

CAD superelliptische beker voor extrusie : analyse - users' manual

Citation for published version (APA):

Muns, J. C. (1989). *CAD superelliptische beker voor extrusie : analyse - users' manual*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0677). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1989

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

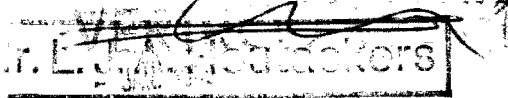
CAD Superelliptische beker voor Extrusie

Analyse - Users' manual

J.C. Muns

januari 1989
VF-code D2

HSV-Venlo stageverslag
WPA 0677


L. J. A. Houtackers

Periode : 1-12-'88 - 28-02-'89

Bedrijfsbegeleider: Ir. L.J.A. Houtackers
Schoolbegeleider : Ir. P.B.G. Peeters

Plaats: Laboratorium voor Omvormtechnologie
Vakgroep WPA- TUE Eindhoven.

In opdracht van HSV HTS Venlo.

Samenvatting

De geometrie van een beker gevuld met vloeistof moet zo zijn dat hij vanuit bijna elke positie terugkeert naar de middenpositie. Er moet gebruik gemaakt worden van de 'Superellips'. Om de geometrie van de beker te berekenen is een programma geschreven in Turbo Pascal 4.0. In dit verslag wordt de wiskundige aanpak van het probleem beschreven. Verder vindt U in dit verslag een users' manual waarin het gebruik van het programma beschreven wordt.

Vanuit deze plaats wil ik een ieder bedanken die mij behulpzaam is geweest.

Summary

For a beaker filled with liquid to return to its vertical position from almost any stand, its geometry must be corresponding.

The 'Superellips' must be used.

In order to calculate the geometry of the beaker, a program has been written in Turbo Pascal 4.0.

The mathematical approach of the problem is described in this report; furthermore a users' manual explaining the use of the program is included.

Thanks are due to all the people who have been helpful to me.

Inhoudsopgave

	blz.
hoofdstuk 1: Inleiding	1
hoofdstuk 2: De superellips	3
hoofdstuk 3: De analytische aanpak van het probleem	7
3.1 Bepaling volume en statisch moment	9
3.1.1 Het volume	9
3.1.2 Het statisch moment	12
3.2 Bepaling van de zwaartekrachten	13
3.3 Maximale schuinstelhoek α	14
3.4 De zwaartepunten	18
3.5 Bepaling van het raakpunt	20
3.6 Bepalen van exacte_vloeistofhoogte en schuinstelhoek	26
3.7 Mag n_2 groter zijn dan n_1 ?	28
hoofdstuk 4: Het programma	31
4.1 De functions en procedures	31
4.1.1 Function power	32
4.1.2 Function nroot	32
4.1.3 Function ellips	32
4.1.4 Function kracht	32
4.1.5 Function afgeleide	33
4.1.6 Procedure coördinaten	33
4.1.7 Procedure schuinstelhoek	33
4.1.8 Procedure raakpunt	33
4.1.9 Procedure exacte_vloeistofhoogte	34
4.1.10 Procedure vergelijk	34
4.1.11 Procedure printcoörd	35
4.1.12 Procedure volume	35
4.1.13 Procedure statmom	36
4.2 Users' manual	37
4.2.1 Opstarten van het programma	37
4.2.2 Invoer van gegevens	39
4.2.3 Uitvoer	43
hoofdstuk 5: Conclusies	57
hoofdstuk 6: Literatuur	58

hoofdstuk 1: Inleiding

Het volgende probleem werd me voorgelegd.

Een beker met inhoud moet blijven staan op een tafel op een schip. Dit schip "stampt" en "rolt" t.g.v. het tij en het weer op de golven.

De beker moet d.m.v. achterwaartse hulsextrusie gemaakt worden. Verder moet voor de bodem van de beker gebruik gemaakt worden van de "Superellips". De superellips is met de volgende vergelijking te beschrijven $(X/a)^n + (Y/b)^n = 1$.

Om een inzicht in het probleem te krijgen is hier beneden de beker (fig. 1.1) met alle op de beker werkende krachten getekend.

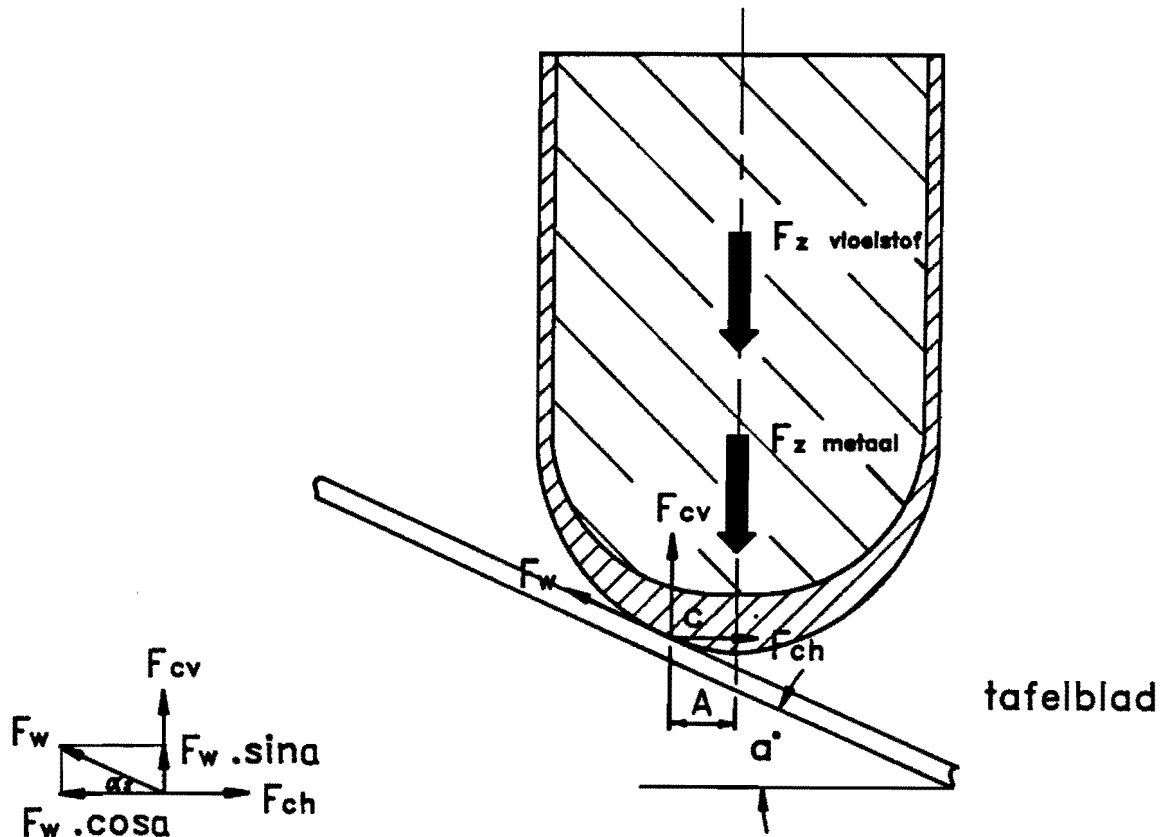


fig. 1.1

Wanneer de beker verticaal op de tafel moet blijven staan zal de vloeistofspiegel altijd horizontaal zijn. De beker is symmetrisch, daarom zullen de zwaartekrachten van vloeistof en beker-materiaal altijd op de hartlijn aangrijpen. Door de superelliptische vorm van de bodem zal het contactpunt tussen bekerbodem en tafel altijd op een zodanige plaats liggen dat de beker wil omklappen. Dit effect wordt duidelijk gemaakt in de nu volgende evenwichtsvergelijkingen. Deze vergelijkingen hebben betrekking op de bovenstaande tekening.

De drie evenwichtsvergelijkingen worden gebruikt:

$$\Sigma M_C = 0$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\Sigma H = 0$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$A \cdot F_z \text{ vloeistof} + A \cdot F_z \text{ beker} = 0$$

$$\Sigma V = 0$$

$$F_z \text{ vloeistof} + F_z \text{ beker} - F_{cv} - F_w \cdot \sin \alpha = 0$$

$$\Sigma H = 0$$

$$F_w \cdot \cos \alpha - F_{ch} = 0$$

Uit ΣM_C volgt dat er nog een linksdraaiend koppel moet zijn om evenwicht te kunnen krijgen. De kracht die dit koppel zou moeten leveren is er echter niet, er kan dus nooit evenwicht ontstaan.

Daarom ben ik me gaan bezig houden met een beker met inhoud die terugkeert naar de middenpositie wanneer tegen de beker of tafel gestoten wordt.

Om de geometrie van de beker te kunnen berekenen zodanig dat de beker niet omvalt, is een berekeningsprogramma geschreven in Turbo Pascal 4.0.

hoofdstuk 2: De superellips

De bodem van de beker moet superelliptisch zijn.

De exponent n van de superelliptische buitencontour moet zodanig gekozen worden dat de buitencontour cirkelvormig lijkt.

De exponent n moet dan tussen de 2 en 4 liggen. Exponent 2 kan men beter niet gebruiken. Want zou men de hoogte van het superelliptische deel (h_D = matrijshoogte) even groot kiezen als de halve buitendiameter dan is de bodem helemaal cirkelvormig.

Een beker met cirkelvormige bodem zal altijd omklappen, omdat het contactpunt veel langzamer verloopt dan het zwaartepunt. Vooral de zwaartepunten van het cilindrisch metaaldeel en vloeistofdeel boven h_D komen bij een lage n_1 (2 à 3) aan een zodanige kant van het raakpunt te liggen dat de beker wil omklappen door de zwaartekrachten die in deze punten aangrijpen. Dit komt verderop nog ter sprake.

De superellips is te beschrijven met de volgende vergelijking:

$$(X/a)^n + (Y/b)^n = 1$$

a : de waarde waar de superellips de X-as snijdt

b : de waarde waar de superellips de Y-as snijdt

n : door de exponent n te veranderen kan men elk figuur beschrijven tussen een "kruis" ($n=0$) en een "technische rechthoek" ($n=40$).

Hier beneden (fig. 2.1) zijn een aantal superellipsen getekend.

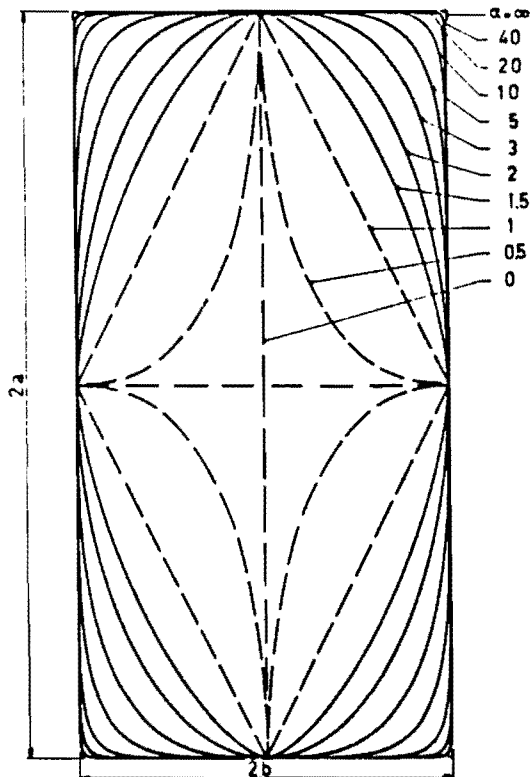


fig. 2.1

In het programma wordt de Y-waarde steeds met een bepaalde waarde (st) verhoogd. Bij elke nieuwe Y-waarde wordt ook de bijbehorende X-waarde berekend. Dit gebeurt d.m.v. de functions Power, Nroot, Ellips.

Aangezien de Y-waarde steeds verhoogd wordt, moet X in Y uitgedrukt worden. De vergelijking van de superellips schrijft men dan als volgt om:

- 1) $(X/a)^n + (Y/b)^n = 1$
- 2) $(X/a)^n = 1 - (Y/b)^n$
- 3) $X = a \cdot (1 - (Y/b)^n)^{1/n}$

De oorsprong ligt bij de bovenstaande vergelijking in het centrum van de superellips. Daar dit niet praktisch is voor de verdere berekeningen dient men de oorsprong te verschuiven. Dit "verschalen" gebeurt door voor Y b-y in te vullen.

Vergelijking 3 veranderd dan in:

$$x = a \cdot (1 - ((b-y)/b)^n)^{1/n}$$

$$x = a \cdot (1 - (1-(y/b))^n)^{1/n}$$

Dit "verschalen" wordt ook nog duidelijk gemaakt aan de hand van de onderstaande tekeningen.

Y is de oorspronkelijke Y-waarde
y is de nieuwe Y-waarde

Uit de tekeningen (fig. 2.2 en fig. 2.3) kan het verband tussen Y en y afgeleid worden.

$-Y + b = y$. Vul dus voor Y b-y in.

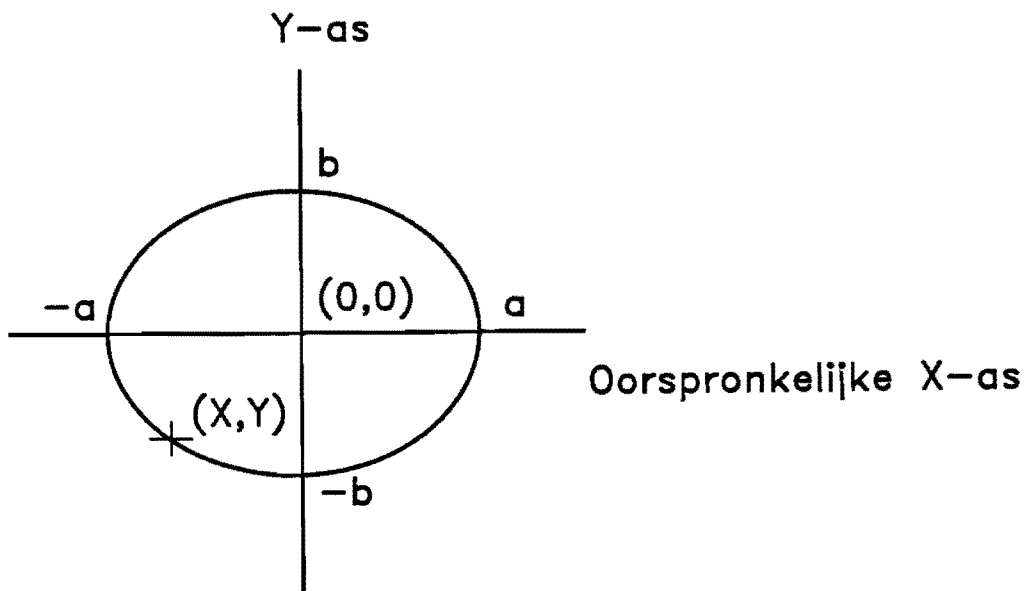


fig. 2.2 Assenstelsel voor verschalen.

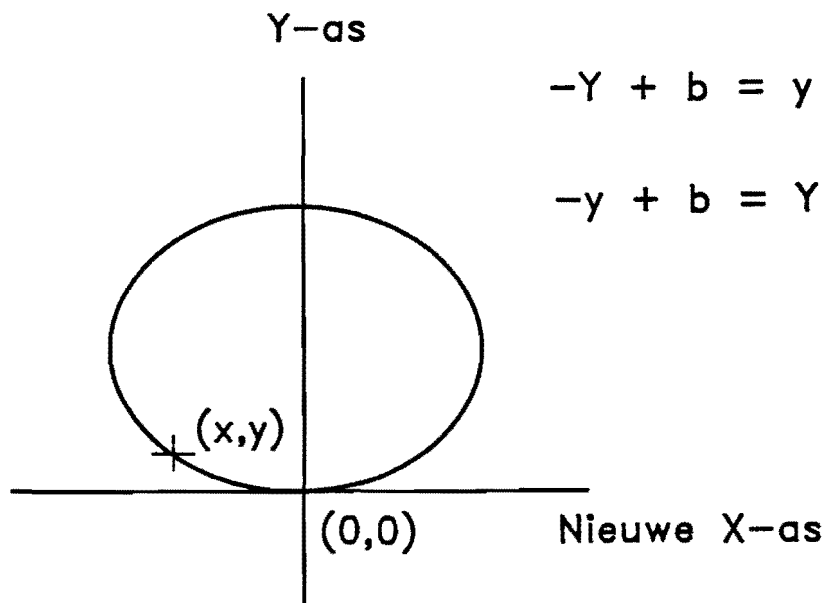


fig. 2.3 Assenstelsel na verschalen.

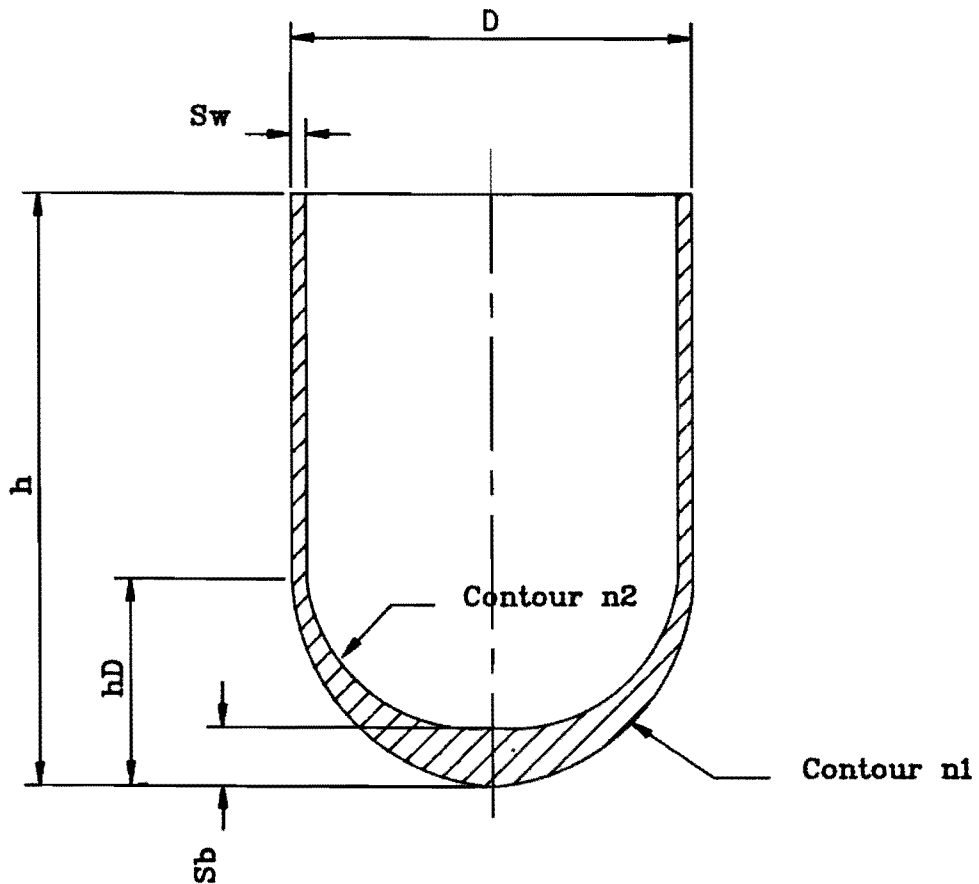


fig. 2.4 De afmetingen van de beker.

De beker bestaat uit de volgende twee delen:

- 1.) superelliptisch metaaldeel (tot hoogte h_D)
- 2.) cilindrisch metaaldeel (hoogte h_D tot h)

Het vloeistofdeel bestaat uit de volgende twee delen:

- 1.) superelliptisch vloeistofdeel (tot hoogte h_D)
- 2.) "cilindrisch" vloeistofdeel (hoogte h_D tot h_{vl})

N.B. Het "cilindrisch" vloeistofdeel is alleen zuiver cilindrisch wanneer de beker nog niet schuingesteld is. In alle andere gevallen is dit deel op te vatten als een afgeschuinde cilinder.

hoofdstuk 3: De analytische aanpak van het probleem

Een beker zal maximaal gevuld kunnen zijn tot de bekerhoogte (h). In deze situatie mag de maximale schuinstelhoek α natuurlijk 0 graden bedragen, anders zou er namelijk vloeistof uit de beker lopen. De schuinstelhoek α is de hoek tussen de hartlijn van de beker in de middenstand en de hartlijn van de beker in de schuinstand (fig. 3.3.1).

De voorwaarden die aan dit model gesteld worden zijn de volgende:

- 1.) wanneer de beker schuingesteld wordt mag de vloeistof natuurlijk niet boven de bekerhoogte (h) uitkomen.
- 2.) wanneer de beker schuingesteld wordt mag de vloeistof niet beneden het superelliptische bekerdeel (h_D) komen.

De vloeistof mag niet beneden het superelliptische deel van de beker komen, daar dan niet eenvoudig te zeggen is wat er met het volume en het statisch moment van de vloeistof gebeurt. Tevens geldt dan niet meer dat bij een bepaalde vloeistofhoogte (h_{vl}) het snijpunt tussen de vloeistoflijn en de hartlijn tijdens de rotatie (verdraaiing over hoek α) op dezelfde plaats blijft.

De ligging van het zwaartepunt is afhankelijk van het volume en het zwaartepunt.

Uit deze beschouwingen is duidelijk dat de maximale schuinstelhoek wordt bereikt voor een vloeistofhoogte die gelijk is aan de helft van de hoogte van het cilindrische bekerdeel. In deze situatie zal de vloeistof nl. niet uit de beker lopen en niet beneden het superelliptische bekerdeel komen (fig. 3.3.3). Deze vloeistofhoogte wordt verder de minimale vloeistofhoogte (h_{vlmin}) genoemd.

Wanneer men uit een beker drinkt zal de vloeistofhoogte afnemen; door het kleiner worden van de vloeistofhoogte (h_{vl}) zal ook de maximale schuinstelhoek α veranderen. Deze schuinstelhoek α heeft weer invloed op de ligging van het raakpunt tussen de tafel en de beker. Om te kunnen onderzoeken of de beker bij een bepaalde schuinstelhoek α omklapt wordt de vloeistofhoogte over het deel h tot h_{vlmin} gevarieerd in stappen.

Bij elke vloeistofhoogte wordt berekend:

- a.) maximale schuinstelhoek
- b.) volume van elk deel
- c.) statisch moment van superelliptisch metaal- en vloeistofdeel
- d.) zwaartekrachten van elk deel
- e.) ligging van de zwaartepunten van elk deel
- f.) raakpunt tussen tafel en beker
- g.) terugkeermoment van elk deel t.o.v. het raakpunt.

De beker kantelt als het totale terugkeermoment kleiner dan 0 is.

Het zwaartepunt van het vloeistofdeel boven h_D ligt bij verdraaiing over hoek α al gauw aan een zodanige kant van het raakpunt dat de zwaartekracht die in dit punt aangrijpt de beker wil doen omklappen. Dit komt doordat het zwaartepunt van het vloeistofdeel boven h_D niet meer op de hartlijn ligt. Ook is de afstand in Y-richting tussen het zwaartepunt van dit deel en het raakpunt veel groter dan de afstand tussen het zwaartepunt van het superelliptisch vloeistofdeel en het raakpunt. Het vloeistofdeel boven h_D heeft dus een grote arm t.o.v. het contactpunt; het zwaartepunt ligt rechts van het contactpunt (fig. 3.5.2). Dit heeft tot gevolg dat de zwaartekracht van dit deel een relatief groot moment t.o.v. het contactpunt levert dat de beker wil omklappen. Het zwaartepunt van het cilindrische metaaldeel ligt ook hoog. Dit heeft niet zo'n negatief effect als het vloeistofdeel boven h_D , daar het volume en dus de zwaartekracht van het cilindrische metaaldeel erg klein is.

De vloeistof boven h_D is dus de storende invloed. Dit geldt voor het gebied h tot h_{vlmin} . Bij een vloeistofhoogte kleiner dan h_{vlmin} is deze storende invloed te verwaarlozen t.o.v. het positieve effect van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel (het volume en dus zwaartekracht van het vloeistofdeel boven h_D zijn dan erg afgenomen). Daar het zwaartepunt van deze delen links van het contactpunt liggen zorgen ze dat de beker wil terugkeren naar de middenpositie. Voorwaarde 2 is dus gerechtvaardigt. Dit blijkt ook nog uit de grafieken van de terugkeermomenten die tijdens het programma getekend worden. In deze grafieken is te zien dat de terugkeermomentencurve al een minimum heeft bereikt bij een hoogte die gelijk of iets groter dan h_{vlmin} is of aan het afvlakken is.

3.1 Bepaling volume en statisch moment

3.1.1 Het volume

Het volume van een lichaam dat gewenteld wordt om de Y-as is per definitie:

$$V = \pi \int_a^b x^2 dy \quad [\text{formule 3.1.1.1}]$$

Voor de buitencontour geldt: $a = 0$
 $b = h_D$ (matrijshoogte)

Voor de binnencontour geldt: $a = s_b$ (bodemdikte)
 $b = h_D$ (matrijshoogte)

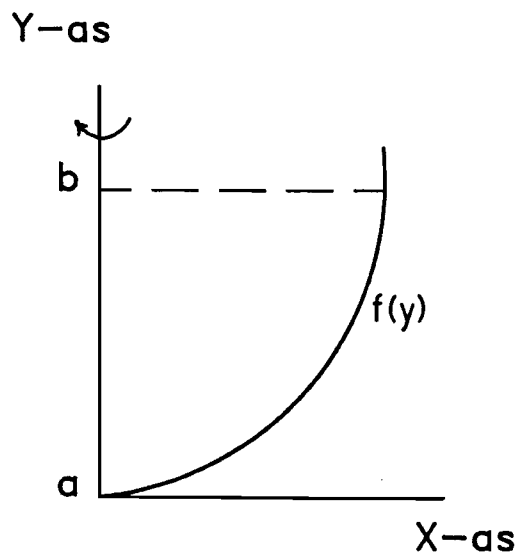


fig. 3.1.1.1

Daar de vergelijking van de superellips niet analytisch te integreren is, wordt deze numeriek geïntegreerd volgens de "samengestelde trapeziumregel".

De algemene definitie van de "samengestelde trapeziumregel" is:

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{1}{2}h(f_0 + 2f_1 + 2f_2 + \dots + 2f_{n-1} + f_n) - \text{afbreekfout}$$

[formule 3.1.1.2]

met

1.) $h = (b - a)/n$ (n is het aantal deelintervallen)

2.) $\text{afbreekfout} = (1/12)(b - a)h^2f''(\delta)$

3.) $\delta \in (a, b)$

Wanneer het aantal deelintervallen groot gekozen wordt, wordt h erg klein. Daar de afbreekfout kwadratisch evenredig is met h, wordt deze zo klein dat hij te verwaarlozen is.

Daar bij de vergelijking van de superellips X in Y is uitgedrukt en het volume van de superellips gewenteld om de Y-as berekend moet worden wordt de samengestelde trapeziumregel als volgt toegepast:

$$V = \pi \int_a^b [f(y)]^2 dy = \pi(\frac{1}{2}h)(f^2_0 + 2f^2_1 + 2f^2_2 + \dots + 2f^2_{n-1} + f^2_n)$$

[formule 3.1.1.3]

Op deze manier wordt het volume bepaald van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel.

Het volume van het cilindrische metaaldeel en vloeistofdeel boven h_D wordt bepaald m.b.v. $\pi R^2 h$; de definitie voor het volume van een cilinder.

Voor het cilindrische metaaldeel geldt:

$$V = \frac{\pi R_u^2 (h - h_D) - \pi R_i^2 (h - h_D)}{\pi (h - h_D) (R_u^2 - R_i^2)} \iff \text{[formule 3.1.1.4]}$$

Voor het vloeistofdeel boven h_D geldt:

$$V = \pi R_i^2 (h_{v1} - h_D) \quad [\text{formule 3.1.1.5}]$$

R_u is de uitwendige straal van de beker. In het programma is deze a1.

R_i is de inwendige straal van de beker. In het programma is deze a2.

3.1.2 Het statisch moment

Het statisch moment moet van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel bepaald worden om de ligging van de zwaartepunten van deze delen te kunnen berekenen.

Het statisch moment van een omwentelingslichaam t.o.v. de X-as is per definitie:

$$S_x = \pi \int_a^b y dV \quad [\text{formule 3.1.2.1}]$$

Uit formule 3.1.1.1 en formule 3.1.2.1 volgt dat:

$$S_x = \pi \int_a^b x^2 y dy \quad [\text{formule 3.1.2.2}]$$

Daar de vergelijking van de superellips niet analytisch te integreren is, wordt het statisch moment berekend d.m.v. numerieke integratie. De methode die hiervoor gebruikt wordt is de "samengestelde trapeziumregel". Deze regel is in zijn algemene vorm beschreven in formule 3.1.1.2. Om het statisch moment te kunnen bepalen wordt de "samengestelde trapeziumregel" als volgt gebruikt:

$$\begin{aligned} S_x &= \pi \int_a^b [f(y)]^2 y dy = \\ &= \pi(\frac{1}{2}h)(f^2_0Y_0 + 2f^2_1Y_1 + 2f^2_2Y_2 + \dots + 2f^2_{n-1}Y_{n-1} + f^2_nY_n) \end{aligned} \quad [\text{formule 3.1.2.3}]$$

Op deze manier wordt het statisch moment van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel bepaald.

Van het cilindrische metaaldeel en vloeistofdeel boven h_D hoeft het statisch moment niet berekend te worden. Daar voor die delen de ligging van het zwaartepunt op een eenvoudigere manier te berekenen is.

3.2 Bepaling van de zwaartekrachten

Van elk deel dient de zwaartekracht bepaald te worden om de momenten te kunnen berekenen.

Dit gebeurt als volgt:

$$\tau = \frac{m}{V} \quad \text{in [kg/m}^3\text{]} \quad \text{[formule 3.2.1]}$$

$$m = \tau \cdot V \quad \text{in [kg]} \quad \text{[formule 3.2.2]}$$

$$F = m \cdot g \quad \text{in [N]} \quad \text{[formule 3.2.3]}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Uit formule 3.2.2 en formule 3.2.3 volgt:

$$F = \tau \cdot V \cdot g \quad \text{[formule 3.2.4]}$$

3.3 Maximale schuinstelhoek α

In hoofdstuk 3 is al aangegeven dat de maximale schuinstelhoek α alleen over het gebied h tot h_{vlmin} bepaald wordt, daar uitgesloten wordt dat de vloeistof in het superelliptisch deel komt. Dit wordt in de tekeningen (fig. 3.3.1, 3.3.2 en 3.3.3) nog eens duidelijk gemaakt.

Bij de minimale vloeistofhoogte (h_{vlmin}) kan de beker over de grootste hoek schuingesteld worden. Bij deze maximale schuinstelhoek komt de vloeistof niet boven de bekerhoogte en niet beneden het superelliptisch deel.

Voor de minimale vloeistofhoogte is de volgende betrekking af te leiden:

$$\begin{aligned} h_{vlmin} &= h_D + \frac{(h-h_D)}{2} && \iff \\ h_{vlmin} &= \frac{(h+h_D)}{2} && \text{[formule 3.3.1]} \end{aligned}$$

De maximale schuinstelhoek α is afhankelijk van de vloeistofhoogte (h_{vl}). Deze vloeistofhoogte is groter dan de minimale vloeistofhoogte (h_{vlmin}) en kleiner dan de bekerhoogte (h).

Aan de hand van fig 3.3.2 kan de volgende betrekking voor de schuinstelhoek α worden afgeleid:

$$\begin{aligned} \tan\alpha &= \frac{(h-h_{vl})}{(D_2/2)} && \iff \\ \alpha_{max} &= \arctan((h-h_{vl})*(2/D_2)) && \text{[formule 3.3.2]} \end{aligned}$$

$D_2/2$ is de inwendige straal van de beker. In het programma wordt deze a_2 genoemd.

Met formule 3.3.2 is dus de maximale schuinstelhoek α te berekenen bij die vloeistofhoogte h_{vl} zodanig dat de vloeistof niet uit de beker loopt.

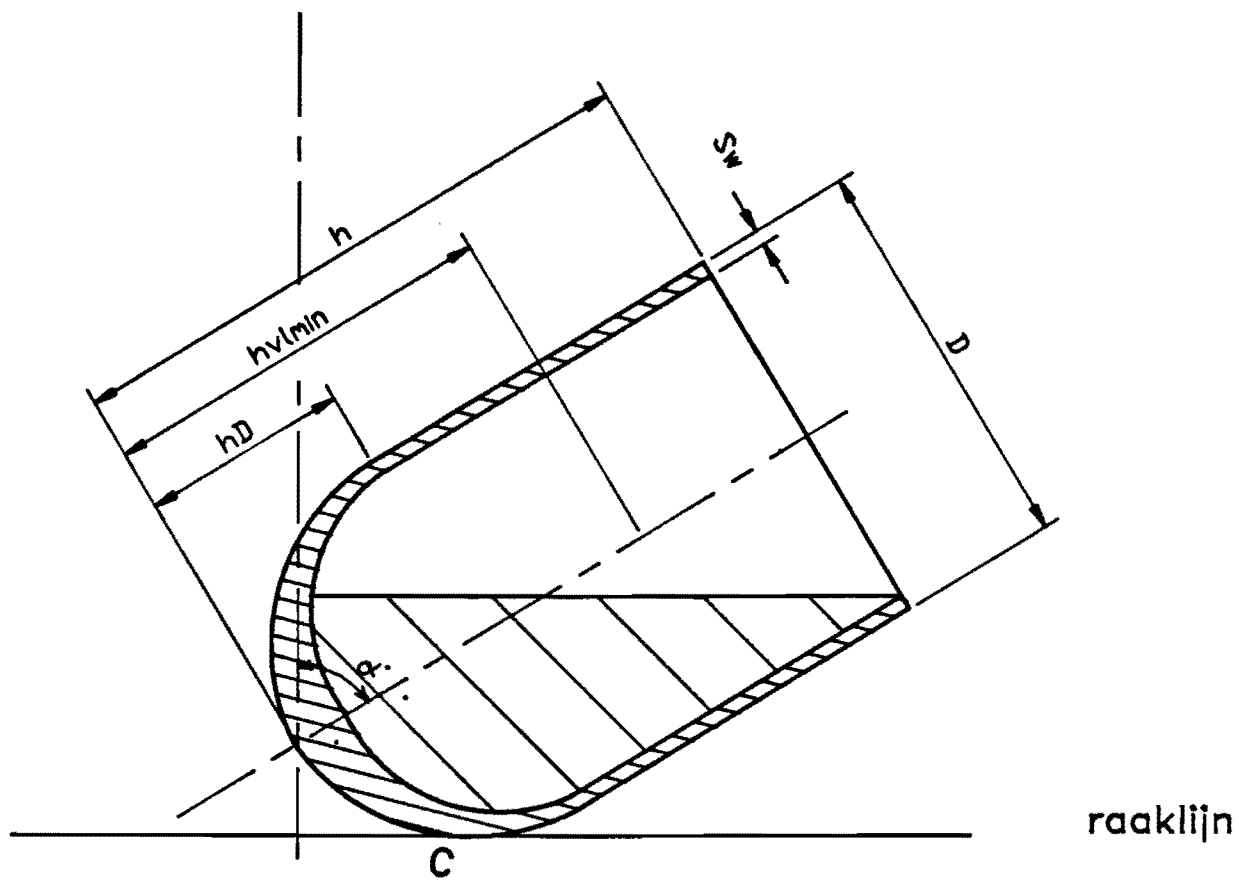


fig. 3.3.1 Vloeistofhoogte beneden het superelliptisch deel.

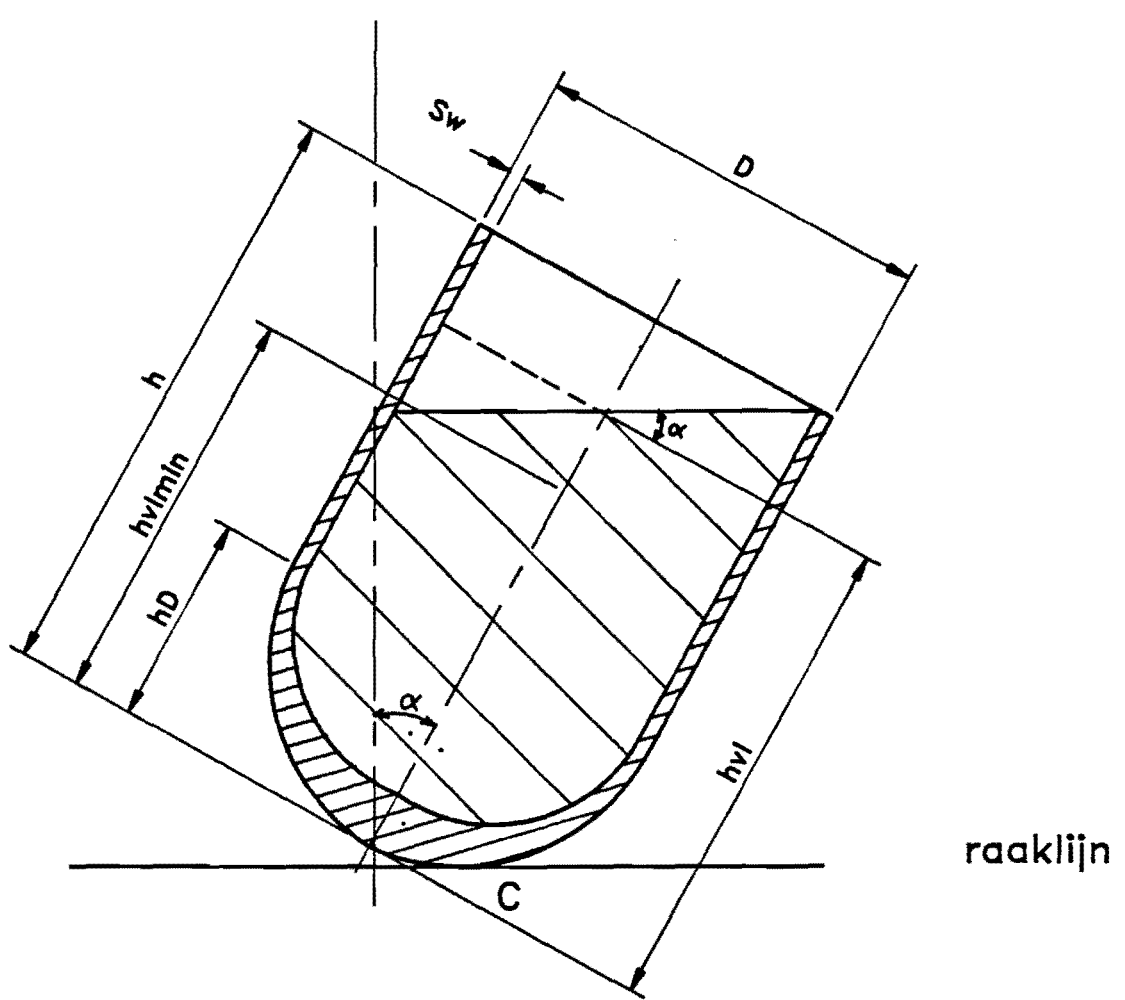


fig. 3.3.2 Mogelijke schuinstelhoeken $hvl_{min} \leq hvl \leq h$.

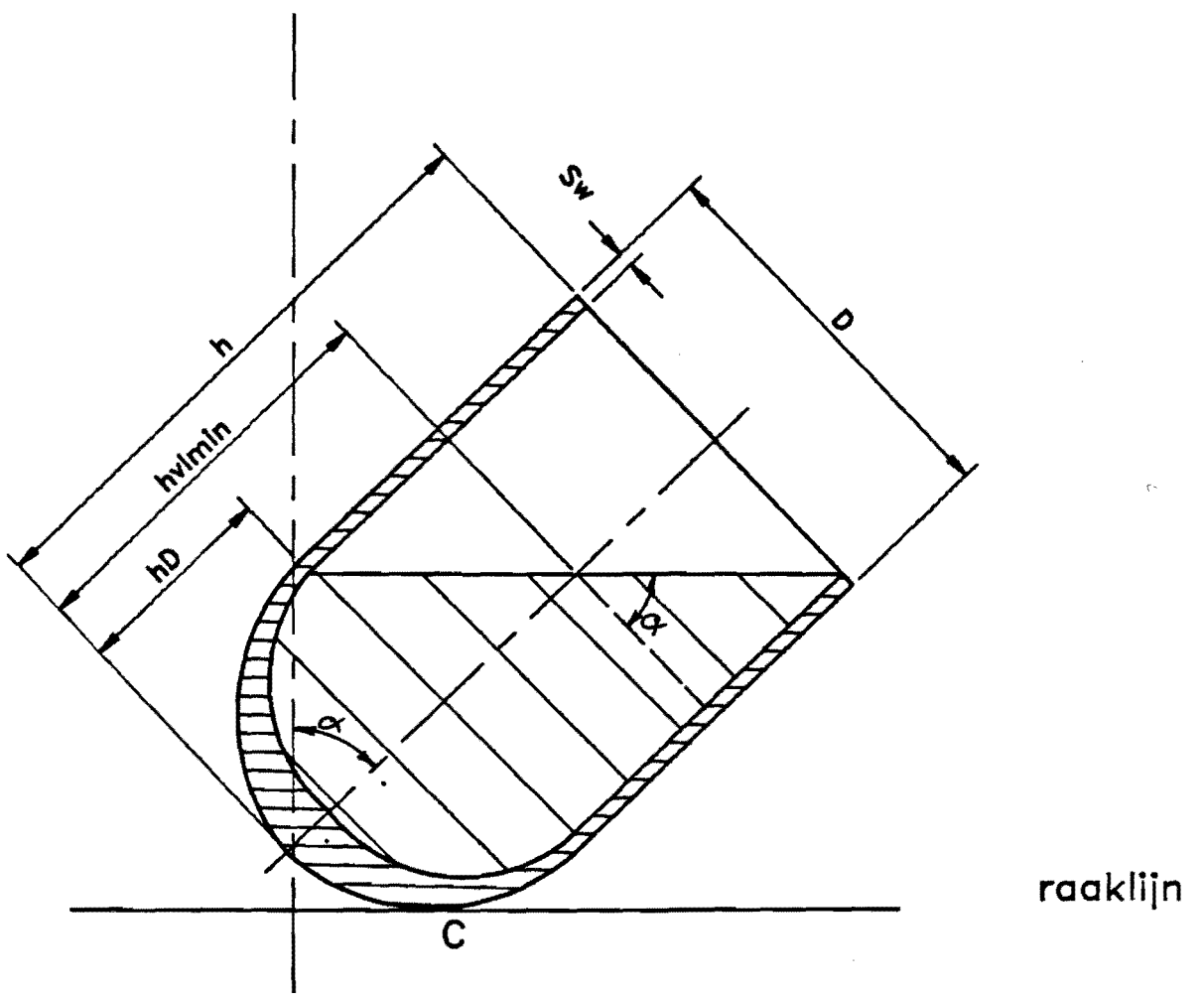


fig. 3.3.3 Maximale schuinstelhoek bereikt bij deze situatie.

3.4 De zwaartepunten

Om te kunnen onderzoeken of de beker kantelt moet van elk deel afzonderlijk het zwaartepunt bepaald worden. Wanneer zwaartekracht en zwaartepunt bekend zijn kan het moment t.o.v. het raakpunt berekend worden. Voor de ligging van het zwaartepunt in Y-richting geldt:

$$Y_z = \frac{S_x}{V} \quad [\text{formule 3.4.1}]$$

$$Y_z = \frac{\pi \int_a^b x^2 y dy}{\pi \int_a^b x^2 dy} \quad [\text{formule 3.4.2}]$$

Op de bovenstaande manier wordt de ligging van het zwaartepunt van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel berekend. Het zwaartepunt van het cilindrische metaaldeel kan op een eenvoudige manier berekend worden, daar het een cilinder boven op een superelliptisch deel betreft. Het cilindrische metaaldeel is symmetrisch t.o.v. zijn zwaartepunt. Voor de ligging van het zwaartepunt t.o.v. de oorsprong van het assenkruis geldt dan:

$$Y_z = h_D + \frac{(h-h_D)}{2} \quad [\text{formule 3.4.3}]$$

Voor de bovenstaande delen (superelliptisch metaaldeel, superelliptisch vloeistofdeel en cilindrisch metaaldeel) geldt dat de ligging van het zwaartepunt in X-richting 0 is, daar deze delen symmetrisch zijn t.o.v. de Y-as.

Het vloeistofdeel boven h_D is niet symmetrisch t.o.v. de Y-as. Het zwaartepunt zal dan ook niet op de Y-as liggen. De ligging van het zwaartepunt van dit vloeistofdeel is afhankelijk van de vloeistofhoogte (h_{vl}) en dus ook van de maximale schuinstelhoek α . Dit deel is nl. te beschouwen als een afgeschuinde cilinder. In fig. 3.4.1 is de afgeschuinde cilinder in zijn algemene vorm getekend. De vergelijkingen voor de ligging van de zwaartepunten hebben betrekking op deze figuur.

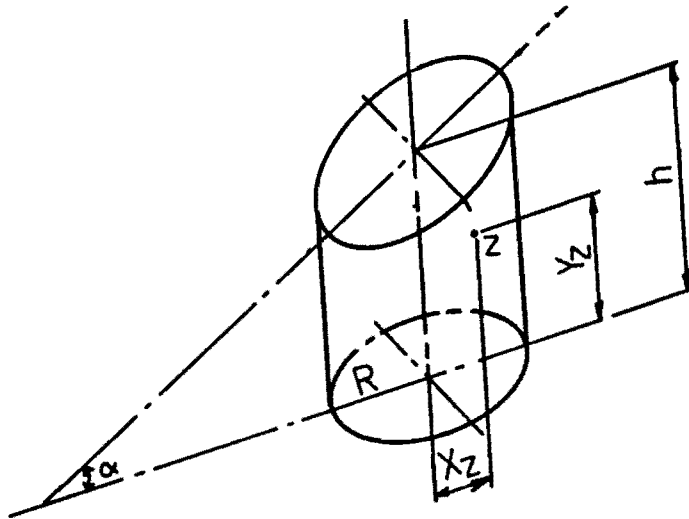


fig. 3.4.1 Afgeschuinde cilinder.

$$X_z = R^2 \tan \alpha / (4h) \quad [\text{formule 3.4.5}]$$

$$Y_z = h/2 + R^2 \tan^2 \alpha / (8h) \quad [\text{formule 3.4.6}]$$

Deze vergelijkingen toegepast voor de superelliptische beker zien er als volgt uit:

$$X_z = \frac{(R_i^2) \tan \alpha}{4(h_{vl} - h_D)} \quad [\text{formule 3.4.7}]$$

$$Y_z = h_D + \frac{(h_{vl} - h_D)}{2} + \frac{(R_i^2) \tan^2 \alpha}{8(h_{vl} - h_D)} \quad [\text{formule 3.4.8}]$$

$$R_i = a^2$$

Alle zwaartepunten zijn berekend t.o.v. het oorspronkelijke assenstelsel (assenstelsel voor rotatie).

3.5 Bepaling van het raakpunt

Om het terugkeermoment te kunnen berekenen moet het raakpunt tussen tafel en beker bepaald worden.

De tafel kan opgevat worden als de raaklijn in het raakpunt.

De richtingscoëfficiënt van de raaklijn in dit raakpunt kan berekend worden d.m.v. de schuinstelhoek α .

Er geldt:

$$r.c. = \tan(\text{richtingshoek})$$

$$\frac{dy}{dx} = \tan\alpha \quad [\text{formule 3.5.1}]$$

Om het raakpunt te kunnen berekenen moet de afgeleide van de superellips berekend worden.

$$x = a \cdot (1 - (1 - (y/b))^n)^{1/n}$$

$$dx = (a(1/n)(1 - (1 - (y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot -n(1 - (y/b))^{n-1} \cdot -1/b) dy$$

$$dx = ((a/b)(1 - (1 - (y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1 - (y/b))^{n-1}) dy$$

$$[\text{formule 3.5.2}]$$

De richtingscoëfficiënt (r.c.) van een raaklijn in een punt is altijd gelijk aan de tangens van de richtingshoek. Tevens is de richtingscoëfficiënt gelijk aan de afgeleide van een vergelijking. Met deze gegevens kan het raakpunt bepaald worden en wel op de volgende manier:

$$\frac{dy}{dx} = \tan\alpha$$

$$dx = ((a/b)(1 - (1 - (y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1 - (y/b))^{n-1}) dy \quad \Leftrightarrow$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{(a/b)(1 - (1 - (y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1 - (y/b))^{n-1}}$$

$$[\text{formule 3.5.3}]$$

Door deze twee richtingscoëfficiënten aan elkaar gelijk te stellen kan het raakpunt berekend worden.

$$\tan\alpha = \frac{1}{(a/b)(1 - (1 - (y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1 - (y/b))^{n-1}}$$

$$[\text{formule 3.5.4}]$$

Aangezien in het punt (0,0) de afgeleide van de superellips niet bestaat levert deze aanpak enkele problemen op. Deze problemen worden op de volgende manier opgelost. Wanneer geldt:

$$\frac{dy}{dx} = \tan \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{(a/b)(1 - (1-(y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1-(y/b))^{n-1}}$$

Dan geldt ook:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{dx}{dy} = (a/b)(1 - (1-(y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1-(y/b))^{n-1}$$

[formule 3.5.5]

$$\frac{1}{\tan \alpha} = \tan(\frac{1}{2}\pi - \alpha) \quad 0 < \alpha \leq \frac{1}{2}\pi$$

[formule 3.5.6]

Uit formule 3.5.5 en formule 3.5.6 wordt eindformule 3.5.7 afgeleid.

$$\tan(\frac{1}{2}\pi - \alpha) = (a/b)(1 - (1-(y/b))^n)^{(1/n)-1} \cdot (1-(y/b))^{n-1}$$

[formule 3.5.7]

Om het exacte raakpunt te bepalen wordt de halveringsmethode (intervalhalvering fig. 3.5.1) gebruikt. Met behulp van deze methode wordt steeds een y-waarde berekend. Deze y-waarde wordt in de afgeleide van de superellips ingevuld. Deze afgeleide wordt dan weer vergeleken met de 'werkelijke afgeleide' ($\tan(\frac{1}{2}\pi - \alpha)$). Is het verschil kleiner dan de gewenste nauwkeurigheid, dan wordt met die y-waarde de juiste x-waarde van de superellips berekend. Het raakpunt is nu gevonden.

Wanneer het verschil groter is dan de gewenste nauwkeurigheid kunnen zich de twee volgende mogelijkheden voor doen:

1.) AfgeleideNieuw \geq AfgeleideWerkelijk

dan $y_{min} = y_m$

2.) AfgeleideNieuw \leq AfgeleideWerkelijk

dan $y_{max} = y_m$

$$y_m = \frac{y_{min} + y_{max}}{2}$$

[formule 3.5.8 intervalhalvering]

Met deze nieuwe y_m wordt weer de afgeleide berekend en vergeleken met de 'werkelijke afgeleide'. Dit gaat net zo lang door tot het raakpunt gevonden is.

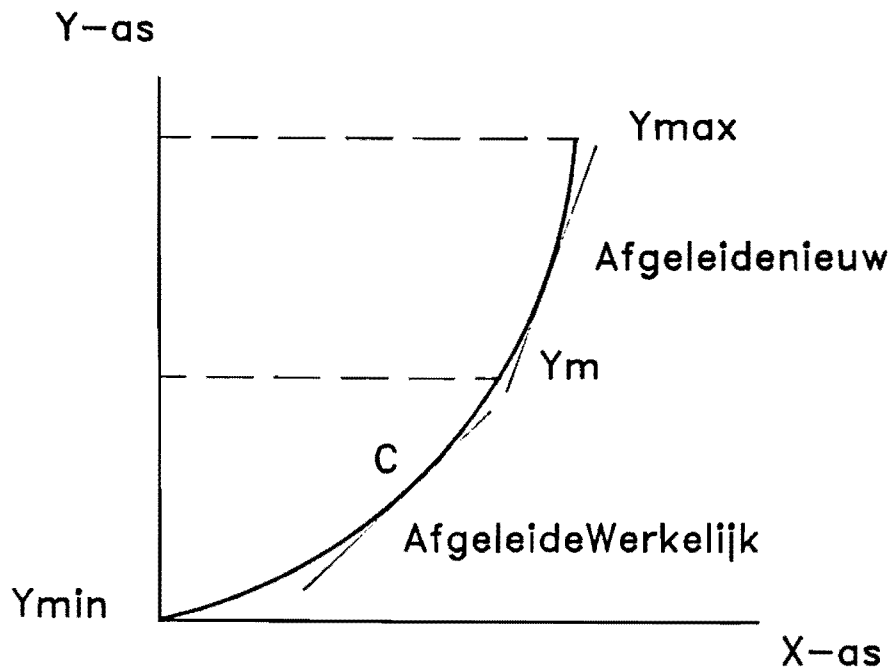


fig. 3.5.1 Intervalhalvering.

N.B. Voor het gemak wordt $\frac{dx}{dy}$ in de analytische aanpak en het programma de afgeleide genoemd. $\frac{dx}{dy}$ is de naar y gedifferentieerde vergelijking van de superellips.

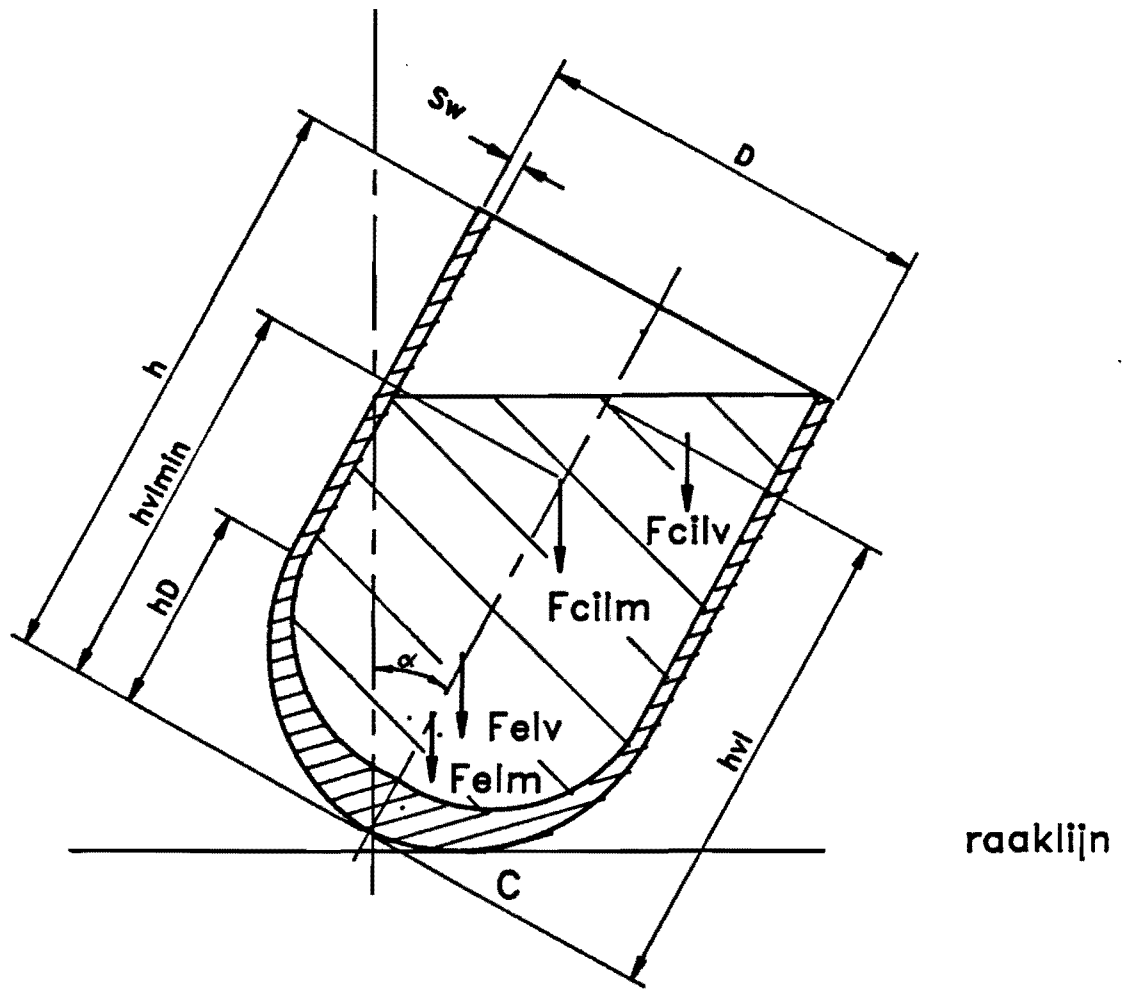


fig. 3.5.2 Werkelijke situatie.

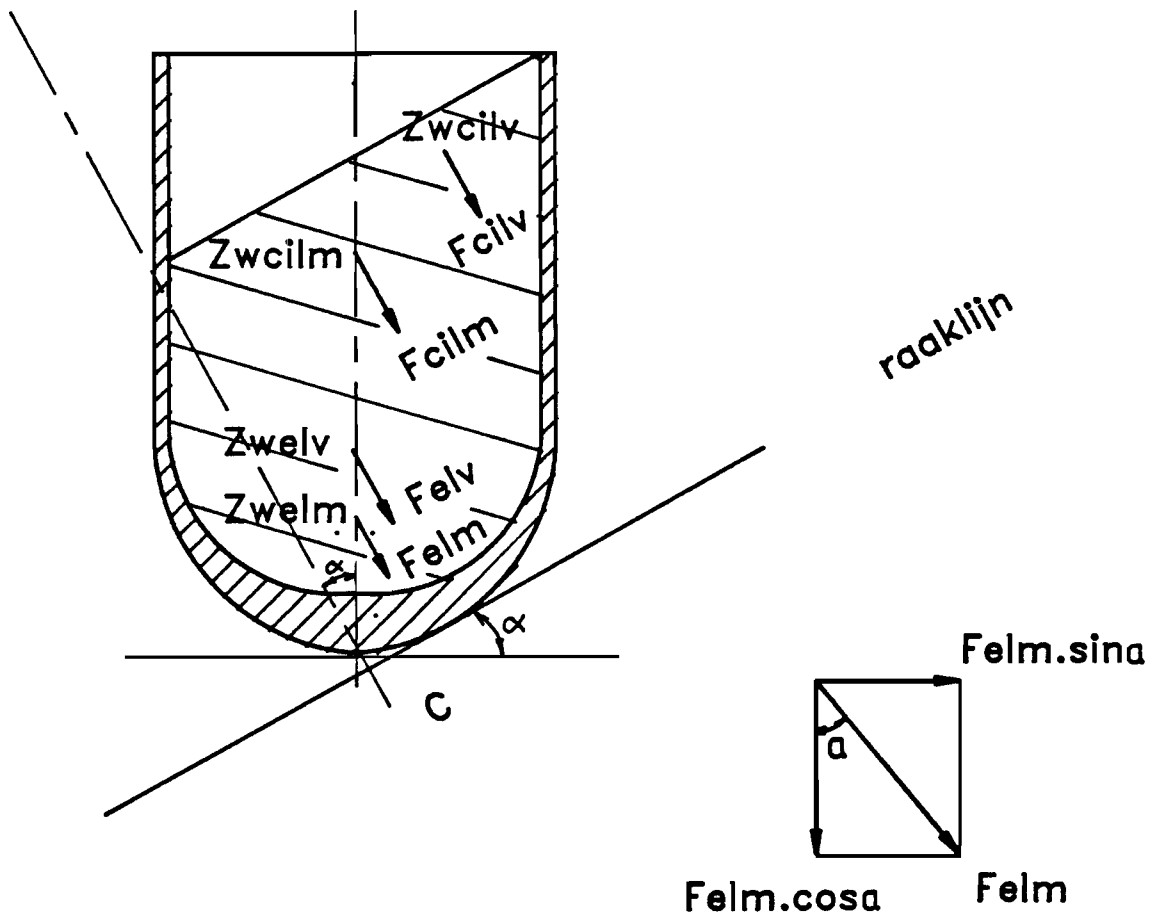


fig. 3.5.3 Krachten grijpen onder schuinstelhoek α aan.

Om het terugkeermoment te bepalen moet de loodrechte afstand tussen de lijn door het raakpunt en de lijnen door de zwaartepunten bekend zijn. De coördinaten van de zwaartepunten en het raakpunt zijn berekend t.o.v. het oorspronkelijke assenstelsel (assenstelsel voor rotatie). Om de loodrechte afstand te weten te komen zouden de coördinaten van de zwaartepunten en raakpunt omgerekend moeten worden naar het nieuwe assenstelsel (assenstelsel na rotatie fig 3.5.2). Dit probleem wordt op een eenvoudige manier opgelost. Draai de beker over de schuinstelhoek α terug naar het oorspronkelijke assenstelsel (fig 3.5.3). De ligging van de zwaartepunten en het raakpunt komen nu weer overeen met de berekende coördinaten. De zwaartekrachten grijpen nu onder de schuinstelhoek α aan. Deze zwaartekrachten worden ontbonden in een horizontale en een verticale component. Het terugkeermoment van elk deel afzonderlijk wordt op de volgende manier bepaald:

- 1.) vermenigvuldig de horizontale component van de zwaartekracht met het verschil in y-coördinaten van zwaartepunt en raakpunt.
- 2.) vermenigvuldig de verticale component van de zwaartekracht met het verschil in x-coördinaten van zwaartepunt en raakpunt.
- 3.) trek het moment t.g.v. de horizontale component van het moment t.g.v. de verticale component af.

Een draairichting linksom van het moment is positief!

$$\text{b.v. } M_{\text{elm}} = F_{\text{elmvert}} \cdot (x_c) - F_{\text{elmhor}} \cdot (Z_{\text{welm}} - y_c)$$

Het totale terugkeermoment wordt berekend door de terugkeermomenten van elk deel bij elkaar op te tellen. De beker keert terug naar de middenpositie wanneer het totale terugkeermoment groter dan 0 is.

3.6 Bepalen van exacte vloeistofhoogte en schuinstelhoek

Tijdens het programma wordt een grafiek met terugkeermomenten op het scherm getekend. Om deze grafiek te kunnen tekenen moeten de vloeistofhoogten en terugkeermomenten in een array geplaatst worden. Het programma stopt met rekenen wanneer het terugkeermoment kleiner dan 0 is geworden of de vloeistofhoogte het superelliptisch deel heeft bereikt.

De beker keert terug naar de middenpositie wanneer de vloeistofhoogte het superelliptisch metaaldeel heeft bereikt en het terugkeermoment niet kleiner dan 0 is geworden.

De beker kantelt wanneer de vloeistofhoogte het superelliptisch metaaldeel nog niet heeft bereikt en het terugkeermoment kleiner dan 0 is geworden.

Om het exacte punt te vinden waar de terugkeermomentencurve de nullijn snijdt zou het aantal stappen waarin het deel h tot h_{vmin} is opgedeeld erg groot genomen kunnen worden. Dit is echter niet praktisch, daar dit tot lange rekentijden leidt. Het vergroten van het aantal stappen (groter dan 50) zorgt ook niet voor een nog vloeiender terugkeermomentencurve.

De exacte vloeistofhoogte wordt daarom d.m.v. lineaire interpolatie bepaald (fig. 3.6.1). Daar de vloeistofhoogten en de terugkeermomenten in een array staan is gemakkelijk te bepalen:

- 1.) het eerste terugkeermoment ($i+1$) dat kleiner dan 0 is met bijbehorende vloeistofhoogte.
- 2.) het laatste terugkeermoment (i) dat groter dan 0 is met bijbehorende vloeistofhoogte.

Terugkeermoment

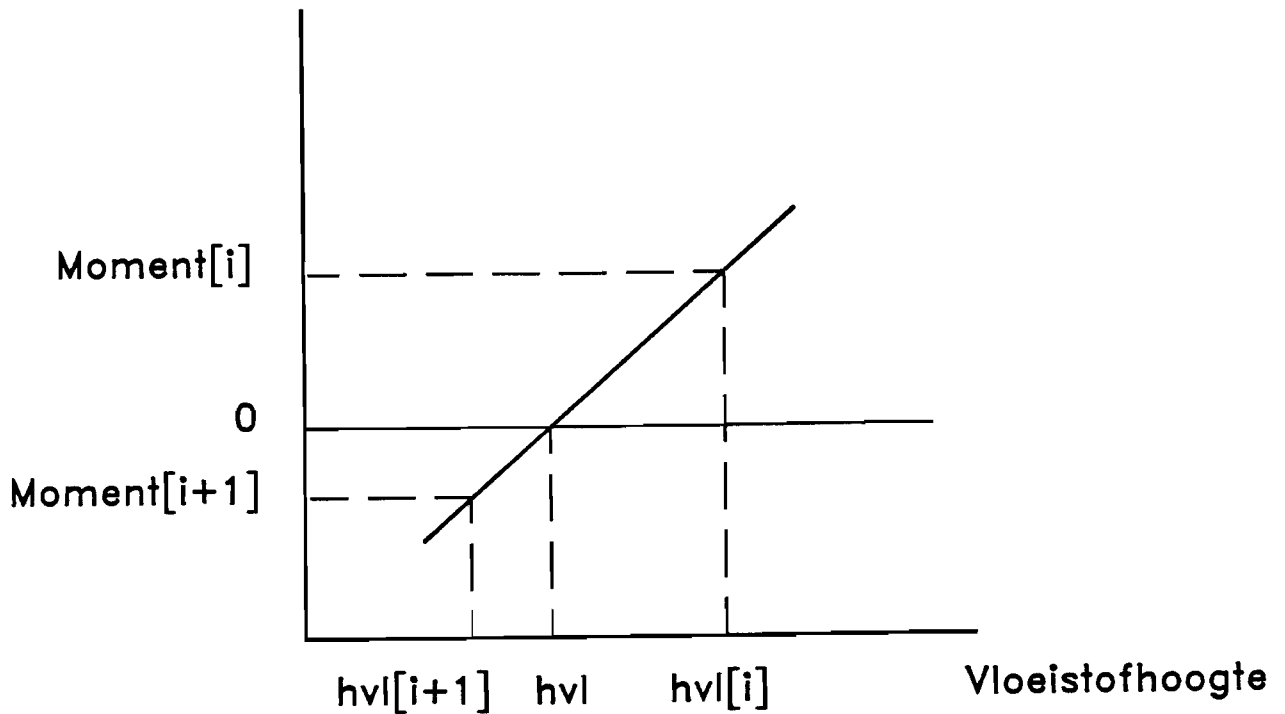


fig 3.6.1 Lineaire interpolatie.

De volgende vergelijkingen hebben betrekking op fig. 3.6.1

$$\frac{hvl - hvl[i+1]}{hvl[i] - hvl[i+1]} = \frac{0 - \text{Moment}[i+1]}{\text{Moment}[i] - \text{Moment}[i+1]}$$

[formule 3.6.1]

$$hvl = hvl[i+1] + \frac{-\text{Moment}[i+1]}{\text{Moment}[i] - \text{Moment}[i+1]} * (hvl[i] - hvl[i+1])$$

[formule 3.6.2]

$$\tan \alpha = \frac{(h-hvl)}{(D_2/2)} \quad \Longleftrightarrow$$

$$\alpha_{\max} = \arctan((h-hvl)*(2/D_2)) \quad \text{[formule 3.6.3]}$$

$D_2/2$ is de inwendige straal van de beker. In het programma wordt deze a_2 genoemd.

hvl wordt in het programma hvl_exact genoemd;

α_{\max} wordt α_exact genoemd.

3.7 Mag n_2 groter zijn dan n_1 ?

De buiten- en de binnencontour bestaan uit een superelliptisch deel tot de matrijshoogte h_D . De exponent van de buitencontour is n_1 , de exponent van de binnencontour is n_2 .

Wanneer exponent n_2 groter is dan n_1 is de binnencontour rechthoekiger van vorm dan de buitencontour.

Dit is niet wenselijk, omdat er eerst een vernauwing en later weer een verbreding tussen de buiten- en binnencontour ontstaat daar de eindpunten van de contouren bekend zijn (afhankelijk van d_{max} en s_w).

Deze vernauwing en verbreding leiden tot de volgende negatieve effecten:

- 1.) het materiaal vloeit niet meer verder, door te hoge wrijving (fig. 3.7.1).
- 2.) het materiaal laat de wand van de stempel los. Hierdoor gaat de binnenkant van de beker plooiën (fig. 3.7.2).

Kijkt men op een tijdstip t naar het materiaal dat zich net voor de vernauwing in de contour bevindt, dan heeft dit materiaal een bepaalde breedte b . Op het tijdstip $t + \Delta t$ zal dit materiaal met een breedte b over een afstand h naar boven verplaatst moeten zijn. Dit terwijl de wanddikte Δs smaller is geworden (fig. 3.7.1). Het materiaal met breedte b moet dan ook smaller worden. Dit kan tot een zeer hoge wrijving leiden. Zo hoog zelfs dat het materiaal niet verder wil vloeien. Daarom wordt gezorgd dat bij een vernauwing het verschil tussen buiten- en binnencontour niet kleiner wordt dan de wanddikte s_w .

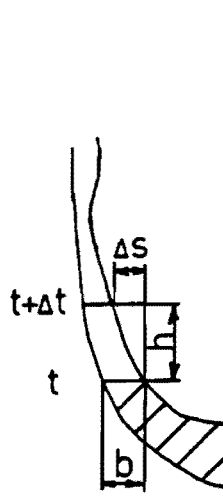


fig. 3.7.1 Klemmen van het materiaal t.g.v. vernauwing.

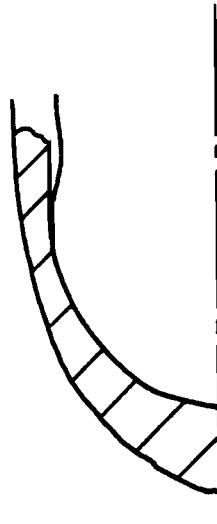


fig. 3.7.2 Het materiaal laat de stempelwand los.

Om te onderzoeken of er vernauwingen ontstaan moeten de x -coördinaten van buiten- en binnencontour met elkaar vergeleken worden. Over het eerste gedeelte (0 tot $X1[i]$) kan geen vernauwing ontstaan, omdat de binnencontour daar nog niet bestaat (fig. 3.7.3). Het verschil tussen buiten- en binnencontour wordt dus over het gedeelte $X1[i]$ tot h_D berekend. Eigenlijk zou het loodrechte verschil tussen de x -coördinaten berekend moeten worden. Omdat dit deel in ± 160 intervallen (intervalgrootte van 0.2 mm) is opgedeeld, is het verschil tussen het berekende verschil en het loodrechte verschil verwaarloosbaar klein. Het is dus geoorloofd het verschil tussen de x -coördinaten op de bovenstaande manier te bepalen.

De coördinaten van de buiten- en binnencontour zijn in een array geplaatst. Daarom is gemakkelijk te bepalen:

- 1.) het nieuwe verschil tussen de x -coördinaten. Teller i voor de plaats van de coördinaten in de array wordt steeds 1 opgehoogd ($i+1$) totdat het laatste element van de array is bereikt.
- 2.) het vorige verschil tussen de x -coördinaten wordt onthouden.

Een vernauwing treedt op wanneer het verschil tussen de x -coördinaten eerst kleiner en dan weer groter wordt.

Wanneer een vernauwing optreedt grijpt het programma als volgt in:

- 1.) exponent n_2 van de binnencontour wordt met 1 verminderd ($n_2 := n_2 - 1$).
- 2.) met deze nieuwe exponent n_2 worden de nieuwe coördinaten van de binnencontour berekend.
- 3.) de contour wordt weer op vernauwingen gecontroleerd.

Dit gaat door totdat er geen vernauwingen meer zijn.

Door het runnen van het programma blijkt dat de exponent n_2 (binnencontour) kleiner of gelijk moet zijn dan exponent n_1 (buitencontour).

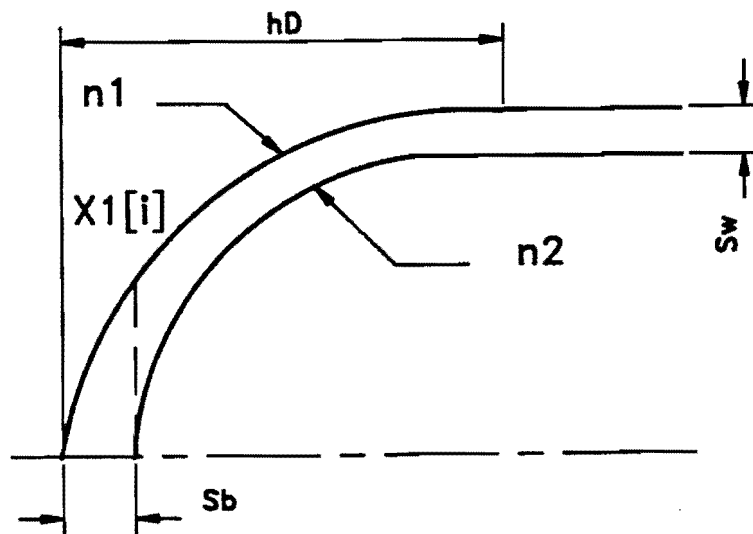


fig. 3.7.3 Bepalen van vernauwingen.

hoofdstuk 4: Het programma

4.1 De functions en procedures

Om de geometrie van de beker te kunnen berekenen, zodanig dat deze terugkeert naar de middenpositie, zijn o.a. de volgende functions en procedures geschreven:

- function power
- function nroot
- function ellips
- function kracht
- function afgeleide
- procedure coördinaten
- procedure schuinstelhoek
- procedure raakpunt
- procedure exacte vloeistofhoogte
- procedure vergelijk
- procedure printcoörd
- procedure volume
- procedure statmom

De werking van bovenstaande functions en procedures wordt in dit hoofdstuk beschreven.

Voor een overzicht in pascal vorm van deze functions en procedures wordt verwezen naar stageverslag:

CAD Superelliptische beker voor Extrusie

Technical Manual

WPA 0678

en/of

CAD Superelliptische beker voor Extrusie

Program Listing

WPA 0679

4.1.1 Function power

Omdat pascal geen standaardfunctie kent voor het berekenen van machten is deze function geschreven.
Er wordt gebruik gemaakt van de volgende wiskundige definitie:

$$\begin{aligned}x^n & \quad \langle \Rightarrow \rangle \\e^{\ln(x^n)} & \quad \langle \Rightarrow \rangle \\e^{n \ln(x)} & \quad \text{[formule 4.1.1.1]}\end{aligned}$$

x : constante of vergelijking
n : exponent
e : standaardfunctie in pascal
ln: standaardfunctie in pascal

De exponent n moet bij de function power een integer zijn.

4.1.2 Function nroot

Voor de function nroot geldt hetzelfde als de function power.
Nu kan echter ook gerekend worden met real machten.

4.1.3 Function ellips

In deze function zijn de functions power en nroot zodanig verwerkt dat de coördinaten van de superellips berekend worden.

4.1.4 Function kracht

Deze function berekent de zwaartekracht van elk deel in N.

4.1.5 Function afgeleide

Deze function berekent de afgeleide van de superellips. De afgeleide is nodig om het raakpunt tussen tafel en beker te kunnen berekenen.

4.1.6 Procedure coördinaten

Het deel tot hoogte h_D wordt opgedeeld in intervallen (y-waarden) ter grootte van 0.2 mm. Bij elke y-waarde wordt door het aanroepen van function ellips de bijbehorende x-coördinaat berekend.

De berekende coördinaten (van het superelliptische deel) van de buiten- en binnencontour worden in een array geplaatst. Ook wordt een array gevuld met gekwadraterde x-coördinaten. Deze worden gebruikt om d.m.v. numerieke integratie het volume en statisch moment van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel te berekenen.

4.1.7 Procedure schuinstelhoek

Deze procedure berekent de maximale schuinstelhoek van de beker, zodanig dat de vloeistof niet uit de beker loopt en niet beneden het superelliptische bekerdeel komt.

De maximale schuinstelhoek is dus afhankelijk van de momentane vloeistofhoogte.

4.1.8 Procedure raakpunt

Deze procedure berekent het raakpunt tussen tafel en beker d.m.v. intervalhalvering. Hierbij wordt de werkelijke afgeleide (tangens van de richtingshoek) vergeleken met de nieuwe afgeleide (afgeleide van de superellips in een punt).

Het raakpunt moet bepaald worden om de terugkeermomenten te kunnen berekenen.

4.1.9 Procedure exacte vloeistofhoogte

Deze procedure berekent de exacte vloeistofhoogte en exacte schuinstelhoek waar het terugkeermoment 0 is (de terugkeermomentcurve snijdt de nullijn). Dit wordt gedaan d.m.v. lineaire interpolatie.

4.1.10 Procedure vergelijk

Het superelliptische bekerdeel wordt onderzocht op een vernauwing met daarop volgend een verbreding in de contour. Wanneer dit zich voordoet grijpt het programma als volgt in:

- 1.) exponent n_2 van de binnencontour wordt met 1 verminderd ($n_2 := n_2 - 1$).
- 2.) met deze nieuwe exponent n_2 worden de nieuwe coördinaten van de binnencontour berekend.
- 3.) de contour wordt weer op vernauwingen gecontroleerd.

In fig. 4.1.10.1 t/m fig 4.1.10.2 (zie ook fig. 4.2.3.C.1 t/m 4.2.3.C.4) is een voorbeeld gegeven van dit terugrekenen.

GEOMETRIE van SUPERELLIPTISCHE BEKER voor EXTRUSIE

Invoer geometrie

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 6	(mm)

Type de exponent van de binnencontour in.

fig. 4.1.10.1 De invoerwaarden ($n_2 > n_1$).

Volume van het bekermateriaal	: 19.01 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 10.11	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 60.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 25.63	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hd)	: 5.88, 52.55	mm
Maximale schuinstelhoek	: 37.08	graden
Vloeistofhoogte	: 61.48	mm
n2-waarde	: 4	

De beker kantelt bij deze gegevens!

Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.1.10.2 De resultaten, n2 is teruggerekend.

4.1.11 Procedure printcoörd

Deze procedure stelt de gebruiker in staat de coördinaten van de buiten- en binnencontour (superelliptisch deel) naar het scherm te laten printen.

4.1.12 Procedure volume

Deze procedure berekent d.m.v. numerieke integratie het volume van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel. De integratie methode die hiervoor gebruikt wordt, is de samengestelde trapezium regel.

Het volume moet berekend worden om:

- 1.) de zwaartekrachten van elk deel te kunnen berekenen.
- 2.) de ligging van het zwaartepunt van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel te kunnen berekenen.
- 3.) het metaalvolume van de beker te kunnen berekenen.

4.1.13 Procedure statmom

Deze procedure berekent d.m.v. numerieke integratie het statisch moment van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel.

De integratie methode die hiervoor gebruikt wordt, is de samengestelde trapezium regel.

Het statisch moment moet bepaald worden om de ligging van het zwaartepunt van het superelliptische metaal- en vloeistofdeel te kunnen berekenen.

4.2 Users' manual

De gebruiker dient verschillende geometrie gegevens in te voeren. Bij deze geometrie gegevens berekent het programma:

- 1.) de coördinaten van de buiten- en binnencontour
- 2.) volume van de afzonderlijke delen
- 3.) statisch moment superelliptisch metaal- en vloeistofdeel
- 4.) zwaartekrachten van elk afzonderlijk deel
- 5.) zwaartepunten van de afzonderlijke delen
- 6.) vloeistofhoogte en schuinstelhoek
- 7.) afgeleide van de superellips
- 8.) raakpunt tussen tafel en beker
- 9.) terugkeermomenten van elk deel t.o.v. het raakpunt.

De beker kantelt wanneer het terugkeermoment kleiner dan 0 is.

Tevens wordt de bekervorm en een grafiek met terugkeermomenten op het scherm getekend.

Wanneer de beker kantelt voert men een nieuwe geometrie in en laat men het programma weer rekenen.

4.2.1 Opstarten van het programma

Het programma wordt opgestart door **bemoment** of een **1** in te typen gevolgd door een **return**. Tevens kan bij dit programma gebruik gemaakt worden van een muis, daar het programma voor het invoeren van metaaldichtheden is voorzien van een 'pop-up icon'. De hiervoor benodigde mouse-driver wordt automatisch opgestart.

Door de meldingen (invoervoorwaarden, foutboodschappen, etc.) te volgen is het gebruik van het programma erg eenvoudig. Het maken van fouten is op deze manier erg klein.

Het programma opent met een Informatiepagina (fig. 4.2.1.1).

Na deze pagina volgt de Paswoordpagina (fig. 4.2.1.2).

Als paswoord kan **LUC** of **JAAP** ingegeven worden. Let er wel op dat deze paswoorden in hoofdletters ingevoerd worden. Wanneer het verkeerde paswoord is ingegeven verschijnt de volgende melding gedurende twee seconden op het scherm: "Het paswoord is niet juist, probeert U het nog een keer!". Aan het aantal keren dat een paswoord ingevoerd kan worden is geen grens gesteld.

De Paswoordpagina wordt gevolgd door de Hoofdmenupagina. U kunt nu kiezen of u gegevens wilt invoeren of met het programma wilt stoppen (fig. 4.2.1.3).

Om de gebruiker nog de kans te geven terug te keren naar het programma, wordt de Hoofdmenupagina gevolgd door de Eindmenu-pagina.

U kunt nu terugkeren naar het hoofdmenu of het programma definitief afbreken (fig. 4.2.1.4).

GEOMETRIE van SUPERELLIPTISCHE BEKER voor EXTRUSIE

Copyright 1988, Technische Universiteit Eindhoven
Laboratorium voor Omvormtechnologie T.U.E.
versie 2.00

informatie:
Tel. : 040 - 474521

J.C. Muns
ir. L.J.A. Houtackers

Druk op een toets voor vervolg:

fig. 4.2.1.1 De Informatiepagina.

Indien het paswoord U onbekend is, neem dan contact op met
Ir. L.J.A. Houtackers

Geef het paswoord in gevolgd door return:

fig. 4.2.1.2 De Paswoordpagina.

HOOFDMENU

Wat wilt u ?

Invoeren gegevens.
Stoppen.

Maak een keuze : gebruik de pijltjes toetsen.
Accepteer uw keuze : druk op <RETURN> of de <+> toets.

fig. 4.2.1.3 De Hoofdmenupagina.

EINDMENU

Wat wilt U :

Terugkeren naar het hoofdmenu.
Afbreken van programma.

Maak een keuze : gebruik de pijltjes toetsen.
Accepteer uw keuze : druk op <RETURN> of de <+> toets.

fig. 4.2.1.4 De Eindmenupagina.

4.2.2 Invoer van gegevens

Wanneer U op de Hoofdmenupagina voor 'invoeren gegevens' hebt gekozen dient U de geometrie gegevens van de beker in te geven. Bij elk in te voeren geometrie element verschijnt een melding beneden op het scherm wat men in dient te voeren (b.v. "Type de hoogte van de matrijs in.") en in welke eenheid ingevoerd dient te worden (b.v. mm).

Tevens is het invoer gedeelte voorzien van foutmeldingen. Bij een foutieve invoer wordt precies aangegeven hoe het ingevoerde geometrie element veranderd dient te worden (fig. 4.2.2.1 en fig. 4.2.2.2). Dit is gedaan om de invoer van de gebruiker in bepaalde banen te leiden, zodanig dat er geen absurde waarden ingevoerd kunnen worden. Binnen deze invoergrenzen is de gebruiker vrij om waarden in te voeren.

De invoer moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

d_{max}	: $10 \leq d_{max} \leq 100$
Rom	: $Rom \geq 0$
Rov	: $Rov \leq 0.25 * Rom$
h	: $h \geq 0$
h_D	: $h_D \leq h$
s_w	: $0 < s_w \leq 0.1 * d_{max}$
s_b	: $s_b \geq s_w$ én $s_b < h_D$
n1	: geheel getal tussen 2 en 40
n2	: geheel getal tussen 2 en 40

Wanneer n2 groter is dan n1 verschijnt de volgende waarschuwing op het scherm "Waarschuwing n2 is nu groter dan n1!".

Het programma is voorzien van standaard default waarden (fig. 4.2.2.3). Wanneer na het opstarten van het programma voor de eerste keer een geometrie ingevoerd moet worden, kan m.b.v. 'pijltje naar beneden' of return deze standaard default geometrie geaccepteerd worden. Deze standaard default geometrie kan dan ook nog veranderd worden.

Deze standaard default geometrie behoort bij een beker die altijd terugkeert naar de middenpositie (de eerste beker die gemaakt wordt).

Het programma onthoudt de laatst ingevoerde waarden. Deze waarden worden dan de nieuwe default waarden. Deze nieuwe default waarden kunnen opgeroepen worden d.m.v. 'pijltje naar beneden' of return. Op deze manier weet men nog welke geometrie de vorige keer is ingevoerd en kan de invloed van een geometrie element op het proces bekeken worden. Door n1. steeds één geometrie element te veranderen t.o.v. de vorige ingevoerde geometrie kan de invloed van deze verandering bekeken worden.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 2000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h :	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD :	(mm)
Wanddikte	sw :	(mm)
Bodemdikte	sb :	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 :	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 :	(mm)

De dichtheid van de vloeistof moet kleiner zijn dan $0.25 \cdot Rom$.
Type de dichtheid van de vloeistof in kg/m³ in.

fig. 4.2.2.1 Foutieve invoer.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 82	(mm)
Wanddikte	sw :	(mm)
Bodemdikte	sb :	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 :	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 :	(mm)

De matrijshoogte moet kleiner zijn dan de bekerhoogte (h).
Type de hoogte van de matrijs in.

fig. 4.2.2.2 Foutieve invoer.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 2	(mm)

Veranderen van waarden : Pijl omhoog.
Accepteren van invoeren : <Return> of de <+> toets.

fig. 4.2.2.3 De standaard default waarden.

De gebruiker zou voor de invoer van metaaldichtheden een dichtheden tabel bij de hand moeten hebben. Daar dit onpraktisch is, is een 'pop-up icon' voor de metaaldichtheden gemaakt.

In deze 'pop-up icon' vindt men de voor extrusie persen meest gebruikte metalen met bijbehorende dichtheden (fig. 4.2.2.4).

Deze 'pop-up icon' kan opgeroepen worden door op de linkertoets van de muis te drukken. Kies nu het gewenste metaal (plaats de 'highlighted' balk op het gewenste metaal) en druk op de linkertoets. De 'pop-up icon' verdwijnt van het scherm wanneer een keuze is gemaakt.

Hebt U de 'pop-up icon' per ongeluk opgeroepen, ga dan naar END en druk op de linkertoets van de muis.

GEOMETRIE van SUPERELLIPTISCHE BEKER voor EXTRUSIE

Invoer geometrie

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax :	50	(mm)
eid van metaal	Rom :	8930	(kg/m ³)
eid van vloeistof	Rov :		(kg/m ³)
van de beker	h :		(mm)
v/d matrijs	hD :		(mm)
	sw :		(mm)
	sb :		(mm)
	nt v/d buitencontour	n1 :	(mm)
	nt v/d binnencontour	n2 :	(mm)

dichtheden

- Aluminium
- Koper
- Lood
- Messing
- Staal
- Tin
- Zink
- End

Type de dichtheid van het metaal in kg/m³ in.

fig. 4.2.2.4 De 'pop-up icon' met metaaldichtheden.

4.2.3 Uitvoer

In dit hoofdstuk vindt U de ingevoerde gegevens met bijbehorende resultaten en grafieken van verschillende bekera. Er wordt steeds één geometrie element veranderd om de invloed van deze verandering te onderzoeken. Op deze manier kan tot een goede geometrie keuze van de beker gekomen worden, zodanig dat de beker terugkeert naar de middenpositie.

GEOMETRIE van SUPERELLIPTISCHE BEKER voor EXTRUSIE
--

Uitvoer

Momentje a.u.b., de berekeningen worden nu uitgevoerd.
--

fig. 4.2.3.1 De berekeningen beginnen.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 2	(mm)

Veranderen van waarden : Pijl omhoog.
 Accepteren van invoeren : <Return> of de <+> toets.

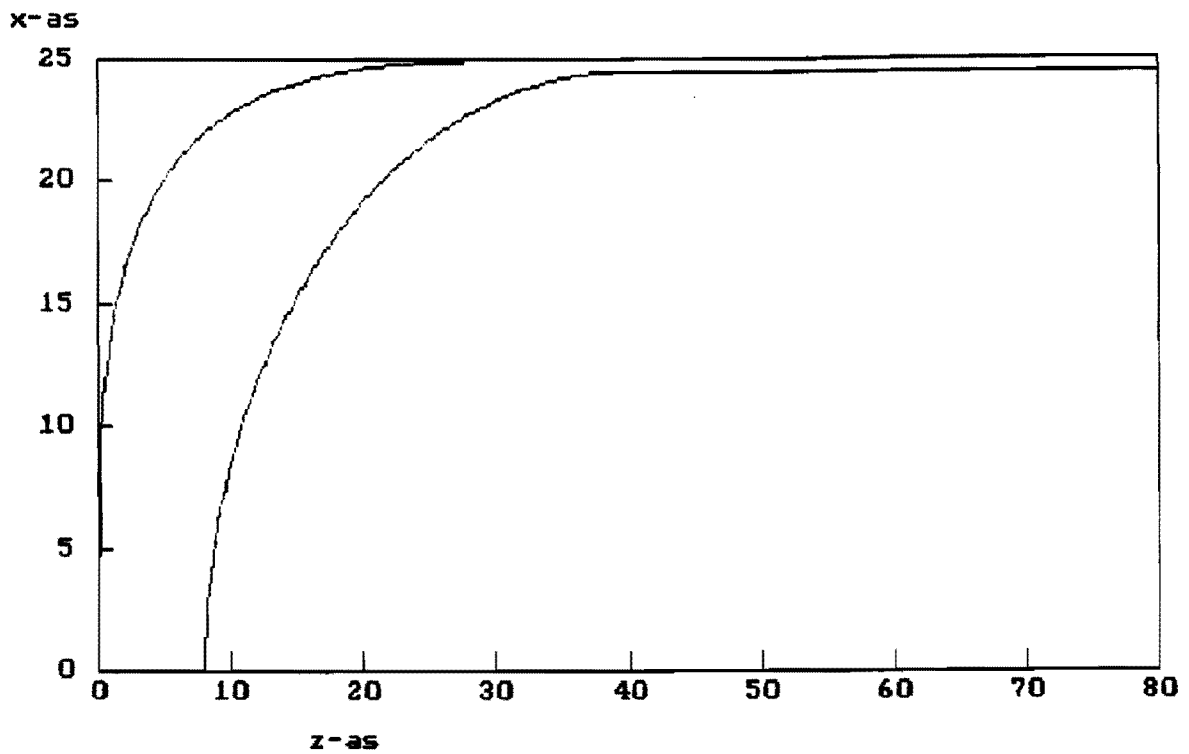
fig. 4.2.3.A.1 De ingevoerde geometrie.

Volume van het bekermateriaal	: 31.52 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 13.58	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 60.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 28.00	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hD)	: 5.88, 52.55	mm
Maximale schuinstelhoek	: 39.23	graden
Vloeistofhoogte	: 60.00	mm
n2-waarde	: 2	

De beker kantelt niet bij deze gegevens!

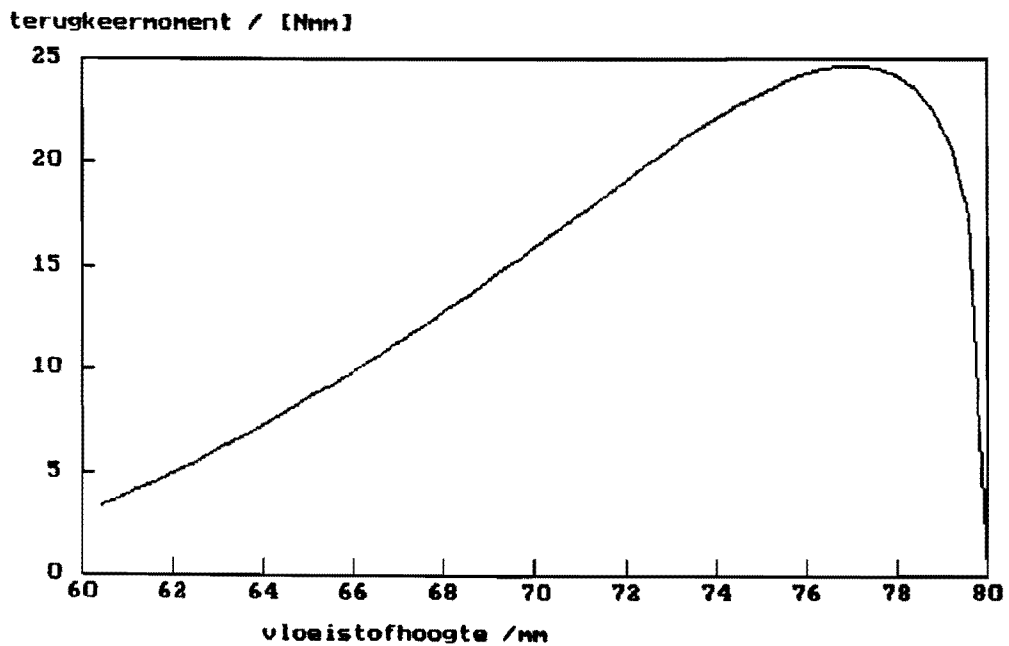
Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.2.3.A.2 De resultaten.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.A.3 De vorm van de beker.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.A.4 De terugkeermomentencurve.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 3	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 2	(mm)

Veranderen van waarden : Pijl omhoog.
 Accepteren van invoeren : <Return> of de <+> toets.

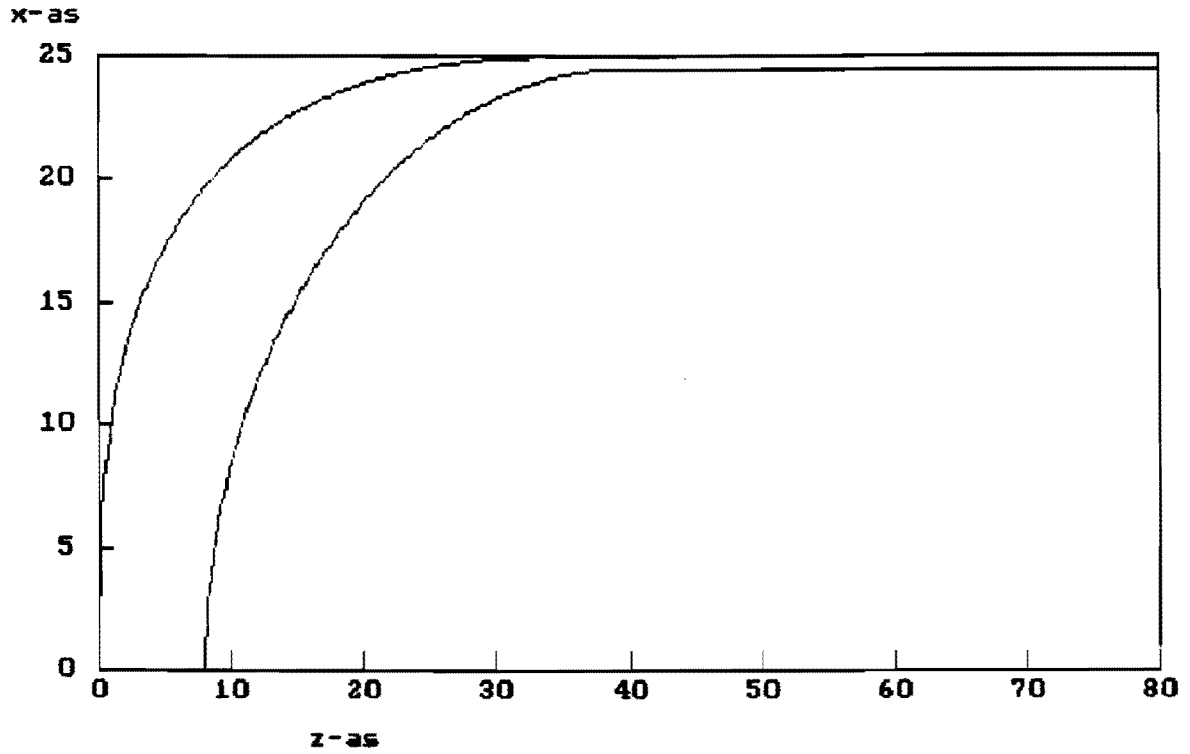
fig. 4.2.3.B.1 De ingevoerde geometrie.

Volume van het bekermateriaal	: 26.19 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 14.34	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 60.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 28.00	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hD)	: 5.88, 52.55	mm
Maximale schuinstelhoek	: 28.13	graden
Vloeistofhoogte	: 66.90	mm
n2-waarde	: 2	

De beker kantelt bij deze gegevens!

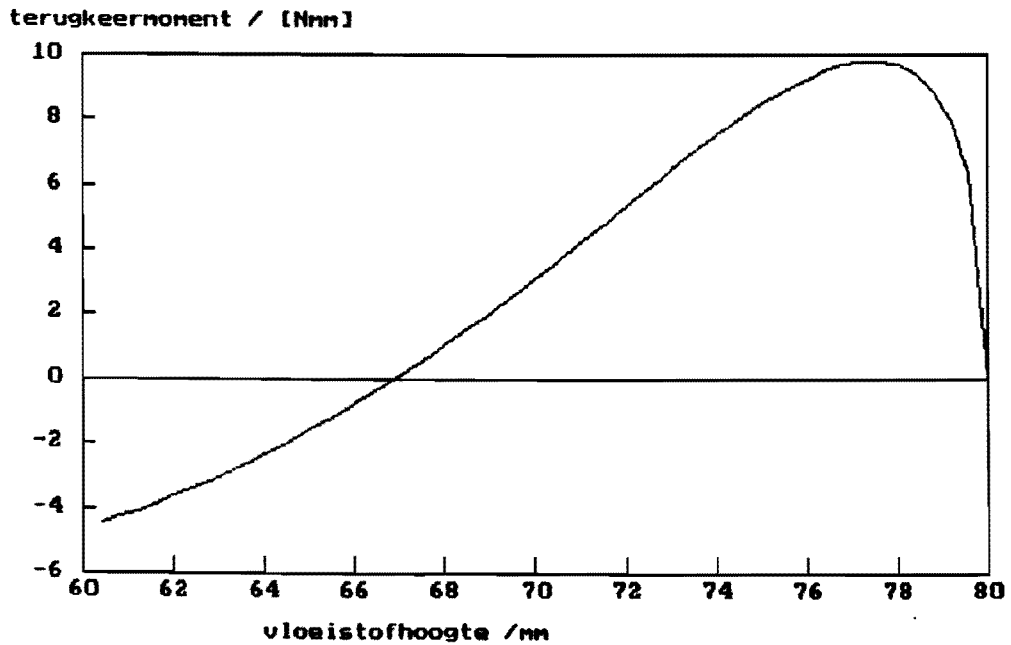
Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.2.3.B.2 De resultaten.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.B.3 De vorm van de beker.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.B.4 De terugkeermomentencurve.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 6	(mm)

Type de exponent van de binnencontour in.

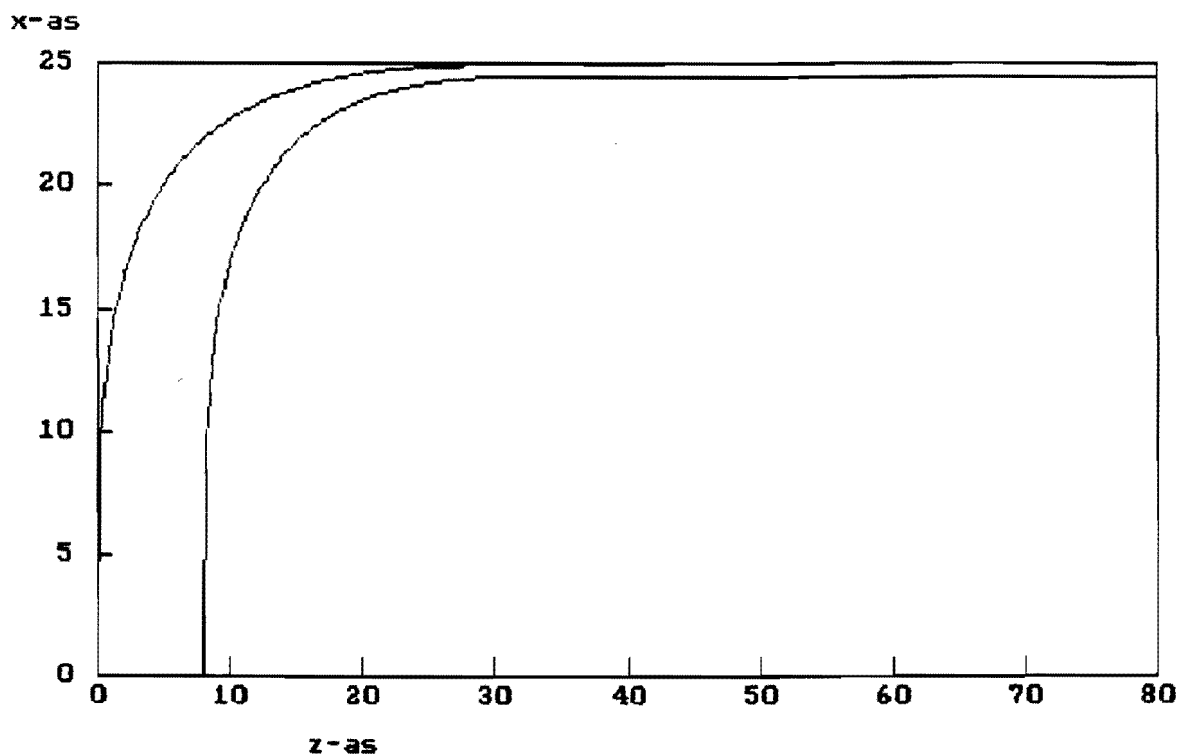
fig. 4.2.3.C.1 De ingevoerde geometrie.

Volume van het bekermateriaal	: 19.01 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 10.11	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 60.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 25.63	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hD)	: 5.88, 52.55	mm
Maximale schuinstelhoek	: 37.08	graden
Vloeistofhoogte	: 61.48	mm
n2-waarde	: 4	

De beker kantelt bij deze gegevens!

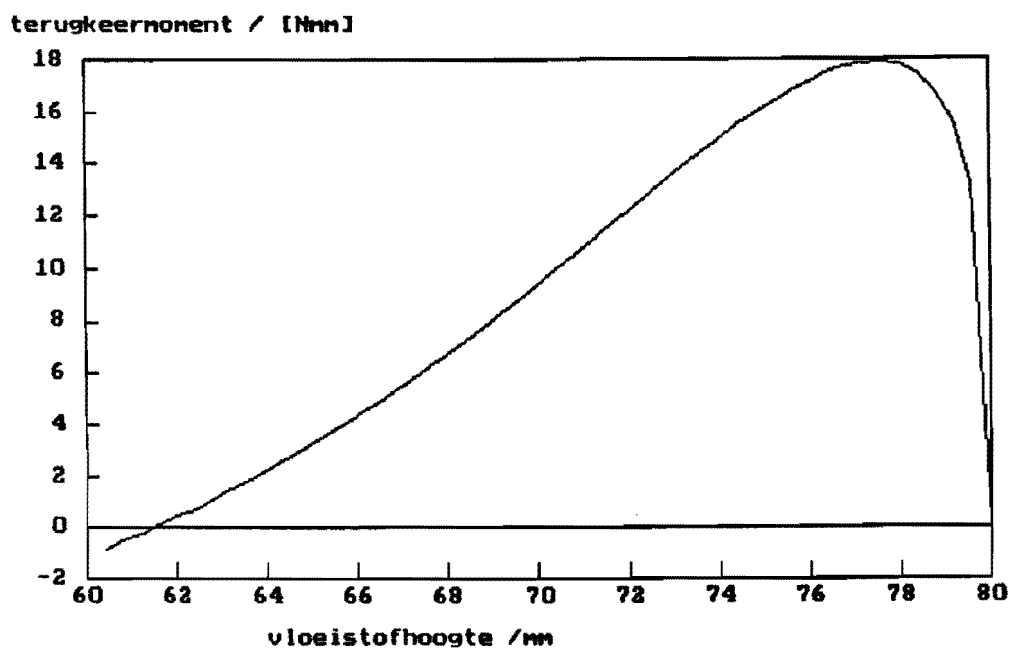
Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.2.3.C.2 De resultaten.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.C.3 De vorm van de beker.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.C.4 De terugkeermomentencurve.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 70	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 80	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 2	(mm)

Type de exponent van de binnencontour in.

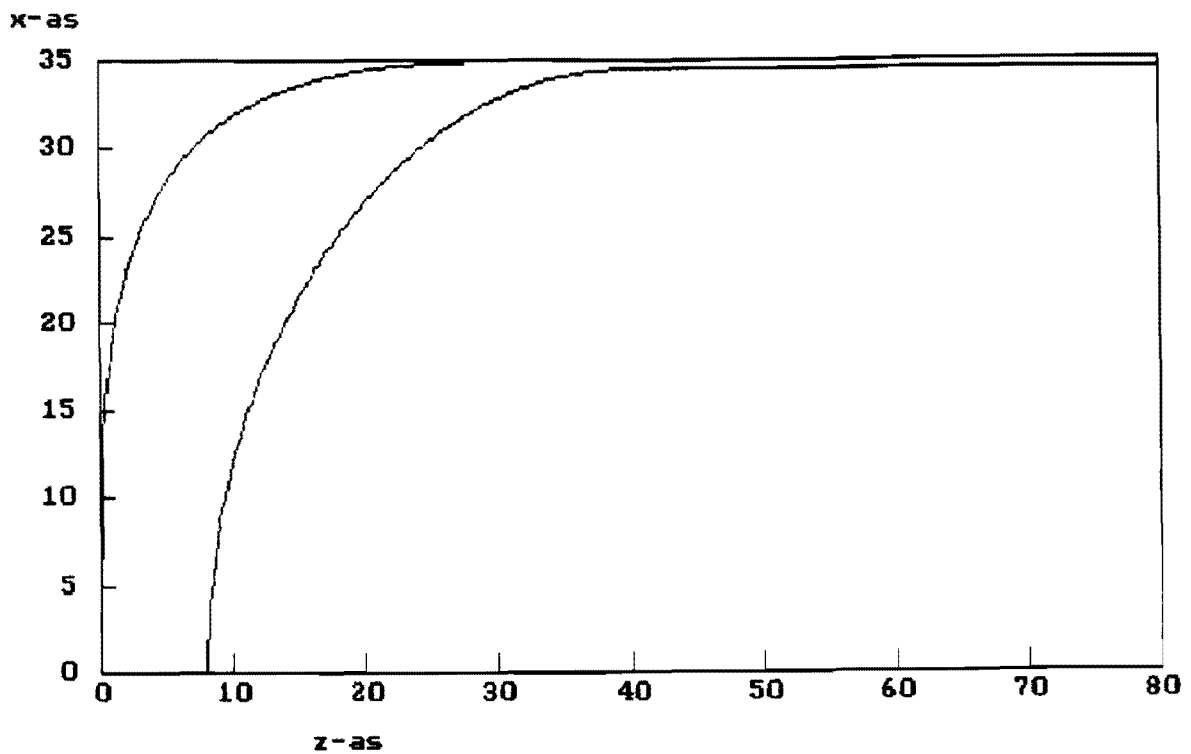
fig. 4.2.3.D.1 De ingevoerde geometrie.

Volume van het bekermateriaal	: 59.12 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 13.34	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 60.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 28.00	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hD)	: 8.29, 52.55	mm
Maximale schuinstelhoek	: 30.10	graden
Vloeistofhoogte	: 60.00	mm
n2-waarde	: 2	

De beker kantelt niet bij deze gegevens!

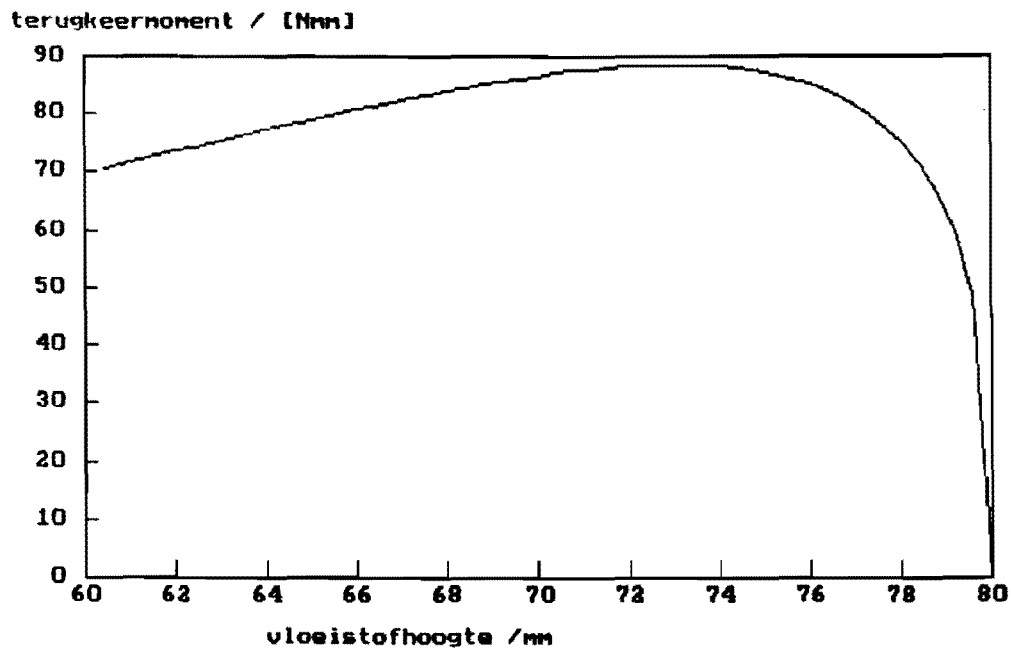
Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.2.3.D.2 De resultaten.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.D.3 De vorm van de beker.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.D.4 De terugkeermomentencurve.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 70	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 100	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 2	(mm)

Veranderen van waarden : Pijl omhoog.
 Accepteren van invoeren : <Return> of de <+> toets.

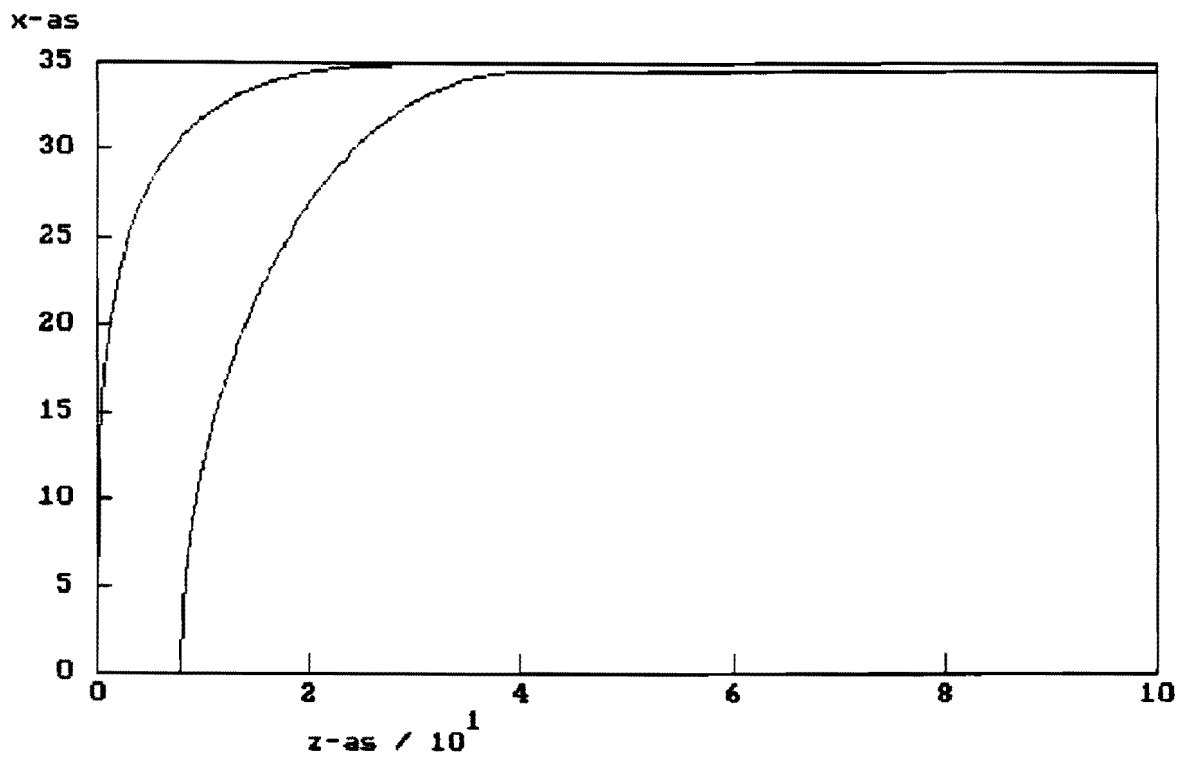
fig. 4.2.3.E.1 De ingevoerde geometrie.

Volume van het beker materiaal	: 61.30 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 13.34	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 70.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 28.00	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hD)	: 8.29, 58.83	mm
Maximale schuinstelhoek	: 41.01	graden
Vloeistofhoogte	: 70.00	mm
n2-waarde	: 2	

De beker kantelt niet bij deze gegevens!

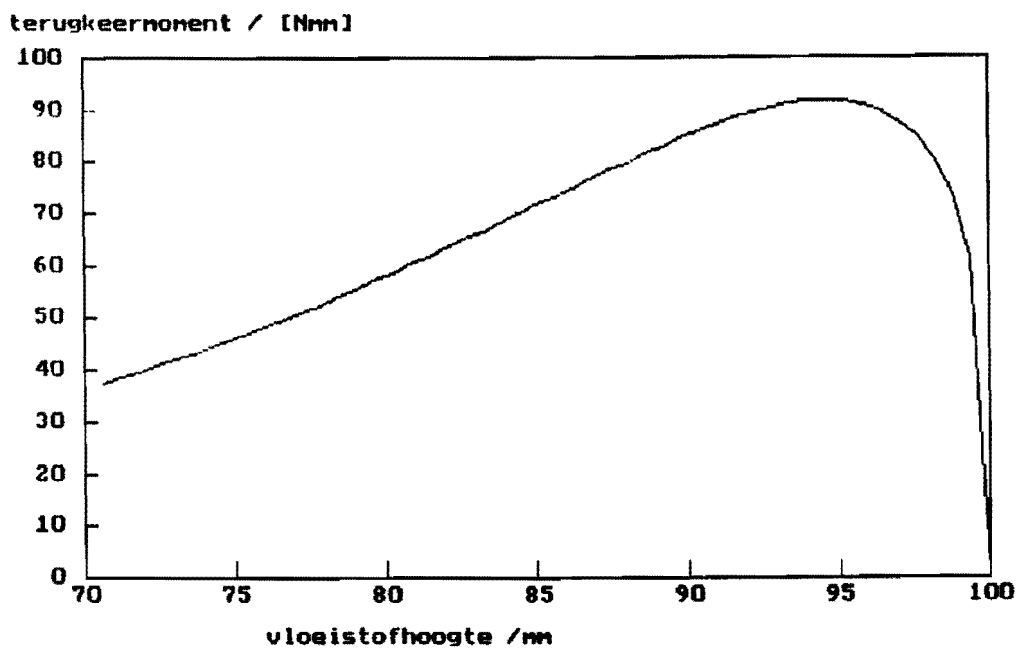
Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.2.3.E.2 De resultaten.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.E.3 De vorm van de beker.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.E.4 De terugkeermomentencurve.

GEOMETRIE GEWENST EINDPRODUKT

Diameter bovenzijde	dmax : 50	(mm)
Dichtheid van metaal	Rom : 7800	(kg/m ³)
Dichtheid van vloeistof	Rov : 1000	(kg/m ³)
Hoogte van de beker	h : 120	(mm)
Hoogte v/d matrijs	hD : 40	(mm)
Wanddikte	sw : 0.5	(mm)
Bodemdikte	sb : 8	(mm)
Exponent v/d buitencontour	n1 : 4	(mm)
Exponent v/d binnencontour	n2 : 2	(mm)

Veranderen van waarden : Pijl omhoog.
 Accepteren van invoeren : <Return> of de <+> toets.

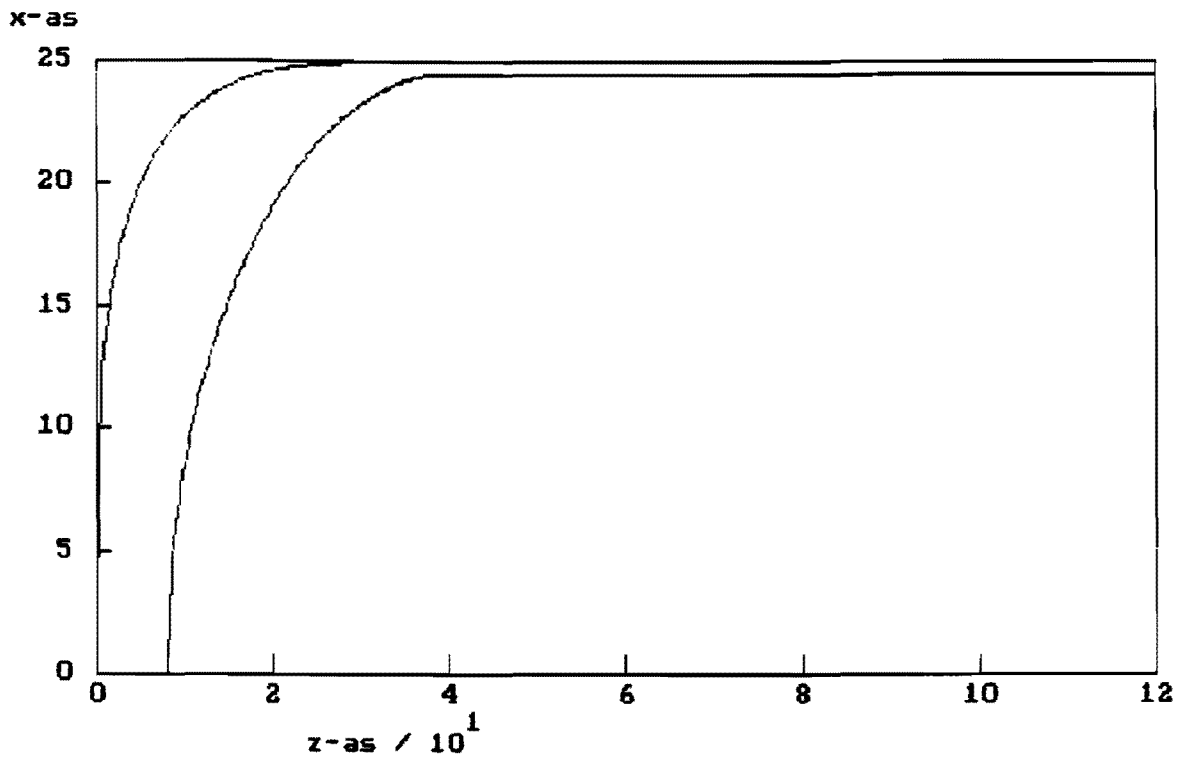
fig. 4.2.3.F.1 De ingevoerde geometrie.

Volume van het bekermateriaal	: 34.63 *10 ³	mm ³
Zwaartepunt elliptisch metalen deel	: 0.00, 13.58	mm
Zwaartepunt cilindrisch metalen deel	: 0.00, 80.00	mm
Zwaartepunt elliptisch vloeistof deel	: 0.00, 28.00	mm
Zwaartepunt vloeistof deel (boven hD)	: 5.88, 65.11	mm
Maximale schuinstelhoek	: 20.25	graden
Vloeistofhoogte	: 110.96	mm
n2-waarde	: 2	

De beker kantelt bij deze gegevens!

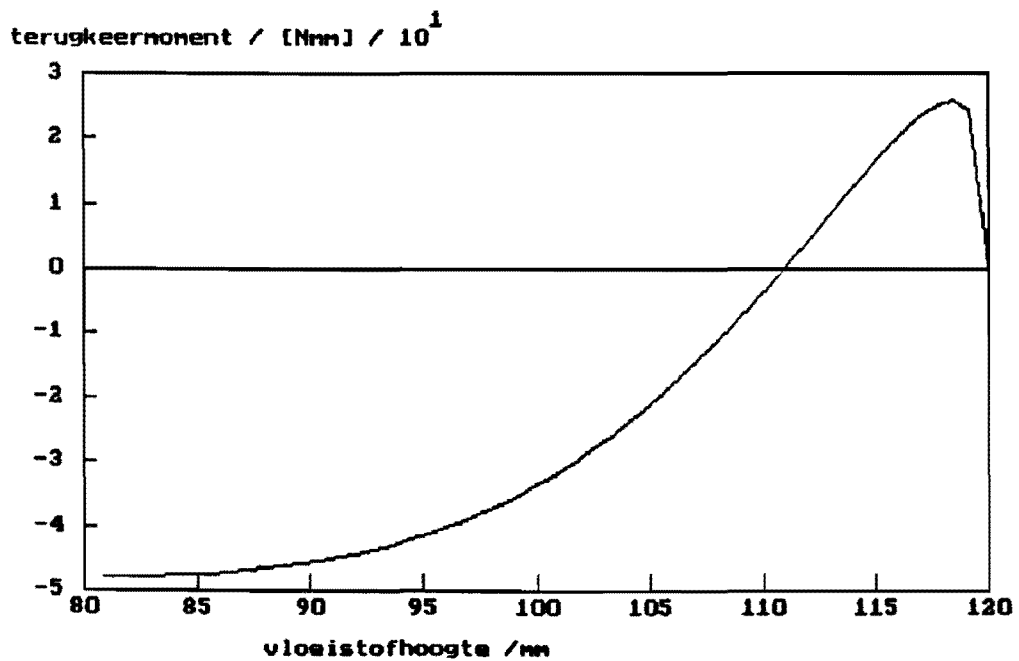
Wilt u de coördinaten laten afdrukken? (type j/n)

fig. 4.2.3.F.2 De resultaten.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.F.3 De vorm van de beker.



Druk op een toets voor vervolg.

fig. 4.2.3.F.4 De terugkeermomentencurve.

hoofdstuk 5: Conclusies

Door fig. 4.2.3.A, fig. 4.2.3.B en fig. 4.2.3.C met elkaar te vergelijken kan de invloed van exponent n_1 bekeken worden.

Door het verhogen van exponent n_1 (rechthoekigere vorm) wordt de kans groter dat de beker terugkeert naar de middenpositie. Bij een hogere exponent n_1 verloopt het contactpunt n_1 sneller (komt verder van de hartlijn te liggen) dan bij een lagere exponent n_1 . De krachten grijpen dan aan een zodanige kant van het raakpunt aan dat ze de beker laten terugkeren naar de middenpositie.

Ook blijkt dat exponent n_1 groter moet zijn dan exponent n_2 . Hierdoor is het metaalvolume beneden h_D en dus de zwaartekracht veel hoger. Dit is gunstig, daar het zwaartepunt van het superelliptische metaaldeel altijd aan de goede kant van het raakpunt ligt. Het superelliptische metaaldeel is het belangrijkste bij dit probleem. Daarom moet gezorgd worden voor:

- 1.) een groot superelliptisch metaalvolume. De zwaartekracht van dit deel is dan ook groot, daar de metaaldichtheid hoog is.
- 2.) een gunstige ligging van het raakpunt tussen beker en tafel.

Door fig. 4.2.3.A en fig. 4.2.3.D met elkaar te vergelijken kan de invloed van de buitendiameter (d_{max}) bekeken worden.

Door het vergroten van de buitendiameter wordt het volume van het superelliptische metaaldeel en dus ook de zwaartekracht groter. Daar het zwaartepunt van het superelliptische metaaldeel aan de goede kant van het raakpunt ligt, moet gezorgd worden voor een groot metaalvolume. Het grote metaalvolume zorgt dan n_1 voor een groot terugkeermoment.

Door fig. 4.2.3.E en 4.2.3.F met de andere figuren te vergelijken kan de invloed van de bekerhoogte bekeken worden. Door het verhogen van de bekerhoogte wordt de kans op omklappen vergroot.

Bij een hoge bekerhoogte ligt het zwaartepunt van het 'cilindrisch' vloeistofdeel ook erg hoog. Ook ligt het zwaartepunt aan de verkeerde kant van het raakpunt. Bij een geringe schuinstelling levert de zwaartekracht van dit deel dus een groot moment dat de beker wil omklappen.

Opgemerkt dient te worden dat voor het veranderen van de bekerhoogte, matrijs en stempel niet veranderd hoeven te worden. De hoogte van de beker is n_1 afhankelijk van het volume van de 'billet'. Door een 'billet' met een groter volume op de bodem van de matrijs te leggen kan een hogere beker gemaakt worden. Op deze manier kunnen met dezelfde matrijs en stempel veel verschillende bekervormen gemaakt worden.

Door verschillende geometrieën in te voeren en de resultaten onderling te vergelijken kan de gewenste bekervorm bepaald worden.

hoofdstuk 6: Literatuur

- [1] Dubbel "Taschenbuch der Maschinenbau"
- [2] Kammer R. "Numerieke methoden voor technici"
Delta Press B.V.,
Overberg (gem. Amerongen)
- [3] Klomp A.J.G. "Hogere wiskunde 1"
Runhaar Joh. Nijgh & van Ditmar educatief B.V.,
's-Gravenhage
- [4] Klomp A.J.G. "Hogere wiskunde 2"
Runhaar Joh. Nijgh & van Ditmar educatief B.V.,
's-Gravenhage