

## IOP-M dieptrekken

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

Zande, van der, J. W. I. (1992). *IOP-M dieptrekken: Appendix A: Een voorbeeld van een systematische maakbaarheidsanalyse*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1440). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1992

**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.

**Technische Universiteit Eindhoven**

**Faculteit Werktuigbouwkunde**

**Vakgroep Produktietechnologie & Automatisering**

**Laboratorium voor Omvormtechnologie**

**IOP-M Dieptrekken.**

**Appendix A: Een voorbeeld van een systematische  
maakbaarheidsanalyse.**

**ir. J.W.I. van der Zande**

**TUE Onderzoeksrapport**

**december 1992**

**IOPM-D-131**

**WPA: 1440**

# INHOUD.

<b>1. INLEIDING.</b> . . . . .	3
<b>2. EEN VOORBEELD VAN EEN MAAKBAARHEIDSANALYSE VOOR ROTATIESYMMETRISCHE PRODUKTEN.</b> . . . . .	4
2.1. De input. . . . .	4
2.2. De maakbaarheidsanalyse. . . . .	7
2.2.1. De plooihouderdruk. . . . .	7
2.3. Toetsing op breuk. . . . .	7
2.3.1. De empirische methode. . . . .	8
2.3.2. De modelmatige methode. . . . .	9
2.3.3. De simulatiemethode. . . . .	12
<b>3. CONCLUSIES.</b> . . . . .	14
<b>LITERATUUR.</b> . . . . .	15

# 1. INLEIDING.

In de plaatvormende industrie bestaat grote vraag naar meer informatie met betrekking tot de maakbaarheid van dieptrekprodukten. Om aan deze vraag tegemoet te komen is een IOP-M dieptrekproject opgestart. Dit project had als doel om de beschikbare informatie toegankelijker te maken en nieuwe informatie te genereren. Bij dit project bestond een samenwerkingsverband tussen het Laboratorium voor Omvormtechnologie van de Technische Universiteit Eindhoven ( TUE ) en TNO-IPL Apeldoorn. De industrie was middels een aantal bedrijven vertegenwoordigd en heeft een wezenlijke bijdrage geleverd om de resultaten in een hanteerbare vorm te presenteren.

De afronding van het project bestaat uit zes onderdelen te weten:

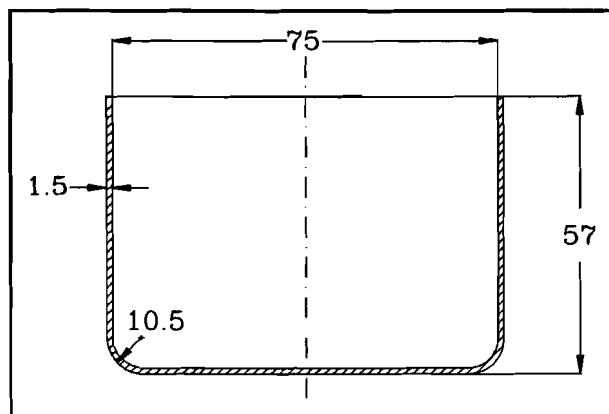
1	De algemene inleiding.	[IOP 110]
2	De systematische maakbaarheidsanalyse.	[IOP 120]
3	Het handboek voor de maakbaarheid van dieptrekprodukten.	[IOP 130]
4	Meer gedetailleerde informatie met betrekking tot het dieptrekproces.	[IOP 140]
5	De Meetrapporten.	[IOP 150]
6	De Symbolenlijst.	[IOP 101]

Deze appendix is een aanvulling op deel twee en deel drie. Er wordt hier een uitgebreid voorbeeld behandeld, dat gebruik maakt van de delen twee, drie en een aantal rapporten die bij deel vier zijn ondergebracht. Het is aan te bevelen om de delen twee en drie zorgvuldig te bestuderen voor deze appendix gehanteerd gaat worden.

In dit voorbeeld wordt een rotatie- of axisymmetrisch produkt beschouwd. De maakbaarheidsanalyse voor complexere buitencontouren wordt in deel 3A behandeld. De opzet van deel 3A is enigszins anders, omdat daar een interactie tussen de verschillende basisvormen aanwezig is.

## 2. EEN VOORBEELD VAN EEN MAAKBAARHEIDSANALYSE VOOR ROTATIESYMMETRISCHE PRODUCTEN.

Om deel drie [130] te verduidelijken is in dit rapport een voorbeeld uitgewerkt voor een rotatiesymmetrisch produkt. Door de produktontwerper wordt de volgende tekening aangeleverd.



*Figuur 1: Te analyseren produkt.*

De eisen die aan het produkt worden gesteld zijn de volgende:

De maatnauwkeurigheid heeft geen hoge prioriteit ten opzichte van plooiën in de wand of breuk. Voor breuk zijn bekende criteria ontwikkeld, met betrekking tot plooiën in de wand kan in dit geval het volgende worden gesteld:

De plooiën in de wand ontstaan door het naar binnen trekken van plooiën in de flens, zodat deze voorkomen dienen te worden.

### 2.1. DE INPUT.

Volgens de maakbaarheidsanalyse moeten nu de volgende stappen ondernomen worden om de input te bepalen.

#### - Afmetingen van het produkt.

Uit de afmetingen van het eindprodukt volgt voor de stempelradius dat deze 37,5 mm is.

#### - De afmetingen van de blank.

De vorm van de blank van een rotatiesymmetrisch produkt is ook rotatiesymmetrisch, zodat alleen de diameter en de plaatdikte bepaald hoeven te worden.

Gebruik makend van de gegevens uit deel 3 vinden we nu de volgende relaties:

$$2r_{u0} = \sqrt{d_b^2 + 2\pi\rho_{uP}d_b + 8\rho_{uP}^2 + 4d_{wu}h_w} \quad (1)$$

Dit levert voor de diameter van de blank 148 mm, met een maattoegift van 2 mm volgens Romanovski [1] wordt dit 150 mm.

$$\begin{aligned} r_{u0} &= 75 \text{ mm} \\ s_0 &= 1.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### - Keuze van het materiaal.

Het materiaal kan optimaal gekozen worden, aangezien daar verder geen specifieke eisen aan gesteld zijn. Er is gekozen voor een dieptrek kwaliteit staalplaat, met de volgende materiaaldata. Met het oog op een E.E.M. simulatie zijn ook de parameters voor het elastisch gedrag meegenomen:

E	= 2.1*10 <sup>5</sup>	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\nu$	= 0.3	[-]
C	= 655	[N/mm <sup>2</sup> ]
n	= 0.225	[-]
$\epsilon_0$	= 0.001	[-]
$\sigma_{f0}$	= 138	[N/mm <sup>2</sup> ]
R	= 1	[-]
$\Delta R$	= 0	[-]

#### - De gereedschapsafmetingen.

Voor de keuze van het gereedschap wordt nu gekeken naar de gegeven grenzen volgens deel drie [IOP 130]. De afrondingsstraal van het stempel wordt bij voorkeur gelijkgesteld aan de binnenstraal van de bodem van het produkt. Aangezien er geen flens aan het produkt zit is de keuze van de afrondingsstraal van de trekking vrij. Indien er wel een flens aanwezig is, wordt de afrondingsstraal van de trekking bij voorkeur gelijk gesteld aan de afrondingsstraal van de flens.

a) De afrondingsstraal van de stempel.

$$\rho_P \geq 4s_0$$

De afrondingsstraal van het produkt is 9 mm dit is zes keer de oorspronkelijke plaatdikte, zodat deze hier wordt gehanteerd.

b) De afrondingsstraal van de trekking.

$$\rho_D \geq 5s_0$$

Er is hier gekozen voor de ondergrens  $5s_0 = 7.5$  mm.

c) De trekspleet.

Voor de grootste dikte van de wand geldt de volgende relatie:

$$s = s_0 \sqrt{\frac{r_{u0}}{r_P}} \quad (2)$$

Uit deze relatie volgt dat de maximaal optredende wanddikte gelijk is aan 2.12 mm, met een veiligheidsmarge van tien procent komen we op een trekspleet van 2.33 mm. Deze veiligheidsmarge wordt in dit voorbeeld gehanteerd om er zeker van te zijn dat het produkt nergens aanloopt. In de praktijk zal de trekspleet zo groot gekozen worden als in formule 2 staat aangegeven. In veel gevallen iets kleiner om een strakke wand te krijgen.

d) De inwendige straal van de trekking.

De inwendige straal van de trekking wordt daarmee:

$$r_{Di} = r_P + T_s = 39,83 \text{ mm.}$$

De noodzakelijke gegevens om een maakbaarheidsanalyse te maken zijn nu bekend.

Er wordt een nauwkeuriger formule gebruikt voor de oorspronkelijke dieptrekverhouding:

$$\beta_{0max} = 2r_{u0} / (r_{Di} + r_P)$$

Substitutie van de gevonden waarden levert:  $\beta_{0max} = 1.94$

## 2.2. DE MAAKBAARHEIDSANALYSE.

De maakbaarheidsanalyse kan nu gehanteerd gaan worden voor het uitgangsprodukt. De eerste stap die gedaan moet worden is het bepalen van de optimale plooihouderdruk. Deze grootheid is namelijk in de toetsing op breuk een noodzakelijke parameter.

### 2.2.1. De plooihouderdruk.

In deel drie staat weergegeven dat voor de plooihouderdruk de formule van Siebel gehanteerd wordt:

$$P_n = 0.00225 * \left[ (\beta_0 - 1)^2 + 0.5 * \left( \frac{\beta_0}{100} \right) * \left( \frac{d_s}{s_0} \right) \right] R_{\max} \quad (3)$$

Gebruik makend van deze formule vinden we voor de plooihouderdruk:

$$R_{\max} = C n^n \exp(\epsilon_0 - n)$$

$$p_{pl} = 1.16 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

De plooihouderdruk wordt vermenigvuldigd met het flensoppervlak:

$$\pi(r_{u0}^2 - (r_{Di} + \rho_D)^2) = 10635 \text{ mm}^2$$

Dit levert voor de plooihouderkracht:

$$F_{pl} = 12335 \text{ N , Deze wordt dus op 12 kN ingesteld.}$$

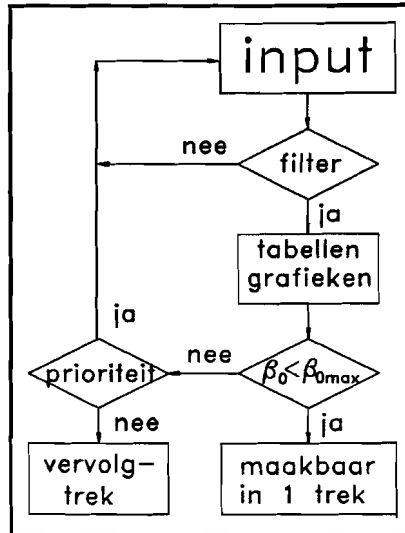
## 2.3. TOETSING OP BREUK.

Zoals in deel twee [IOP 120] is vermeld, zijn er drie methoden om het produkt op breuk te toetsen. Voor deze methoden zijn stroomdiagrammen opgesteld om te verduidelijken hoe de systematiek uitgevoerd wordt.



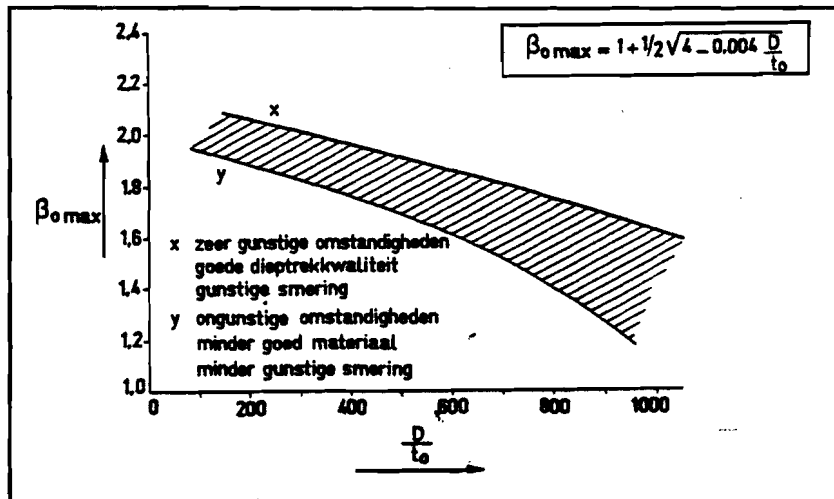
### 2.3.1. De empirische methode.

Bij de empirische methode wordt gebruik gemaakt van tabellen en grafieken. Deze informatie mag pas worden gebruikt, als er wordt voldaan aan de randvoorwaarden. In een stroomdiagram ziet dat er als volgt uit:



Figuur 2: Stroomdiagram empirisch breukcriterium.

Er wordt in dit geval gebruik gemaakt van een indicatie-grafiek, volgens TNO [2] (zie figuur 3).



Figuur 3: De  $\beta_{0\max}$  voor de eerste trek.

Deze grafiek heeft in de praktijk haar waarde bewezen, zodat andere tabellen en grafieken hier niet worden gehanteerd.

In deze grafiek kunnen we zien dat bij een diameter-wanddikte verhouding van honderd, de  $\beta_{0\max}$  groter is dan 1.94.

### 2.3.2. De modelmatige methode.

Nemen we als analysemethode de procesmodellen dan geldt het volgende. Als een produkt op breuk getoetst moet worden gaat de benodigde kracht een dominante rol spelen. De benodigde kracht moet namelijk kleiner zijn dan de maximaal toegestane dieptrekkracht. Deze kritische kracht wordt gerelateerd aan de zwakste doorsnede van een produkt. Deze bevindt zich bij ronde produkten op de overgang van bodem naar wand. Uit de gelijkstelling van de maximale benodigde kracht aan de kritische kracht volgt een maximale dieptrekverhouding  $\beta_{0max}$ .

Geometrisch is de oorspronkelijke dieptrekverhouding  $\beta_0$  reeds bepaald. Als algemene definitie wordt hiervoor gehanteerd:

$$\beta_0 = \sqrt{\frac{\text{oorspronkelijkblankoppervlak}}{\text{stempeloppervlak}}} \quad (4)$$

Een meer gedetailleerde formule voor ronde produkten is: 
$$\beta_0 = \frac{2 r_{uo}}{r_{Di} + r_P} \quad (5)$$

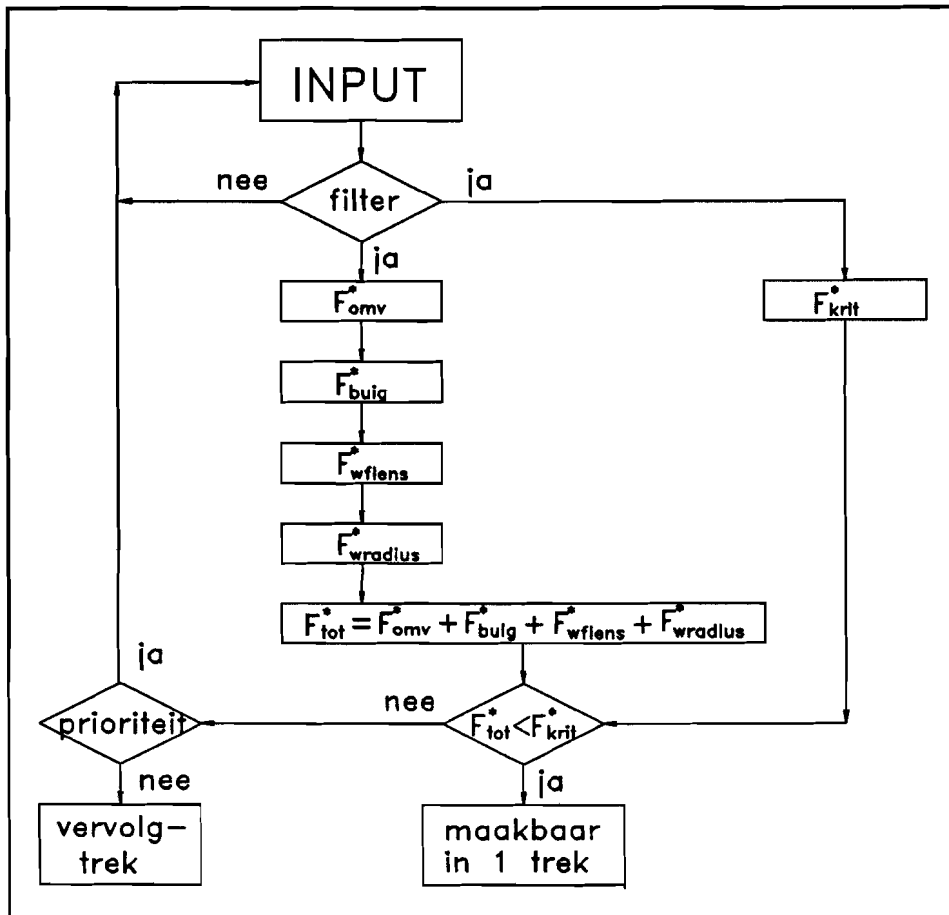
Bij de methode via een modellering wordt duidelijk waarom voor de gehanteerde maakbaarheidssystematiek gekozen is. Hierbij is uitgegaan van het opsplitsen van het probleem in de deelproblemen. Deze aparte berekeningen kunnen opgeteld worden en tot zo tot een totale omschrijving komen.

De totale benodigde kracht is opgesplitst in vier deelkrachten:

- $F_{omv}^*$             kracht benodigd voor het omvormen van de flens.
- $F_{buig}^*$             Kracht benodigd voor het buigen van het materiaal over de matrijsradius.
- $F_{wflens}^*$         Kracht benodigd voor het overwinnen van de wrijving tussen de flens en de omringende gereedschappen.
- $F_{wradius}^*$       Kracht benodigd voor het overwinnen van de wrijving tussen materiaal en matrijsbocht.

De totale kracht mag niet meer zijn dan de kritische kracht. De kritische kracht wordt berekend voor de kleinste doorsnede.

Ook voor deze analysemethode is een stroomdiagram opgesteld. In dit stromingsdiagram kunnen formules worden gewijzigd en toegevoegd of weggelaten.



Figuur 4: Stromingsdiagram voor modelmatig breukcriterium.

In bovenstaand stromingsdiagram wordt uitgegaan van de maximale waarde van  $F_{tot}$ .

Dit stromingsdiagram blijft geldig voor de produkten met een rechte wand. Op het moment dat de wand geen starre verplaatsing meer ondergaat, bijvoorbeeld bij een produkt met een conische wand, zal er een term aan toegevoegd moeten worden die deze deformatie beschrijft.

Op de TU Eindhoven zijn verschillende modellen ontwikkeld om een produkt op breuk te toetsen [3,4]. Uit deze modellen is een keuze gemaakt op basis van experimentele resultaten en de vergelijking met de indicatie-grafiek volgens TNO. De keuze is daarbij gevallen op een model dat de versteviging in de matrijsbocht niet meeneemt. De gehanteerde deelkrachten worden op de volgende pagina gepresenteerd.

$$F_{omv}^* = 1.1 \sqrt{\frac{\beta_0}{\beta}} \left[ \ln \frac{\beta_0}{\beta} + \epsilon_0 \right]^n \ln \beta \quad (6)$$

$$F_{buig}^* = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{s_0}{\rho_{Di}} \frac{\beta_0}{\beta} \quad (7)$$

$$F_{wflens}^* = \frac{\mu_2}{2C} \frac{d_p}{s_0} (\beta_0^2 - 1) p_{pl} \quad (8)$$

$$F_{wradius}^* = \alpha \mu_1 (F_{omv}^* + F_{wflens}^*) \quad (9)$$

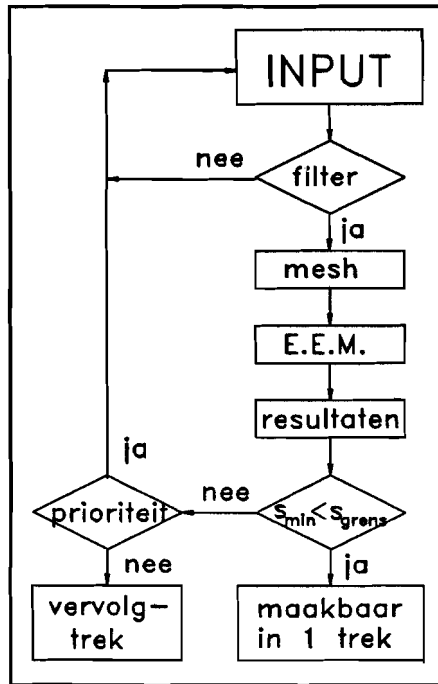
$$F_{krit}^* = \left( \frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{n+1} \left( \frac{n}{e} \right)^n \exp \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \epsilon_0 \right) + \frac{\sqrt{3}}{4} \mu_2 (0.01)^n (\beta_0^2 - \beta^2) \quad (10)$$

Bovenstaande dimensieloze krachten moeten met de factor  $2\pi r_p s_0 C$  vermenigvuldigd worden om de werkelijke kracht te bepalen.

Gebruik makend van deze formules wordt nu gevonden dat de toegestane  $\beta_{0max}$  2,22 is. Het produkt zal dus niet scheuren in de bodem.

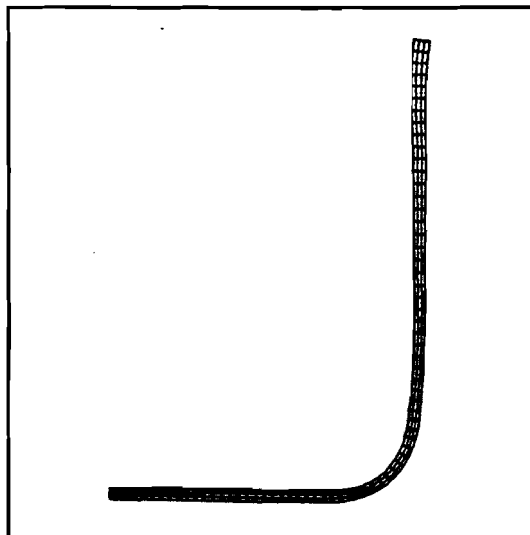
### 2.3.3. De simulatiemethode.

Met behulp van het EEM-pakket ABAQUS is het produkt doorgerekend [5]. De algemeen geldige systematiek voor een eindige elementen methode wordt in figuur 5 weergegeven.

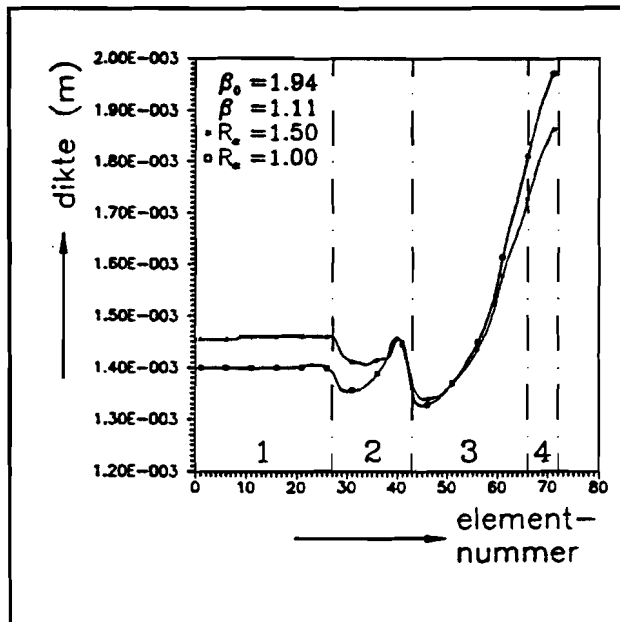


Figuur 5: Stroomdiagram voor breuksimulatie.

Hierbij wordt op maakbaarheid getoetst door te kijken naar de optredende rekken. Indien de rekken geen extreme waarden aannemen, wordt aangenomen dat het produkt niet scheurt. Hieronder wordt een aantal gesimuleerde afbeeldingen gepresenteerd [5]:

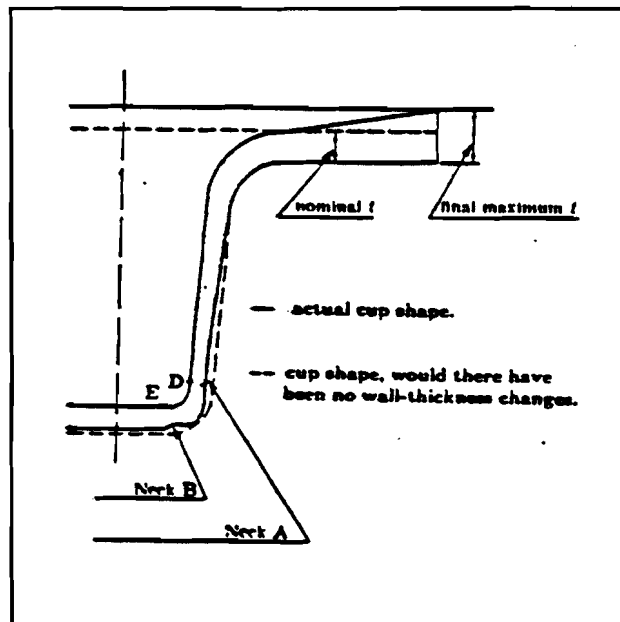


Figuur 6: Geometrie eindprodukt.



Figuur 7: Wanddikteverloop eindprodukt.

Uit deze afbeeldingen wordt duidelijk dat er geen extreme wanddikteveranderingen optreden (ongeveer tien procent). Er is nog geen werkelijk breukcriterium opgesteld voor de simulatiemethode, zodat hier volstaan moet worden met een vergelijking van de optredende geometrie met een geometrie, zoals in figuur 8 staat weergegeven.



Figuur 8: Kritische geometrie eindprodukt.

De gevonden geometrie met behulp van Abaqus vertoont nog geen werkelijke insnoering op de overgangen van wand naar bodem. De output van het systeem is dus "maakbaar".

### 3. CONCLUSIES.

Er wordt in dit voorbeeld primair gekeken naar breuk en plooivorming. Dit zijn de in de praktijk ernstigste redenen voor produktafkeur. Het moge echter duidelijk zijn dat met huidige stand van de technologie en de miniaturisatie van de produkten, de kwaliteitseisen met betrekking tot vormnauwkeurigheid en produktafwerking een steeds grotere rol zullen gaan spelen.

Met betrekking tot de plooihouderkracht wordt gebruik gemaakt van de formule volgens Siebel. Bij veel bedrijven zal de plooihouderkracht pas als laatste aan de machine worden bepaald. Dit levert een probleem op bij de meer gedetailleerde analysemethoden. Het is dan ook aan te raden voor deze bedrijven om een goede indicatie te kunnen geven voor de door hun ingestelde waarden. Om dit te kunnen zullen de gegevens voor de ingestelde plooihouderkrachten bij voorgaande produkten nagezocht dienen te worden. In het geval dat niet mogelijk is zal voor Siebel gekozen moeten worden, waarbij aan de machine moet worden opgelet dat de plooihouderkracht in dezelfde orde grootte ingesteld moet worden.

In het voorbeeld wordt in de maakbaarheidsanalyse reeds bij de empirie duidelijk dat het produkt zonder problemen gemaakt kan worden. In de praktijk zal in dit geval volstaan kunnen worden met de eerste stap; empirie.

Er is in de analyse geen rekening gehouden met de grootte van het produkt of van de series. Op het moment dat er een grote serie of massaproductie geproduceerd zal gaan worden, moet het produkt makkelijk maakbaar worden geanalyseerd. Het continue verloop van de produktie heeft dan primair belang. Over het algemeen vormen de kosten van een tweede gereedschap voor bijvoorbeeld een tweede trek dan geen hoge drempel. In het geval van kleinserie is het van belang dat de gereedschapkosten laag blijven, zodat daar een kritisch proces wel wordt geaccepteerd.

## LITERATUUR.

- [1] W.P.Romanovski                      Handboek voor de moderne stanstechniek.  
AEE Kluwer Deventer z.j.
- [2]                                              Machinale plaatbewerking.  
TNO Metaalinstituut Apeldoorn. Cursus dieptrekken.
- [3] J. v. Lieshout                        Eenvoudige modellering voor een axisymmetrisch  
dieptrekprodukt, TUE, WPA 0911, (febr.'92).
- [4] A.C.E. Wouters                        Invloed van de wrijvingscoëfficiënt en plooihouder-  
druk bij dieptrekken van grote produkten.  
TUE, WPA 0911, (juni '90).
- [5] M.W.H. Kessels                        Eindige Elementen Simulaties van het dieptrekpro-  
cedé. TUE, WPA 1163, (aug. '91).
- M.W.H. Kessels                        Eindige Elementen Simulaties van het dieptrekpro-  
cedé. Bijlagen.  
TUE, WPA 1163, (aug. '91).