

**DIE ONTWIKKELING VAN 'N PARAMETRIESE MODEL VIR DIE SNY VAN RUIMTES SOOS DIE VAN MARGARIENBAKKIES****A J LUBBE****Departement Bedryfs- en Sisteemingenieurswese****Universiteit van Pretoria****OPSOMMING**

Wanneer driedimensionele snywerk met 'n numeriesbeheerde freesmasjien gedoen word, is dit nodig om van snyermiddelpuntprogrammering gebruik te maak, omdat snyerradiuskorreksie vir hierdie masjiene slegs in tweedimensionele verband bestaan. As gevolg van die snelle ontwikkeling van numeriesbeheerde eenhede is dit nou moontlik om met behulp van parameterprogrammering driedimensionele ruimtes te ontwikkel wat twee jaar gelede slegs met rekenaargesteuende ontwerpprogrammatuur moontlik was. Vir die akkurate programmering van driedimensionele ruimtes is 'n besondere visualisering van die verband tussen snyvlak en snyerposisie, sowel as 'n grondige wiskundige agtergrond, nodig.

**ABSTRACT**

When three dimensional machining is performed with a numerically controlled milling machine, then it is necessary to make use of cutter centre point programming because radius correction for these machines is possible in two dimensional context only. With the rapid development of numerically controlled units it is possible now to use parameter programming for the development of three dimensional spaces which was possible only with computer aided design software some two years ago. An exceptional visualization of the relationship between cutting surface and cutter position as well as a sound mathematical background is necessary to enable accurate programming of three dimensional spaces.

## 1. INLEIDING

In Suid Afrika word die meeste driedimensionele freeswerk gedoen met programme wat m.b.v. rekenaargesteunde ontwerp-programmatuur ontwikkel is. Hierdie programmatuur is duur om aan te koop en 'n spesiale naverwerker word vir elke tipe numeriesbeheerde masjien benodig. Firms wat programme op so 'n wyse vir vervaardigers ontwikkel, vra vir 'n program waarmee bv die binne- en buitekant van 'n margarienbakkie gesny kan word tot soveel as R15 000. Wanneer die dimensies van so 'n bakkie verander, word dieselfde hoë koste weer aangegaan.

Die beheereenhede van numeriesbeheerde vervaardigings-masjiene het die afgelope twee jaar sodanig ontwikkel dat sulke tipe ruimtes nou direk op die masjien m.b.v. parameterprogrammering geprogrammeer kan word. Hierdie tegniek hou die voordeel in dat alle dimensies verander kan word sonder dat die bestaande program verander. 'n Hele reeks vorme kan dus met 'n enkele parameterprogram gesny word.

Programmeerders van numeriesbeheerde masjiene is oor die algemeen bewus van dié tegniek, maar onkundig oor die werklike potensiaal daarvan. Voorbeelde van programme wat hierdie tegniek demonstreer is feitlik onbekombaar.

In hierdie artikel word die wiskundige verwantskappe afgelei, die effek van snyerradius ondersoek en 'n parameterprogram vir 'n tipiese ruimte ontwikkel.

## 2. DIE WISKUNDIGE MODEL

Wanneer 'n ruimte soos die binnekant van 'n margarienbakkie met sye teen verskillende hellings en hoekradius wat gelykmatig kleiner word vanaf die borand tot die bodem, geprogrammeer word, moet 'n verskeidenheid faktore in ag geneem word. As die ruimte van die bakkie wat regop staan, gesny word met 'n balneussnyer (kyk fig 1) en aangeneem word dat horisontale snitte al om die rand van die ruimte gesny word, geld die volgende:

$$R = f(r_s, \theta, d, r_1, r_2) \dots\dots\dots (1)$$

waar

R = hoekradius wat snyermiddelpunt volg op hoogte  $r_s$   
bokant boonste vlak

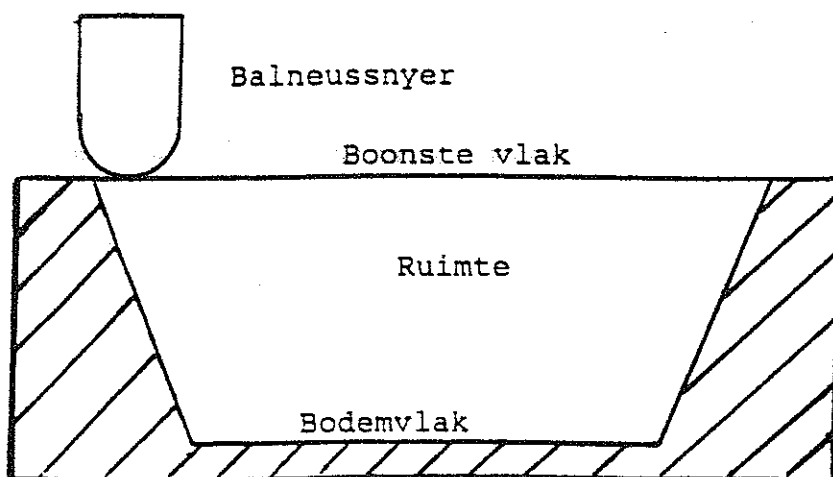
$r_s$  = radius van balneussnyer

$\theta$  = die kleinste hoek van die twee sye soos gemeet vanaf die horisontaal

d = diepte van ruimte

$r_1$  = hoekradius op boonste vlak

$r_2$  = hoekradius op bodemvlak is

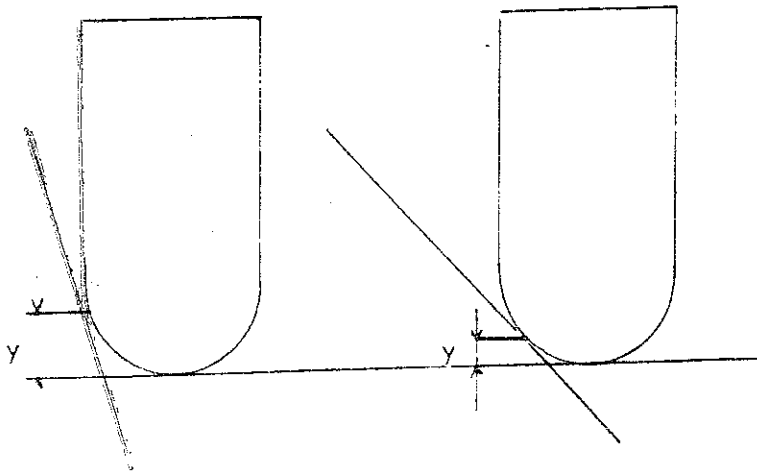


FIGUUR 1 Vertikale snit deur ruimte en balneussnyer

Wanneer die snyer 'n klein afstand  $d$  in die materiaal in beweeg teen die skuinsvlak af, sal  $R$  verklein met die hoeveelheid:

$$R = (r_1 - r_2) \cdot \Delta d / d \dots\dots\dots (2)$$

Dit is duidelik dat, as die snyer op diepte  $\Delta d$  al langs die kontoer van die ruimte horisontaal beweeg, die raakvlak van die snyer met die skuinsvlak nog bokant die materiaal sal wees. Aangesien die twee sye van die ruimte teen verskillende hoeke is, sal die raakvlak langs die twee sye in vertikale diepte van mekaar verskil. Dit het diè effek dat 'n radius gepas moet word tussen twee lyne wat, alhoewel hulle loodreg t.o.v. mekaar is, nie op dieselfde hoogte is nie (kyk Fig 2).



Figuur 2 Raakpunte van balneussnyer aan twee sye teen verskillende skuinstes

Omdat 'n driedimensionele sirkel nie gesny kan word nie, sal 'n klein foutjie altyd ontstaan. Hierdie fout word verminder deur die kleinste hoek van die twee sye te gebruik om die hoekradius  $R$  mee te bereken. Die rede hiervoor is dat, weens die vorm van die snyer, 'n groter radius op 'n hoër vlak gesny word as wat die geval sal wees op 'n vlak wat laer geleë is. Omdat die hoekradius progressief kleiner word na die bodem van die ruimte toe, werk hierdie twee effekte saam. Die skuinssy met die kleinste hoek veroorsaak 'n raakvlak wat hoër geleë is as diè van die ander sy.

As die balneussnyer se onderpunt aan die boonste horisontale vlak van die ruimte raak en die sykant teen die skuinsvlak met hoek  $\theta$  is, is die afstand ( $y$ ) vanaf die boonste vlak tot by die raakpunt aan die skuinssy

$$y = r_s \cdot (1 - \cos\theta) \dots\dots\dots(3)$$

'n Horisontale snit langs die kontoer op hierdie hoogte sal 'n werklike radius  $R_{Sny}$  in die hoek tussen die skuinssye tot gevolg hê waar

$$\begin{aligned} R_{Sny} &= r_1 + y/d \cdot (r_1 - r_2) \\ &= r_1 + r_s/d \cdot (1 - \cos\theta) \cdot (r_1 - r_2) \end{aligned}$$

Die middelpunt van die snyer volg egter nie hierdie radius nie, maar wel die geprogrammeerde radius

$$R = r_1 + r_s/d \cdot (1 - \cos\theta) \cdot (r_1 - r_2) - r_s \sin\theta \dots\dots\dots(4)$$

Dit is dieselfde asof 'n groeffrees met diameter  $2r_s \sin\theta$  die kontoer op 'n hoogte  $y$  bokant die boonste vlak volg.

**3. DIE INVLOED VAN SYVLAKHOEK EN SNYERDIAMETER OP DIE HOEKRADIUS**

Om die invloed van  $\theta$  en  $r_s$  aan te toon, is 'n ontleding gedoen vir tipiese afmetings van 'n margarinebakkie. Omdat  $r_s$  nooit groter kan wees as  $r_2$  nie, word slegs snyers met  $r_s \leq r_2$  in ag geneem.

Tabel 1 : Die invloed van verskillende snyvlakhoeke op die hoekradius as verskillende diameter balneussnyers aan die boonste vlak van die ruimte met  $d = 50$ ,  $r_1 = 20$  en  $r_2 = 10$  raak.

$r_s$ mm	Snyvlakhoeke in grade							
	10	20	30	40	50	60	70	80
	R op raakvlak (mm)							
1.00	19.83	19.67	19.53	19.40	19.31	19.23	19.19	19.18
2.00	19.66	19.34	19.05	18.81	18.61	18.47	18.38	18.36
3.00	19.49	19.01	18.58	18.21	17.92	17.70	17.58	17.54
4.00	19.32	18.68	18.11	17.62	17.22	16.94	16.77	16.72
5.00	19.15	18.35	17.63	17.02	16.53	16.17	15.96	15.90
6.00	18.98	18.02	17.16	16.42	15.83	15.40	15.15	15.08
7.00	18.81	17.69	16.69	15.83	15.14	14.64	14.34	14.26
8.00	18.64	17.36	16.21	15.23	14.44	13.87	13.54	13.44
9.00	18.46	17.03	15.74	14.64	13.75	13.11	12.73	12.62
10.00	18.29	16.70	15.27	14.04	13.05	12.34	11.92	11.80

Vir tipiese waardes van 70° en 80° vir die twee syvlakke respektiewelik, kan die fout in hoekradius tussen die radius wat geprogrammeer is en die radius wat werklik gesny word vir verskillende diameter snyers, soos saamgevat in tabel 2, bepaal word.

Tabel 2: Fout in hoekradius tussen geprogrammeerde radius en radius wat gesny word

$r_s$ mm	Y70 mm	Y80 mm	$\Delta Y = Y70 - Y80$ mm	$\Delta R$ mm	$\Delta R_1$ mm	Fout mm
1	0.658	0.826	0.168	0.10	0.034	0.024
2	1.316	1.653	0.337	0.022	0.067	0.045
3	1.974	2.479	0.505	0.034	0.101	0.067
4	2.632	3.305	0.673	0.046	0.135	0.089
5	3.29	4.131	0.841	0.058	0.168	0.110
6	3.948	4.957	1.009	0.070	0.202	0.132
7	4.606	5.783	1.177	0.082	0.235	0.153
8	5.264	6.609	1.348	0.094	0.269	0.175
9	5.922	7.435	1.513	0.106	0.303	0.197
10	6.58	8.261	1.68	0.120	0.336	0.216

$r_s$  = snyerradius

Y70 en Y80 is die waardes van y (vgl 3) by 70° en 80° respektiewelik.

$\Delta R$  is die verskil tussen geprogrammeerde radius by 70° en 80° soos verkry kan word uit Tabel 1.

$\Delta R_1$  is die verskil tussen verlangde radius by 70° en 80° (Vgl 2)

Fout =  $\Delta R_1 - \Delta R$

Uit Tabel 2 is dit duidelik dat as 'n akkuraatheid van 0,1 mm verlang word, 'n balneussnyer met 'n diameter van kleiner as 10 mm gebruik moet word. As 'n akkuraatheid van 0,01 mm egter verlang word, kan deur ekstrapolasie bepaal word dat 'n balneussnyer met 'n diameter kleiner as een millimeter gebruik moet word.

Vir 'n wanddikte van 0,1 mm vir 'n margarinebakkie wat 10 persent in dikte kan wissel, is dit dus prakties onmoontlik om die vorm vir die plastieksputproses met 'n balneussnyer te sny.

#### 4. VERVANGING VAN BALNEUSSNYER MET 'N RADIUSGROEFFREES

Daar moet altyd vir volledige driedimensionele snywerk, van 'n balneussnyer gebruik gemaak word. In hierdie geval word die driedimensionele ruimte egter gevorm deur  $2\frac{1}{2}$ -as-beweging. Dit impliseer dat die drie asse van die masjien nie gelyktydig beweeg nie, maar slegs twee van die moontlike drie asse gelyktydig beweeg.

Wanneer 'n driedimensionele ruimte op so 'n wyse gevorm word, kan 'n radiusgroeffrees (bullnose) gebruik word. Die ronding op die onderrand van die snyer word dan as 'n klein balneussnyer beskou. Die verskil tussen die diameters van die klein balneussnyer en die werklike radiusgroeffrees moet egter in so 'n geval in die rekenaarprogram in berekening gebring word.

Die voordeel van die gebruik van 'n radiusgroeffrees teenoor 'n balneusfrees is dat 'n snyer met 'n radius van selfs dieselfde grootte as die onderste radius van die ruimte wat gesny moet word, gebruik kan word. Die radius op die rand van die radiusgroeffrees verskaf die akkuraatheid.

Vergelyking (4) word in so 'n geval aangepas na

$$R = r_1 + r_s/d \cdot (1 - \cos\theta)(r_1 - r_2) - r_s \sin\theta - (r - r_s)$$

waar

$r$  = radius van die radiusgroeffrees ( $\leq r_2$ ) en

$r_s$  = radius aan die onderrand van die radiusgroeffrees is.

5. **PARAMETERPROGRAM VIR 'N MAHO-FREESMASJIE MET PROGRAMMATUUR F600**

Die volgende parameterprogram is ontwikkel deur gebruik te maak van poolkoördinate. Dit neem die effek van die snyer, of dit 'n balneussnyer of 'n radiusgroeffrees is, in ag.

```
%PM9000
N9000
N1 G18 F1000 S1000 T1 M67
N2 G54 M3
N3 G98 X-50 Y-35 Z-40 I100 J35 K80
N4 G99 X-51 Y-30 Z-41 I102 J30 K82
N5 E1=100 ( LENGTE)
N6 E2=60 (WYDTE)
N7 E3=30 (DIEPTE)
N8 E4=10 ( HALF DIAMETER VAN SNYER)
N9 E5=0 (RADIUS VAN RADIUSGROEFFREES)
N10 E6=20 (RADIUS BY BOKANT)
N11 E7=11 (RADIUS BY BODEM)
N12 E8=70 (HOEK VAN KORTSY)
N13 E9=80 (HOEK VAN LANGSY)
N14 E10=2 (SNITDIEPTE)
N15 E20=E6+E4*(1-cos(E8)*(E6-E7):E3)
N16 E20=E20-E4*sin(E8)
N17 E21=E10*(E6-E7):E3
N18 E22=E1:2-E4*tan(E8:2)
N19 E23=E2:2-E4*tan(E9:2)
N20 E24=E10:tan(E9)
N21 E25=E10:tan(E8)
N22 G0 Y2 Z0 X=-E22
N23 G1 Y0
N24 E23=E23-E24 E22=E22-E25 E20=E20-E21
N26 G91
N27 G1 X=E25 Y=-E10
N28 G11 B90 B1=0 R1=E20 L1=E22*2 L=E23 R=E20
N29 G11 B-90 B1=180 R1=E20 L1=E22*2 L=E23*2 R=E20
N30 G11 B90 L=E23
N31 G29 K=E10 E26=E3-1 N=24
N32 G0 Y100 M30
```

Die nulpunt is in die middel van die bakkie (soos van bo gesien) op die oppervlak van die materiaal gekies. alle afmetings word beskryf met parameters E1 tot E10.

6. **WAARDEBEPALING**

Vir die programmering van driedimensionele ruimtes wat met  $2\frac{1}{2}$ -as-beweging gesny kan word, is dit beslis baie meer voordelig om van parameterprogrammering gebruik te maak as van rekenaargesteuende ontwerpprogrammatuur.



Die kundigheid om hierdie tegniek met vertroue te gebruik is nog nie in Suid-Afrika gevestig nie. Met die beskikbaarheid van simulators vir hierdie doel, is dit nou egter moontlik om sodanige programme weg van die werkswinkelvloer te ontwikkel en te ontfout.

Alhoewel die voorbeeld slegs vir 'n MAHO-freesmasjien geskryf is, kan dit redelik maklik vir enige ander beheereenheid, wat die fasiliteit van parameterprogrammering bied, geformateer word.

Die limiet in die potensiaal van hierdie tegniek word deur die programmeerder, en nie deur die tegniek nie, bepaal.

#### 7. BRONNELYS

1. KELLER, "CNC-Systeme, simulations-system MAHO CNC 432", CNC DIKARTIK + TECHNIK, Wuppertal, 1989.
2. Manfred Berg, "MAHO Training Literature", MAHO AG, Pfronten, 1990.
3. MAHO Aktiengesellschaft, "Programmier- und Bedienungsanleitung" MAHO AG, Pfronten, 1988.