volgt te verklaren. Het materiaal dat reeds vervormd is (dus een hogere rek heeft) is verstevigd en heeft daardoor een verhoogde weerstand tegen verder vervormen.

Het materiaal dat minder of zelfs nog niet vervormd is heeft hiertegen een minder hoge weerstand en zal daardoor als eerste verder vervormen. Door dat effect is de rekverdeling uniformer dan men kan berekenen uit het snelheidsveld. Aangenomen is dat in gebied I de rek ook voor model met dode bodemzone constant is. Deze wordt als volgt geschat. Evenals in de formule voor gebied I zonder dode bodemzone geldt:

$$\bar{\epsilon}_I = \ln\left(\frac{\text{oude dikte}}{\text{nieuwe dikte}}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{oude dikte} &= \text{de blenkdikte } (h_0) - \text{dikte dode bodemzone } (h-s) \\ &= h_0 - h + s \end{aligned}$$

$$\text{nieuwe dikte} = \text{de werkzame dikte } (s)$$

$$\text{Dus } \bar{\epsilon}_I = \ln \frac{h_0 - h + s}{s}$$

Hierbij dient een eventuele voordeformatie van de blenk opgeteld te worden. De algemene formule voor het geval zonder en met dode bodemzone is nu:

Zonder dode bodemzone geldt: $s = h$

Met dode bodemzone geldt: $s = \text{nog te bepalen}$

$$\bar{\epsilon}_I = \ln \frac{h_0 - h + s}{s}$$

Opmerking: Behalve het zuivere stuik-effect ondergaat het materiaal in gebied I voor het geval met dode bodemzone ook nog een afschuiving t.o.v. het stil liggende materiaal uit de dode zone. Deze afschuiving is in de afgeleide formule niet meegenomen. Hier is dus nog een verfijning mogelijk.

Rek in gebied II (model 11 en 21)

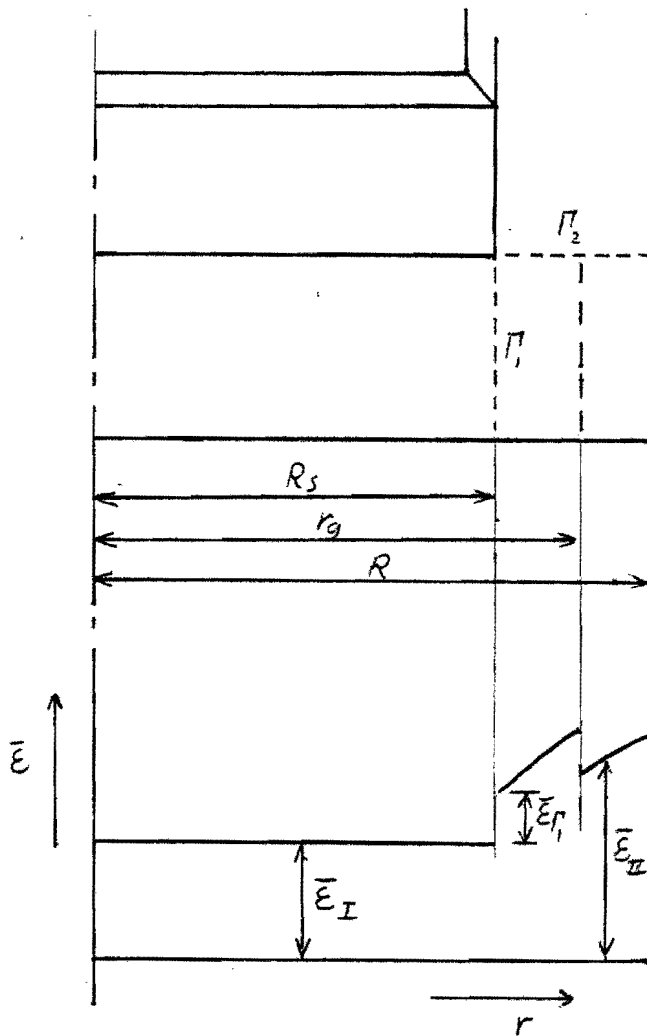
Volgens RAMAEKERS [2] geldt voor het geval zonder dode bodemzone:

voor $r_g < r \leq R$:

$$\bar{\epsilon}_{\alpha_2} = f_r \cdot \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3}\left(\frac{R}{r}\right)^4} \quad ; \quad f_r = \frac{R_s^2}{R^2 - R_s^2}$$

Hierin is r_g de straal die de grens vormt tussen het materiaal dat zich vanaf het begin van het proces in gebied II bevond en het materiaal dat tijdens het proces dit gebied binnen gestroomd is.

$$r_g = \sqrt{R^2 - (R^2 - R_s^2)(h/h_0)f_r}$$



De rek voor het materiaal tussen R_s en r_g is hiermee nog niet bepaald. Er kan echter wel een schatting gemaakt worden met de nu beschikbare gegevens (zie grafiek), hierbij wordt om dezelfde redenen als in gebied I aangenomen dat de rek uniform is.

Gemiddelde rek voor $r_g < r \leq R$:

$$EGEM1 = \frac{\bar{\epsilon}_{IIg}(r=r_g) + \bar{\epsilon}_{IIg}\left(r = \frac{r_g + R}{2}\right) + \epsilon_{IIg}(r=R)}{3}$$

Gemiddelde rek voor $R_s < r \leq r_g$:

$$EGEM2 = \frac{\bar{\epsilon}_{IIg}(r=r_g) + \bar{\epsilon}_I}{2} + \bar{\epsilon}_I$$

De schatting voor de rek in gebied II is dan:

$$\bar{\epsilon}_{II} = EGEM1 \cdot \frac{R-r_g}{a} + EGEM2 \cdot \frac{a-R+r_g}{a}$$

waarin de twee berekende gemiddelde rekken, evenredig met de grootte van het gebied waarin ze heersen, meegerekend worden.

In de uitdrukking voor EGEM2 komt de term $\bar{\epsilon}_I$ voor. Dit is de deformatie die het materiaal ondergaat wanneer het het Π_1 -vlak passeert.

$\bar{\epsilon}_I$ kan als volgt bepaald worden:

$$\bar{\epsilon}_I = \frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n \cdot \sqrt{3}}$$

Volgens RAMAEKERS [2] geldt:

$$\dot{u}_{zI} = -\dot{u} \cdot z/h$$

$$\dot{u}_{zII} = \dot{u} \cdot fr \cdot z/h$$

$$\dot{u}_{rI} = \frac{1}{2} \cdot \dot{u} \cdot r/h$$

$$\dot{u}_{rII} = -\frac{1}{2} \cdot fr \cdot \dot{u}/h \left(r - \frac{R^2}{r} \right)$$

Dus: $|\Delta \dot{u}| = \dot{u}_{zII} - \dot{u}_{zI} = \dot{u} \cdot fr \cdot \frac{z}{h} + \dot{u} \frac{z}{h} = \dot{u} \frac{z}{h} (1+fr)$

$$\dot{u}_n = \dot{u}_r(r=R_s) = \frac{1}{2} \dot{u} \cdot R_s/h$$

$$\bar{E}_{I'} = \frac{|\Delta \bar{u}|}{\bar{u}_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2}{R_3} (1 + fr)$$

Om deze in de berekeningen mee te kunnen nemen is het gemiddelde genomen.

$$\bar{E}_{I'} = \bar{E}_{I'}^{\text{gemiddeld}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{s}{R_3} (1 + fr)$$

Voor het geval met dode bodemzone worden dezelfde schattingen aangenomen omdat de hoeveelheid materiaal dat het gebied II via de I' -grens binnenkomt veel groter is dan de hoeveelheid die via de m_{21} -grens binnenkomt. Er wordt dan dus alleen rekening gehouden met de grootste materiaalstroom. Samengevat geldt voor gebied II met of zonder dode bodemzone:

Zonder dode bodemzone geldt: $s = h$.

Met dode bodemzone geldt: $s = \text{nog te bepalen}$.

$$fr = \frac{R_3^2}{R^2 - R_3^2}$$

$$\bar{E}_{I'} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{s}{R_3} \cdot (fr + 1)$$

$$r_g = \sqrt{R^2 - (R^2 - R_3^2) \left(\frac{s}{h_0 - h + s} \right)^{fr}}$$

$$\bar{E}_{IIg} = fr \cdot \ln \left(\frac{h_0 - h + s}{s} \right) \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{R}{r} \right)^4}$$

$$EGEM1 = \frac{\bar{E}_{IIg}(r=r_g) + \bar{E}_{IIg}(r=\frac{r_g+R}{2}) + E_{IIg}(r=R)}{3}$$

$$EGEM2 = \frac{\bar{E}_{IIg}(r=r_g) + \bar{E}_I}{2} + \bar{E}_{I'}$$

$$\bar{E}_{II} = EGEM1 \cdot \frac{R - r_g}{a} + EGEM2 \cdot \frac{a - R + r_g}{a}$$

Opmerking : In de schatting wordt de rek in gebied I gebruikt. Doordat het materiaal die deze rek ondergaan heeft in een eerder stadium gebied I uitstroomde is het niet precies korrekt de momentane $\bar{\epsilon}_I$ in rekening te brengen. De afwijking is echter klein.

De rek in gebied III (model 11 en 21)

In gebied III vindt geen deformatie meer plaats. Wanneer het materiaal dit gebied via het Γ_2 -vlak binnenkomt ondergaat het echter nog wel een afschuiving.

$$\bar{\epsilon}_{III} = \bar{\epsilon}_{\Gamma_2} + \bar{\epsilon}_{II}$$

$$\bar{\epsilon}_{\Gamma_2} = \frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n \cdot \sqrt{3}}$$

Volgens RAMAEKERS [2] geldt voor het geval zonder dode bodemzone:

$$\dot{u}_{zII} = \dot{u} \cdot r \cdot \frac{z}{h} = \dot{u}_{zIII}$$

$$\dot{u}_{rII} = -\frac{1}{2} r \frac{\dot{u}}{h} \left(r - \frac{R^2}{r} \right)$$

$$\dot{u}_{rIII} = 0$$

Hieruit volgt:

$$|\Delta \dot{u}| = |\dot{u}_{rIII} - \dot{u}_{rII}| = \frac{1}{2} r \frac{\dot{u}}{h} \left(r - \frac{R^2}{r} \right)$$

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{zII} (z=h) = \dot{u} \cdot r$$

$$\bar{\epsilon}_{\Gamma_2}' = \frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{h} \left(r - \frac{R^2}{r} \right)$$

Ook hier wordt verder gerekend met de gemiddelde waarde:

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_{\Gamma_2} &= \bar{\epsilon}_{\Gamma_2}' \text{ gemiddeld} = \frac{\int_{R_s}^R \left(\frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{h} \left(r - \frac{R^2}{r} \right) \right) dr}{a} \\ &= \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{a \cdot h} \left(R^2 \cdot \ln \frac{R}{R_s} - \frac{R^2 - R_s^2}{2} \right) \end{aligned}$$

De algemene uitdrukking voor $\bar{\epsilon}_{III}$ (met en zonder dode bodemzone) luidt:

Zonder dode bodemzone geldt: $s = h$.

Met dode bodemzone geldt: $s =$ nog te bepalen.

$$\bar{\epsilon}_{III} = \bar{\epsilon}_{II} + \bar{\epsilon}_{II}'$$

$$\bar{\epsilon}_{II}' = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{a.s} \left(R^2 \ln\left(\frac{R}{R_s}\right) - \frac{R^2 - R_s^2}{2} \right)$$

$\bar{\epsilon}_{II}$ = zie formules elders

Opmerking over versteviging

De rekken worden zo realistisch mogelijk bepaald voor verstevigend materiaal. Niet verstevigend materiaal streeft echter niet naar de aangenomen uniforme rekverdeling. De fouten die hierdoor in de rekken ontstaan hebben echter geen invloed op de vloeispanning omdat voor dit materiaal de vloeikurve vlak verloopt.

Zou voor verstevigend materiaal ondanks alles toch nog een aanmerkelijke afwijking in de rek ontstaan dan nog is de invloed hiervan niet groot omdat ook voor de hoge rekken die bij hulsextrusie optreden de vloeikurve tamelijk vlak verloopt.

De vloeispanningen voor model 11 en 21.

Nu de rekken vastliggen kunnen de vloeispanningen berekend worden:

$$\sigma_{VI} = C \cdot (\bar{\epsilon}_I + \bar{\epsilon}_0)^n$$

$$\sigma_{VII} = C \cdot (\bar{\epsilon}_{II} + \bar{\epsilon}_0)^n$$

$$\sigma_{VIII} = C \cdot (\bar{\epsilon}_{III} + \bar{\epsilon}_0)^n$$

De vermogenstermen voor model 11 en 21

Voor de dimensieloze vermogenstermen inclusief versterking geldt nu:

Voor het geval zonder dode bodemzone geldt:

$$m_{11} = m_{12} = m_{21} = m_{22} = m_3 = m$$

$$s = h$$

Voor het geval met dode bodemzone geldt:

$$m_{11} = m_{22} = m_3 = m$$

$$m_{12} = m_{21} = 1$$

s = nog te bepalen

$$J_{D_I}^* = \frac{\sigma_{VI}}{\sigma_{V_0}}$$

$$J_{D_{II}}^* = \frac{\sigma_{VII}}{\sigma_{V_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R^2}{R^2 - R_s^2} \cdot \left(2 - \ln 3 - \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_s}{R} \right)^4} + \ln \left\{ \left(\frac{R}{R_s} \right)^2 + \sqrt{3 + \left(\frac{R}{R_s} \right)^4} \right\} \right)$$

$$J_{D_1}^* = \frac{\sigma_{VI} + \sigma_{VII}}{2\sigma_{V_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{s}{R_s} (1 + fr) \quad ; \quad fr = \frac{R_s^2}{R^2 - R_s^2}$$

$$J_{D_2}^* = \frac{\sigma_{VII} + \sigma_{VIII}}{2\sigma_{V_0}} \cdot \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{a}{s} \left(1 + \frac{R}{R + R_s} \right)$$

$$J_{W_1}^* = \frac{\sigma_{VI}}{\sigma_{V_0}} \cdot \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot (m_{11} + m_{12}) \frac{R_s}{s}$$

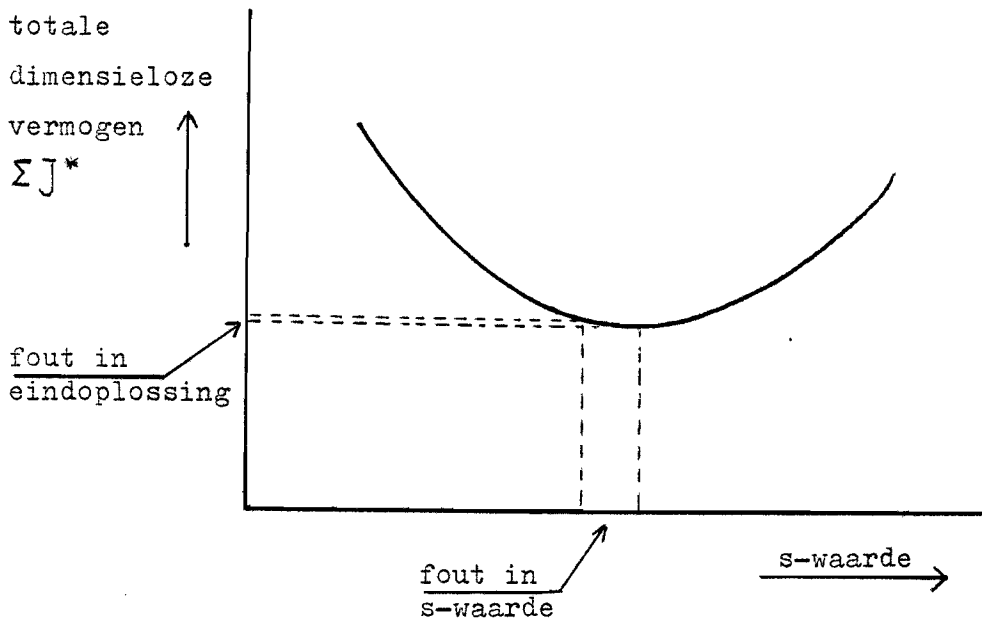
$$J_{W_2}^* = \frac{\sigma_{VII}}{\sigma_{V_0}} \cdot \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot m_{21} \cdot \frac{a}{s} \left(1 + \frac{R}{R + R_s} \right)$$

$$J_{W_3}^* = \frac{\sigma_{VII}}{\sigma_{V_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot m_{22} \cdot \frac{s \cdot R}{R^2 - R_s^2}$$

$$J_{W_4}^* = \frac{\sigma_{VIII}}{\sigma_{V_0}} \cdot m_3 \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{h_p}{a}$$

Bepaling afmeting dode zone (model 21)

Voor het geval met dode bodemzone (model 21) dient de hoogte van deze zone nog vastgelegd te worden d.m.v. een uitdrukking voor s . Hiertoe dienen alle dimensieloze vermogenstermen opgeteld te worden en de totale uitdrukking dient dan naar s gedifferentieerd te worden. Door de op deze manier verkregen afgeleide gelijk aan nul te stellen krijgt men de s -waarde waarbij het dimensieloze vermogen minimaal is. Uit het bovengrenstheorema volgt dat dit de meest realistische waarde voor s is. In de uitgeschreven uitdrukking voor het dimensieloze vermogen is de parameter s op gecompliceerde manier verweven omdat de vloeispanningen van de rekken afhangen en deze hangen weer van de s -parameter af. Hierdoor is het noodzakelijk de uitdrukking, waaruit de formule voor s moet volgen te vereenvoudigen. Dit resulteert in een fout in de meest optimale s -waarde. Omdat het vermogen hoogstwaarschijnlijk redelijk vlak verloopt rond de meest optimale s -waarde, is een fout hierin voor de eindoplossing van het vermogen klein, zie figuur.



De toegepaste vereenvoudiging houdt in dat in de afleiding van de optimale s-waarde ervan uitgegaan is dat het materiaal ideaal plastisch is. Dan geldt: $\sigma_{VI} = \sigma_{VII} = \sigma_{VIII} = \sigma_{Vo}$.

Dus:

$$\begin{aligned} \Sigma J^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \left\{ \frac{R^2}{R^2 - R_s^2} \left(2 - \ln 3 - \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_s}{R} \right)^4} + \ln \left\{ \left(\frac{R}{R_s} \right)^2 + \sqrt{3 + \left(\frac{R}{R_s} \right)^4} \right\} \right) \right. \\ \left. + \frac{s}{R_s} (1 + f_r) + \frac{1}{3} (1 + m_{21}) \cdot \frac{a}{s} \left(1 + \frac{R}{R + R_s} \right) \right. \\ \left. + \frac{m_{11} + m_{12}}{3} \cdot \frac{R_s}{s} + m_{22} \frac{s \cdot R}{R^2 - R_s^2} \right\} \end{aligned}$$

met $\frac{\partial \Sigma J^*}{\partial s} = 0$ kan men afleiden:

Voor het geval met dode bodemzone (model 21) geldt voor de meest optimale s-waarde:

$$s = \sqrt{\frac{s_{opt1}}{s_{opt2}}}$$

$$s_{opt1} = \frac{a}{3} (1 + m_{21}) \left(\frac{R}{R + R_s} + 1 \right) + \frac{m_{11} + m_{12}}{3} R_s$$

$$s_{opt2} = \frac{1 + f_r}{R_s} + m_{22} \cdot \frac{R}{R^2 - R_s^2}$$

De flowdiagrammen van model 11 en model 21

Model 11 en model 21 komen elk apart in het programma aan bod. Omdat een groot aantal formules voor beide modellen hetzelfde zijn, zijn deze ondergebracht in een aantal subroutines die door beide modellen aangeroepen kunnen worden. De subroutines zijn:

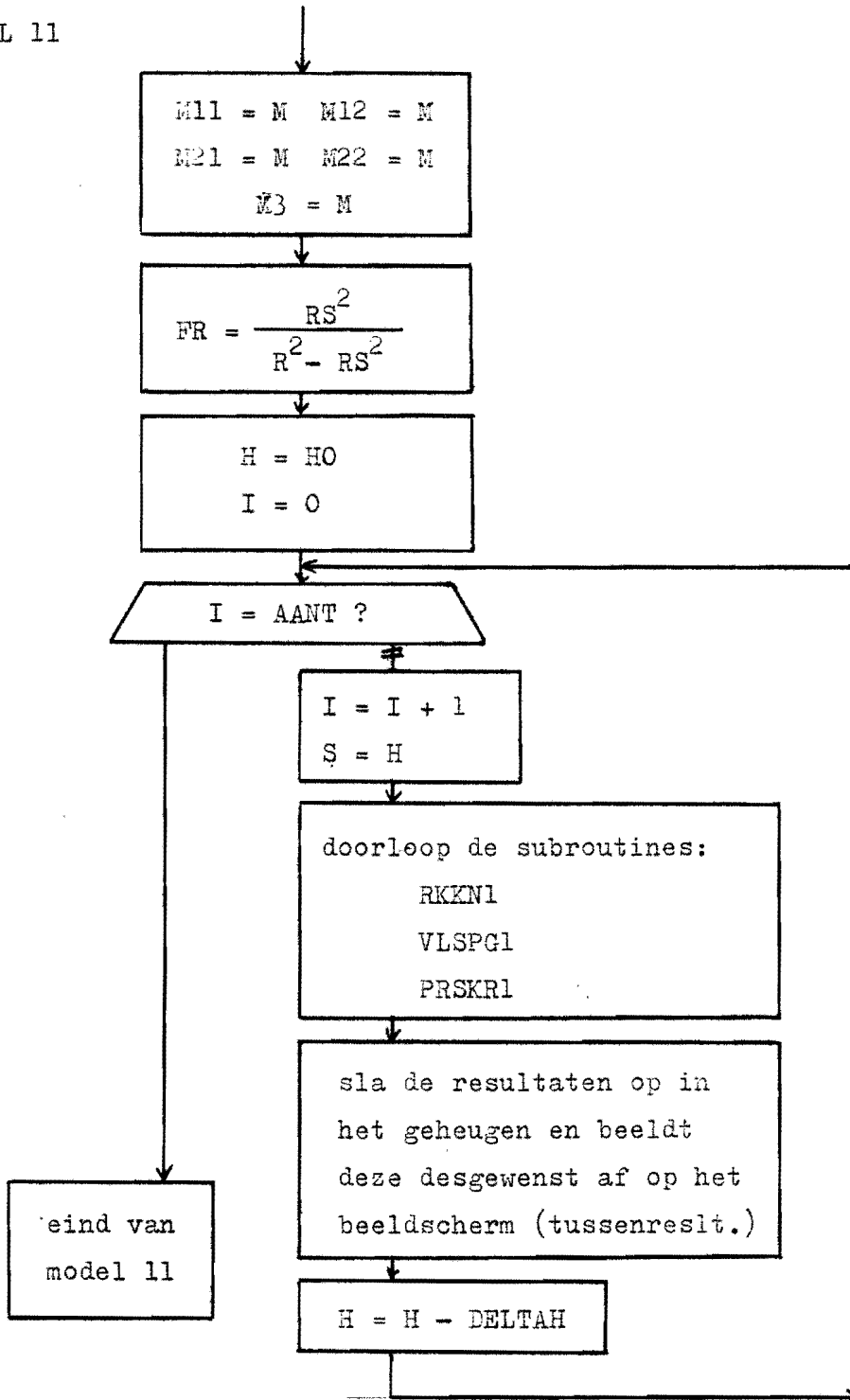
RKKN1 (berekening van de rekken voor model 11 en 21)

VLSPG1 (berekening van de vloeispanningsfactoren voor
model 11 en 21)

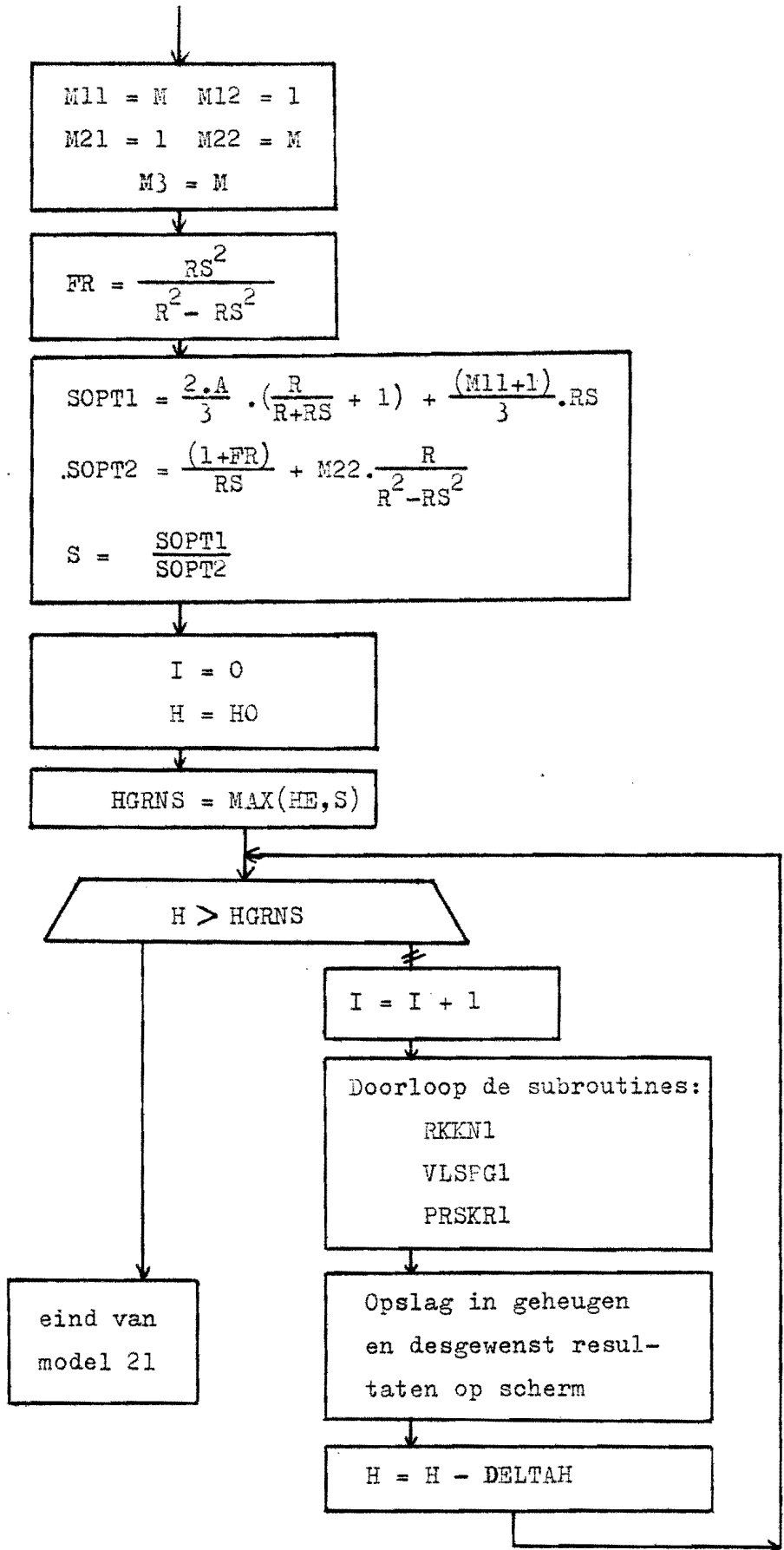
PRSKR1 (berekening van het dimensieloze vermogen en
de perskracht voor model 11 en 21)

In de PRSKR1 routine wordt weer een andere routine t.b.v. de spanningen op het gereedschap aangeroepen. De uitwerking hiervan volgt later.

MODEL 11

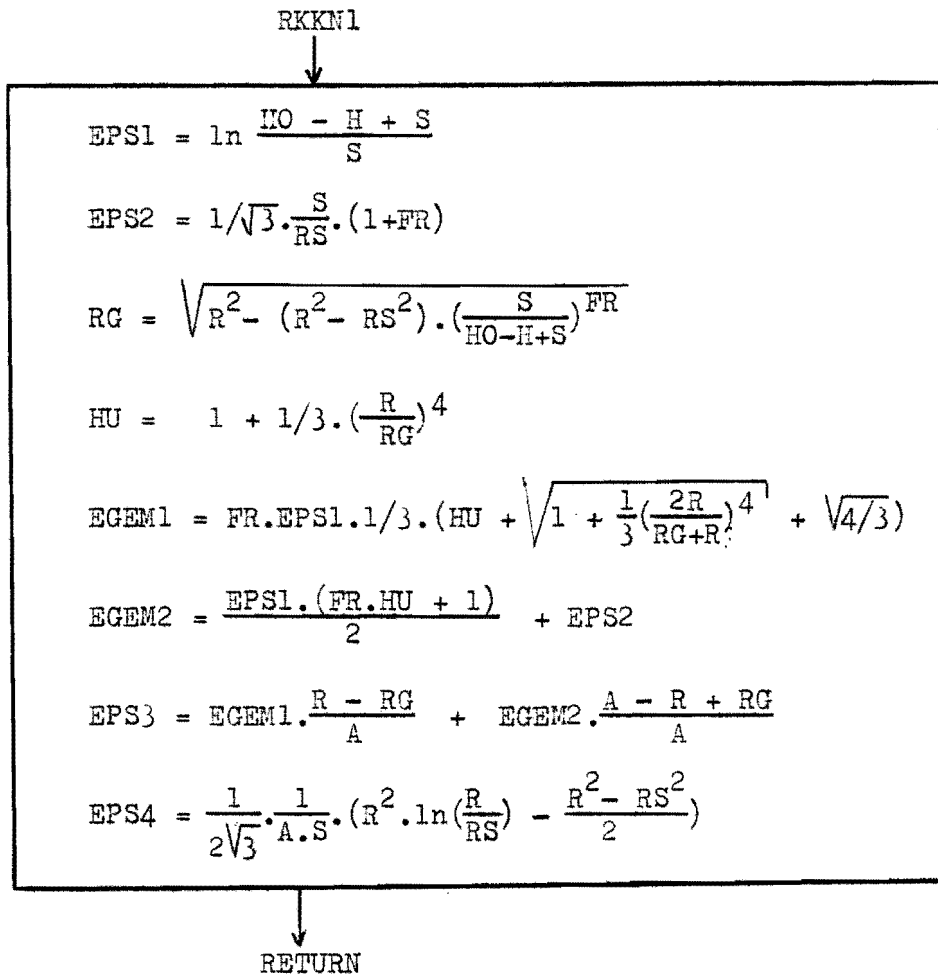


MODEL 21



De routine RKKN1

Hierin worden de rekken berekend voor de modellen 11 en 21.



Hierin zijn de volgende nieuwe variabelen gebruikt:

- EPS0 = $\bar{\epsilon}_0$
- EPS1 = $\bar{\epsilon}_1$
- EPS2 = $\bar{\epsilon}_1'$
- EPS3 = $\bar{\epsilon}_\pi$
- EPS4 = $\bar{\epsilon}_1''$
- HU = hulpvariabele

De routine VLSPG1

Hierin worden de vloeispanningsfactoren berekend voor de modellen 11 en 21.

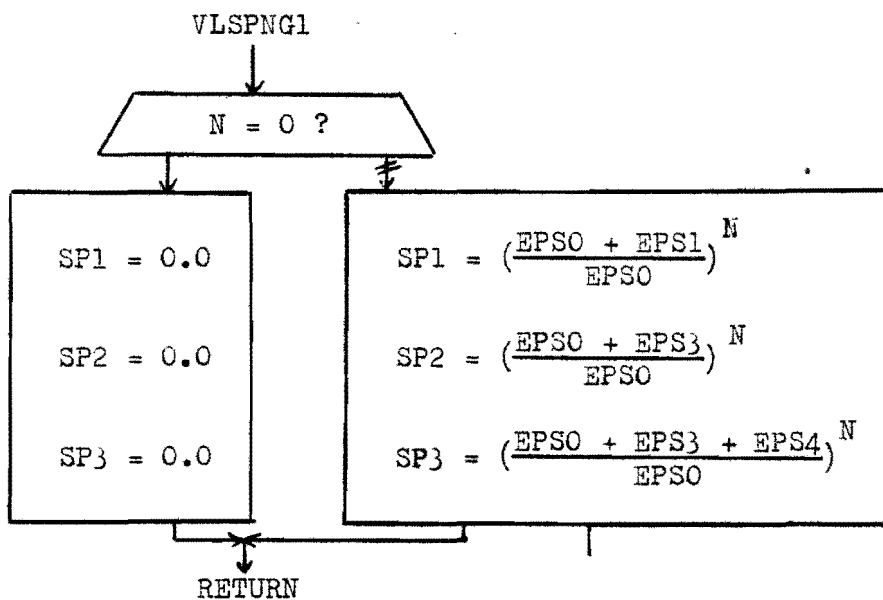
De beginvloeispanning is: $SPO = \sigma_{v0} \quad [N/mm^2]$

De vloeispanningsfactoren zijn:

$$SP1 = \frac{\sigma_{vI}}{\sigma_{v0}} \quad [-] \quad (\sigma_{vI} = \text{vloeispanning in gebied I})$$

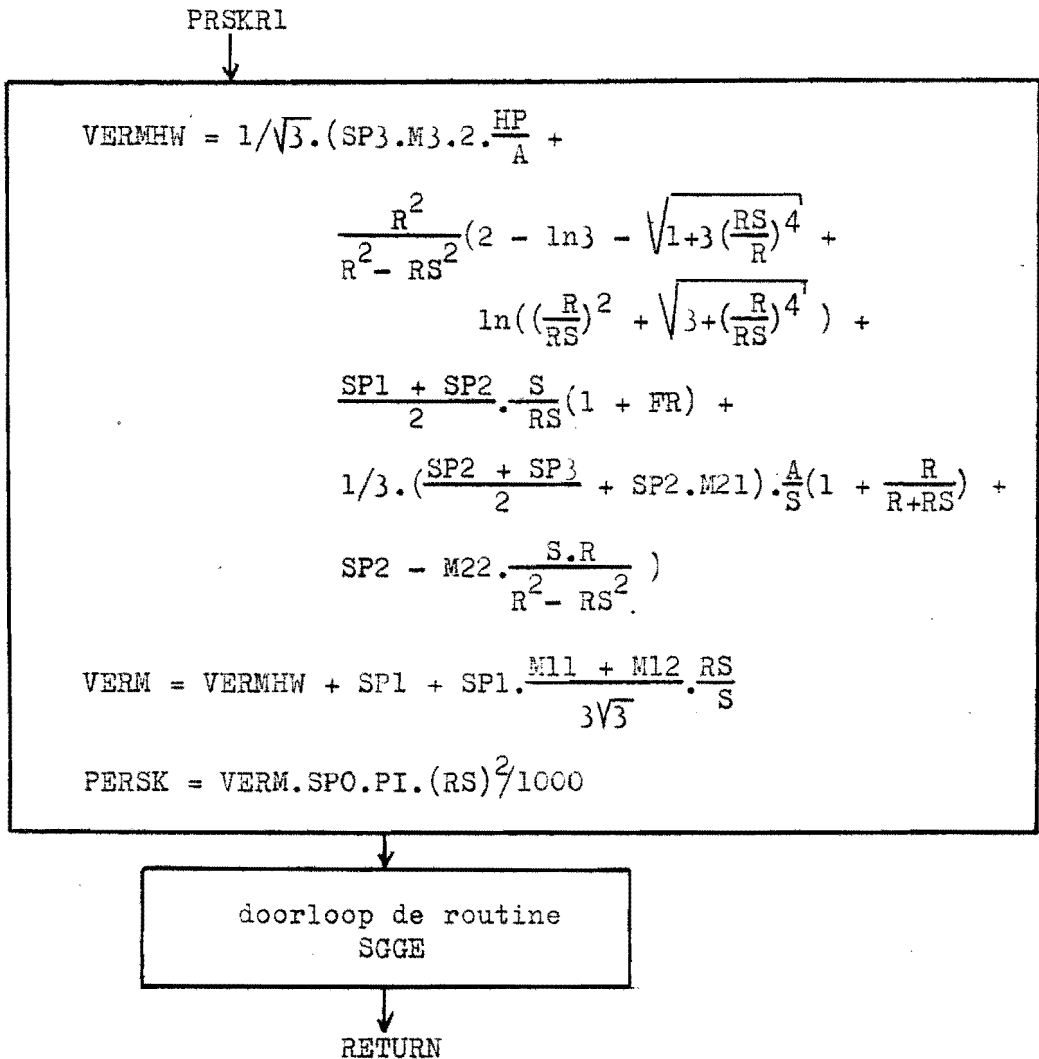
$$SP2 = \frac{\sigma_{vII}}{\sigma_{v0}} \quad [-] \quad (\sigma_{vII} = \text{vloeispanning in gebied II})$$

$$SP3 = \frac{\sigma_{vIII}}{\sigma_{v0}} \quad [-] \quad (\sigma_{vIII} = \text{vloeispanning in gebied III})$$



De routine PRSKR1

Hierin worden de perskracht, het dimensieloze vermogen en de spanningen op het gereedschap voor de modellen 11 en 21 berekend.



VERMHW = een gedeelte van het dimensieloze vermogen,
dit tussenresultaat is nodig in de routine SGGE.

VERM = het dimensieloze vermogen ΣJ^*

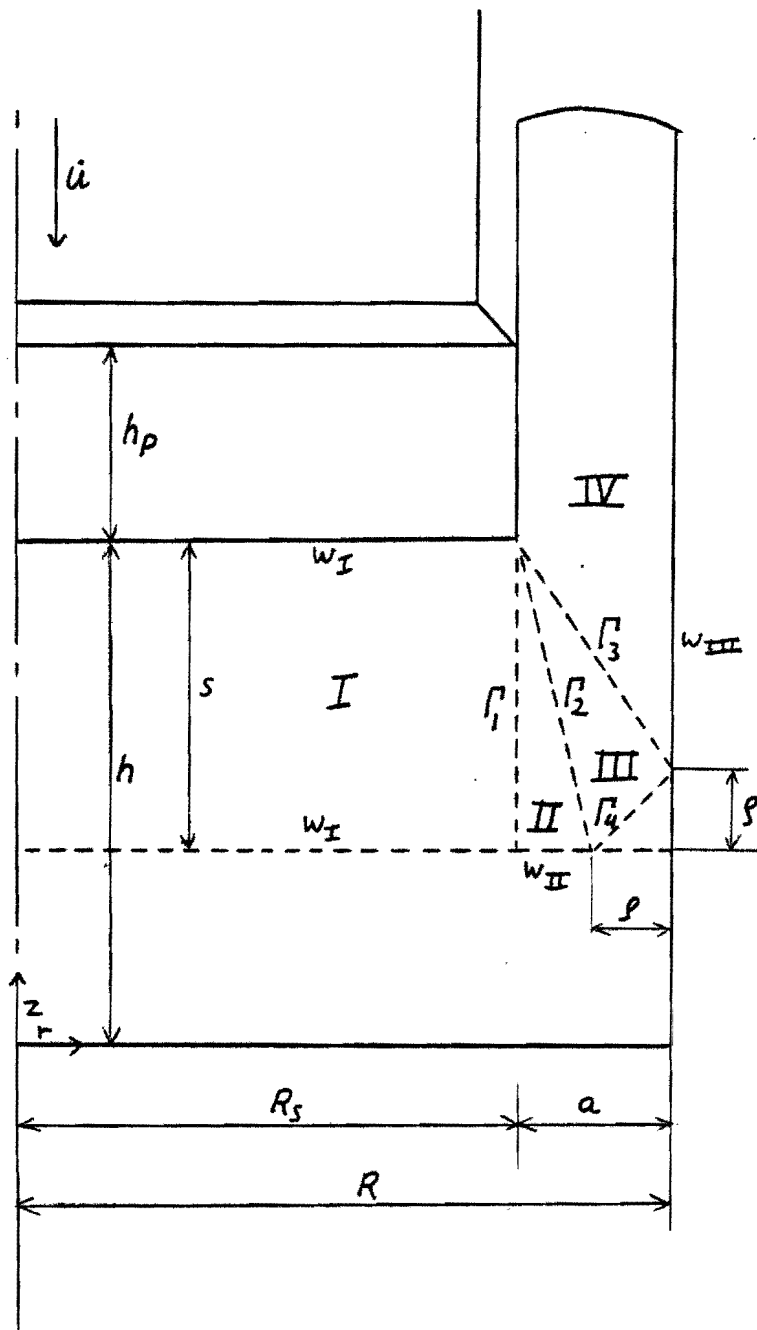
PERSK = de berekende perskracht

PI = π

SGGE = routine waarin de spanningen op het gereedschap worden bepaald.

De berekeningen volgens de modellen 31,32 en 41.

Deze drie modellen zijn op het zelfde principe gebaseerd en afgeleid uit VAN DER BURGHT [1]. Van der Burght hanteert het volgende bovengrensmodel met en zonder dode bodemzone:



Zonder dode bodemzone geldt $s = h$.

Voor beide gevallen (zonder of met dode bodemzone) is er een dode hoekzone aanwezig.

Voor het geval zonder dode bodemzone zijn in [1] de volgende dimensieloze vermogenstermen afgeleid, hieruit kunnen eenvoudig de dimensieloze vermogenstermen voor het geval met dode bodemzone worden afgeleid.

$$J_{D_I}^* = 1$$

$$J_{D_{II}}^* = J_{D_{III}}^* = J_{D_{IV}}^* = 0$$

$$J_{r_1}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{h}{R_s}$$

$$J_{r_2}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{a-p}{h} + \frac{h-a+p}{h+a-p} \right)$$

$$J_{r_3}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{h-p}{a} + \frac{-h+p+a}{h+a-p} \right)$$

$$J_{r_4}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2p}{h+a-p}$$

$$J_{w_I}^* = \frac{2m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_s}{3h}$$

$$J_{w_{II}}^* = \frac{m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{a-p}{h}$$

$$J_{w_{III}}^* = \frac{m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{h-p}{a}$$

In de gebieden II, III en IV is vlakke vervorming verondersteld. In tegenstelling tot de modellen 11 en 21 is in de afleiding van dit model steeds aangenomen dat $a/R_s \ll 1$. De formules die met dit model afgeleid zijn mogen dus alleen voor dunwandige hulzen toegepast worden.

De formules, die in het programma gebruikt zijn, zijn enigszins aangepast:

- in het model volgens V.D. BURGHT [1] is er geen rekening mee gehouden dat ρ groter kan worden dan a . In verband hiermee zijn de volgende veranderingen doorgevoerd:
 - J_{ρ}^* vervalt daar deze zeer klein is en voor $\rho > a$ niet gedefinieerd is.
 - $J_{w_I}^*$ wordt aangepast ($J_{w_{II}}^*$ is hier dan in opgenomen) en is gesplitst in $J_{w_{11}}^*$ en $J_{w_{12}}^*$
 - in $J_{w_{III}}^*$ (verder te noemen $J_{w_3}^*$) wordt de wrijving over de hoogte van de passeerrand (langs de stempel en de matrijswand) meegerekend.
- nadat bovenstaande aanpassingen doorgevoerd zijn worden de formules geschikt gemaakt om versteviging in rekening te brengen.

De vermogenstermen na de eerste aanpassingen, zie bijbehorende tekening op de volgende bladzijde:

Zonder dode bodemzone geldt $s = h$.

Met dode bodemzone geldt $s = \text{nog te bepalen}$.

$$J_{O_I}^* = 1 \quad ; \quad J_{O_{II}}^* = J_{O_{III}}^* = 0$$

$$J_{\rho}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{a-\rho}{s} + \frac{s-a+\rho}{s+a-\rho} \right) \quad \text{hierbij is } \dot{u}_{z_I} = 0 \text{ verondersteld}$$

$$J_{\beta}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{s-\rho}{a} + \frac{-s+a+\rho}{s+a-\rho} \right)$$

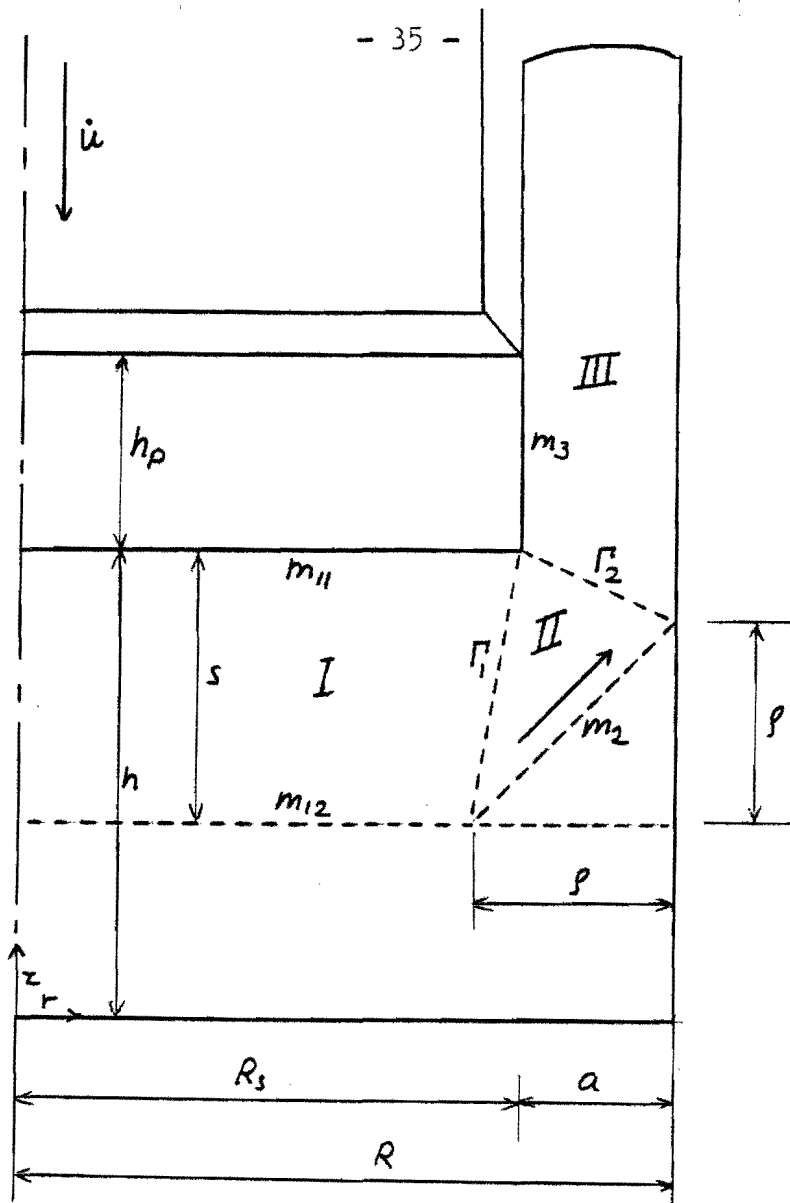
$$J_{w_{11}}^* = \frac{m_{11}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_s}{3 \cdot s}$$

$$J_{w_{12}}^* = \frac{m_{12}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_s + a - \rho}{3 \cdot s}$$

$$J_{w_2}^* = \frac{m_2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{a - \rho}{s}$$

$$J_{w_3}^* = \frac{m_3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2h\rho + s - \rho}{a}$$

De optimale waarde voor ρ dient nog bepaald te worden.



Model 31

Dit is het model zonder dode bodemzone en met dode hoekzone. Voor dit model moet in de uitdrukkingen voor het dimensieloze vermogen ingevuld worden:

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= m_{12} = m_3 = m \\
 m_2 &= 1 \\
 s &= h \\
 \rho &= \text{nog te bepalen}
 \end{aligned}$$

Model 32

Dit is het model zonder dode bodemzone en zonder dode hoekzone. In de matrijs is een afschuining aan gebracht waardoor de ρ -waarde vastligt.

Voor dit model moet in de uitdrukkingen voor het dimensieloze vermogen ingevuld worden:

$$m_{11} = m_{12} = m_2 = m_3 = m$$

$$s = h$$

= voorgeschreven.

Model 41

Dit is het model met dode bodemzone en met dode hoekzone. Doordat er een dode bodemzone aanwezig is geldt dit model zowel voor het geval met als voor het geval zonder afschuining in de matrijs. Voor dit model dient in de uitdrukkingen voor het dimensieloze vermogen ingevuld te worden:

$$m_{11} = m_3 = m$$

$$m_{12} = m_2 = 1$$

s = nog te bepalen

= nog te bepalen.

Verstevinging

Evenals in de modellen 11 en 21 wordt verstevinging in rekening gebracht door de (effectieve) rekken in te vullen in het exponentieel verstevigend materiaalmodel van Nadai/Ludwik/Swift. De rekken worden weer konstant verondersteld in de verschillende snelheidsveldgebieden.

De rek in gebied I voor de modellen 31, 32 en 41

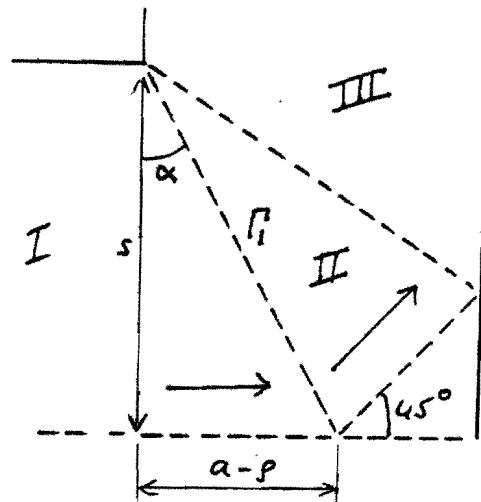
$$\bar{\epsilon}_I = \ln \frac{h_0 - h + s}{s}$$

voor de afleiding zie model 11/21

De rek in gebied II voor de modellen 31, 32 en 41.

$$\bar{\epsilon}_{II} = \bar{\epsilon}_I + \bar{\epsilon}_{\Gamma}$$

$$\bar{\epsilon}_{\Gamma} = \frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n \sqrt{3}}$$



$$\tan \alpha = \frac{a-p}{s}$$

Volgens VAN DER BURGH [1] geldt:

$$\dot{u}_{rI} (r = R_s) = \frac{R_s}{2s} \cdot \dot{u}$$

$$\dot{u}_{zI} \approx 0$$

$$\dot{u}_{rII} = \frac{R_s \cdot \dot{u}}{2(s+a-p)}$$

$$\dot{u}_{zII} = \frac{R_s \cdot \dot{u}}{2(s+a-p)}$$

Hiermee volgt: $|\Delta \dot{u}| = (\dot{u}_{rI} - \dot{u}_{rII}) \cdot \sin \alpha + \dot{u}_{zII} \cdot \cos \alpha$

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{rI} \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n} = \frac{(\dot{u}_{rI} - \dot{u}_{rII}) \cdot \sin \alpha + \dot{u}_{zII} \cdot \cos \alpha}{\dot{u}_{rI} \cdot \cos \alpha}$$

$$= \frac{\dot{u}_{rI} - \dot{u}_{rII}}{\dot{u}_{rI}} \cdot \tan \alpha + \frac{\dot{u}_{zII}}{\dot{u}_{rI}}$$

$$= 2s \left(\frac{1}{2s} - \frac{1}{2(s+a-p)} \right) \cdot \frac{a-p}{s} + \frac{1}{2(s+a-p)}$$

$$= \frac{a-p}{s} + \frac{s-a+p}{s+a-p}$$

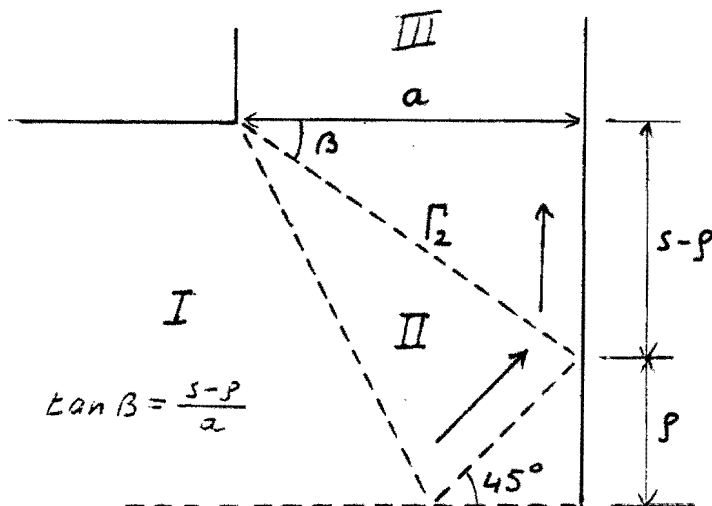
$$\bar{\epsilon}_{II} = \bar{\epsilon}_I + \bar{\epsilon}_{\Gamma_1}$$

$$\bar{\epsilon}_{\Gamma_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{a-p}{s} + \frac{s-a+p}{s+a-p} \right)$$

De rek voor gebied III (model 31, 32 en 41).

$$\bar{\epsilon}_{III} = \bar{\epsilon}_{II} + \bar{\epsilon}_{\Gamma_2}$$

$$\bar{\epsilon}_{\Gamma_2} = \frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n \sqrt{3}}$$



$$\tan \beta = \frac{s-p}{a}$$

Volgens VAN DEN BURGHT [1] geldt:

$$\dot{u}_{rII} = \frac{R_s \cdot \dot{u}}{2(s+a-p)}$$

$$\dot{u}_{zII} = \frac{R_s \cdot \dot{u}}{2(s+a-p)}$$

$$\dot{u}_{rIII} = 0$$

$$\dot{u}_{zIII} = \frac{R_s \cdot \dot{u}}{2 \cdot a}$$

Hiermee volgt:

$$|\Delta \dot{u}| = (\dot{u}_{rII} - \dot{u}_{rIII}) \cdot \cos \beta + \sin \beta \cdot (\dot{u}_{zIII} - \dot{u}_{zII})$$

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{zIII} \cdot \cos \beta$$

$$\frac{|\Delta \dot{u}|}{\dot{u}_n} = \frac{\dot{u}_{rII} \cdot \cos \beta + (\dot{u}_{zIII} - \dot{u}_{zII}) \cdot \sin \beta}{\dot{u}_{zIII} \cdot \cos \beta}$$

$$= \frac{\dot{u}_{rII}}{\dot{u}_{zIII}} + \tan \beta \cdot \frac{\dot{u}_{zIII} - \dot{u}_{zII}}{\dot{u}_{zIII}}$$

$$= \frac{-s+a+p}{s+a-p} + \frac{s-p}{a}$$

$$\bar{\epsilon}_{III} = \bar{\epsilon}_{II} + \bar{\epsilon}_{I_2} = \bar{\epsilon}_I + \bar{\epsilon}_{I_1} + \bar{\epsilon}_{I_2}$$

$$\bar{\epsilon}_{I_2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{s-p}{a} + \frac{-s+a+p}{s+a-p} \right)$$

Evenals bij de modellen 11 en 21 is hier aangenomen dat in de verschillende snelheidsveldgebieden de rek uniform is. Voor de modellen 31 en 32 is deze aanname nauwelijks een vereenvoudiging. In gebied I is de rek per definitie uniform. In gebied II wordt de rek opgebouwd uit de momentane $\bar{\epsilon}_I$ en $\bar{\epsilon}_{I_1}$. Omdat het materiaal dat de rek uit gebied I ondergaan heeft al eerder gebied II binnengestroomd is, is het niet helemaal korrekt om met de momentane waarde voor $\bar{\epsilon}_I$ te rekenen. Echter omdat het materiaal (vooral bij dunwandige hulzen) snel door gebied II stroomt bij een kleine verplaatsing van de stempel en dus ook bij slechts een kleine variatie van $\bar{\epsilon}_I$, is er in gebied II alleen materiaal aanwezig dat recent uit gebied I binnenstroomde met een $\bar{\epsilon}_I$ die zo goed als gelijk is aan de momentane $\bar{\epsilon}_I$. Daarnaast is de $\bar{\epsilon}_{I_1}$ uniform over het discontinuïteitsoppervlak zodat deze niet gemiddeld hoeft te worden. Ook deze term verandert slechts langzaam t.o.v. de tijd die nodig is om een materiaaldeelje gebied II te laten doorlopen. De fout die gemaakt wordt door $\bar{\epsilon}_{II}$ met de momentane waarden voor $\bar{\epsilon}_I$ en $\bar{\epsilon}_{I_1}$ te berekenen is dus erg klein (hoe dunner de wand van de huls hoe kleiner de fout. Voor gebied III geldt hetzelfde.

Voor model 41 is de aanname dat de rek uniform is in gebied I tegenstrijdig met het gekozen snelheidsveld. Zoals bij model 21 is verklaard grenst deze aanname echter wel goed aan de werkelijkheid voor verstevigend materiaal. Voor weinig verstevigend materiaal is er dus een fout in de berekende rek, maar dat geeft niets omdat de rek hier slechts een zeer geringe invloed heeft op de vloeispanning.

Overigens zou de invloed van een fout in de rek voor wel flink verstevigend materiaal resulteren in slechts een kleine fout in de berekende vloeispanning omdat de vloeikurve voor dit materiaal bij de hoge rekken die bij hulsextrusie optreden vlak is.

De vloeispanningen voor de modellen 31, 32 en 41.

Nu de effectieve rekken vastliggen kunnen de vloeispanningen weer berekend worden met:

$$\begin{aligned}\sigma_{VI} &= C \cdot (\bar{\epsilon}_I + \bar{\epsilon}_0)^n \\ \sigma_{VII} &= C \cdot (\bar{\epsilon}_{II} + \bar{\epsilon}_0)^n \\ \sigma_{VIII} &= C \cdot (\bar{\epsilon}_{III} + \bar{\epsilon}_0)^n\end{aligned}$$

De vermogenstermen voor de modellen 31, 32 en 41.

De dimensieloze vermogenstermen inclusief versterking:

$$\begin{aligned}J_{O_I}^* &= \frac{\sigma_{VI}}{\sigma_{V0}} \\ J_{\Gamma_1}^* &= \frac{\sigma_{VI} + \sigma_{VII}}{2 \cdot \sigma_{V0}} \cdot \bar{\epsilon}_{\Gamma_1} \\ J_{\Gamma_2}^* &= \frac{\sigma_{VII} + \sigma_{VIII}}{2 \cdot \sigma_{V0}} \cdot \bar{\epsilon}_{\Gamma_2} \\ J_{W_{11}}^* &= \frac{\sigma_{VI}}{\sigma_{V0}} \cdot \frac{m_{11}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_s}{3.5} \\ J_{W_{12}}^* &= \frac{\sigma_{VI}}{\sigma_{V0}} \cdot \frac{m_{12}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R_s + a - p}{3.5} \\ J_{W_2}^* &= \frac{\sigma_{VII}}{\sigma_{V0}} \cdot \frac{m_2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{a - p}{s} \\ J_{W_3}^* &= \frac{\sigma_{VIII}}{\sigma_{V0}} \cdot \frac{m_3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2 \cdot hp + s - p}{a}\end{aligned}$$

De optimale s en ρ -waarde voor de modellen 31 en 41

Voor model 31 dient een uitdrukking afgeleid te worden waaruit de optimale waarde van s bepaald kan worden. Voor model 41 dient er bovendien een uitdrukking afgeleid te worden ter bepaling van de optimale ρ -waarde. Op dezelfde manier als bij model 21 wordt hierbij uitgegaan van ideaal plastisch materiaal en om dezelfde reden als genoemd bij model 21 is de fout hierdoor hoogstwaarschijnlijk gering. Door deze vereenvoudiging kunnen de formules die in VAN DER BURGH [1] afgeleid zijn overgenomen worden. De veranderingen in het model, waaruit deze formules afgeleid zijn, hebben geen noemenswaardige invloed op de afgeleide formules.

$$\text{Model 31 : } s = h \quad \rho = (s + a) - 2 \cdot \frac{s \cdot a}{1+m}$$

$$\text{Model 32 : } s = h \quad \rho = \text{voorgeschreven}$$

$$\text{Model 41 : } \rho = (s + a) - 2 \cdot \left[\frac{s + a}{\frac{1+m}{a} + \frac{2}{s}} \right]$$

2 vergl.
2 onbek.

$$\frac{2(a - \rho)}{s^2} + \frac{4 \cdot \rho}{(s+a-\rho)^2} + \frac{Rs \cdot (m+1)}{3 \cdot s^2} = \frac{1}{Rs} + \frac{m+1}{a}$$

De flowdiagrammen van de modellen 31, 32 en 41.

Omdat de verschillende modellen weer een groot aantal formules gemeen hebben, zijn deze formules in subroutines ondergebracht. De subroutines worden dan door alle drie de modelberekeningen aangeroepen. De subroutines zijn:

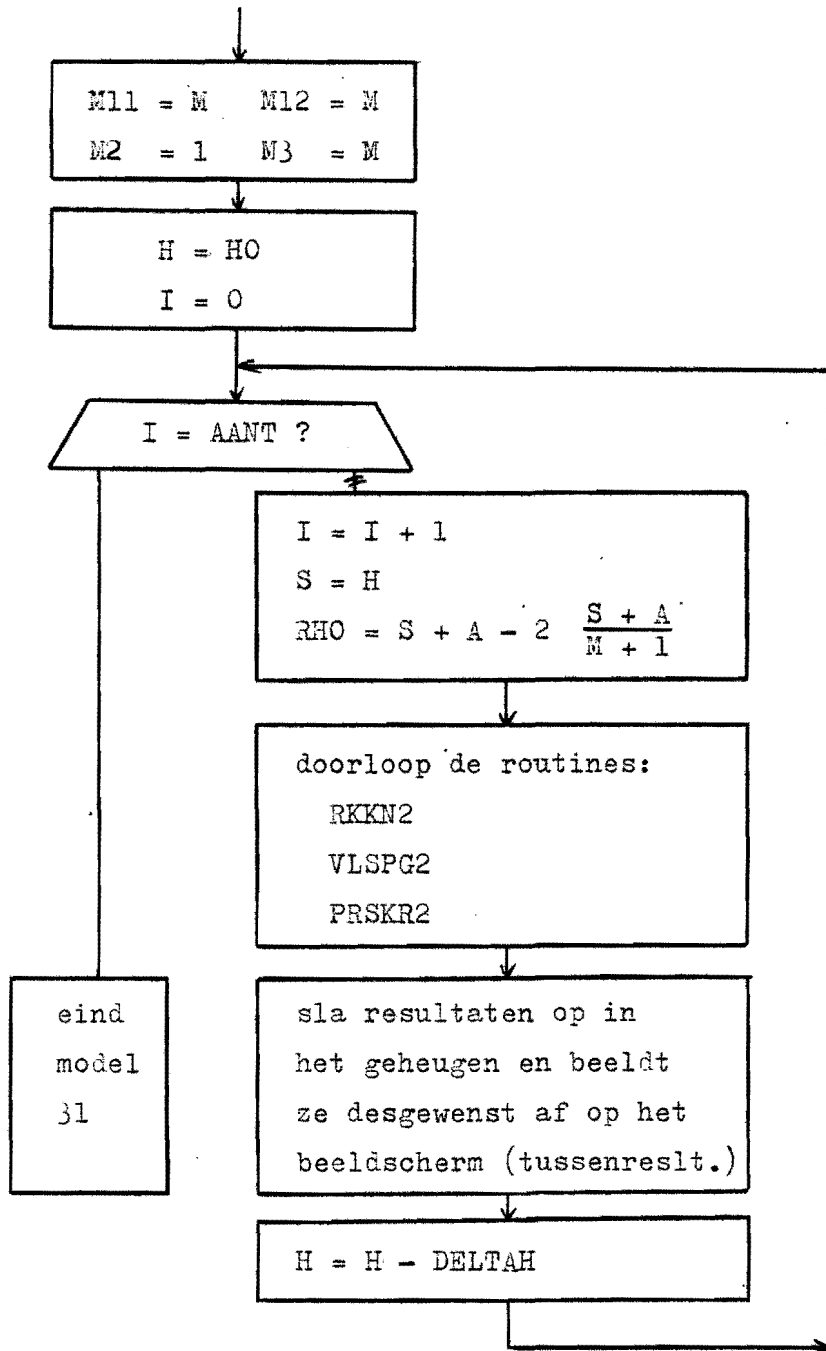
RKKN2 (de berekening van de rekken)

VLSPG2 (de berekening van de vloeispannings-
factoren)

PRSKR2 (de berekening van het dimensieloze vermogen
en de perskracht)

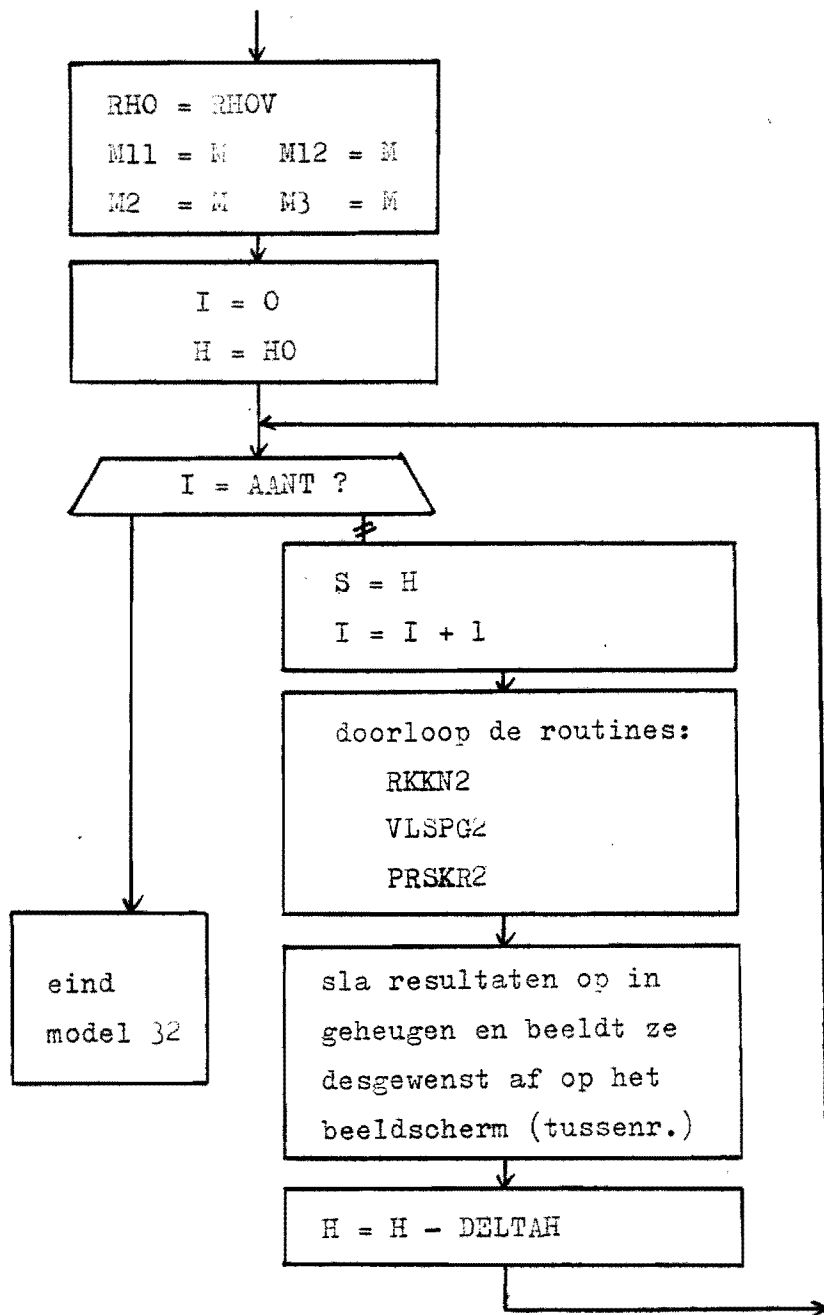
In de PRSKR2 routine wordt weer een andere routine t.b.v. de spanningen op het gereedschap aangeroepen. De uitwerking hiervan volgt later.

MODEL 31



hierin geldt: $RHO = \rho$

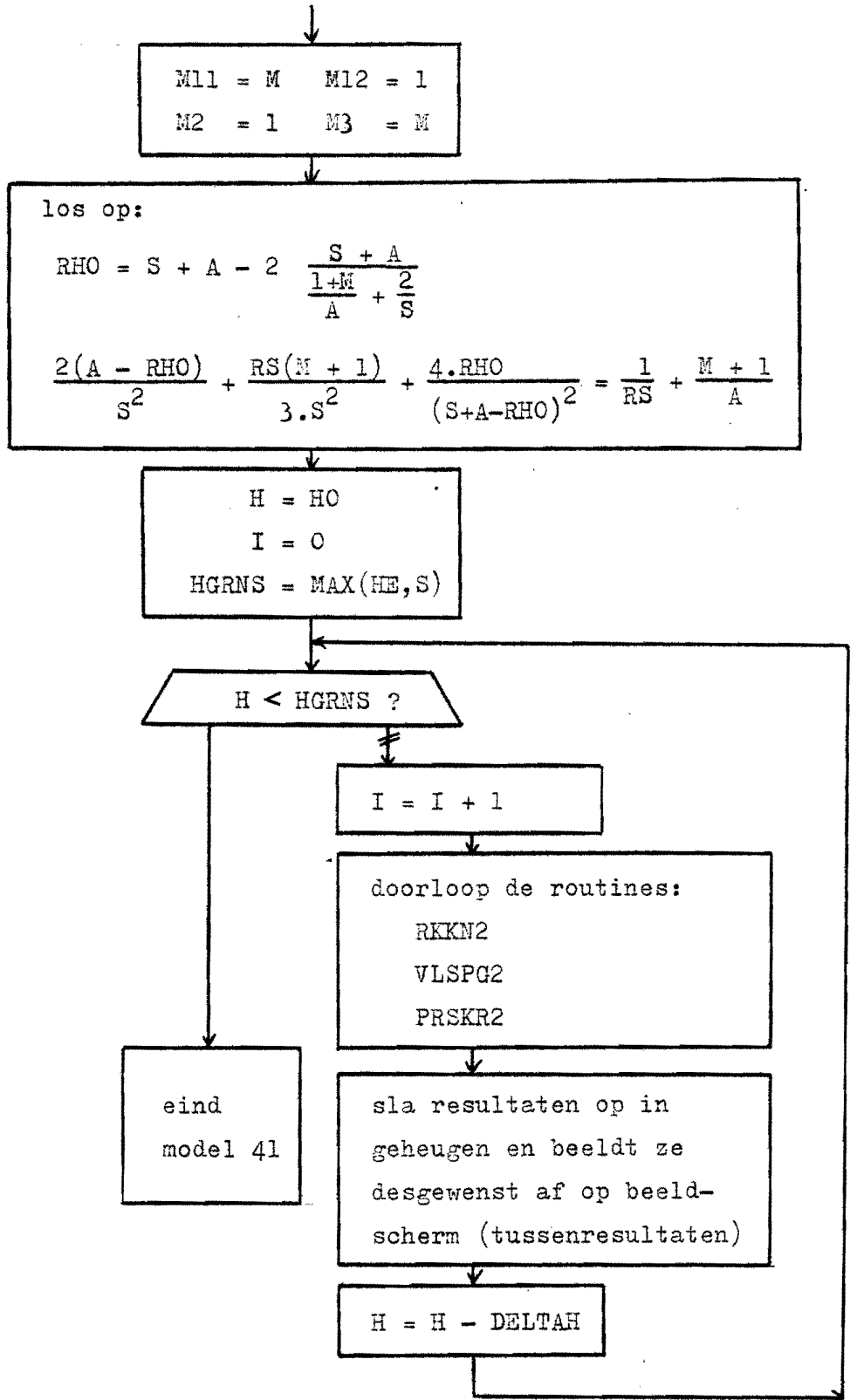
MODEL 32



RHO = ρ

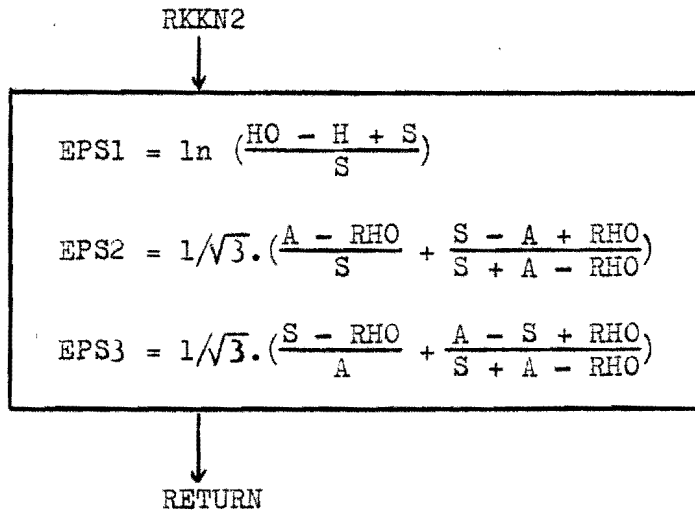
RHOV = ρ_v = voorgeschreven ρ

MODEL 41



De routine RKKN2

Hierin worden de rekken voor de modellen 31, 32 en 41 berekend.



Gebruikte symbolen:

$$\text{EPS0} = \bar{\epsilon}_0$$

$$\text{EPS1} = \bar{\epsilon}_1$$

$$\text{EPS2} = \bar{\epsilon}_1$$

$$\text{EPS3} = \bar{\epsilon}_2$$

De routine VLSPG2

Hierin worden de momentane vloeispanningsfactoren voor de modellen 31, 32 en 41 berekend.

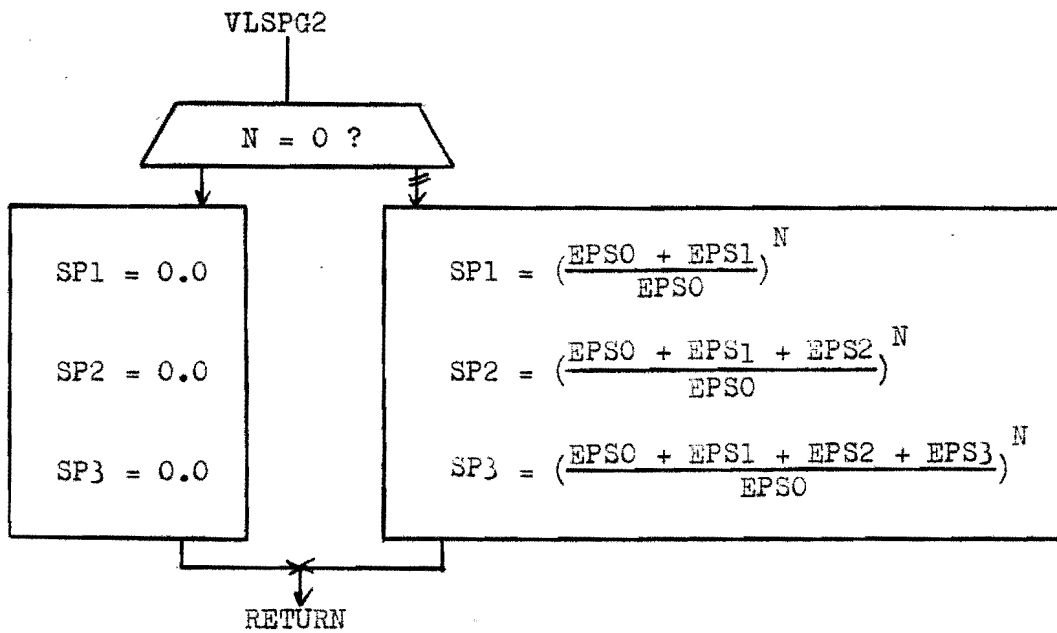
De beginvloeispanning is: $SPO = \sigma_{v_0} \text{ [N/mm}^2\text{]}$

De vloeispanningsfactoren zijn:

$$SP1 = \frac{\sigma_{vI}}{\sigma_{v_0}} \quad [-] \quad (\sigma_{vI} = \text{vloeispanning in gebied I})$$

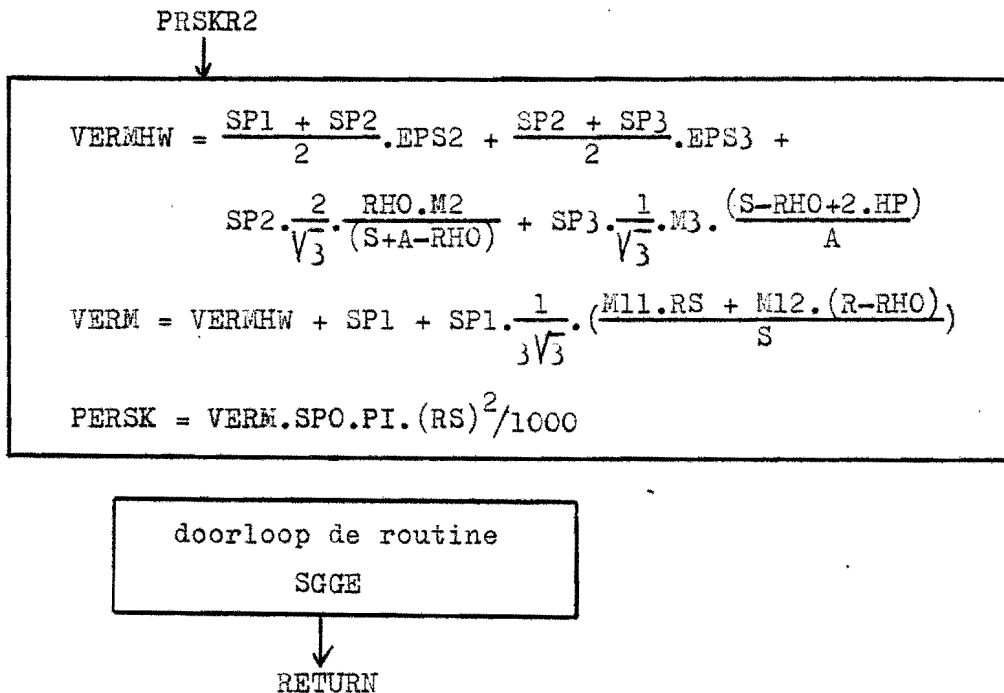
$$SP2 = \frac{\sigma_{vII}}{\sigma_{v_0}} \quad [-] \quad (\sigma_{vII} = \text{vloeispanning in gebied II})$$

$$SP3 = \frac{\sigma_{vIII}}{\sigma_{v_0}} \quad [-] \quad (\sigma_{vIII} = \text{vloeispanning in gebied III})$$



De routine PRSKR2

Hierin worden de perskracht, het dimensieloze vermogen en de spanningen op het gereedschap voor de modellen 31, 32 en 41 berekend.



- VERMHW = een gedeelte van het dimensieloze vermogen,
dit tussenresultaat is nodig in de routine SGGE.
- VERM = het dimensieloze vermogen $\sum J^*$.
- PERSK = de berekende perskracht
- PI = π
- SGGE = routine waarin de spanningen op het gereedschap worden bepaald. Het flowdiagram van deze routine volgt nog.

Andere modellen

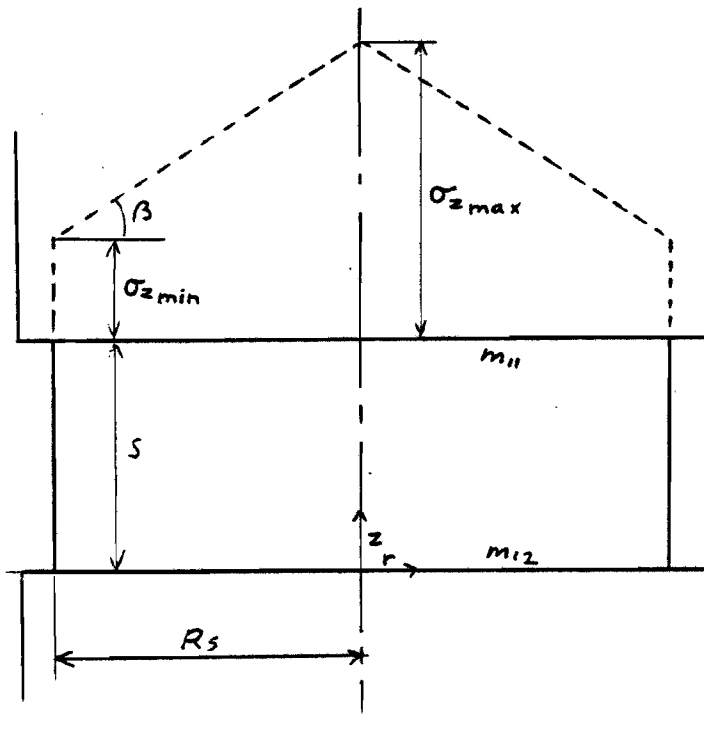
Er zijn nog andere modellen met een afschuining in de matrijs beschikbaar uit RAMAEKERS 3 . Deze modellen zijn niet in het computerprogramma toegepast omdat:

- de oplossingen die deze modellen bieden slechts weinig afwijken van de modellen 11/21; m.a.w. de invloed van afschuining is slechts gering;
- bij optimalisatie blijkt dat er geen optimale waarde voor de maat van de afschuining gevonden kan worden waarbij het dimensieloze vermogen een minimum heeft (het dimensieloze vermogen heeft een minimum wanneer de afschuining oneindig is). Het is daarom aanbevelingswaardig deze modellen eerst nog verder te ontwikkelen alvorens ze toe te passen.

De spanningen op het gereedschap

1 De spanningen op de stempel en de matrijsbodem

Volgens RAMAEKERS en KALS [4] geldt voor de drukberg bij pletten van een axi-symmetrische blenk afgeleid met de schillenmethode:



$$\tan \beta = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \cdot \frac{m_{11} - m_{12}}{s} \quad (\text{SGGE-1})$$

De hellingshoek is alleen afhankelijk van de vloeispanning, de wrijving (m-waarde) en de dikte s. Daarom moet dezelfde hellingshoek ook optreden bij het pletten van de bodem bij achterwaartse hulsextrusie. De optredende radiale druk op de omtrek van de blenk die bij hulsextrusie optreedt heeft wel een invloed op σ_{zmin} en σ_{zmax} maar dus niet op de hellingshoek .

Voor hellingshoek geldt verder:

$$\tan \beta = \frac{\sigma_{zmax} - \sigma_{zmin}}{R_s} \quad (\text{SGGE-2})$$

In de modelberekeningen 11,21,31,32 en 41 is de gemiddelde spanning $\tilde{\sigma}_z$ op de stempel berekend met de bovengrensmethode. Deze is namelijk gelijk aan het dimensieloze vermogen vermenigvuldigd met de vloeispanning:

$$\tilde{\sigma}_z = \sigma_{v_0} \cdot \sum J^* \quad (\text{SGGE-3})$$

Het verloop van σ_z is lineair met de straal:

$$\sigma_z = \sigma_{z \min} + r \cdot \tan \beta$$

Voor de totale kracht op de stempel geldt hiermee:

$$\begin{aligned} F &= \int \sigma_z dA = \int_0^{R_s} (\sigma_{z \min} + r \cdot \tan \beta) d\pi r^2 \\ &= \pi R_s^2 \cdot \sigma_{z \min} + \frac{2}{3} \pi R_s^3 \cdot \tan \beta \end{aligned}$$

Met $\tilde{\sigma}_z = \frac{F}{\pi R_s^2}$ volgt:

$$\tilde{\sigma}_z = \sigma_{z \min} + \frac{2}{3} R_s \cdot \tan \beta$$

En met (SGGE-3) volgt:

$$\sigma_{v_0} \cdot \sum J^* = \sigma_{z \min} + \frac{2}{3} \cdot R_s \cdot \tan \beta$$

dus $\sigma_{z \min} = \sigma_{v_0} \sum J^* - \frac{2}{3} \cdot R_s \cdot \tan \beta$ (SGGE-4)

Uit (SGGE-2) volgt:

$$\sigma_{z \max} = \sigma_{z \min} + R_s \cdot \tan \beta$$

en met (SGGE-4) kan dus afgeleid worden:

$$\sigma_{z \max} = \sigma_{v_0} \cdot \sum J^* + \frac{1}{3} R_s \cdot \tan \beta \quad (\text{SGGE-5})$$

Met (SGGE-1) volgt voor (SGGE-4) en (SGGE-5):

$$\begin{aligned} \sigma_{z \max} &= \sigma_{v_0} \cdot \sum J^* + \frac{1}{3} \cdot \frac{R_s}{s} \cdot \sigma_{v_I} \cdot \frac{m_{11} + m_{12}}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \\ \sigma_{z \min} &= \sigma_{v_0} \cdot \sum J^* - \frac{2}{3} \cdot \frac{R_s}{s} \cdot \sigma_{v_{II}} \cdot \frac{m_{11} + m_{12}}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

Na de symbolentransformatie t.b.v. de computer zijn deze formules:

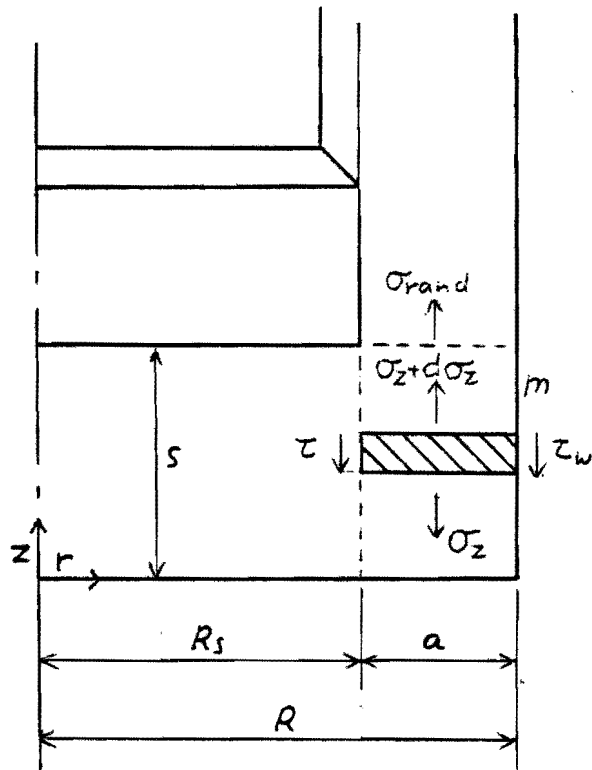
$$\begin{aligned} \text{SGGE1} &= \text{SPO}(\text{VERM} + \frac{1}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{\text{RS}}{\text{S}} \cdot \text{SP1} \cdot (\text{M11} + \text{M12})) \\ \text{SGGE2} &= \text{SPO}(\text{VERM} - \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{\text{RS}}{\text{S}} \cdot \text{SP1} \cdot (\text{M11} + \text{M12})) \end{aligned}$$

waarin SGGE1 = z_{max} op de stempel
 SGGE2 = z_{min} op de stempel
 (SGGE = sigma gereedschap)

Er wordt aangenomen dat op de matrijsbodem dezelfde loodrechte spanningen heersen als op de stempel.

2 De spanningen op de matrijswand

De gemiddelde spanning op de matrijswand kan weer afgeleid worden uit de vermogenstermen die berekend zijn met de bovengrensmethode. Het verloop van de spanningen (hellingshoek) wordt met de schillenmethode afgeleid:



evenwicht:

$$\begin{aligned} \pi(\sigma_z + d\sigma_z)(R^2 - R_s^2) - \sigma_z(R^2 - R_s^2) \cdot \pi \\ - \frac{\sigma_{vII}}{\sqrt{3}} \cdot 2\pi \cdot R_s \cdot dz \end{aligned}$$

$$- \frac{\sigma_{vII}}{\sqrt{3}} \cdot m \cdot 2\pi \cdot R \cdot dz = 0$$

$$\rightarrow \frac{d\sigma_z}{dz} = \frac{2\sigma_{vII}(R_s + R \cdot m)}{\sqrt{3} \cdot (R^2 - R_s^2)}$$

$$\rightarrow \sigma_z = - \frac{2\sigma_{vII}(R_s + R \cdot m)}{\sqrt{3} \cdot (R^2 - R_s^2)} \cdot (s - z)$$

$$- \sigma_{rand} \quad (\text{SGGE-6})$$

Met de vereenvoudiging dat er vlakke vervorming in het hoekgebied heerst volgt:

$$\dot{\epsilon}_\varphi = 0 \rightarrow \sigma_\varphi = \frac{\sigma_r + \sigma_z}{2} \rightarrow |\sigma_r - \sigma_z| = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{vII}$$

$$\rightarrow \sigma_r = -\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{vII} + \sigma_z$$

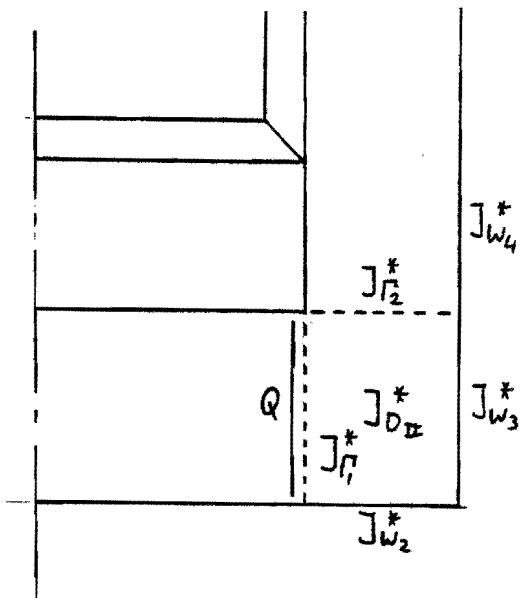
Met (SGGE-6):

$$\sigma_r = -\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{vII} - \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{vII} \cdot \frac{R_s + m \cdot R}{R^2 - R_s^2} (s-z) - \sigma_{rand}$$

$$\rightarrow \frac{d\sigma_r}{dz} = \tan \alpha = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{vII} \cdot \frac{R_s + m \cdot R}{R^2 - R_s^2} \quad (SGGE-7)$$

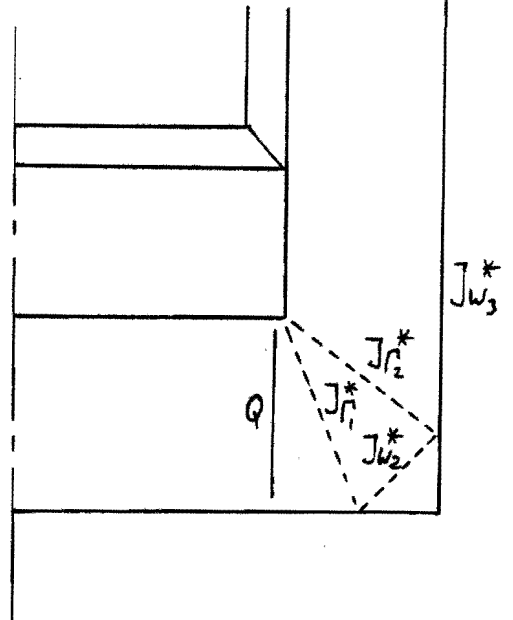
De gemiddelde spanning kan afgeleid worden uit de dimensieloze vermogenstermen, die berekend zijn met de bovengrensmethodé, met behulp van de vermogensbalans, zie ook RAMAËKERS [2]:

Voor model 11 en 21.



$$\Sigma J_{hw}^* = J_{r1}^* + J_{r2}^* + J_{DII}^* + J_{w2}^* + J_{w3}^* + J_{w4}^*$$

Voor model 31,32 en 41.



$$\Sigma J_{hw}^* = J_{r1}^* + J_{r2}^* + J_{w2}^* + J_{w3}^*$$

Q = vlak waarover de gemiddelde spanning wordt berekend

De vermogensbalans is hiervoor:

$$\tilde{\sigma}_r(r=R_s) \cdot 2\pi \cdot R_s \cdot s \cdot \dot{u}_r(r=R_s) = \sum J_{hw}^* \cdot \pi \cdot R_s^2 \cdot \sigma_{v_0} \cdot \dot{u}$$

Met volumeinvariantie: $2\pi \cdot R_s \cdot s \cdot \dot{u}_r = \pi \cdot R_s^2 \cdot \dot{u}$

geldt: $\tilde{\sigma}_r(r=R_s) = \sigma_{v_0} \sum J_{hw}^*$ (SGGE-8)

Aangenomen wordt dat deze spanning ook op de matrijswand staat. Dit is niet helemaal precies juist. De spanning loodrecht op het Q-vlak (zie de figuren) is een beetje hoger dan op de matrijswand. (o.a. door de wrijving over de matrijsbodem). Enige verfijning is hier nog mogelijk.

Beschikbaar is nu: - de helling van het spanningsverloop (SGGE-7)
- de gemiddelde spanning (SGGE-8).

Hiermee kunnen de maximale en de minimale spanning bepaald worden:

$$\begin{cases} \sigma_{r \min} + \sigma_{r \max} = 2\tilde{\sigma}_r \\ \sigma_{r \max} - \sigma_{r \min} = s \cdot \tan \alpha \end{cases}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \sigma_{r \max} = \tilde{\sigma}_r + \frac{s \cdot \tan \alpha}{2} \\ \sigma_{r \min} = \tilde{\sigma}_r - \frac{s \cdot \tan \alpha}{2} \end{cases}$$

Met (SGGE-7) en (SGGE-8) volgt (na symbolentransformatie):

$$\text{SGGE3} = \text{SPO}(\text{VERMHW} + \frac{s}{\sqrt{3}} \cdot \text{SP2} \cdot \frac{RS + M \cdot R}{R^2 - RS^2})$$

$$\text{SGGE4} = \text{SPO}(\text{VERMHW} - \frac{s}{\sqrt{3}} \cdot \text{SP2} \cdot \frac{RS + M \cdot R}{R^2 - RS^2})$$

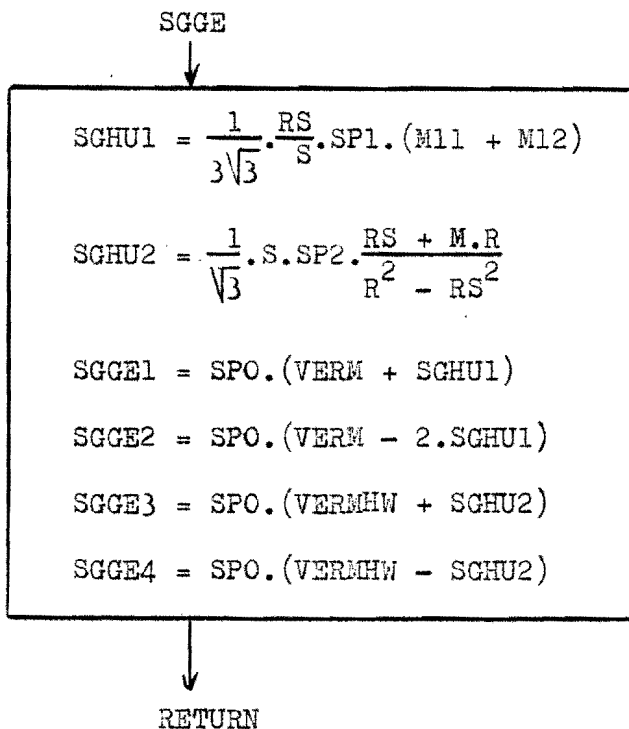
waarin $\text{SGGE3} = \sigma_{r \max}$

$\text{SGGE4} = \sigma_{r \min}$

$\text{VERMHW} =$ dimensieloze vermogenstermen van hoek en wand
opgeteld = $\sum J_{hw}^*$

Het flowdiagram van de routine SGGE

De formules van SGGE gelden voor alle modellen. Om ervoor te zorgen dat ze op de verschillende plaatsen in het programma aangeropen kunnen worden zijn ze in een aparte subroutine ondergebracht.



waarin: SGHU1 en SGHU2 zijn hulpvariabelen.

Opmerkingen : In de afleiding is aangegeven waar eventueel nog een verfijning uitgevoerd kan worden.

Er kan nog wat rekentijd en een beetje geheugenopslagruimte bespaard worden door de perskracht en de spanningen op het gereedschap pas na de selectie van de modellen te laten berekenen. De besparingen zijn echter zeer klein.

De selectie van de modellen

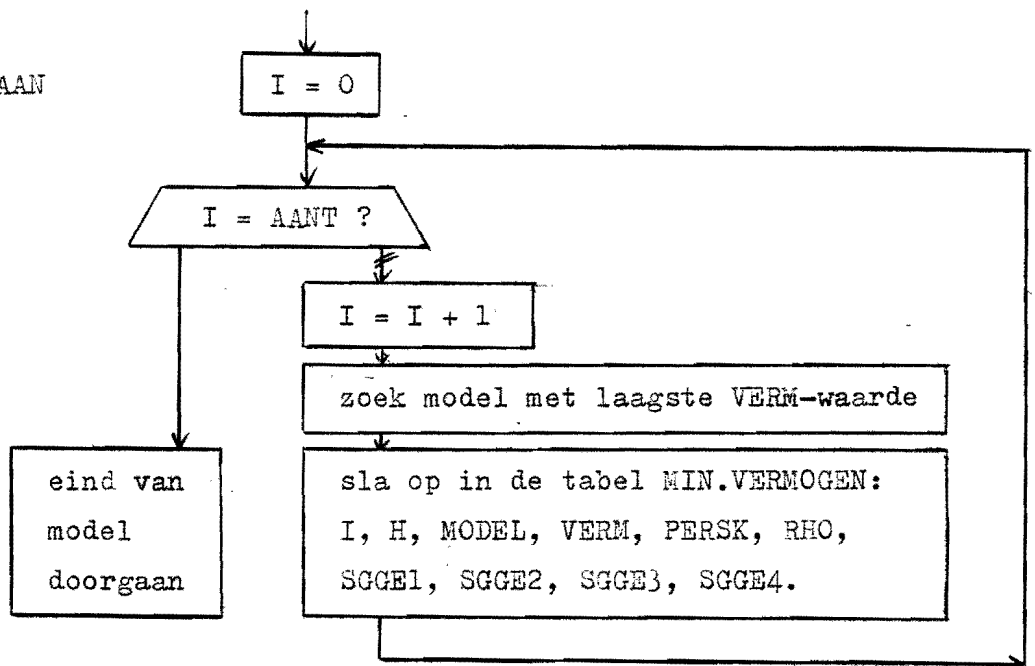
In het programma is deze selectie ondergebracht in MODEL DOORGAAN. Volgens het bovengrenstheorema is de oplossing van het bovengrensmodel met de laagste oplossing het meest realistische. De selectie houdt dus in dat voor elk berekend stadium van het proces (elke stap, elke h-waarde) het model met de laagste waarde voor het dimensieloze vermogen bepaald moet worden. Van dit model moeten dan de bij die h-waarde behorende waarden voor S, VERM, PERSK, RHO, SGGE1, SGGE2, SGGE3 en SGGE4 apart gehouden worden. Daarbij dient ergens vastgelegd te worden uit welk model de gegevens afkomstig zijn. Voor het gemak wordt aangenomen dat alle gegevens in tabellen staan. De tabel met de geselecteerde waarden wordt in het vervolg de tabel MIN.VERMOGEN genoemd. Voorbeeld:

I	H	MODEL	S	VERM	PERSK	RHO	SGGE1	SGGE2	SGGE3	SGGE4
1	HO	21								
2	HO-DELTAH	21								
3	HO-2.DELTAH	11								
4	HO-3.DELTAH	31								

De gegevens die niet gebruikt zijn voor de tabel MIN.VERMOGEN kunnen weggegooid worden.

Flowdiagram

MODEL DOORGAAN



DE UITVOER

Het resultaat van de berekeningen is de tabel MIN.VERMOGEN, waarin de geselecteerde berekeningsresultaten staan. Deze resultaten moeten nog tot geschikte uitvoer verwerkt worden. Wanneer de gebruiker van het programma het kommando V (verwerken) in typt krijgt hij een rij met verwerkingsmogelijkheden op het scherm afgebeeld. Deze kunnen onafhankelijk van elkaar doorlopen worden. Door de letter(s) (=kommando) in te typen die vooraan staan kan de computer de opdracht gegeven worden de desbetreffende verwerkingsmogelijkheid uit te voeren.

V Verwerken

- W Wijzigen invoergegevens
- T Terugmelding invoergegevens
- P Perskracht
- S Spanningen op het gereedschap
- SC Scheurvoorspelling
- K Knik van de stempel
- Z Zwemmen van de stempel
- I Invering van de stempel
- KO Konventionele perskrachtberekeningen
- ST Stop Verwerken

Hieronder staat elke mogelijkheid uitgewerkt.

Wijzigen invoergegevens

Wanneer men hiertoe opdracht geeft worden de resultaten van een eerder doorgerekend geval uit het geheugen gewist en wordt naar het invoergedeelte gesprongen zodat men nieuwe invoergegevens kan ingeven. Hoewel alle oude berekeningsresultaten uit het geheugen gewist worden is het toch eenvoudig ze te bewaren door ze op papier uit te laten printen of plotten.

Terugmelding invoergegevens

Teken routineII wordt in werking gesteld (zie het hoofdstuk invoer). Hierdoor krijgt men een tekening van het produkt zoals dat eruit ziet met de ingegeven invoerwaarden samen met de blenk.

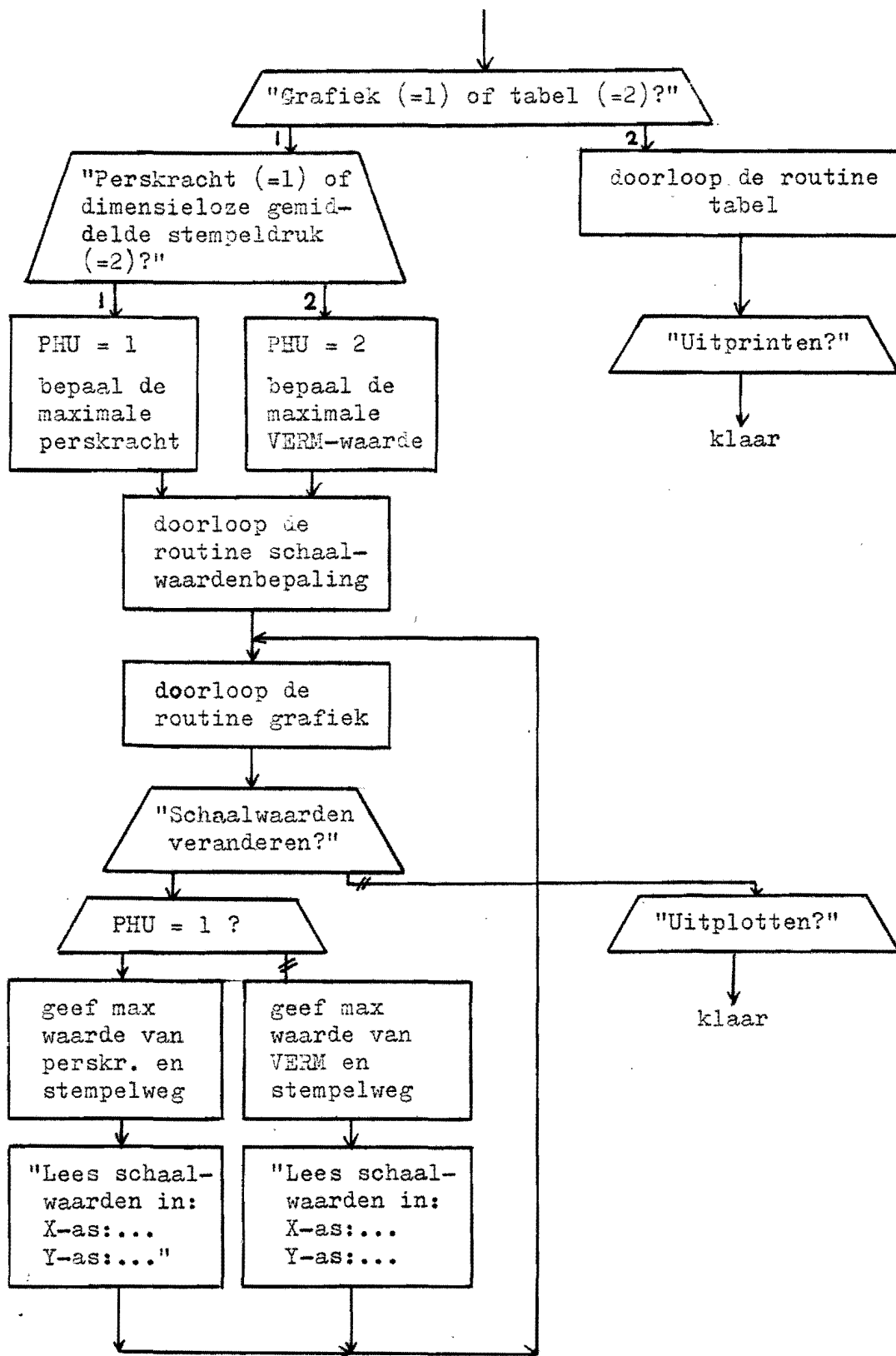
Naast de tekening worden alle invoergegevens op overzichtelijke wijze op het scherm getoond. Indien men dat wil, kan de tekening en de tekst uitgeplot worden.

Perskracht

De perskracht (PERSK) of het dimensieloze vermogen (VERM) kunnen op het beeldscherm in een grafiek tegen de stempelweg uitgezet worden. Daarnaast is ook de mogelijkheid aanwezig ze bij elkaar in een tabel te zetten. De schaalwaarden van de grafieken worden automatisch zo gunstig mogelijk gekozen. Om de grafieken makkelijk te kunnen vergelijken met eerder gemaakte grafieken van andere gevallen kunnen de schaalwaarden ook door de gebruiker gekozen worden.

Voor het maken van de grafieken worden enkele standaardprocedures gebruikt. Daarom is het flowdiagram niet tot in de details uitgewerkt.

Zoals in alle verwerkingsmogelijkheden worden hier alleen de gegevens uit de tabel MIN.VERMOGEN gebruikt.



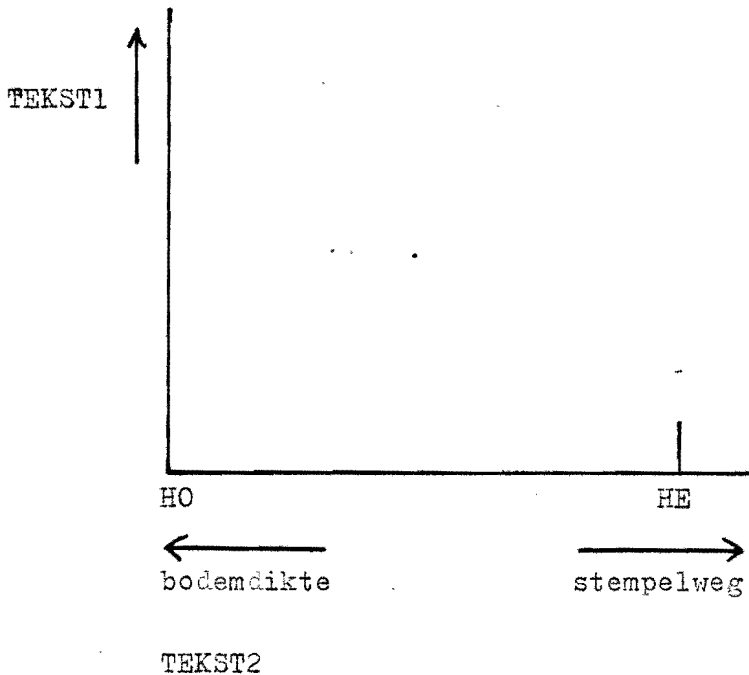
waarbij PHU een hulpvariabele is.

De routine schaalwaardenbepaling

Dit is een standaardroutine en is hier verder niet uitgewerkt.

De routine grafiek

afgebeeld moet worden:



Hierbij geldt:

Voor PHU = 1: zet de PERSK-waarden uit tegen HO-H
TEKST1 = "Perskracht [kN]"
TEKST2 = "De maximale perskracht [kN] = ..."

Voor PHU = 2: zet in grafiek uit VERM tegen HO-H.
TEKST1 = "gem. dimensieloze druk [-]"
TEKST2 = "De maximale gemiddelde dimensieloze
stempeldruk [-] ="

De uitgezette waarden moeten door rechte lijnstukjes
verbonden worden.

De routine tabel

De volgende tabel moet gevuld worden:

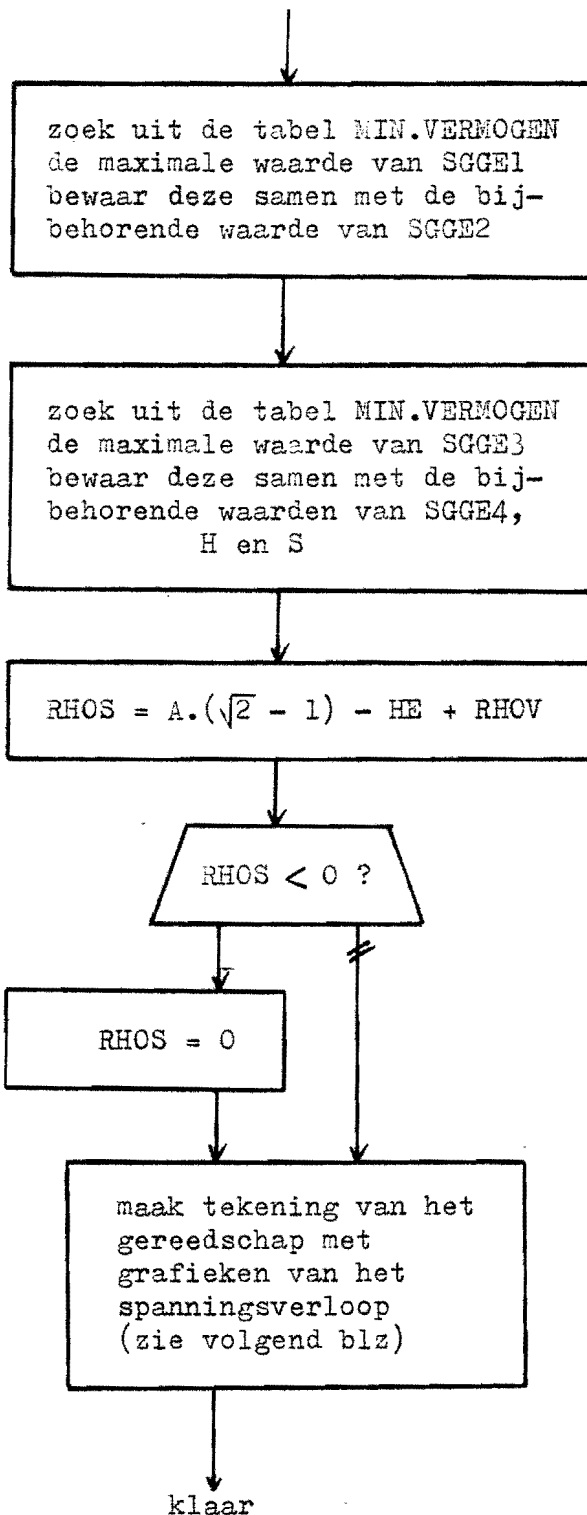
STEMPELWEG HO - H	MOMENTANE BODEMDIKTE	PERSKRACHT	GEMIDDELDE DIMENSIELOZE STEMPELDRUK
[mm]	[mm]	[kN]	[-]
⋮	⋮	⋮	⋮

Opmerking : De energiebeschouwing is nog niet in het programma opgenomen:

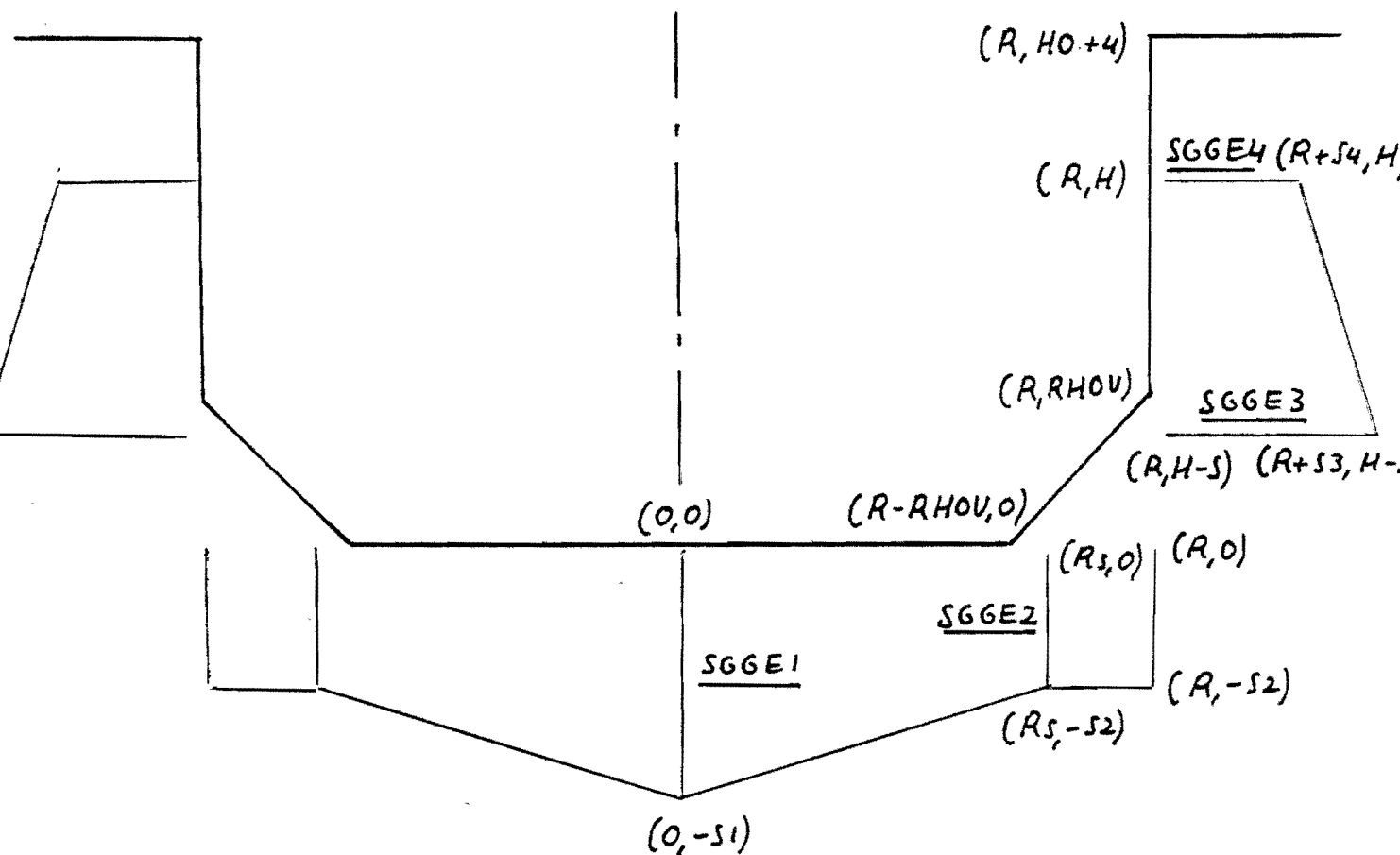
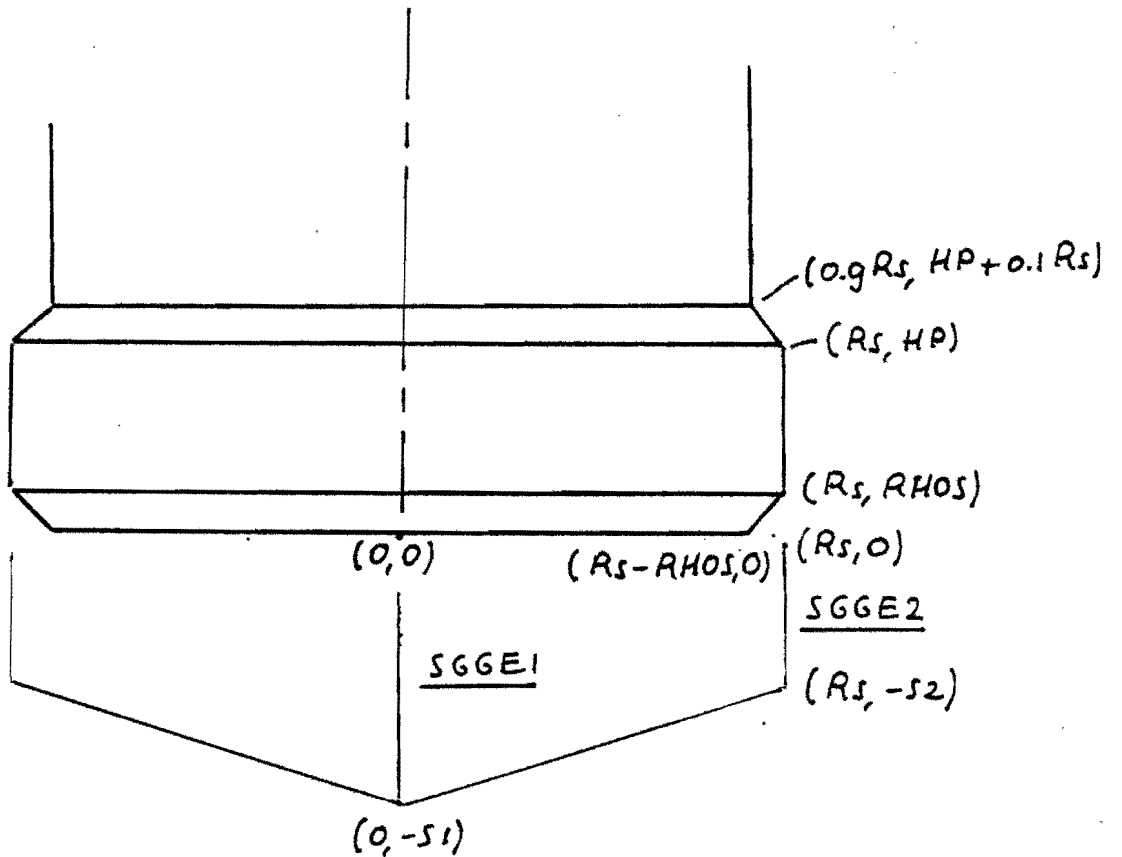
$$\begin{aligned} \text{ENERGIE} = & \text{DELTAH} \left(\frac{\text{PERSK}(1)}{2} + \text{PERSK}(2) + \text{PERSK}(3) + \dots \right. \\ & \left. \dots + \text{PERSK}(\text{AANT}-1) + \frac{\text{PERSK}(\text{AANT})}{2} \right) \end{aligned}$$

bijbehorende tekst: "De benodigde energie [kJ] = ..."

Spanningen op het gereedschap



MAXIMALE BELASTING OP HET GEREEDSCHAP



Opmerkingen bij de afbeelding:

- RHOS = maat voor de afschuining van de stempel
Deze is niet in de modelberekeningen meegenomen en dient er alleen voor om indien in de invoer grote waarden voor RHOV toegelaten worden het materiaal in de hoek niet af te knijpen. Het is duidelijk dat dit programma voor hulzen met een grote RHOV en RHOS niet de juiste modellen hanteert. Voor een geringe RHOS zijn de resultaten hoogstwaarschijnlijk wel voldoende goed.
RHOS is alleen toegepast met de bedoeling de mogelijke waarden voor RHOV niet te erg te beperken.
Voorlopig is het interval waarin RHOV gekozen kan worden gesteld op: $0.0 \leq RHOV \leq HE$.
- In de figuur dienen de koördinaten niet afgebeeld te worden. Voor de onderstreepte SGGE-termen dienen de berekende waarden ingevuld te worden.
- De koördinaten S1, S2, S3, S4 komen overeen met de waarden van SGGE1, SGGE2, SGGE3, SGGE4. Ze kunnen bijvoorbeeld als volgt bepaald worden:
$$SCH = \frac{0.75 \times RS}{SGGE1}$$
$$S1 = SGGE1 \times SCH$$
$$S2 = SGGE2 \times SCH$$
$$S3 = SGGE3 \times SCH$$
$$S4 = SGGE4 \times SCH$$
- Omdat deze tekening bij het tot stand komen van dit rapport nog niet in het programma opgenomen was zijn de koördinaten in de tekening weergegeven. Deze maken geen deel uit van de eigenlijke afbeelding.
- Deze afbeelding kan net zo als de andere desgewenst geplott worden.

Scheurvoorspelling

Er wordt aangenomen dat er een scheur ontstaat langs de driehoekige dode hoekzone van model 31 wanneer dit model in werking treedt.

Immers in dit geval is aan beide criteria voldaan:

- het stromende materiaal passeert met hoge snelheid het dode materiaal
- het afschuivingsvlak van de dode zone blijft langdurig op (zo goed als) dezelfde plaats.

Voor dikwandige hulzen $A/RS > (A/RS)_{\text{grens}}$ kan deze scheurvoorspelling niet uitgevoerd worden omdat deze gevallen niet met model 31 door- gerekend worden. Omdat bij dikwandige hulzen niet aan het eerste criterium voldaan is wordt (voorlopig) aangenomen dat er geen scheur optreedt.

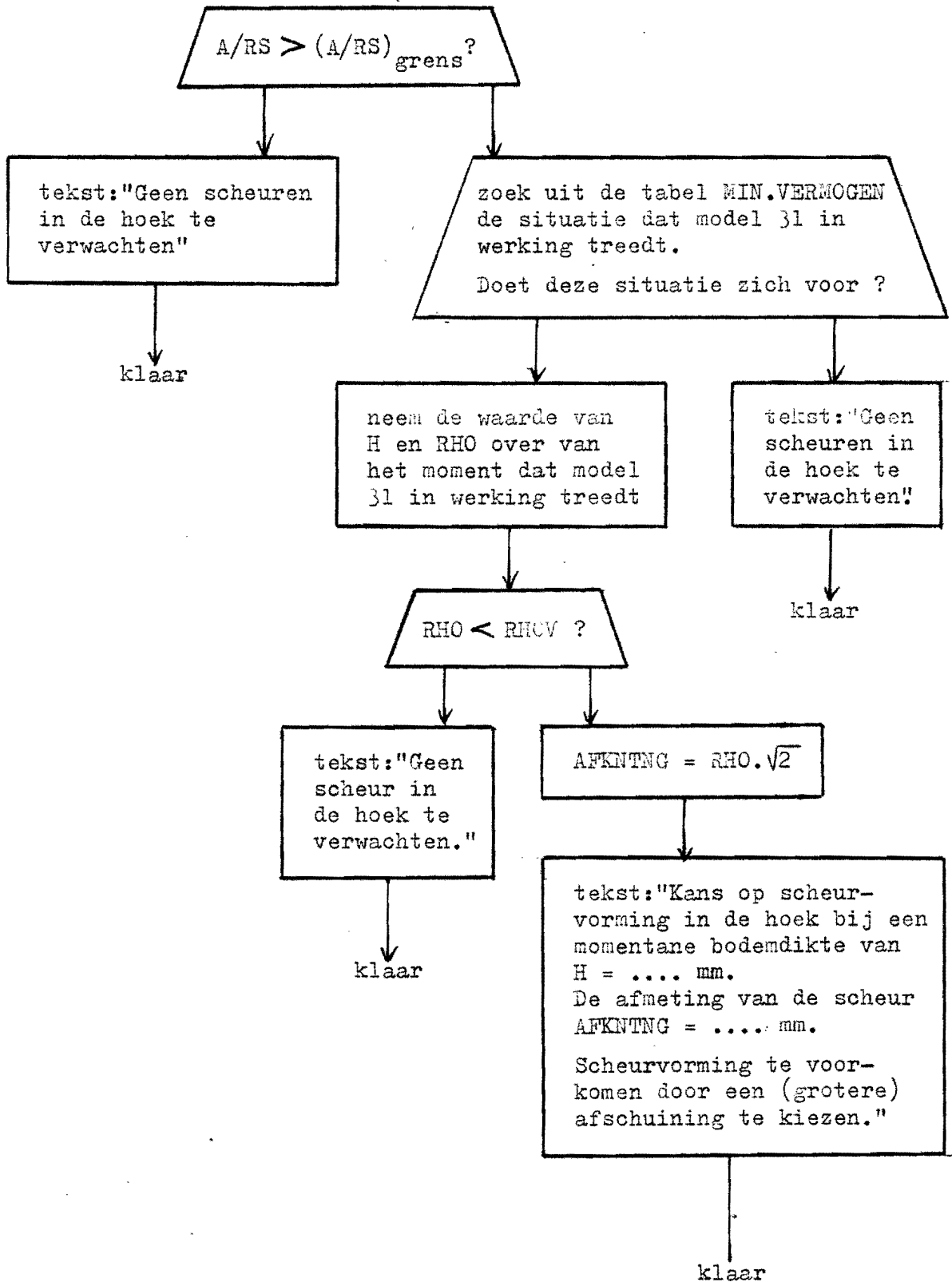
Toelichting bij het flowdiagram:

Wanneer er voor een afschuining in de matrijs gekozen is ($RHOV > 0$), wordt behalve model 32 toch model 31 doorgerekend om na te gaan of de afschuining niet zo klein gekozen is dat er toch nog een scheur optreedt. Dan treedt model 31 dus toch nog in werking.

Voor de zekerheid wordt gecontroleerd of de berekende RHO bij model 31 wel groter is dan $RHOV$. Indien dit niet het geval is treedt er natuurlijk toch geen scheur op.

Opmerking : Enige verfijningen zijn nog mogelijk. Zo kan voor dikwandige hulzen geverifieerd worden of er inderdaad geen scheuren optreden en waar gezien dit criterium de grens ligt tussen dik en dunwandige hulzen. Mocht het voor kunnen komen dat model 31 in werking treedt met een kleinere RHO dan $RHOV$ dan mogen de resultaten van dit model eigenlijk niet gebruikt worden omdat dat een irreële situatie is.

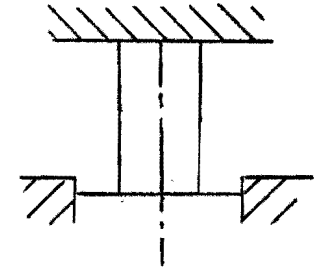
flowdiagram scheurvoorspelling



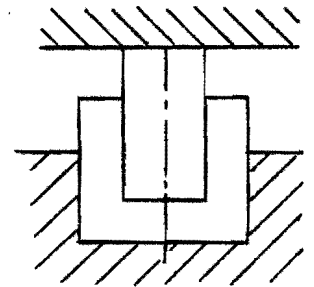
Knik van de stempel

De stempel wordt gecontroleerd op elastische knik. Uitgegaan is van de formules volgens KOITER [5]. Bij hulsextrusie kan men twee kritische gevallen onderscheiden:

1. Aan het begin van het proces kan de stempel vrij zwemmen.
Inklemfactor $c = 1/4$.



2. Tijdens het proces, wanneer de perskracht maximaal is.
Inklemfactor $c = 2$.



Beide situaties worden door het programma gecontroleerd.

De knikformule luidt:

$$\sigma_k = \frac{c \cdot \pi^2 \cdot E \cdot (2R_s)^2}{4L}$$

c = inklemfactor

E = elasticiteitsmodulus

R_s = stempelstraal

L = stempellengte

σ_k = spanning waarbij elastische knik optreedt

In het programma wordt gewerkt met een knikfactor:

$$\text{KNKFKT} = \frac{\sum J^* \cdot \sigma_{v_0}}{\sigma_k}$$

Er treedt dan knik op wanneer de knikfactor groter of gelijk aan 1 is. Hierin is $\sum J^* \cdot \sigma_{v_0}$ de gemiddelde stempelspanning.

na de symbolentransformatie:

$$KNKSP = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot RS^2}{4 \cdot STMPLL^2}$$

$$\pi = \pi$$

STMPLL = stempellengte

Geval 1:

$$KNKFKT1 = \frac{VERM(HO) \cdot SPO}{c \cdot KNKSP} = \frac{VERM(HO) \cdot SPO \cdot 4}{KNKSP}$$

Geval 2: Eerst wordt de grootste term voor het dimensieloze vermogen VERM uit de tabel MIN.VERMOGEN gezocht. Deze wordt verder MXVRM genoemd.

$$KNKFKT2 = \frac{MXVRM \cdot SPO}{c \cdot KNKSP} = \frac{MXVRM \cdot SPO}{2 \cdot KNKSP}$$

Omdat de stempellengte nog niet vastligt wordt voorlopig gerekend met een stempellengte van 1.4 maal de wandhoogte van de huls.

$$STMPLL = 1.4 \times (HH - HE + TGFT)$$

Voor de elasticiteitsmodulus wordt aangenomen:

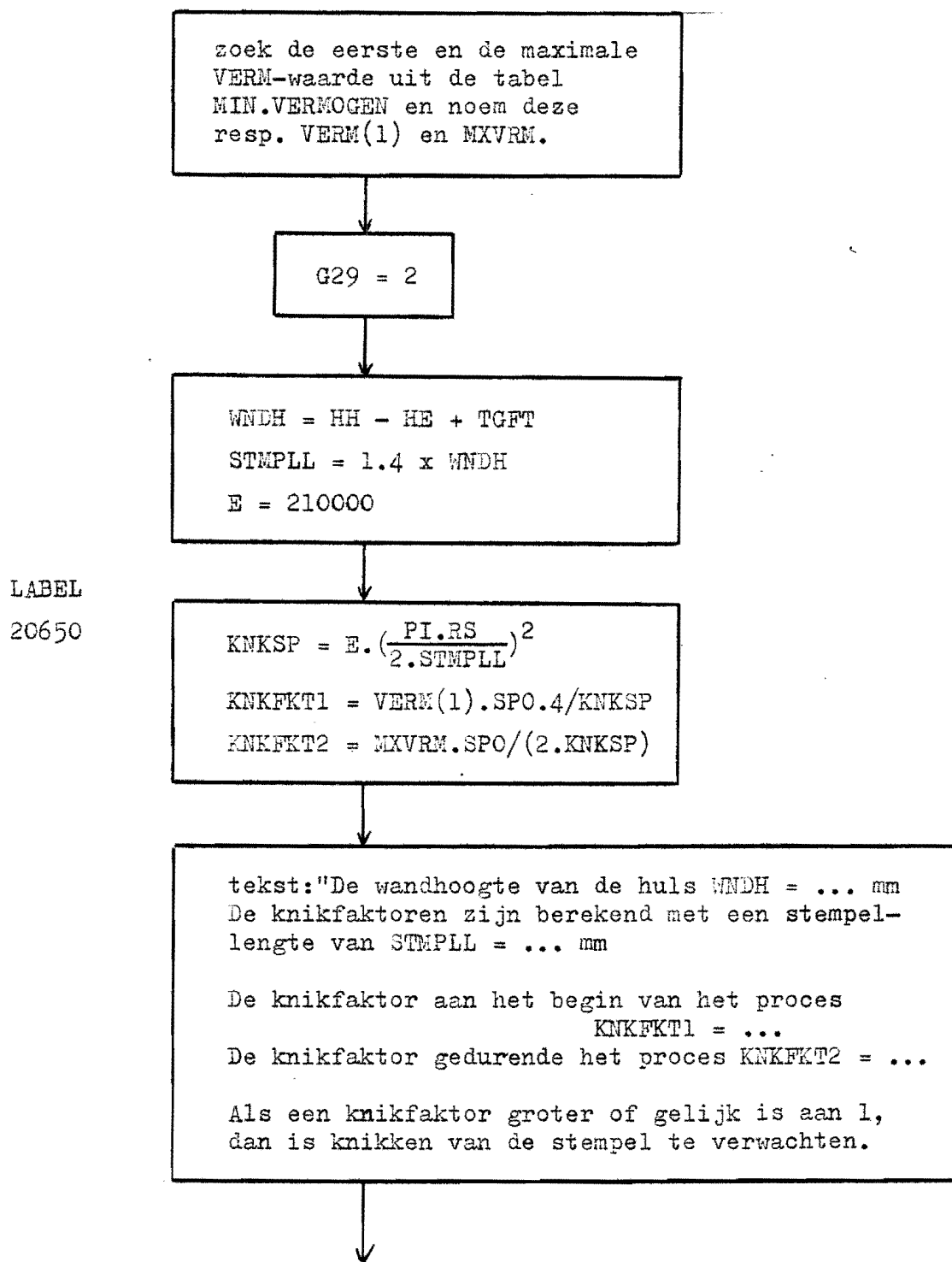
$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Deze geldt voor staal, voor hardmetaal geldt een andere.

Er wordt de kans geboden de berekeningen voor andere waarden voor STMPLL en E uit te voeren.

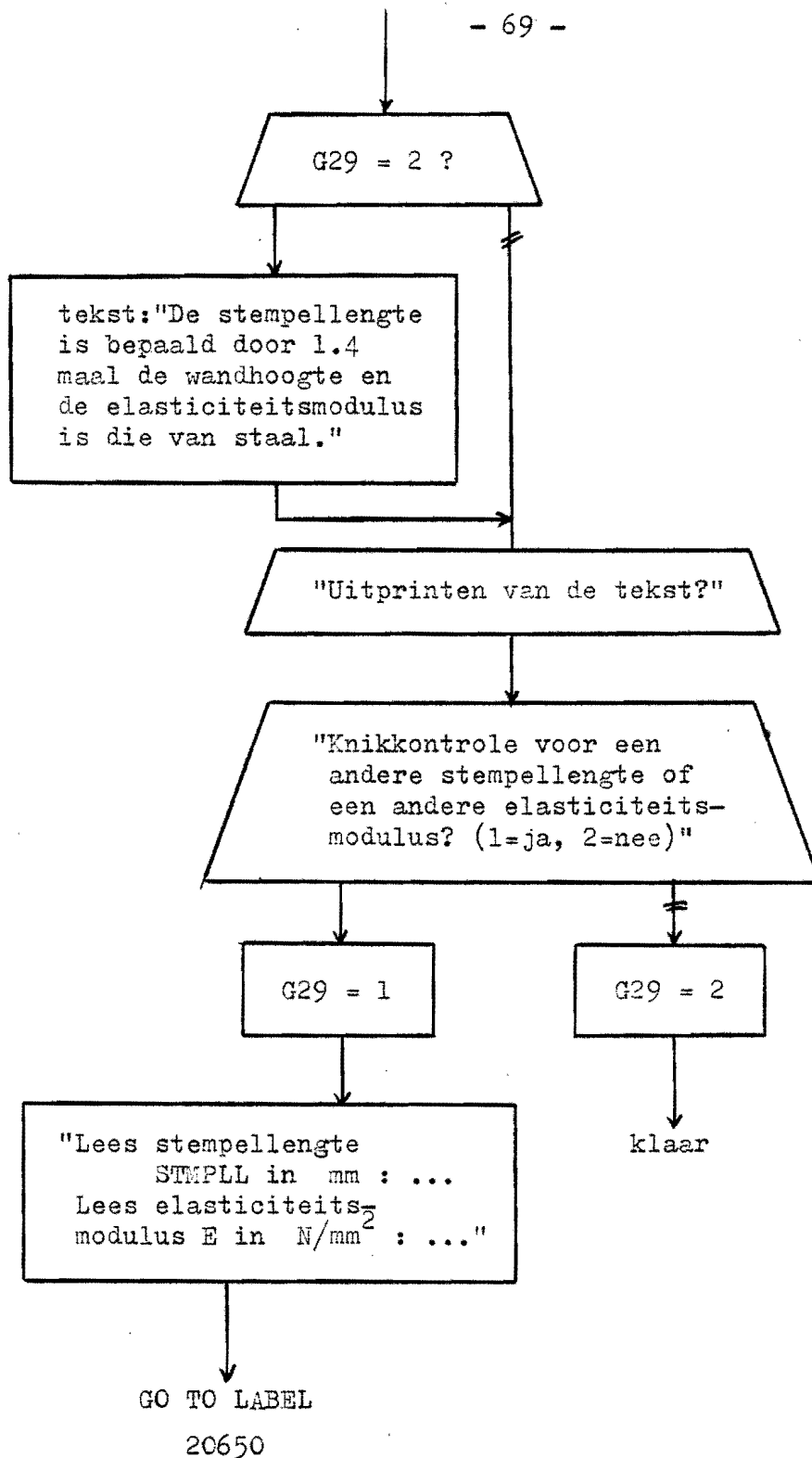
Opmerking : Zie opmerking bij zwemmen van de stempel.

flowdiagram knik



LABEL
20650

G29 = hulpvariabele



Omdat bij het tot stand komen van dit rapport dit flowdiagram nog niet in het programma verwerkt was, zijn wijzigingen voorbehouden.

Zwemmen van de stempel

Volgens RAMAKERS en KALS [6] geldt de volgende formule voor $\Delta \dot{u}_w$ als gevolg van een excentriciteit van de stempel Δa bij huls-extrusie aan het begin van het proces. $\Delta \dot{u}_w$ kan gezien worden als een maat voor het verschil in de hoogte van de huls wand of als maat voor het zwemmen van de stempel.

$$\Delta \dot{u}_w = \left(\frac{1+m}{m} \cdot \frac{h_0^2}{a \cdot b} - \frac{a}{b} - 2 \right) \frac{\Delta a}{a}$$

$\Delta \dot{u}_w$ = maat voor het zwemmen van de stempel

m = wrijvingsfactor

h_0 = blenkdikte

a = wanddikte

Δa = excentriciteit van de stempel

b = R_s = stempelstraal

Hieruit volgt:

$$\Delta \dot{u}_w = \left(\frac{1+m}{m} \cdot \frac{h_0^2}{a^2} - 1 - 2 \frac{R_s}{a} \right) \cdot \frac{R_s}{a}$$

Uitgegaan wordt van een vaste onnauwkeurigheid van de positie van de stempel. Dus $\Delta a/R_s$ is konstant, hoe groter de stempeldiameter hoe groter de aangenomen afwijking. Hiermee volgt:

$$\Delta \dot{u}_w \propto \left(\frac{1+m}{m} \cdot \frac{h_0^2}{a^2} - 1 - 2 \frac{R_s}{a} \right)$$

In kritische gevallen overheerst de eerste term, dus:

$$\Delta \dot{u}_w \propto \left(\frac{1+m}{m} \right) \left(\frac{h_0}{a} \right)^2$$

Volgens RAMAEKERS en KALS [4] geldt de volgende formule voor de excentriciteit van de stroomscheiding tijdens het hulsextrusieproces:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{D} \cdot \left(\frac{1+m}{m} \cdot \frac{h}{a} + \frac{h_s}{a} \right) \cdot \frac{\Delta a}{a}$$

ΔR = excentriciteit van de stroomscheiding

R = R_s = stempelstraal

D = $2R_s$ = stempeldiameter

h = momentane bodemdikte

m = wrijvingsfactor

h_s = h_p = passeerrandhoogte

a = wanddikte

Δa = excentriciteit van de stempel

Dus in de hier gebruikte symbolen:

$$\frac{\Delta R}{R_s} = \frac{1}{4} \left(\frac{1+m}{m} \cdot \frac{h^2}{a^2} + \frac{h \cdot h_p}{a^2} \right) \cdot \frac{\Delta a}{R_s}$$

Indien weer $\Delta a/R_s$ konstant verondersteld is:

$$\frac{\Delta R}{R_s} \propto \frac{1+m}{m} \cdot \left(\frac{h^2}{a^2} \right) + \frac{h \cdot h_p}{a^2}$$

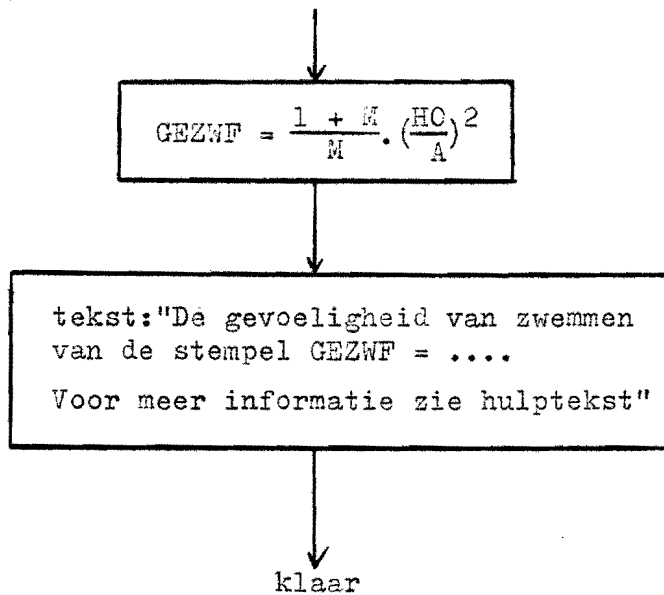
Er wordt hier alleen het zwemmen aan het begin van het proces beschouwd. Dan is $h_p = 0$ en $h = h_0$:

$$\frac{\Delta R}{R_s} \propto \frac{1+m}{m} \cdot \left(\frac{h_0}{a} \right)^2$$

Konklusie : De twee verschillende afleidingen (de ene volgens de bovengrensmethode en de andere volgens de schillenmethode) leiden globaal tot dezelfde formule voor zwemmen van de stempel aan het begin van het proces.

$$\text{Gevoeligheid} \propto \frac{1+m}{m} \cdot \left(\frac{h_0}{a} \right)^2$$

flowdiagram zwemmen



Opmerkingen : De theorie omtrent het zwemmen van de stempel dient nog uitgebouwd te worden en ondersteund te worden met experimenten. Het zwemmen van de stempel kan dan misschien in verband gebracht worden met de elastische knik. Zo is het mogelijk dat de stempel op het eind van het proces elastisch uitbuigt wanneer de perskracht het hoogst is. Hierdoor is ook zwemmen aan het eind van het proces mogelijk.

De inverting van de stempel

Deze is belangrijk te weten om na te gaan of het gereedschap op op elkaar slaat bij een loze slag (zonder blenk) van de pers. Dit is het geval indien de inverting groter of gelijk is aan de bodemdikte van de huls.

De maximale inverting wordt berekend met :

$$INVRNG = \frac{\text{lengte}}{E} \cdot \text{spanning} = \frac{STMPLL}{E} \cdot SPO \cdot MXVRM$$

waarin INVRNG = de maximale inverting van de stempel

STMPLL = de lengte van de stempel

MXVRM = het maximale dimensielloze vermogen

Met volumeinvariantie kan men bovendien afleiden:

Dwarscontractie
vergeven

$$\pi \cdot R_s^2 \cdot STMPLL = \pi \cdot (R_{s \text{ vervormd}})^2 \cdot STMPLL_{\text{vervormd}}$$

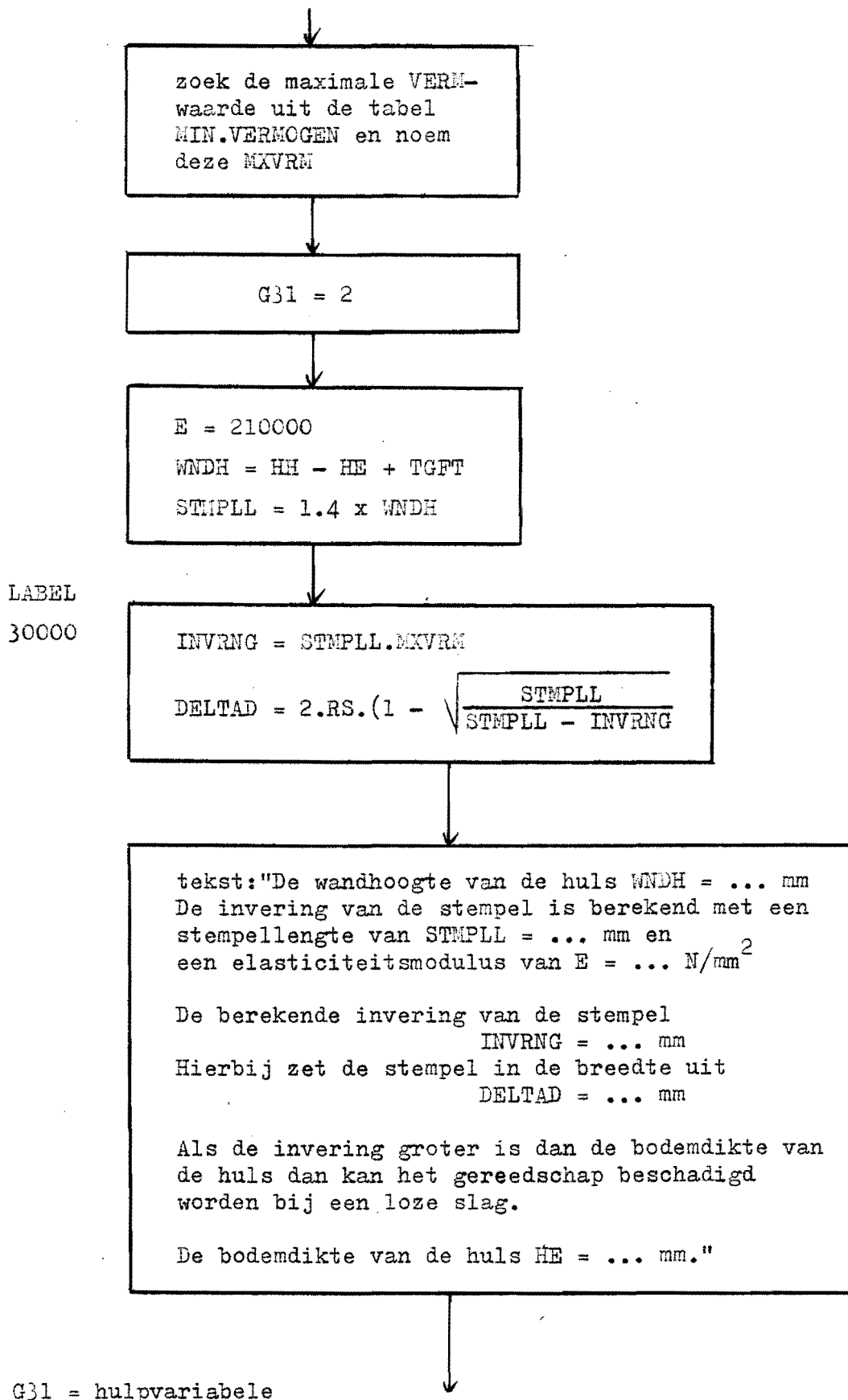
$$R_{s \text{ vervormd}} = R_s \cdot \sqrt{\frac{STMPLL}{STMPLL_{\text{vervormd}}}}$$

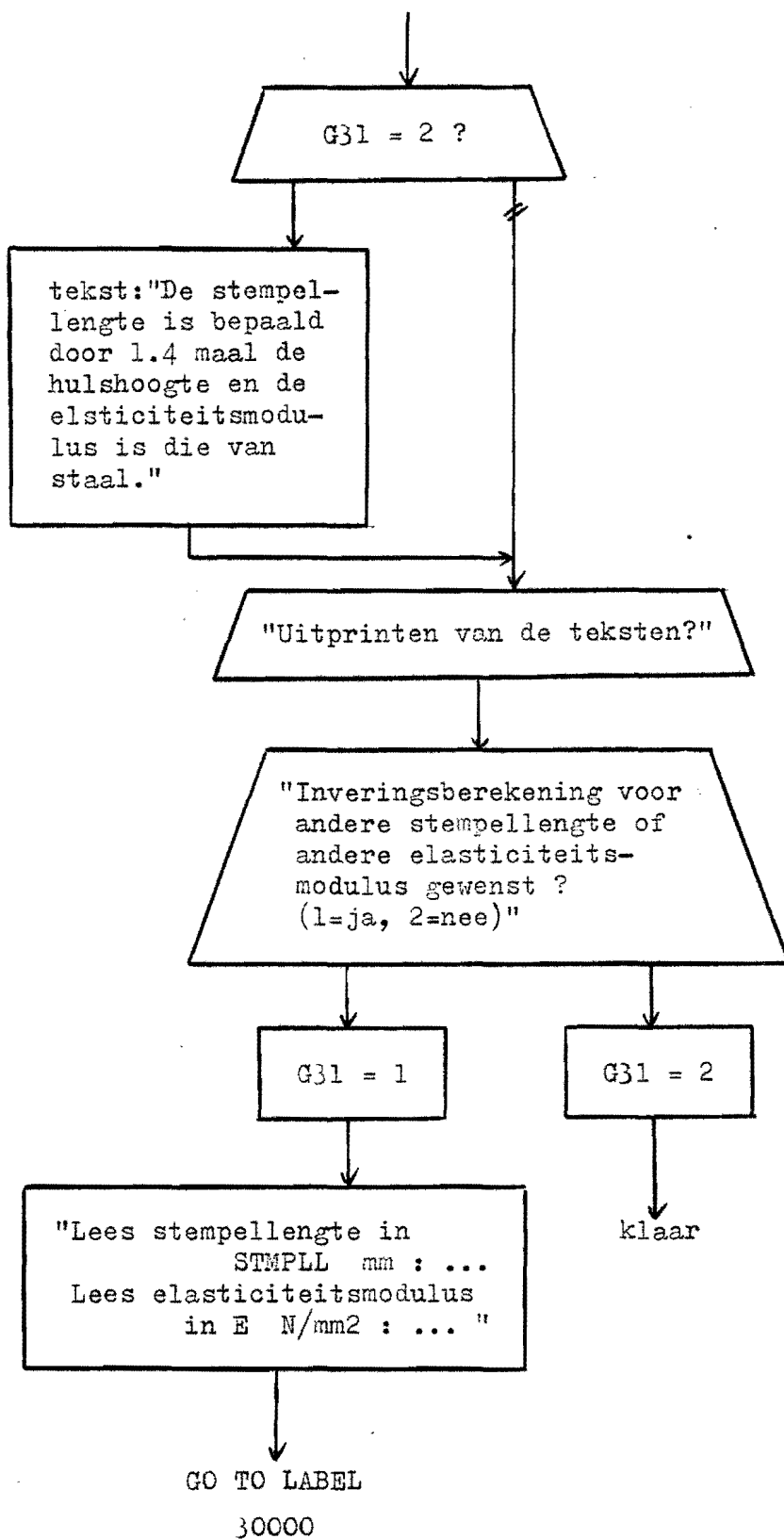
$$DELTAD = 2 \cdot R_s = 2 \cdot R_s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{STMPLL}{STMPLL - INVRNG}} \right)$$

Evenals bij de knikberekening wordt aanvankelijk uitgegaan van een stempellengte van 1.4 maal de wandhoogte en een elasticiteitsmodulus van 210000 N/mm². De gebruiker van het programma wordt daarna in de mogelijkheid gesteld de berekeningen met andere waarden uit te voeren.

Opmerking : Om te controleren of de stempel op de matrijsbodem slaat moet de inverting eigenlijk berekend worden met de laatste waarde van VERM uit de tabel MIN.VERMOGEN en niet met de maximale. De laatste waarde is echter ook de maximale bij dunne bodemdikten, waar de inverting groter kan zijn dan de bodemdikte.

flowdiagram inverting





Omdat bij het tot stand komen van dit rapport dit flowdiagram nog niet in het programma verwerkt was, zijn wijzigingen voorbehouden.

Konventionele methoden om de perskracht te berekenen

Om de perskracht, die met de bovengrensmethode berekend is, te kunnen vergelijken met die welke men kan berekenen met eenvoudige konventionele methoden zijn enkele van deze methoden in het computerprogramma ingebouwd.

BOES en POUW [7]

$$p = \frac{\text{kracht}}{A_0} = (a \cdot \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) + b).$$

$$\text{waarin } \frac{A_0}{A_1} = \frac{R^2}{R^2 - RS^2}$$

$$\text{aangenomen is dat geldt: } \sigma_B = \frac{\sigma_{vo}}{0.7} = \frac{SPO}{0.7}$$

$$\text{perskracht} = p \cdot A_0 = p \cdot \pi \cdot R^2$$

$$\text{BPPRSK} = \pi \cdot R^2 \cdot \frac{SPO}{0.7} \cdot (BPA \cdot \ln\left(\frac{R^2}{R^2 - RS^2}\right) + BPB)$$

waarin BPPRSK = Boes-Pouw perskracht

BPA = a = 2.8 voor staal en = 3.14 voor niet ijzer.

BPB = b = 0.75 voor staal en = 0.8 voor niet ijzer.

ROMANOVSKI [8]

$$\text{perskracht} = F \cdot Kc \cdot \sigma_B \cdot \ln \frac{F}{F - F_{st}}$$

$$\text{waarin } F = \pi \cdot R^2 \text{ en } F_{st} = \pi \cdot RS^2$$

$$\text{aangenomen wordt: } \sigma_B = \frac{\sigma_{vo}}{0.7} = \frac{SPO}{0.7}$$

$$\text{perskracht} = \pi \cdot R^2 \cdot Kc \cdot \frac{SPO}{0.7} \cdot \ln\left(\frac{R^2}{R^2 - RS^2}\right)$$

voor aluminium geldt: $Kc = 3.5 - 4.0$ (gebruikt is $Kc = 3.75$)

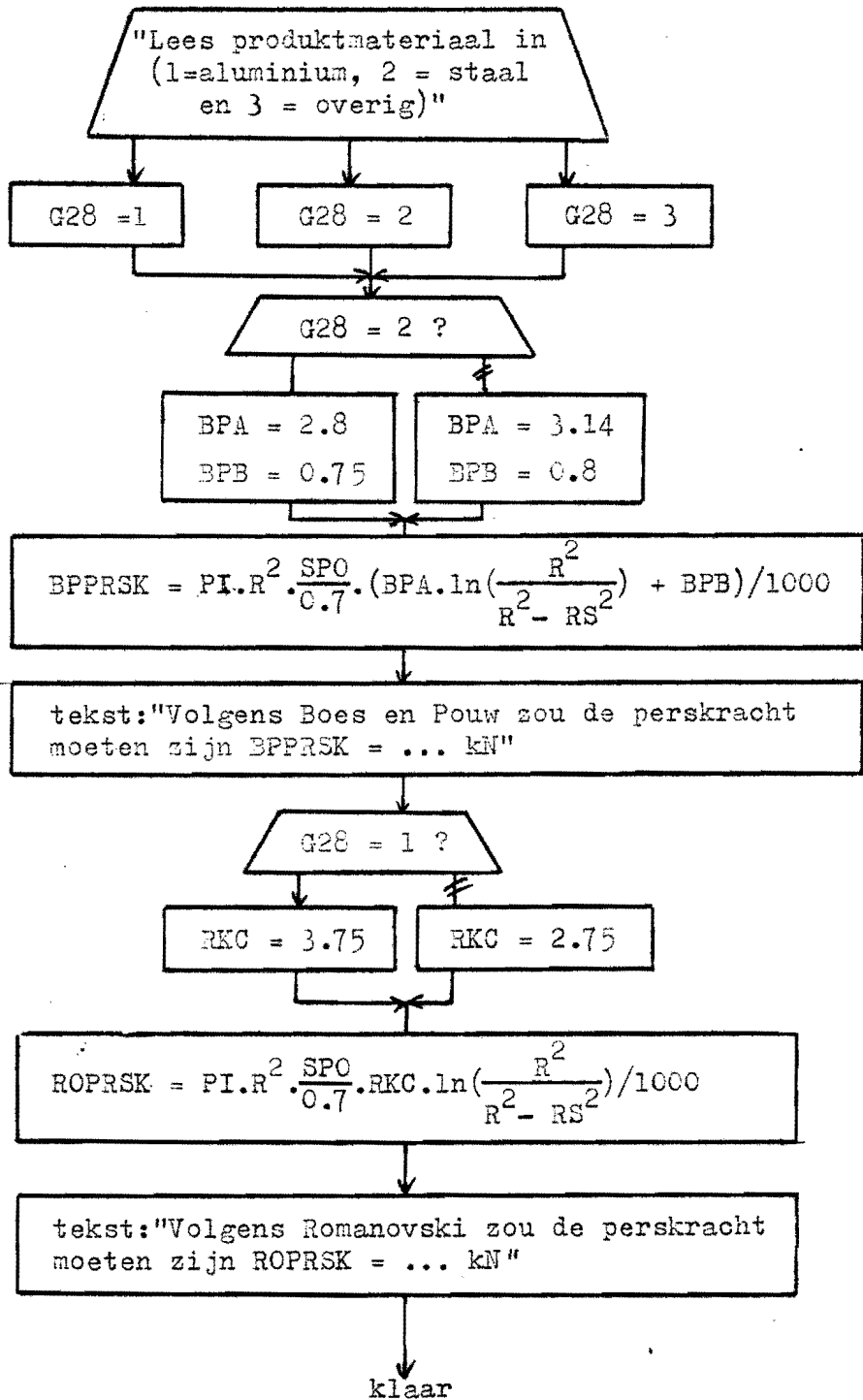
voor koper, messing en zacht staal geldt: $Kc = 2.5 - 3.0$ (2.75)

$$\text{na symbolentransformatie: } \text{ROPRSK} = \pi \cdot R^2 \cdot RKC \cdot \frac{SPO}{0.7} \cdot \ln\left(\frac{R^2}{R^2 - RS^2}\right)$$

waarin ROPRSK = Romanovski perskracht

RKC = Kc

flowdiagram konventionele methoden:



Literatuurlijst

- [1] R.J.M. van der Burght; "Theoretisch en experimenteel onderzoek naar het proces "Hulsextrusie".", interne publicatie T.H.E. afd. W., WPB - rapport 0080, febr. 1984.
- [2] J.A.H. Ramaekers; "Hulsextrusie I. (berekeningen)", interne publicatie T.H.E. afd. W., WPT - rapport 0534, april 1982.
- [3] J.A.H. Ramaekers; "Hulsextrusie II. (berekeningen)", interne publicatie T.H.E. afd. W., WPT - rapport 0550, juli 1982.
- [4] Dr. Ir. J.A.H. Ramaekers en Prof. Ir. J.A.G. Kals; "Vormbeheersing bij Massiefomvormen.", Metaalbewerken, nr. 22 okt. 1981, 32-35.
of
Dr. Ir. J.A.H. Ramaekers en Prof. Ir. J.A.G. Kals; "Notitie over Vormbeheersing bij Massiefomvormen.", interne publicatie T.H.E. afd. W., PT - rapport 0501.
- [5] W. Koiter; "Stijfheid en Sterkte I"
- [6] J.A.H. Ramaekers, J.A.G. Kals; "Instable Material Flow in Extrusion and Upsetting.", Annals of te CIRP Vol. 31/1/1982, 191-193.
- [7] Ir. P.J.M. Boes en Ir. H.P. Pouw; "De berekening van de krachten bij het extruderen en het koudvervormen I en II." Metaalbewerking Jrg. 31 nr. 9 en nr. 10, okt. en en nov. 1965.
- [8] W.P. Romanovski; "Handboek voor de moderne stanstechniek", Kluwer Deventer, blz. 308.