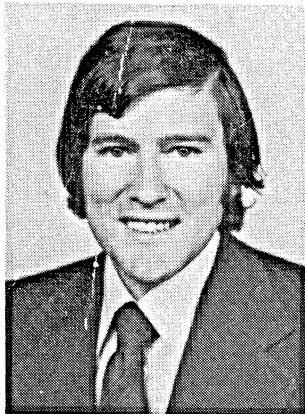


# 'N GEVALLESTUDIE OOR DIE TOEPASSING VAN 'N OPTIMALISERINGSALGORITME VIR MULTI-MODELVERVAARDIGING OP 'N GEGANGDE PRODUKSIELYN, UITGESLUIT SKEDULERING



Dr. P.G. Steyn, Pr. Ing.  
Senior Lektor, Departement Bedryfseconomie  
Universiteit van Suid-Afrika

*In the previous issue of Business Management an optimisation algorithm for multimodel production on a paced production line was presented. This publication deals with the application of the algorithm to an actual production facility excluding the scheduling phase. The applicability of the algorithm is tested in respect of determining an optimal cycle time for the multi-model production line, optimal batch sizes and balancing the production line for three product types.*

## Beskrywing van die toepassing

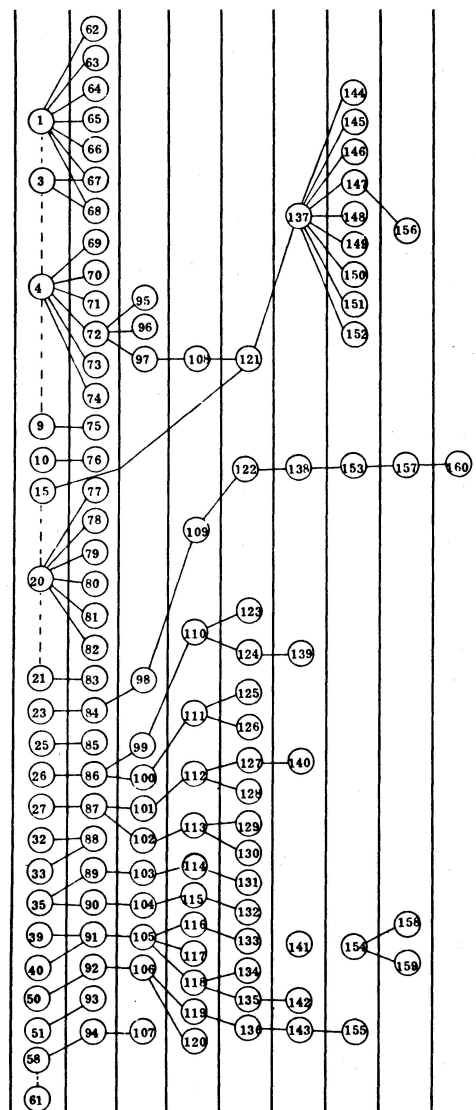
Met die publikasie wat in die vorige uitgawe van Bedryfsleiding verskyn het, is 'n optimaliseringsalgoritme vir multi-modelvervaardiging op 'n gegangde produksielyn onder toestande van normale konkurensie bespreek.<sup>1</sup> Die huidige publikasie handel oor die toepassing van die voorgestelde algoritme op 'n werklike bedryfsgeval, uitgesluit die gedeelte wat handel oor skedulering. Die toepassing van die skeduleringalgoritme sal in 'n hieropvolgende publikasie bespreek word.

Die doel van die proefneming met die werklike bedryfsmodel is om die praktiese toepasbaarheid van die voorgestelde algoritme te toets. Die gedeelte wat hier behandel word, handel spesifiek oor die bepaling van 'n optimum siklustyd, optimum lotgroottes en lynbalansering.

Die onderneming onder beskouing vervaardig verskillende modeltipes van 'n motorvoertuig op 'n gegangde produksielyn volgens die gemengde modelmetode. Modeltipes word volgens hierdie metode ongeorden op die produksielyn geplaas, terwyl 'n poging aangewend word om te verhoed dat oor- of onderbesetting by die werkstasies voorkom. Tot vyf werkers word soms gelyktydig in een werkstasie aangetref, wat dikwels 'n groot mate van steuring veroorsaak.

Met die toepassing van die voorgestelde multimodel algoritme op hierdie produksieproses word daar eerstens 'n optimum siklustyd van die produksielyn bepaal. Optimum lotgroottes word vir die modeltipes bereken en lynbalansering van die werkstasies word uitgevoer na aanleiding van die optimum siklustyd. Die gegewens vir die uitvoering van die studie verskyn in

Figuur 1: VOORGANGERSDIAGRAM VAN DIE AKTIWITEITE



figuur 1 asook tabelle 1 en 2. Om ruimte te bespaar word slegs 'n gedeelte van tabel 1 weergegee.

Die invloed wat 'n toename in markaanvraag na enige modeltipe op die resultate van die studie oor die werklike bedryfsmodel uitoefen, word getoets deur die markaanvraag na die modeltipes onderskeidelik met 20 persent te verhoog.

'n Proefneming word gedoen met die oog op besparing van beplanningskoste deur 'n plusgrens by

die optimum siklustyd te voeg vir doeleindes van sneller lynbalansering. Eers word 'n plusgrens van 1 persent toegelaat, waarna die proefneming herhaal word met 'n plusgrens van 0,5 persent.

'n Sensitiwiteitsanalise word uitgevoer om die invloed van 'n toename in magasynkoste, rente- en risiko-koste, voorbereidingskoste, konstante koste en verkoopprijs op die optimum lotgroottes en algemene kostestruktuur van die wiskundige bedryfsmodel te meet.

**TABEL 1**  
**LYS AKTIWITEITE MET AKTIWITEITSTYPE VIR ELKE MODELTIPE WAT OP**  
**DIE MULTIMODELLYN VERVAARDIG WORD**

Aktiwiteit No.	Tye vir modeltipes						
	0 Links	2 Middel	1 Regs	1	2	3	Voorgangers
79	X				2,24	2,26	20
80			X		2,21		20
81	X				2,21		
82		X		2,21			20
83		X		2,23	2,67	1,99	21
84		X		1,51	2,43	2,34	23
85		X				1,32	25
86			X	2,21	2,21	2,21	26
87	X			2,21	2,21	2,21	27
88		X		1,11	1,12	1,11	32,33
89			X	1,64	1,63	1,71	35
90	X			1,64	1,63	1,71	35
91		X		1,53	1,52	1,61	39,40
92			X	1,64	1,66	1,69	50
93		X		1,84	1,85	2,11	51
94		X			1,71	2,11	58
95			X	1,53			72
96	X			1,53			72
97		X		1,58	1,67	2,92	72
98		X		1,78	1,34	1,66	84
99			X	0,91	0,86	1,39	86
100			X	0,91	0,86	1,39	68
101	X			0,91	0,86	1,39	87
102	X			0,91	0,86	1,39	87
103			X	1,51	1,51	1,83	89
104	X			1,51	1,51	1,83	90
105		X		1,41	1,42	1,52	91
106			X	1,10	1,21	1,24	92
107		X		1,53	1,68		94
108		X		1,72	1,82	2,12	97
109		X		1,71	1,72	1,84	98
110		X		1,25	1,85	1,84	99
111			X	1,25	1,85	1,84	100
112	X			1,25	1,85	1,84	101
113	X			1,25	1,85	1,84	102
114			X	1,11	1,25	1,84	103
115	X			1,11	1,25	1,48	104
116		X		1,94	1,99	1,93	105
117		X		1,53	1,64	1,55	105
118		X		1,12	1,31	1,54	105
119			X	1,65	1,86	1,71	106
120		X	X	1,79			106
121		X		2,38	2,11	2,17	15,108

Tabel 2

## GEGEWENS VIR BEREKENING VAN DIE OPTIMUM SIKLUSTYD EN EKONOMIESE LOTGROOTTES

DATA	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	
$C_{maks, h}$	7,80	7,65	7,75	maks siklustyd in minute
$C_B$	7,65	7,65	7,65	beperkende siklus tyd in minute
$\Sigma x_{tx}$	197,68	223,15	254,66	totale taakinhoud in minute
$a_{c,h}$	25/dag	20/dag	10/dag	verkooptempo in eenhede per dag
$a_{c,h}$	0,0556/min	0,0444/min	0,0222/min	ditto per min.
$*C_{opt}$				optimum sklustyd
$\sum_{i=1}^n c_{i,h}$	R1 100	R1 150	R1 250	konstante koste
$\sum_{i=1}^n S_{i,h}$	R1 500	R1 500	R1 700	voorbereidings-koste
$B_h$	$0,44 \times 10^{-2}$	$0,45 \times 10^{-2}$	$0,51 \times 10^{-2}$	magasynkoste per eenheid, tyds-eenheid
$I_h$	$0,95 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-2}$	$1,05 \times 10^{-2}$	rente en risiko-koste per eenheid tydseenheid
$Y'_h$	R1 200	R1 250	R1 350	verkoopprijs
$*Q_{e,h}$				ekonomiese lotgrootte

\*Skoftyd is 450 minute

## BEPALING VAN DIE OPTIMUM SIKLUSTYD

Omdat die som van die markaanvrae na die modeltipes 'n beperkende faktor by die bepaling van die optimum siklustyd van die produksielyn is, moet dit eers bepaal word. Die totale produktiewe skoftyd is 450 minute. Tabel 2 toon die markaanvraagtempo van elke modeltipe aan. Die som van hierdie markaanvraagtempo's is soos volg:

$$\sum_{h=1}^3 a_{c,h} = 0,0556 + 0,0444 + 0,0222 = 0,1222 \text{ eenhede per minuut}$$

Die resiproke getal van hierdie waarde lewer 'n verlangde siklustyd volgens markaanvraag soos volg:

$$\sum_{h=1}^3 a_{c,h}^{-1} = 8,18 \text{ minute}$$

Daar is egter onvoorsiene ledige tyd en voorbereidingstyd gedurende 'n skof waartydens produksie nie plaasvind nie.

Hierdie tyd beloop ongeveer 45 minute per skof wat daartoe aanleiding gee dat slegs 405 minute van die

totale skoftyd van 450 minute produktief is. Die gevolg hiervan is dat die som van die markaanvrae nou 'n siklustyd van

$$8,18 \times \frac{405}{450} = 7,362 \text{ minute}$$

verg om in die mark se behoefte te kan voorsien.

'n Beperkte siklustyd van 7,65 minute word deur die fisieke beperkings van die produksielyn vereis. Hierdie waarde dien as die boonste grens vir siklustye waartussen daar geïtereer word om 'n reeks minimum ledigetydsiklustye en ledigetydindekswaardes te vind. Hierdie iterasie word met behulp van die rekenaar gedoen en die resultaat verskyn in tabel 3. Die gegewens in tabel 3 toon dat 31 werkstasies vir model tipe 2 'n minimum siklustyd van 7,19 minute lewer en dit word gebruik as die onderste grens vir siklustye waartussen daar geïtereer word.

Omdat die minimum ledigetydsiklustye altyd ooreenstem met 'n siklustyd waar een van die modeltipes se taakinhoud presies eweredig tussen die werkstasies verdeel word, kan hierdie punte eenvoudig bereken word deur die totale taakinhoud deur die aantal werkstasies te deel. Die ledigetydindekswaardes by hierdie siklustye en die helling van die grafiek tussen die siklustye is egter onbekend en kan slegs bepaal word deur toepassing van die wiskundige uitdrukking daarvoor ontwikkel.<sup>1</sup>

Volgens die ledigetydindekswaardes in tabel 3 (sien die uittreksel) blyk dit dat die optimum punt by 'n siklustyd van 7,32 minute is waar die ledigetydindeks-

waarde 16164 is. Hierdie resultaat word grafies geïllustreer in figuur 2. 'n Ontleding van siklustyd 7,32 se plusgrens toon dat die helling van die grafiek redelik plat is oor 'n reeks siklustye, wat dit vir die doel van lynbalansering ideaal maak vir die spesifisering van 'n plus-aanvaarbaarheidsgrens.

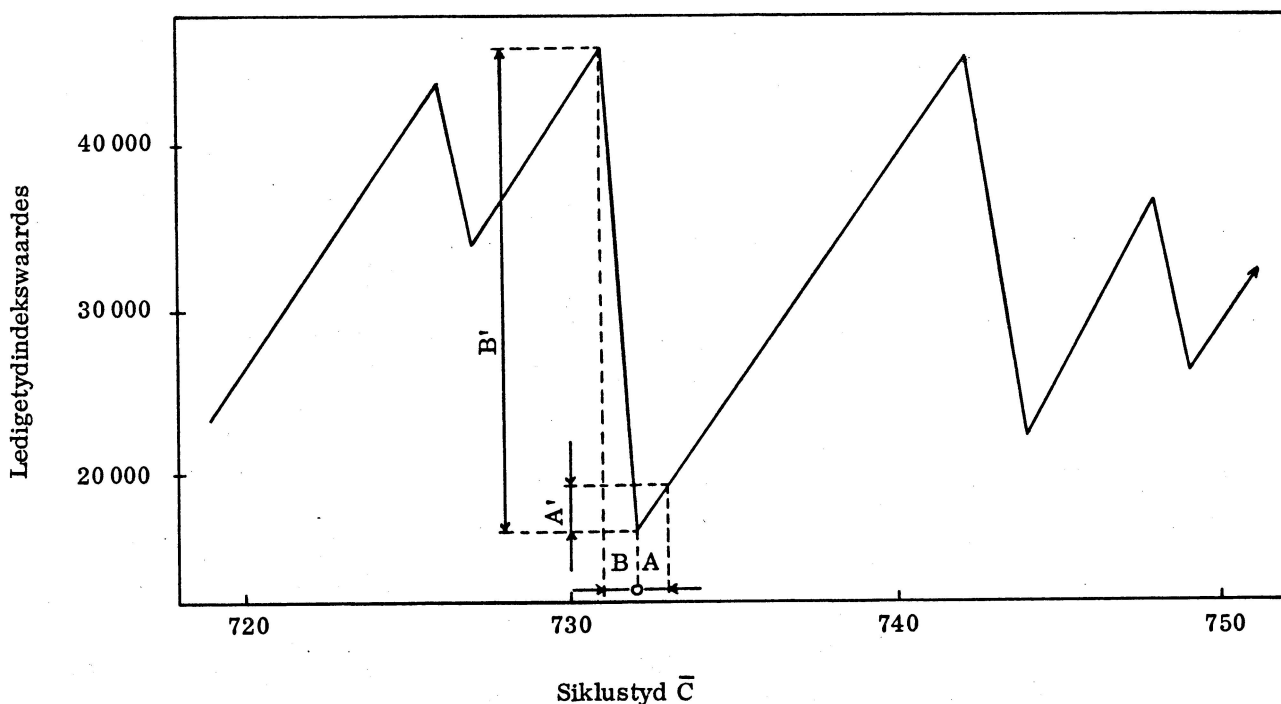
Anders as 'n hipotetiese geval wat ondersoek is en nie hier bespreek word nie, is daar geen ander siklustyd wat 'n ledigetydindekswaarde lewer wat naby is aan die 16164 van die 7,32 minute nie. Die naaste is 22986 by 7,19 minute (nie getoon in tabel 3). Die optimum siklustyd van 7,32 minute stem amper ooreen met die verlangde 7,362 minute van die markaanvraag. Wanneer 'n plusgrens van een persent by die optimum siklustyd toegelaat word vir doeleindes van lynbalansering, word die siklustydveldwydte waarby gebalanseer word 7,32 tot 7,39 minute en is die verlangde 7,362 minute naby die gemiddelde van hierdie grense (sien die volgende paragraaf).

### Resultate behaal met die voorgestelde lynbalanseringstegniek

Die resultaat van die toepassing van die geprogrammeerde lynbalanseringstegniek is dat die werkstasies van die verskillende modeltipes se taakinhoud presies volgens die optimum siklustyd balanseer. Die duur van die program is egter baie lank en neem meer as drie uur sentrale rekenaar-eenheid-tyd in beslag. Belangrik hier is egter dat daar weer eens 'n optimum balansering van die produksielyn plaasvind. Sien tabel 4 wat slegs 'n uittreksel uit die lynbalanseringsresultaat van model tipe 2 is.

Figuur 2

### VOORSTELLING VAN DIE LEDIGETYDINDEKSWAARDES TEEN SIKLUSTYD



Tabel 3

## BEPALING VAN DIE OPTIMUM SIKLUSTYD -- RESULTAAT

	CB 765	AANTAL MODELLE 3	INTERVAL 1	AANTAL AKTIWITEITE 160	MAKS 4
TOTALE TYD VIR : MODEL 1					
		19768	MODEL 2 22315	MODEL 3 25466	
NMIN(1)=	26	CMIN(1,1)=	760;		
NMIN(1)=	27	CMIN(2,1)=	732;		
NMIN(2)=	30	CMIN(1,2)=	743;		
NMIN(2)=	31	CMIN(2,2)=	719;		
NMIN(3)=	34	CMIN(1,3)=	749;		
NMIN(3)=	35	CMIN(2,3)=	727;		
NMIN(1)=	28;				
NMIN(2)=	32;				
NMIN(3)=	36;				
IDLE(13)=		46098;			
CU(14)=	732;				
CU(14)=	732		CMIN(2,1)=	732	NMIN(1)= 27;
IDLE(14)=		16164;			
CU(15)=	733;				
IDLE(15)=		19125;			
CU(16)=	734;				
IDLE(16)=		22086;			
CU(17)=	735;				
IDLE(17)=		25047;			
CU(18)=	736;				
IDLE(18)=		28008;			
CU(19)=	737;				
IDLE(19)=		30969;			
CU(20)=	738;				
IDLE(20)=		33930;			
CU(21)=	739;				
IDLE(21)=		36891;			
CU(22)=	740;				
IDLE(22)=		39852;			
CU(23)=	741;				
IDLE(23)=		42813;			
CU(24)=	742;				
IDLE(24)=		45774;			
CU(25)=	743;				
CU(25)=	743		CMIN(1,2)=	743	NMIN(2)= 30;
IDLE(25)=		21987;			
CU(26)=	744;				
IDLE(26)=		24912;			

Tabel 4

## OPTIMUM LYNBALANSERING – RESULTAAT (SLEGS UITTREKSEL)

## MODEL 2

## WERKSTASIE

1	TAAK	1	2	18	32	33			KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	373	66	51	111	131			TOT. TYD = 732
2	TAAK	3	4	6	10	19	60		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	236	55	140	135	51	115		TOT. TYD = 732
3	TAAK	9	12	23	26				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	179	145	210	198				TOT. TYD = 732
4	TAAK	7	11	14	51	61			KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	140	145	230	166	51			TOT. TYD = 732
5	TAAK	13	16	55					KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	230	236	266					TOT. TYD = 732
6	TAAK	15	52	68					KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	399	170	163					TOT. TYD = 732
7	TAAK	21	34	43	64				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	271	164	150	147				TOT. TYD = 732
8	TAAK	17	27	58	88				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	236	198	186	112				TOT. TYD = 732
9	TAAK	22	30	53	65	67			KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	246	181	84	58	163			TOT. TYD = 732
10	TAAK	28	29	75	97				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	176	176	213	167				TOT. TYD = 732
11	TAAK	31	44	46	63				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	174	150	235	173				TOT. TYD = 732
12	TAAK	35	38	91	93				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	164	231	152	185				TOT. TYD = 732
13	TAAK	45	59	89	105	118			KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	181	115	163	142	131			TOT. TYD = 732

Om die probleem van 'n lang duur die hoof te bied is 'n plus 1 persentaanvaarbaarheidsgrens bo 7,32 minute ingevoer en 'n herbalansering van die produksielyn uitgevoer. 'n Uittreksel van die resultaat van die lynbalansering vir modeltipe 2 van die drie modeltipes word aangetoon in tabel 5. Die proefneming het die goeie resultaat gelewer dat 'n balans in slegs 19,22 minute gevind is teenoor die 3 uur-plus van die vorige geval, ten spyte van die swak voorgangsorte teenwoordig.

Hierdie stap is opgevolg deur 'n aanvaarbaarheidsgrens van plus 0,5 persent te spesifiseer waarop 'n balans in 30,66 minute gevind is, terwyl die taakinhoud van die werkstasies gewissel het van 7,32 tot 7,35 minute, uitgesluit die laaste twee tot vier werkstasies wat uiteraard nooit presies gebalanseer kan word nie. Die lynbalansering vir modeltipe 2 van die drie modeltipes word aangetoon in tabel 6. Wanneer in ag geneem word dat daar gemiddeld meer as 30 werkstasies vir die onderskeie modeltipes bestaan, is hierdie 'n besondere goeie oplossing.

Die gevolgtrekking kan gemaak word dat die lynbalanseringsalgoritme uitstekend funksioneer vir bedryfsprobleme van groot omvang en dat 'n optimum oplossing gegeneer word. Verder kan bygevoeg word dat 'n plusgrens van slegs 0,5 persent bokant die optimum siklustydwaaarde die totale duur van die program drasties verminder en aanleiding gee tot 'n besparing in beplanningskoste.

#### Berekening van die optimum produksielotgroottes van die modeltipes

Die kostesyfers, verkoopprijs en markaanvraagtempo's in tabel 2 aangetoon en die optimum siklustyd van 7,32 minute is as data gebruik vir die bepaling van optimum lotgroottes van die modeltipes. Die resultaat van hierdie toepassing verskyn in tabel 7. Optimum lotgroottes van 30,30 en 34 word bepaal vir onderskeidelik modeltipes 1, 2 en 3. Die gevolgtrekking word gemaak dat die algoritme tot op hierdie stadium doeltreffend funksioneer vir werklike bedryfsgevalle.

Tabel 5 (Slegs uittreksel)

RESULTATE VAN LYNBALANSERING VIR MODELTIPE 2 VERKRY DEUR TOEPASSING VAN  
DIE PLUS 1% AANVAARBAARHEIDSGRENS BOKANT OPTIMUM SIKLUSTYD –

MODEL 2

WERKSTASIE

11	TAAK	38	48	55			KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	231	238	266			TOT. TYD = 735
12	TAAK	46	47	83			KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	235	235	267			TOT. TYD = 737
13	TAAK	49	51	57	68		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	237	166	171	163		TOT. TYD = 737
14	TAAK	53	63	64	67	92	KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	84	173	147	163	166	TOT. TYD = 733
15	TAAK	76	90	94	97		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	231	163	171	167		TOT. TYD = 732
16	TAAK	78	86	106	107		KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	224	221	121	168		TOT. TYD = 734
17	TAAK	84	87	93	101		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	243	221	185	86		TOT. TYD = 735
18	TAAK	89	91	99	103	108	KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	163	152	86	151	182	TOT. TYD = 734
19	TAAK	62	98	102	105		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	373	134	86	142		TOT. TYD = 735
20	TAAK	100	109	110	114	117	KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	86	172	185	125	164	TOT. TYD = 732
21	TAAK	79	112	118	128		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	224	185	131	197		TOT. TYD = 737
22	TAAK	111	116	119	122		KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	185	199	186	165		TOT. TYD = 735
23	TAAK	104	113	129	138		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	151	185	283	117		TOT. TYD = 736
24	TAAK	121	123	136	141		KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	211	211	196	114		TOT. TYD = 732

Tabel 6 (Slegs uittreksel)

RESULTATE VAN LYNBALANSERING VIR MODELTIPE 2 VERKRY DEUR TOEPASSING VAN  
DIE PLUS 0,5% AANVAARBAARHEIDSGRENS BOKANT OPTIMUM SIKLUSTYD

MODEL 2

WERKSTASIE

1	TAAK	1	2	3	65				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	373	66	236	58				TOT. TYD = 733
2	TAAK	4	6	7	9	19	52		KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	55	140	140	179	51	170		TOT. TYD = 735
3	TAAK	10	12	13	18	31			KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	135	145	230	51	174			TOT. TYD = 735
4	TAAK	11	14	22	32				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	145	230	246	111				TOT. TYD = 732
5	TAAK	15	26	53	61				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	399	198	84	51				TOT. TYD = 732
6	TAAK	17	23	57	60				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	236	210	171	115				TOT. TYD = 732
7	TAAK	16	30	33	58				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	236	181	131	186				TOT. TYD = 734
8	TAAK	21	27	55					KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	271	198	266					TOT. TYD = 735
9	TAAK	34	37	50	97				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	164	231	170	167				TOT. TYD = 732
10	TAAK	28	29	38	43				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	176	176	231	150				TOT. TYD = 733
11	TAAK	44	45	46	51				KANT = REGS EN MIDDEL
	TYD	150	181	235	166				TOT. TYD = 732
12	TAAK	35	48	64	93				KANT = LINKS EN MIDDEL
	TYD	164	238	147	185				TOT. TYD = 734

Tabel 7

BEPALING VAN OPTIMUM LOTGROOTTES – RESULTAAT

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.19	88	1134.09	2.93	64.53	-0.39	0.35	30

MODEL 2

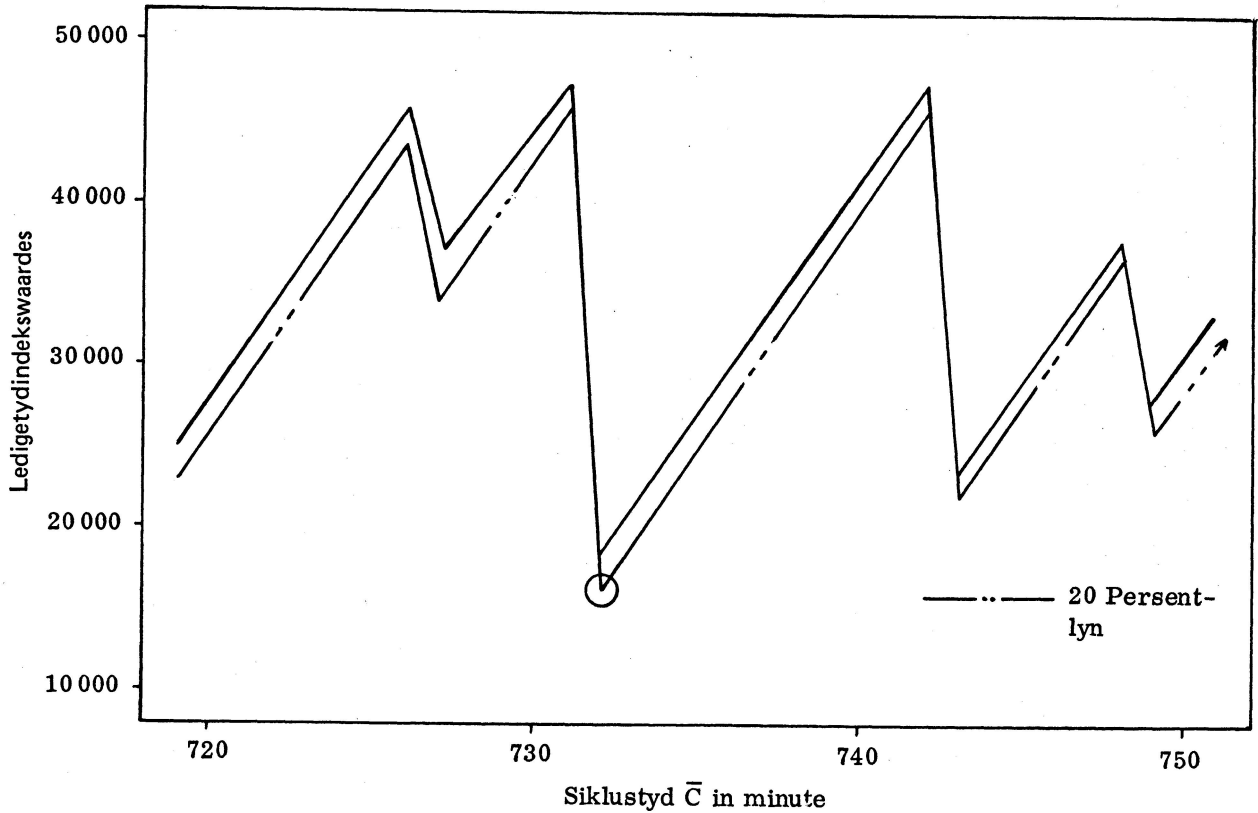
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.25	77	1188.96	2.56	59.03	-0.44	0.40	30

MODEL 3

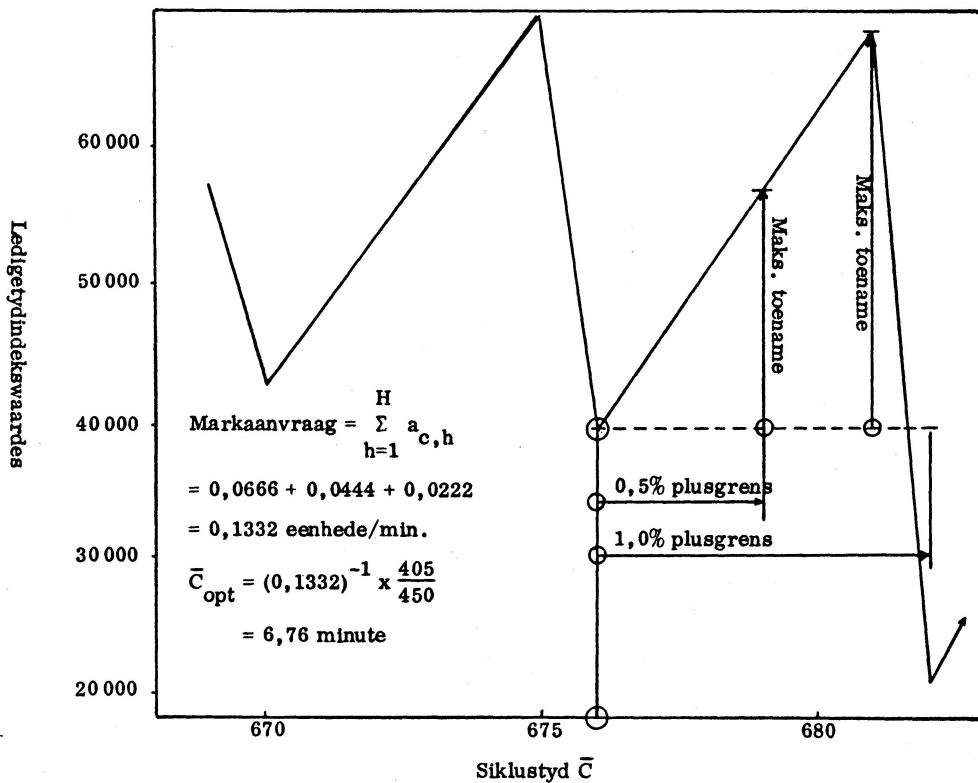
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.50	58	1308.62	1.70	42.64	0.27	0.59	34



**Figuur 3**  
**GRAFIESE VOORSTELLING VAN DIE EFFEK WAT 'N 20 PERSENT TOENAME IN DIE**  
**MARKAANVRAAG VAN DIE MODELTIPE OP DIE OPTIMUM SIKLUSTYD VAN DIE**  
**PRODUKSIELYN UITOEFEN**



**Figuur 4**  
**VOORSTELLING VAN LEDIGETYDINDEKSWAARDES TEENOOR SIKLUSTYD MET**  
**INAGNEMING VAN DIE SIKLUSTYD WAT DEUR DIE MARKAANVRAAG VEREIS**  
**WORD WANNEER MODELTIPE 1 SE MARKAANVRAAG MET 20 PERSENT STYG**



Tabel 8

## RESULTATE VERKRY DEUR TOEPASSING VAN DIE OPTIMALISERINGSALGORITME

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

Y	C	S	B	I	AC			
1200.00	1100.00	1500.00	0.0044	0.0095	0.0556			
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE	
0.19	88	1134.09	2.93	64.53	-0.39	0.35	30	

MODEL 2

Y	C	S	B	I	AC			
1250.00	1160.00	1500.00	0.0045	0.0100	0.0444			
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE	
0.25	77	1188.96	2.56	59.03	-0.44	0.40	30	

MODEL 3

Y	C	S	B	I	AC			
1350.00	1250.00	1700.00	0.0051	0.0105	0.0222			
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE	
0.50	58	1308.62	1.70	42.64	0.27	0.59	34	

Tabel 9

## RESULTATE VERKRY NA 'N 20% TOENAME IN MARKAANVRAAG VAN MODELTIPE 1

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

Y	C	S	B	I	AC			
1200.00	1100.00	1500.00	0.0044	0.0095	0.0667			
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE	
0.17	93	1132.25	3.10	68.19	-0.25	0.33	30	

MODEL 2

Y	C	S	B	I	AC			
1250.00	1150.00	1500.00	0.0045	0.0100	0.0444			
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE	
0.25	77	1188.96	2.56	59.03	-0.44	0.40	30	

MODEL 3

Y	C	S	B	I	AC			
1350.00	1250.00	1700.00	0.0051	0.0105	0.0222			
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE	
0.50	58	1308.62	1.70	42.64	0.27	0.59	34	

Tabel 10

## RESULTATE VERKRY NA 'N 20% TOENAME IN MARKAANVRAAG VAN MODELTIPE 2

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

Y	C	S	B	I	AC		
1200.00	1100.00	1500.00	0.0044	0.0095	0.0556		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.19	88	1134.09	2.93	64.53	-0.39	0.35	30

MODEL 2

Y	C	S	B	I	AC		
1250.00	1150.00	1500.00	0.0045	0.0100	0.0532		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.21	84	1185.71	2.80	64.39	0.38	0.36	30

MODEL 3

Y	C	S	B	I	AC		
1350.00	1250.00	1700.00	0.0051	0.0105	0.0222		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.50	58	1308.62	1.70	42.64	0.27	0.59	34

Tabel 11

## RESULTATE VERKRY NA 'N 20% TOENAME IN MARKAANVRAAG VAN MODELTIPE 3

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

Y	C	S	B	I	AC		
1200.00	1100.00	1500.00	0.0044	0.0095	0.0556		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.19	88	1134.09	2.93	64.53	-0.39	0.35	30

MODEL 2

Y	C	S	B	I	AC		
1250.00	1150.00	1500.00	0.0045	0.0100	0.0532		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.21	84	1185.71	2.80	64.39	0.38	0.36	30

MODEL 3

Y	C	S	B	I	AC		
1350.00	1250.00	1700.00	0.0051	0.0105	0.0266		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.42	63	1303.96	1.85	46.32	-0.42	0.55	34

Tabel 12

Voorstelling van die belangrike faktore betrokke by die studie wanneer die oorspronklike optimum lotgroottes vergelyk word met die optimum lotgroottes wanneer 'n 20 persent-toename in die markaanvraag na modeltipe 1 voorkom, sonder inagneming van die somtotaal van die markaanvraagtempo's en daarmee.

Model-tipes	Faktore	Oorspronklike probleem (soos tabel 8)	Sonder inagneming van die somtotaal van markaanvraagtempo's (soos tabel 9)	Met inagneming van die somtotaal van markaanvraagtempo's
1	$K_1$	0,19	0,17	0,1695
	$Q_{m,1}$	88	93	94 (94,07)
	$q_1$	0,35	0,33	0,33
	$Q_{e,1}$	30	30	31 (31,02)
2	$K_2$	0,25	0,25	0,2478
	$Q_{m,2}$	77	77	77 (77,8)
	$q_2$	0,40	0,40	0,40
	$Q_{e,2}$	30	30	30 (30,8)
3	$K_3$	0,50	0,50	0,5017
	$Q_{m,3}$	58	58	58 (58,2)
	$q_3$	0,59	0,59	0,59
	$Q_{e,3}$	34	34	34 (34,34)

L.W. Die syferrekenaar-resultate is afgerond na die onderste waardes van Q

Tabel 13 OPSOMMING VAN DIE INVLOED WAT 'N 5 PERSENT-TOENAME IN DIE VERSKILLENDE KOSTEFAKTORE HET OP DIE LOTGROOTTES WAT VAN ELKE MODELTIPE VERVAARDIG WORD

	Modeltipe 1		Modeltipe 2		Modeltipe 3	
	$Q_m$	$Q_e$	$Q_m$	$Q_e$	$Q_m$	$Q_e$
Bergingskoste (magasynkoste)	88	30	77	30	58	34
5 Persent-toename in bergingskoste	86	30	77	30	57	34
Rente op risikokoste	88	30	77	30	58	34
5 Persent-toename in rente en risikokoste	86	30	68	30	51	34
Vorbereidingskoste	88	30	77	30	58	34
5 Persent-toename in voorbereidingskoste	91	31	79	32	59	35
Konstante koste	88	30	77	30	58	34
5 Persent-toename in konstante koste	88	66	77	66	58	0
Verkoopprys	88	30	77	30	58	34
5 Persent-toename in verkoopprys	88	19	77	19	58	20

### **Resultate behaal met die algoritme wanneer die markaanvraag na die modeltipes met 20 persent toeneem**

Hierdie resultate verskyn in tabelle 8 tot 11 en figuur 3. Geen verandering in die optimum lotgroottes van die modeltipes of siklustyd van minimum ledige tyd van die produksielyn vind plaas nie. Slegs 'n geringe verandering in die ledigetydindekswaardes by die onderskeie siklustye kom voor.

Die proefneming is herhaal deur die invloed op die ledigetydindekswaarde te toets van 'n 20 persent-toename in die markaanvraag van modeltipe 1 wat die beste verkoper is, met inagneming van die nuwe siklustyd wat deur die markaanvraag verlang word. Figuur 4 lewer 'n illustrasie van die resultaat van hierdie proefneming.

Die verlangde siklustyd volgens die resiprokegetal van die som van die markaanvrae is 6,76 minute wat toevallig ook ooreenstem met 'n punt van minimum ledige tyd op die grafiek. By hierdie siklustyd is die ledigetydindekswaarde 39 160 in vergelyking met die 16 164 by 7,32 minute. Indien 'n plusgrens van 1 persent toegelaat word bo 6,76 minute en dit moontlik sou wees om al die werkstasies by 'n siklustyd van 6,82 minute te balanseer, sou die ledigetydindekswaarde weer daal na 18 603. So 'n stap is egter onmoontlik omdat dit lynbalansering sal bemoeilik en die mark ondervoorsien sal word indien al die werkstasies by die plusgrens van 1 persent gebalanseer word.

Indien 'n 1 persent-siklustydveldwydte van 6,76 tot 6,82 minute toegelaat word, sal die gemiddelde ledigetydindekswaarde uit figuur 4 wees:

$$\frac{53\,500 \times 5 + 44\,000}{6} = 51\,900$$

'n Plusgrens van 0,5 persent sal 'n gemiddelde ledigetydindekswaarde van 47 500 lewer wat nie veel beter is as die vorige nie. Wat ledige tyd aanbetref maak dit dus in die besondere geval nie veel verskil watter plusgrens gebruik word nie.

Soos genoem is dit uit figuur 4 bloot toevallig dat die verlangde siklustyd van 6,76 minute ooreenstem met 'n minimum punt van ledige tyd. Indien die verlangde siklustyd by 6,75 sou val, sal daar by 'n punt van hoë ledigheid gewerk word. Daar kan dan oorweeg word om liever by 6,70 te werk wat 'n hoër produksietempo lewer en ook 'n punt van minimum ledigheid verteenwoordig. Dit sal die nuttigheidsgraad van die lyn verhoog en die kans verminder dat daar oortyd gewerk moet word. As daar moeite ondervind word om lynbalansering met 'n voorgeskrewe siklustyd uit te voer, kan dit oorweeg word om bestaande take te onderverdeel om sodoende subtake van korter tydsduur te skep. So 'n stap sal die lynbalanseringsfunksie vereenvoudig.

Die optimum lotgroottes vir die drie modeltipes is bereken deur die siklustyd van 6,76 minute te gebruik soos verlang deur die som van die markaanvrae na die modeltipes nadat modeltipe 1 se markaanvraag met 20 persent verhoog is. Omdat modeltipe 1 die beste verkoper is, sal 'n toename in die markaanvraag daarna die grootste invloed op die resultate toon. Uit die resultate word die gevolgtrekking gemaak dat daar prakties gesproke geen verandering in die optimum groottes van die vervaardiginglotte van die onderskeie modeltipes plaasvind nie.

Vir modeltipes 1 tot 3 is die waardes met 'n siklustyd van 6,76 minute onderskeidelik 31, 30 en 34 teenoor die 30, 30 en 34 met 'n siklustyd van 7,32 minute soos die resultate in tabel 9 aandui. Vergelyking met die optimum lotgroottes van die oorspronklike probleem in tabel 8 aangedui, lewer dieselfde resultaat. Tabel 12 is 'n voorstelling van die waardes van die belangrike faktore betrokke by die proefneming.

Die optimum lotgroottes vir die drie modeltipes is bereken deur die siklustyd van 6,76 minute te gebruik soos verlang deur die som van die markaanvrae na die modeltipes. Geen verandering vind plaas nie en die optimum grootte van die vervaardiginglotte van onderskeidelik modeltipes 1 tot 3 is 31, 30 en 34.

### **Die invloed wat 'n verandering in die kostewaardes op die resultate van die bedryfsmodel uitoefen.**

Die sensitiviteitsanalise om die invloed van 'n verandering in die kostewaardes op die optimum lotgrootte te bepaal, word in tabel 13 opgesom. 'n Vyf persent toename in bergingskoste of rente en risikokoste het geen invloed op die optimum lotgrootte wat vervaardig word nie. So ook die minimum koste-lotgrootte, wat daarop dui dat die wiskundige model onsensitief is vir 'n geringe skommeling in die waardes van hierdie twee koste-elemente.

Die invloed wat 'n 5 persent styging in die voorbereidingskoste van die produksielyn op die bedryfsmodel uitoefen word aangetoon. 'n Geringe styging in die minimum eenheidskoste word ondervind, maar is weer eens weglaatbaar klein. Die minimum koste-lotgrootte sowel as die optimum lotgrootte ondervind albei 'n styging.

Aangesien die voorbereidingskoste per eenheid in hierdie besondere geval slegs 'n fraksie van die totale eenheidskoste uitmaak, het 'n verandering van 5 persent weer eens geen noemenswaardige uitwerking op die optimum lotgrootte of arbeidskoste van 'n modeltipe nie. Daar moet egter bygevoeg word dat hierdie posisie mag verander waar items vervaardig word waarvan die veranderlike koste 'n groter deel van die eenheidskoste vorm.

Die invloed wat 'n toename van 5 persent in die konstante koste op die bedryfsmodel uitoefen, word in tabel 14 aangetoon. Soos te wagte het dit 'n groot invloed op die ekonomiese lotgrootte wat vervaardig

Tabel 14

## DIE INVLOED WAT 'N 5% -TOENAME IN KONSTANTE KOSTE OP DIE RESULTATE UITOEFEN

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

Y	C	S	B	I	AC		
1200.00	1155.00	1500.00	0.0044	0.0095	0.0556		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.19	88	1189.00	1.32	67.76	-0.15	0.76	66

MODEL 2

Y	C	S	B	I	AC		
1250.00	1205.00	1500.00	0.0045	0.0100	0.0444		
K	QM	YM	Pq	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.25	77	1243.96	1.15	61.85	0.00	0.87	66

MODEL 3

Y	C	S	B	I	AC		
1350.00	1310.00	1700.00	0.0051	0.0105	0.0222		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.50	58	1368.62	0.68	44.69	1.88	0.01	0

Tabel 15

## DIE INVLOED WAT 'N 5% -TOENAME IN VERKOOPPRYS OP DIE RESULTATE UITOEFEN

OPTIMALE SIKLUSTYD VIR BEPALING VAN LOTGROOTTES: 7.32

MODEL 1

Y	C	S	B	I	AC		
1260.00	1100.00	1500.00	0.0044	0.0095	0.0556		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.19	88	1134.09	4.69	64.53	0.00	0.22	19

MODEL 2

Y	C	S	B	I	AC		
1310.00	1150.00	1500.00	0.0045	0.0100	0.0444		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.25	77	1188.96	4.10	59.03	0.13	0.25	19

MODEL 3

Y	C	S	B	I	AC		
1420.00	1250.00	1700.00	0.0051	0.0105	0.0222		
K	QM	YM	P	U	VRG.WRDE	Q	QE
0.50	58	1308.62	2.90	42.64	0.31	0.35	20

word, aangesien die konstante koste-element die grootste bydrae tot die totale eenheidskoste lewer. Hoewel die minimum kostelotgrootte konstant bly omdat die voorbereidingskoste en waarde van ( $\kappa$ ) konstant bly, verdubbel die optimum lotgrootte. Hierdie neiging word daaraan toegeskryf dat ( $p'$ ) se waarde skerp daal indien die verkoopprijs van die modeltipes onveranderd bly.<sup>1</sup> Onder toestande van normale konkurrensie kan dit soms gebeur dat materiaal en arbeidskoste toeneem sonder dat die bestuur kan waag om die prys van 'n modeltipe aan te pas.

Die rede vir die nul lotgrootte van modeltipe 3 is dat die minimum eenheidskoste die verkoopprijs oorskry en die modeltipe derhalwe nie vervaardig moet word nie. Hierdie modeltipe is toevallig ook die swakste verkoper van die drie modeltipes wat deur die onderneming bemark word. Die gevolgtrekking word gemaak dat die bedryfsmodel hoogs sensitief is vir 'n styging in konstante koste. Aangesien konstante koste trapsgewys toeneem, gewoonlik nie onverwags nie en boonop die bedryfstak in sy geheel raak, is hierdie egter nie 'n onoorkomelike probleem nie.

Die uitwerking wat in tabel 15 geïllustreer word, is die teenoorgestelde van tabel 14. 'n Styging in die verkoopprijs van die modeltipes het 'n hoër winsgrens tot gevolg en die waarde van ( $p'$ ) styg. Hierdie uitwerking word oorgedra na die waarde van ( $q$ ) en het tot gevolg dat 'n afname in die optimum

lotgroottes plaasvind. Namate die winsgrens van 'n modeltipe toeneem, raak dit al hoe meer ekonomies om 'n kleiner lotgrootte te vervaardig en daardeur te verhoed dat die hoër winsmarge te lank in voorraad gehou word, asook dat die hoër winsmarge wat die volgende modeltipe op die mark kan realiseer, te lank vertraag word. Dit is egter onwaarskynlik dat 'n prysstyging wat tot 'n hoër winsgrens sal lei, maklik onder toestande van normale konkurrensie kan plaasvind.

Uit die sensitiwiteitsanalise is dit duidelik dat slegs die winsgrens 'n merkbare invloed uitoefen op die optimum lotgroottes wat vervaardig word. In die praktyk sal 'n aanpassing in die verkoopprijs van 'n produk wel 'n invloed op die bemarkbaarheid daarvan hê. 'n Verandering in die markaanvrae van modeltipes het egter nie 'n direkte invloed op die siklustye van minimum ledige tyd van die gegangde produksielyn nie. Wanneer die somtotaal van die markaanvrae plus die noodsaaklike ledigheid, soos voorbereidingstyd, 'n nuwe produksietempo verg, kan dit wel lei tot 'n verskuiwing in siklustyd van een minimum ledigetydpunt na 'n volgende.

#### Verwysing

- <sup>1</sup> Sien Steyn, P.G. 'n Optimaliseringsalgoritme vir multi-modelvervaardiging op 'n gegangde produksielyn onder toestande van normale konkurrensie, *Bedryfsleiding*, Volume 7, No. 1, 1976.