

NN31545.1136

NOTA 1136

september 1979

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

PRESTATIES VAN HYDRAULISCHE GRAAFMACHINES BIJ HET GRAVEN
VAN SLOTEN EN LEIDINGEN
(resultaten 1979)

G.H. Horst

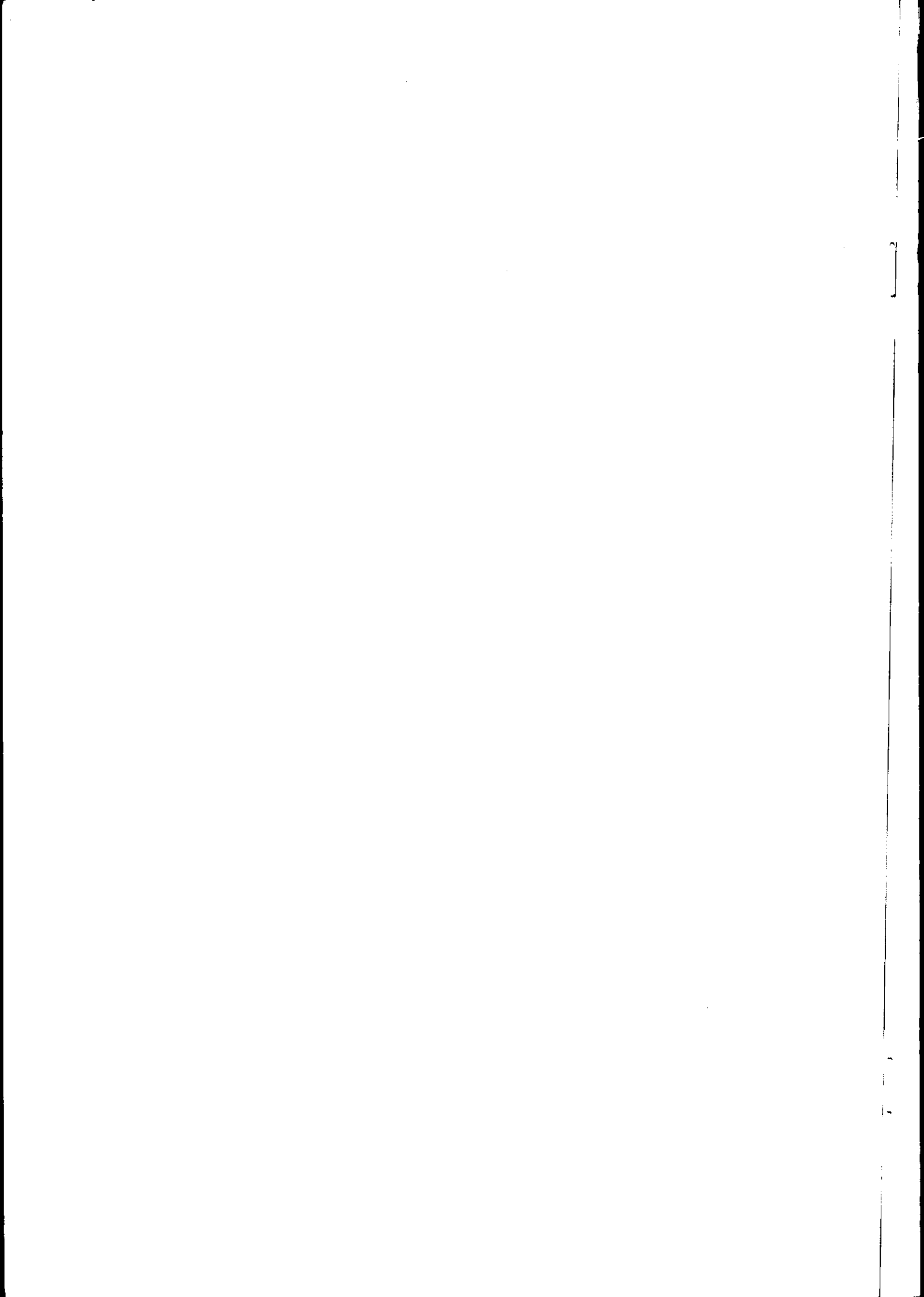
BIBLIOTHEEK
STANHOOGHOUDING

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen echter zullen de conclusies van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

ISBN 119 445 - 03



I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. THEORIE EN METHODE	2
2.1. Prestatie bepalende factoren	2
2.2. Graafmethoden	4
2.3. Meetmethode	5
3. RESULTATEN	6
3.1. Tijdstudie	6
3.2. Productie	12
3.3. Uitleveringsfactor en bakvullingsgraad	13
3.4. Secundaire productie beïnvloedende factoren	17
4. BEREKENING PRODUCTIENORMEN	18
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	22
LITERATUUR	25

1. INLEIDING

Bij het maken van begrotingen van grondwerk is inzicht nodig in de capaciteit van de in te zetten werktuigen, de kosten van deze werktuigen per tijdseenheid en de omvang van het grondwerk.

De omvang van het grondwerk is uit het bestek af te leiden. Voor de kosten van werktuigen gelden de zogenaamde 'Nivag' normen. De capaciteit van de werktuigen (in m^3 grond per tijdseenheid) wordt verkregen door tijdwaarneming en eventueel nacalculatie (1).

Onderzoek naar prestaties van werktuigen op cultuurtechnische werken zijn verricht door (2) en (3). Door (3) werden de prestatienormen regelmatig bijgesteld, zodra technische ontwikkelingen van evidente invloed waren op de prestaties. Op het moment gebeurt dit echter niet meer op grote schaal, met als gevolg dat een aantal normen verouderd zijn.

Op verzoek van de Landinrichtingsdienst is een onderzoek ingesteld naar onder meer de prestaties van hydraulische graafmachines, uitgerust met profielbak, bij het graven van sloten en leiding. Het hier bedoeld onderzoek is gestart in april 1979 en is uitgevoerd in het besteksgebied 'Hantum-Aalzum' in de ruilverkaveling Oost- en West Dongeradeel en voorts gedeeltelijk in de ruilverkaveling 'De Marne'.

In het onderzoek zijn een drietal hydraulische graafmachines betrokken geweest:

- een Caterpillar 225 met bak van $1,32 m^3$
- een Åkerman H12B met een bak van $1,1 m^3$ en
- een Ford H-47CL met een bak van $1,1 m^3$.

Alle machines zijn uitgerust met een taludbak, met helling van 1 : 1,5. De vleugellengte van de taludbak varieerde van 2,4 tot 3,5 m. De uitgegraven grond werd steeds langs de leiding in depot gezet.

2. THEORIE EN METHODE

2.1. P r e s t a t i e b e p a l e n d e f a c t o r e n

De prestatie van graafmachines is het volume grond die per tijdseenheid wordt gegraven en naast de gegraven leiding in depot wordt gezet. De werkfasen die hier te onderscheiden zijn, zijn:

- graven, waarbij de machine op een plaats blijft staan
- transport, waarbij de machine naar de volgende plaats gaat.

Bij het graven worden nog een aantal handelingen onderscheiden.

- zwenken: het zwenken is weer onderverdeeld in zwenken na graven/profileren en zwenken na lossen (terugzwenken);
- graven: onder graven wordt verstaan het 'grof' onder profiel brengen van de sloot/leiding.

Bij graafmethode II is het weggraven van de bouwvoor, hetgeen bij deze graafmethode duidelijk te onderscheiden is, apart opgenomen;

- profileren: onder profileren wordt het onder profiel brengen van de sloot/leiding verstaan.

Bij graafmethode I is het verschil tussen graven en profileren nauwelijks of niet te constateren, derhalve wordt er dan ook gesproken van profilerend graven;

- lossen: bij de sloten/leidingen, waarbij detailwaarnemingen zijn verricht, werd de grond naast de sloot/leiding in depot gezet.

We definiëren nu een transportcyclustijd als de tijd die ligt tussen twee opeenvolgende transporten en een graafcyclustijd als de tijd die nodig is voor het uitvoeren van alle handelingen die nodig zijn om 1 keer een bak vol te graven en te lossen.

Per transportcyclus wordt een volume grond Q gegraven en in depot gezet. Hiervan wordt een volume $\alpha.Q$ bovengrond met een uitleveringsfactor $\gamma.a$ en een volume $\beta.Q$ tijdens het afprofileren met uitleveringsfactor $\epsilon.a$ ontgraven. De benodigde tijd voor het graven en in depot zetten van het volume Q is derhalve:

Noemen we de afstand tussen de opeenvolgende standplaatsen van de machine L en het oppervlak van de doorsnede van het slootprofiel F, dan is derhalve

$$Q = L.F \quad (3)$$

en

$$n = \frac{a.L}{B_v \cdot B_i} \cdot F \quad (4)$$

Hiermee is q een functie van onder andere de bakinhoud en de inhoud van de te graven sloot per lengte-eenheid.

2.2. Graafmethoden

Er zijn een tweetal graafmethoden onderscheiden:

graafmethode I: Bij deze methode wordt vrijwel uitsluitend profilerend gegraven, dit wil zeggen eerst wordt er een stukje geprofileerd, waarna de bak naar binnen toe wordt volgetrokken (fig. 1).

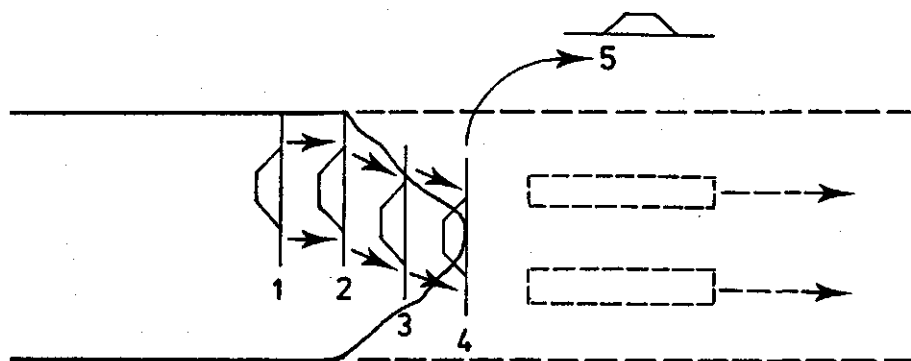


Fig. 1. Schematische weergave van graafmethode I

Er wordt geprofileerd van 1 naar 2, waarna er gegraven wordt van 2 via 3 naar 4, vervolgens wordt er gelost (5). Bij sloten met een grote inhoud ($> + 6,5 \text{ m}^3/\text{m}'$) wordt er soms een enkele maal uitsluitend gegraven (van 3 naar 4). Bij deze graafmethode is in vergelijking (1) $\alpha = \beta = 0$ en in vergelijking (2) is dan $A = B = 1$.

g r a a f m e t h o d e II (fig. 2): Eerst wordt de teelaarde weggegraven volgens 1. Daarna wordt er lx of vaker gegraven volgens 2. Vervolgens wordt er lx of vaker geprofileerd volgens 3. Bij grotere slootinhouden ($>4 \text{ à } 5 \text{ m}^3/\text{m}'$) wordt er eerst nog lx of vaker gegraven volgens 4 eer er wordt (af-)geprofileerd volgens 5.

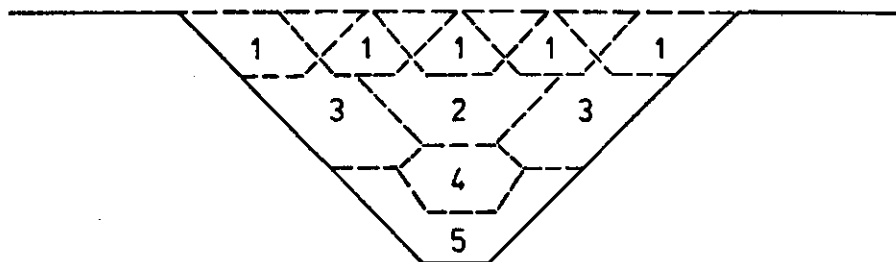


Fig. 2. Schematische weergave van graafmethode II

2.3. M e e t m e t h o d e

De produktie per tijdseenheid is bepaald door het meten van een lengte gegraven leiding in zekere tijd. Van de gegraven leiding is naderhand het dwarsprofiel opgenomen, waarmee het volume grond dat per lengte eenheid is uitgegraven, bekend is. Op de gemeten totale werktijd is de tijd in mindering gebracht die besteed is aan andere handelingen dan die, welke voor het graven strikt nodig zijn.

De benodigde tijd voor de onderscheiden handelingen per graafcyclus is op twee manieren gemeten.

De eerste manier houdt in dat naast de tijdsduur van een volledige graafcyclus, de tijdsduur wordt gemeten vanaf het moment waarop het bewuste werkonderdeel juist is afgelopen tot het moment waarop deze juist begint. De cyclustijd verminderd met de voor de bewuste handeling benodigde tijd wordt dus gemeten.

De tweede manier is de tijdsduur van afzonderlijke werkonderdelen direct te meten. De bovengenoemde detailtijd studies zijn steeds gedurende minstens 10- 35 minuten verricht.

De uitleveringsfactor van de grond is bepaald door per graafcyclus de vullingsgraad van de bak te schatten. Hierbij is een

schaal gehanteerd die loopt van 0 tot 1,5. Een lege bak is 0, een afgestroken bak is 1,0 en een bak met een flinke 'kop' er op 1,5. Het volume vaste grond dat gedurende de waarnemingsperiode is uitgegraven is bepaald door de lengte van de gegraven leiding te meten en deze te vermenigvuldigen met het oppervlak van de dwarsdoorsnede. De dwarsdoorsnede is bepaald via een hoogtemeting langs een raai loodrecht op (en over) de leiding. De uitleveringsfactor wordt dan gevonden uit:

$$a = \frac{B_i}{Q} \cdot \sum_{j=1}^n B_{v,j} \quad (5)$$

hierin is

- Q = volume uitgegraven 'vaste' grond (m³)
- B_{v,j} = bakvullingsgraad tijdens graafcyclus j
- n = totaal aantal graafcycli
- B_i = bakinhoud (m³)

Een tweede benadering van de uitleveringsfactor wordt verkregen via vergelijking van volume-gewichten. De procedure hierbij is dat op verschillende dieptes monsters worden genomen in de ongeroerde grond. Nadat de grond is uitgegraven en los is gestort worden opnieuw monsters genomen. Noemen we het droog volume gewicht van de geroerde grond ρ_o en van de uitgegraven grond ρ_u , dan is de uitleveringsfactor:

$$a = \frac{\rho_o}{\rho_u} \quad (6)$$

3. RESULTATEN

3.1. T i j d s t u d i e

Tijdens de verrichte detail-waarnemingen is de tijdsduur van vrijwel alle te onderscheiden werkonderdelen afzonderlijk gemeten. De hoeveelheid uitgegraven grond is naderhand bepaald door het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de sloot te meten.

Bij werkmethode II (afzonderlijk ontgraven van de bouwvoor) is het niet mogelijk gebleken de volumes ontgraven bovengrond en de volumes ontgraven grond tijdens het profileren afzonderlijk te bepalen. Daardoor is het ook niet mogelijk de uitleveringsfactoren van de grond te bepalen. Bij deze methode is daarom aangenomen dat een gemiddelde uitleveringsfactor en een gemiddelde bakvullingsgraad geldt voor alle te onderscheiden handelingen. Dit betekent dat in vergelijking 1 geldt $\gamma = \epsilon = 1$.

Van elke handeling is bepaald hoe vaak deze per transportcyclus voorkomt. Daarnaast is de gemiddelde tijdsduur van deze handeling gemeten. De gemiddelde afstand, L, waarover de graafmachine per transportcyclus wordt verplaatst is berekend met

$$L = \frac{q}{F} \cdot \frac{T_c}{6000} \cdot n \quad (7)$$

hierin is:

- q = productie $m^3 \cdot h^{-1}$
- Tc = gemiddelde cyclustijd 10^{-2} min
- F = oppervlak slootprofiel m^3
- n = aantal graafcycli per transportcyclus

Van graafmethode II (afzonderlijk ontgraven van de bovengrond, ruw onderprofiel graven en daarna nauwkeurig onderprofiel afwerken) is de fractie ontgraven bovengrond en de fractie van de totale slootinhoud, die tijdens het profileren wordt ontgraven, bepaald als verhouding tussen het gemiddeld aantal keren per transportcyclus dat de bovengrond wordt ontgraven, respectievelijk wordt geprofileerd en het totaal aantal graafcycli per transportcyclus.

De resultaten zijn samengevat voor beide graafmethoden weergegeven in tabel 1a en 1b.

Uit tabel 1a en 1b blijkt dat het zwenken bij graafmethode I korter en het terugzwenken langer duurt dan bij graafmethode II. Dit verschil wordt veroorzaakt door de wijze van graven. Bij methode I wordt de bak telkens vol getrokken tot aan het maaiveld, waardoor de zwenkafstand de zwaaiafstand van maaiveld tot losplaats is;

Tabel Ia. Resultaten detailwaarnemingen, graafmethode I

Sloot- profiel afst.	L	a	G	Z	Z _l	L _l	Z _t	Terug- zwenken tijd	Transp. Bak- vulling tijd	T	B _v	Uitl. factor	Bak- inhoud	Gem. cyclus- tijd	T _c	Netto productie	Opname- duur
1,25	1,65	2,27	17,12	5,40	5,50	16,37	8,00	0,80	1,16	1,32	1,14	47,9	114	2935			
3,23	0,98	2,67	16,88	8,71	5,29	18,46	5,44	0,88	0,98	"	138	51,4	1233				
4,63	0,92	4,0	15,96	6,68	3,50	15,54	4,43	0,96	1,19	"	149	42,8	1198				
5,39	1,20	6,17	14,35	6,93	4,43	14,57	5,83	1,00	1,26	"	152	41,2	3051				
5,70	0,62	3,24	15,04	7,97	-	19,34*	6,76	1,09	1,31	"	148	44,4	2439				
6,28	0,86	5,36	15,16	6,81	3,97	14,19	6,00	1,05	1,38	"	144	41,7	2432				
6,39	0,87	5,21	15,77	6,44	4,56	13,48	5,21	1,16	1,44	"	154	41,3	3011				
6,92	0,62	3,71	17,38	9,77	3,92	16,39	4,00	1,05	1,19	"	143	48,6	1262				
7,10	0,50	3,75	15,78	8,04	-	18,20*	5,50	1,27	1,79	"	130	43,5	1957				

Tabel Ib. Resultaten detailwaarnemingen, graafmethode II

Sloot- profiel afst.	L	a	β	n	G _{bv}	G _{pr}	Graven boven- grond	Zwenken	Lossen	Terug- zwenken tijd	Transp. Bak- vul- ling	T	B _v	Uitl. fact.	Bak- inh. cyclus- tijd	Netto productie	Opname- duur
3,61	1,37	0,485	0,363	8,25	5,88	21,16	10,20	9,33	1,64	10,91	5,75	0,62	1,14	1,10	34,7	103	1144
4,98	1,48	9,404	0,307	10,33	7,56	17,57	9,95	10,81	-	14,94*	5,50	0,97	1,28**	"	37,6	114	2294
6,70	1,60	0,412	0,285	16,5	4,95	18,13	8,39	9,91	-	15,64*	4,67	0,86	1,45	"	35,6	110	3439
7,88	2,28	0,259	0,469	27,0	9,52	19,21	10,31	9,89	3,94	10,63	10,67	0,98	1,62	"	39,6	101	3274

* inclusief lossen
 N.B. tijd in eenheden van centi minuten
 afstand (n=1), oppervlak (n=2) en volume (n=3) in eenheden van m²
 productie in m³ per uur

** wegens onregelmatige slootvorm is productie op
 ander traject bepaald dan waar uitleveringsfactor
 is gemeten

bij graafmethode II wordt de onder- en bovengrond gescheiden ontgraven, waardoor de gemiddelde zwenkafstand de zwaaiafstand van circa halve sloot/leidingdiepte tot losplaats is.

Het terugzwenken bij graafmethode I vergt meer tijd, omdat bij deze graafmethode de bak vrijwel continue op de sloot-/leidingbodem wordt ingezet, terwijl de bak bij graafmethode II op verschillende diepten wordt ingezet, doch gemiddeld op circa de halve sloot-/leidingdiepte.

Bovendien wordt bij graafmethode I vrijwel uitsluitend profilerend gegraven, waarbij het inzetten van de bak met meer precisie gebeurt. Uit de gegevens kan niet worden geconcludeerd dat naarmate de slootdiepte ten opzichte van maaiveld toeneemt ook de zwenktijd bij methode II duidelijk toeneemt.

De tijd nodig voor het verplaatsen van de machine hangt samen met de verplaatste afstand. Uit tabel 1a blijkt dat de snelheid van verplaatsen ($\frac{L}{T} = \underline{L}$) niet meer toeneemt bij verplaatsingsafstanden van 0,9 m. De snelheid is dan circa 1,2 km per uur. Bij verplaatsingsafstand van 0,5 m is de snelheid teruggelopen tot circa 0,5 km per uur (snelheden gelden voor de Caterpillar). De Åkerman wordt met grotere snelheid verplaatst over met die van de Caterpillar vergelijkbare afstand (maximum snelheid circa 2 km per uur over verplaatsingsafstand van 1,6 m). De Ford haalt een maximum snelheid gelijk aan die van de Caterpillar (1,2 km per uur).

De verplaatste afstand laat voor graafmethode I een samenhang zien met de slootinhoud. Deze samenhang lijkt aannemelijk omdat enerzijds de rijkwijdte van de kraan beperkt is en anderszijds de machinist goed zicht moet kunnen houden op het werk, ook bij grotere slootdieptes. Bij graafmethode II blijkt deze samenhang niet aanwezig te zijn.

De graaftijd bij methode I neemt af naarmate de slootinhoud per strekkende meter groter is. De oorzaak ligt waarschijnlijk hierin dat het volume ontgraven grond tijdens het nauwkeurig profileren, relatief geringer is bij leidingen met grote inhoud dan bij leidingen met geringere inhoud per lengte-eenheid leiding.

De tijd nodig voor het terugzwenken en inzetten is geringer bij grote slootinhouden dan bij geringere. De oorzaak hiervan is dezelfde als bij het graven.

Bij graafmethode I is er een duidelijke samenhang tussen de voor het lossen benodigde tijd en de inhoud van het slootprofiel. Bij de grotere profielen is de lostijd korter dan bij de kleine profielen.

De benodigde tijd voor het manoevreren met de bak om deze bij het profileren in positie te brengen kan uit de metingen worden afgeleid. Hierbij wordt aangenomen dat het terugzwenken even snel gebeurt als het zwenken, met dien verstande dat hierbij op moet worden geteld de tijd die nodig is om de bak op een diepte onder maaiveldniveau te brengen gelijk aan de halve slootdiepte. Deze tijd wordt verkregen door via lineaire regressie berekening de samenhang te bepalen tussen het zwenken en de slootinhoud. Met gegevens uit tabel 1b wordt deze regressie uitgevoerd ($Z = 0,046 F + 9,72$). De met deze vergelijking verkregen terugzwenktijd wordt in mindering gebracht op de gemeten terugzwenktijd in tabel 1a. Het verschil is de tijd die nodig is voor het in positie brengen van de bak voor het profileren (ΔZ_t).

Het profileren gebeurt ook met meer zorgvuldigheid dan het graven. De invloed hiervan op de graaftijd bij methode I wordt benaderd door aan te nemen dat het volume grond dat tijdens het profileren wordt gegraven steeds gelijk is aan dat bij methode II en dat de daarvoor benodigde tijd ook gelijk is.

Via lineaire regressie berekening wordt met de gegevens van tabel 1b de samenhang bepaald tussen slootinhoud per lengte-eenheid (F) en het relatief volume grond (β), dat tijdens profileren wordt ontgraven ($\beta = 0,0184 F + 0,249$).

Vervolgens is de samenhang tussen de profileertijd en de slootinhoud bepaald met gegevens van tabel 1b ($G_{pv} = -0,368F + 21,15$). De tijd, ΔG , die bij methode I wordt besteed aan het profileren per graafcyclus wordt nu berekend volgens:

$$\Delta G = G - \beta G_{pv} \quad (8)$$

De relatieve productieverbodting die zou ontstaan, indien het slootprofiel niet nauwkeurig zou worden afgewerkt kan worden benaderd met

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta G + \Delta Z_t}{T_c - (\Delta G + \Delta Z_t)} \quad (9)$$

Deze productie verhoging is berekend als een fractie van de productie zoals die in tabel 1a is weergegeven. De resultaten van de berekeningen zijn in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2. Inzettijd van de bak voor profileren (ΔZ_t), graaftijd bij profileren (ΔG) en productieverbodging ($\frac{\Delta q}{q}$) bij niet nauwkeurig afwerken van het profiel

Slootinhoud			
F	ΔZ_t	ΔG	$\Delta q/q$
1,25	6,59	5,62	0,34
3,23	8,59	6,14	0,39
4,63	5,60	6,51	0,39
5,39	4,60	6,69	0,38
5,70	5,16*	6,74	0,37
6,28	4,18	6,69	0,35
6,39	3,47	6,89	0,33
6,92	6,35	6,99	0,39
7,10	4,35*	7,04	0,35

* Z_t gecorrigeerd op lostijd, berekend met $Z_1 = -0,266 F + 5,75$

Uit tabel 2 en tabel 1a blijkt, dat een belangrijk deel van het graven bij methode I wordt besteed aan het in positie brengen van de bak en aan het nauwkeurig onder profiel brengen van de leiding. Deze twee activiteiten samen zijn gemiddeld circa 27% van de cyclustijd, T_c . De productieverbodging die zou worden verkregen wanneer het profiel niet nauwkeurig zou worden afgewerkt is circa 37%.

3.2. Productie

In fig. 3 is het verband weergegeven tussen de gemeten productie en de inhoud van de gegraven sloot/leiding. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen morgen- en middag-productie. De gerealiseerde producten hebben betrekking op het graven van sloten/leidingen, waarbij de vrijkomende grond naast de gegraven sloot/leiding in depot wordt gezet.

De netto producties zijn bepaald door de netto gewerkte tijd per lengte-eenheid gegraven sloot/leiding te meten, of omgekeerd de netto gegraven lengte per tijdseenheid.

Uit fig. 3 blijkt dat de productie toeneemt naarmate het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de sloot groter is. Deze toename gaat tot een slootinhoud, waar het snijoppervlak van de taludbak nagenoeg gelijk is aan het oppervlak van het slootprofiel.

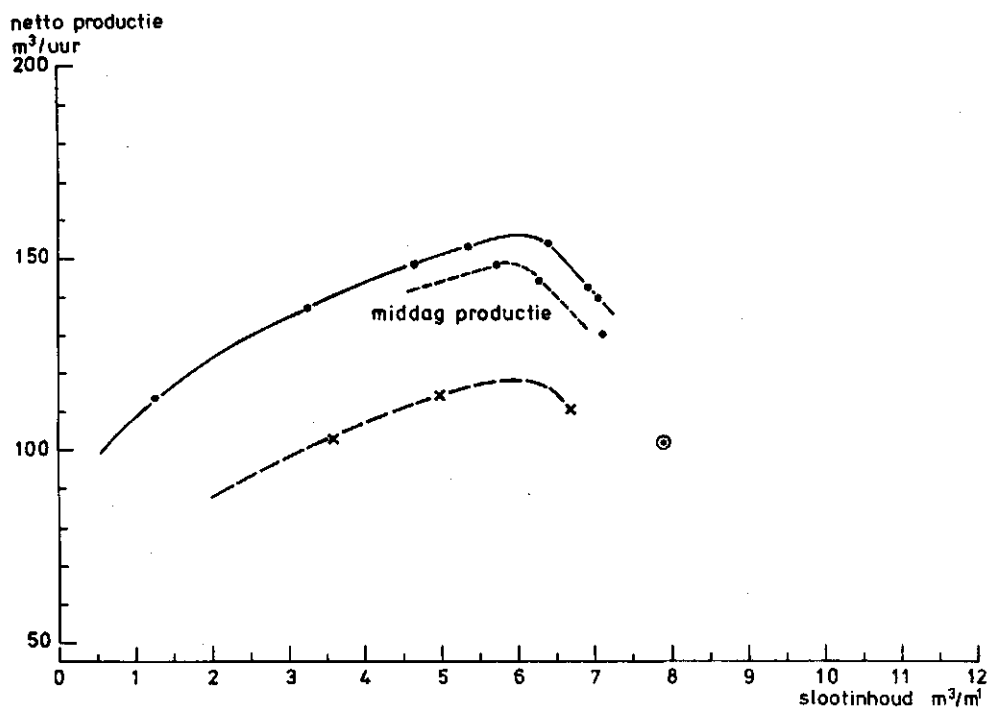


Fig. 3. Gemeten verband tussen productie en slootinhoud

- Caterpillar 225 ($1,32 m^3$ bak), methode I
- x Akerman H12B ($1,1 m^3$ "), " II
- o Ford H47-CL ($1,1 m^3$ "), " II

Dit bewuste snijoppervlak is $5,96 \text{ m}^2$ bij de Caterpillar, $6,62 \text{ m}^2$ bij de Åkerman en $3,33 \text{ m}^2$ bij de Ford.

De oorzaak van deze golvende beweging van de productiekromme moet gezocht worden in het feit, dat:

- a. indien het slootprofiel groter is dan de taludbak de hoeveelheid overstortende (boven-)grond toeneemt. Waardoor de uitlevering van de grond toeneemt. Voorts neemt het aantal keren profileren c.q. profilerend graven toe en dan nog met een geringere bakvulling.
- b. bij grotere sloten (groter dan circa $5 \text{ m}^3/\text{m}^1$) vochtiger grond wordt vergraven. Deze grond lag juist boven dan wel onder de grondwaterspiegel.

Wanneer de drogere bovengrond en de vochtiger ondergrond vermengd in de (talud-)bak komen, treedt er bakverontreiniging op; de mate, waarin dit geschiedt, is afhankelijk van de terreinomstandigheden.

Voorts is gebleken, dat bij de gehele dag graven, de middagproductie lager is dan de morgenproductie (de productiedaling bedraagt ongeveer 5%).

3.3. U i t l e v e r i n g s f a c t o r e n b a k v u l l i n g s g r a a d

Onder uitlevering wordt verstaan de verhouding tussen het volume dat een zekere hoeveelheid grond krijgt wanneer deze wordt ontgraven, en het volume dat deze hoeveelheid innam voor het ontgraven.

Deze uitlevering, het lossen worden, is mogelijk doordat er als gevolg van het snijden en opschuiven van de grond tijdens het graven, breukvlakken (glijvlakken) ontstaan. De grond ter weerszijden van de breukvlakken bewegen met verschillende snelheid. In relatief natte grond zijn deze breukvlakken zeer regelmatig van vorm. Daardoor ontstaan er tijdens de beweging geen extra breukvlakken en geen brokken. In droge grond is de vorm van de breukvlakken in hoofdlijnen gelijk aan die in natte grond, echter nu is het verloop veel grilliger. Tijdens de beweging ontstaan er wel extra breuklijnen, die

het ontstaan van kluiten en brokken inleiden. Of er daadwerkelijk kluiten ontstaan hangt er van af of de breuklijnen aan het oppervlak komen. Dit laatste gebeurt wanneer een dunne laag wordt losgesneden. Bij profileren kan dit optreden wanneer de leiding reeds grof onder profiel is gegraven.

Van elke terreinwaarneming is een (a-)factor berekend aan de hand van het gemeten aantal graafcycli, de geschatte bakvulling en de gemeten hoeveelheid vergraven vaste grond (tabel 1a en b). Deze factor bestaat uit het gecombineerd effect van bakverontreiniging en uitlevering van de grond. De samenhang tussen deze 'uitleveringsfactor' en het slootprofiel is in fig. 4 weergegeven.

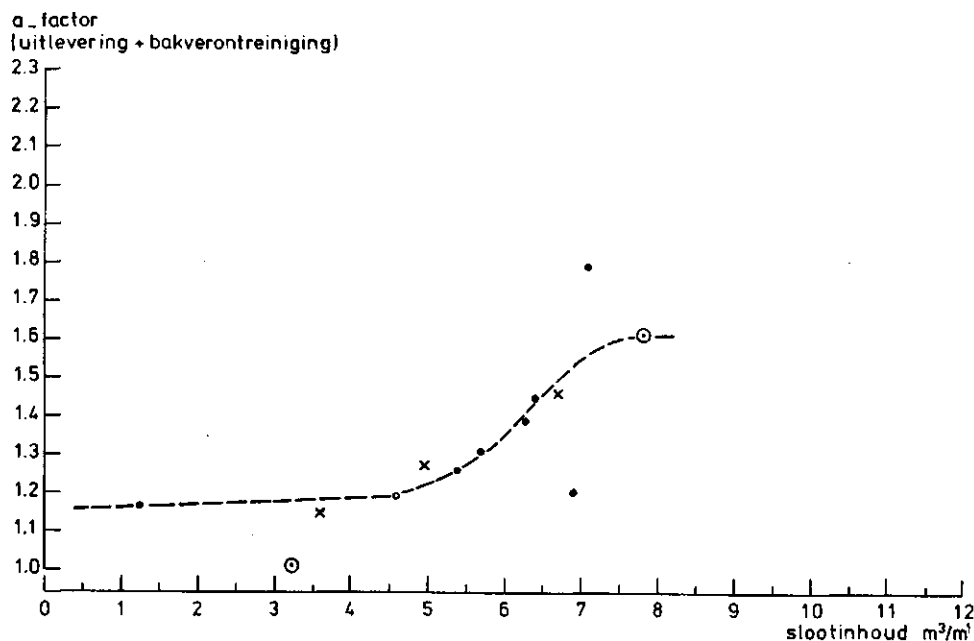


Fig. 4. Gemeten verband tussen uitleveringsfactor en slootinhoud

. Caterpillar

x Äkerman

o Ford

Uit fig. 4 blijkt dat er een duidelijk verband bestaat tussen deze factor en het slootprofiel. Enkele punten hebben een geringe en drie punten een grotere afwijking ten opzichte van de kromme.

De geringe afwijkingen ten opzichte van de kromme worden waarschijnlijk veroorzaakt door fouten in de (visueel) geschatte vullingsgraad van de bak. De grotere afwijkingen kunnen als volgt verklaard worden: de lage a-factor bij de slootinhouden $3,23 \text{ m}^3/\text{m}^1$ en $6,90 \text{ m}^3/\text{m}^1$ is het gevolg van het werken onder droge(re) terreinomstandigheden, waardoor er nauwelijks of geen bakverontreiniging optrad. De hoge a-factor bij slootinhoud $7,10 \text{ m}^3/\text{m}^1$ daarentegen wordt veroorzaakt doordat er onder zulke natte omstandigheden is gewerkt, dat de bakverontreiniging bleef toenemen. Hierdoor moest de bak regelmatig (in handkracht) worden schoongemaakt.

Bij de overige berekende a-factoren is de mate van bakverontreiniging gedurende het graven c.q. profileren van één sloot/leiding vrijwel constant (de bak wordt dan ook niet schoongemaakt).

Aangezien de producties met een (vrijwel) schone en een enigszins verontreinigde bak aan elkaar gelijk zijn (zie fig. 3 en 4) houdt dit in dat de hoeveelheid 'effectieve' grond per bak gelijk blijft, evenals de graaf-(profileertijd, oftewel de graaf-)profileertijd is, onder gelijke terreinomstandigheden, afhankelijk van de hoeveelheid 'effectieve' grond en niet van de bruto hoeveelheid grond per bak.

Om een inzicht te verkrijgen van de uitlevering van de grond zijn een aantal grondmonsters genomen, zowel voor als na het graven, waarvan het droogvolume gewicht is bepaald. Aan de hand hiervan is de uitlevering te berekenen (zie (6)). De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 3. Uit tabel 3 blijkt, dat de uitlevering van de bovengrond varieert van 1,20 tot 1,56 (gem. 1,32) en van de ondergrond van 1,03 tot 1,18 (gem. 1,10).

De uitleveringsfactoren die op deze manier zijn bepaald moeten gezien worden als uitleveringsfactor die optreedt bij het lossnijden van dunne lagen. De relatief kleine uitleveringsfactoren die zijn waargenomen bij de kleine slootinhouden kunnen ontstaan doordat per keer graven het profiel vrijwel in een keer wordt gerealiseerd. Er wordt dan als het ware een dikke laag los gesneden waarin niet alle breuklijnen aan het oppervlak eindigen.

Tabel 3. Uitleveringsfactor op basis van vergelijking van
volumegewicht voor (ρ_o) en na (ρ_u) ontgraven

Monster- diepte	ρ_o	ρ_u	Uitlevering $\frac{\rho_o}{\rho_u}$
<u>+</u> 0,50 m -mv.	164,9		
idem	157,2		
idem	160,2		
	gem. 160,8		
idem		132,7	1,21
idem		117,0	1,37
idem		133,5	1,20
idem		103,4	1,56
idem		111,7	1,44
idem		132,1	1,22
		gem. 121,73	1,32
<u>+</u> 1,50 - 1,70 m-mv.	133,4		
idem	133,3		
idem	130,2		
	gem. 132,3		
idem		112,1	1,18
idem		122,4	1,08
idem		116,6	1,13
idem		128,0	1,03
idem		125,4	1,06
idem		120,5	1,10
		gem. 120,83	1,10

3.4. S e c u n d a i r e p r o d u c t i e b e ï n v l o e d e n d e f a c t o r e n

Tijdens de veldwaarnemingen is gebleken, dat de netto-productie ook door de volgende factoren beïnvloed kan worden.

- a. wijze van uitzetten van de te graven sloot/leiding
- b. tijdstip van graven.

ad a. Bij het graven van sloten/leidingen met een hydraulische graafmachine met taludbak wordt de te graven sloot/leiding uitgezet door middel van een raai piketten. De kop van deze piketten geven de insteek van de te graven sloot/leiding weer, alsmede een bepaalde hoogte ten opzichte van de toekomstige sloot-/leidingbodem. Ter bepaling van de graafdiepte spant de machinist een lijntje over de kop van deze piketten. Normaliter wordt aan één kant van de sloot/leiding de piketten geslagen en aan de andere kant de vrijkomende grond in depot gezet.

Worden evenwel de piketten aan dezelfde kant van de te graven sloot/leiding geslagen, als waar de grond in depot gezet moet worden, dan vallen er bij het graven regelmatig kluiten op het lijntje. Het vrijmaken van het lijntje, hetgeen vrijwel altijd met de machine gedaan wordt, vergt vrij veel tijd. Tijdens de terreinwaarnemingen is gebleken, dat hierdoor de productie met meer dan 5% kan teruglopen.

ad b. Uit detailwaarnemingen is gebleken, dat indien de machinist de gehele dag sloten/leidingen moet graven, de productie na de middag(-schaft) afneemt.

Deze productiedaling bedraagt ongeveer 5%, zie fig. 3, en dient toegeschreven te worden aan een bepaalde 'graafmoeheid' van de machinist. Door deze graafmoeheid wordt er minder efficiënt gegraven en/of trager gegraven c.q. geprofileerd.

4. BEREKENING PRODUCTIENORMEN

Met het in hoofdstuk 2 ontwikkeld model en de in hoofdstuk 3 gevonden waarden voor verschillende werkonderdelen kunnen productienormen worden berekend. Uit tabel 1 wordt daartoe een verband afgeleid tussen slootinhoud, aantal graafcycli per uur en de gemiddelde bakvulling. In onderstaande tabel 4 is deze samenhang weergegeven.

Tabel 4. Relatie slootinhoud, aantal graafcycli per uur en de gemiddelde bakvulling voor graafmethode I

Slootinhoud	Aantal graafcycli per uur c. $\left[A.G+B(Z+Z_t) + \frac{T}{n} \right]^{-1}$	Gemiddelde bakvulling B_v	$B_v \cdot c. \left[A.G+B(Z+Z_t) + \frac{T}{n} \right]^{-1}$
1,25	125,23	0,80	100,31
3,23	116,79*	0,88*	102,19*
4,63	140,23	0,96	134,20
5,39	145,53	1,00	145,97
6,39	145,47	1,16	169,11
6,92	123,61*	1,05*	129,30*
7,10	137,97	1,27	175,77

*de waarden bij slootinhoud 3,23 en 6,92 m^3/m^1 wijken af, omdat er onder afwijkende terreinomstandigheden is gegraven

Indien ervan uitgegaan wordt, dat een gemiddelde bakvulling van 1,4 als maximum waarde beschouwd kan worden, dan laat het hier bedoeld verband zich beschrijven met (zie fig. 5):

$$y = \begin{cases} 13,06 F + 80,40 & \text{voor } F < 9,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \\ 201,56 & \text{voor } F \geq 9,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \end{cases} \quad (10)$$

Hierin is y: het aantal graafcycli per uur maal gemiddelde bakvulling en F.

Voor graafmethode II kan deze bewerking eveneens uitgevoerd worden.

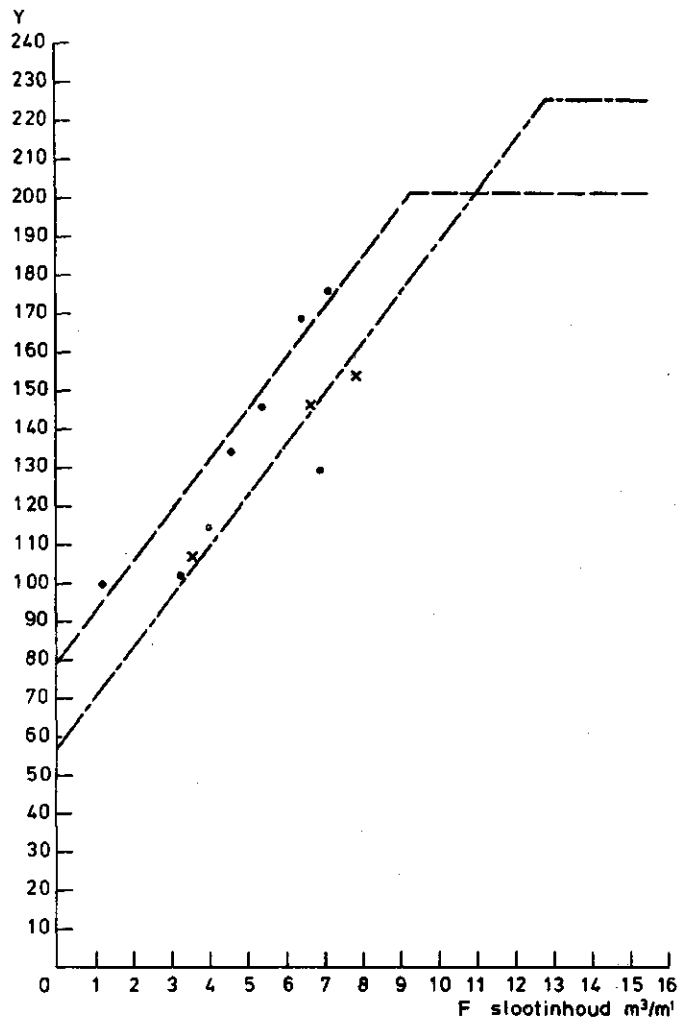


Fig. 5. Samenhang tussen aantal graafcycli per uur x gemiddelde bakvulling (= y) slootinhoud (F)
 . graafmethode I
 x graafmethode II

Deze laat zich globaal berekenen als (zie fig. 5):

$$y = \begin{cases} 13,6 F + 57 & \text{voor } F < 12,9 \text{ m}^3\text{m}^{-1} \\ 225,28 & \text{voor } F \geq 12,9 \text{ m}^3\text{m}^{-1} \end{cases} \quad (11)$$

De lijn van graafmethode II loopt in beginsel lager dan de lijn van graafmethode I, maar eindigt hoger, omdat bij graafmethode II de grond gescheiden wordt ontgraven, waardoor de gemiddelde bakvulling lager is. Daardoor duurt het ook langer eer de maximale

gemiddelde bakvulling (1,4) wordt gerealiseerd.

De samenhang tussen uitleveringsfactoren (a) en slootinhoud (F) wordt uit vergelijking 10 en 11 afgeleid.

Er geldt:

$$y = \frac{q \cdot a}{B_i} \quad (12)$$

en dus

$$a = \frac{y \cdot B_i}{q} \quad (13)$$

De samenhang tussen de capaciteit (q) en slootinhoud (F) is af te leiden uit fig. 3. Het aldus met 13 bepaald verband tussen de uitleveringsfactor (a) en slootprofiel (F) is voor de onderscheiden graafmethodes weergegeven in fig. 6.

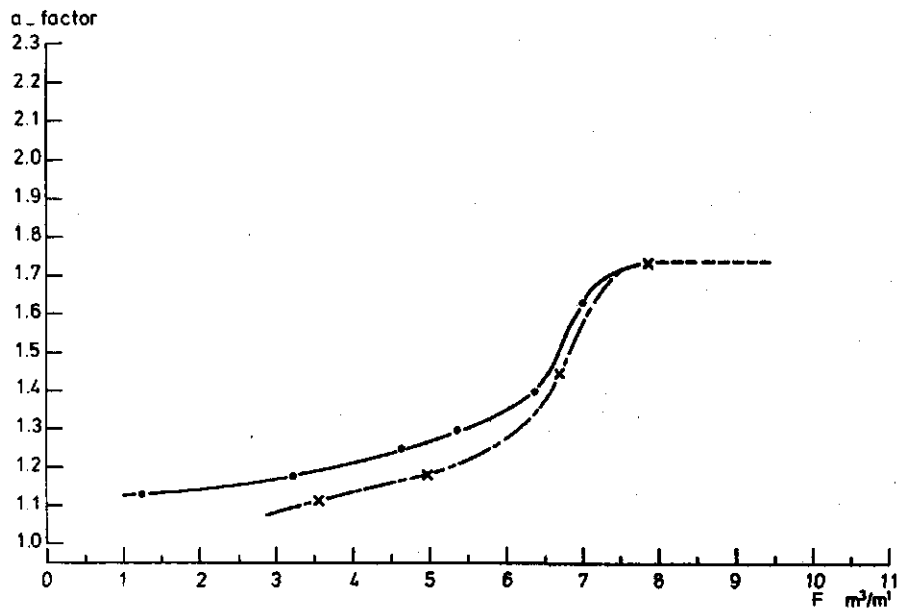


Fig. 6. Berekend verband tussen de a-factor (uitlevering en bakverontreiniging) en slootinhoud (F)

. graafmethode I

x graafmethode II

Uit de gelijkstelling in vgl. 12 volgt voor:
graafmethode I:

$$q = \frac{B_i(13,06F + 80,40)}{a} \quad \text{voor } F < 9,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{201,56 B_i}{a} \quad \text{voor } F \leq 9,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$$
(14)

en voor graafmethode II:

$$q = \frac{B_i(13,06F + 57)}{a} \quad \text{voor } F < 12,9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{225,28 B_i}{a} \quad \text{voor } F \geq 12,9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$$

De productie (q) is nu een functie geworden van bakinhoud, slootinhoud en a-factor (uitlevering + bakverontreiniging). Met deze formule is nu op eenvoudige wijze voor bakken met verschillende inhouden en bij verschillende slootinhouden de (netto) productie te berekenen voor beide graafmethoden.

Opgemerkt dient te worden, dat de a-factor mede afhankelijk is van de snij-oppervlakte van de (talud-)bak in verband met de overstortende(boven-)grond.

Voorts dient opgemerkt te worden dat producties voor sloten met een inhoud groter dan circa $10 \text{ m}^3/\text{m}^1$ minder of niet interessant meer zijn, omdat bij dergelijke grote slootinhouden meestal een ander slootprofiel wordt toegepast, waardoor er een andere productiekromme zal ontstaan.

Productie berekeningen voor profielpakken met andere snijoppervlaktes dan die in het onderzoek zijn betrokken, zijn niet uit te voeren wegens het ontbreken van de samenhang tussen uitleveringsfactor en slootinhoud bij verschillende snijoppervlaktes van de taludbak.

Enkele resultaten van de productieberekening voor graafmethode I zijn in fig. 7 weergegeven.

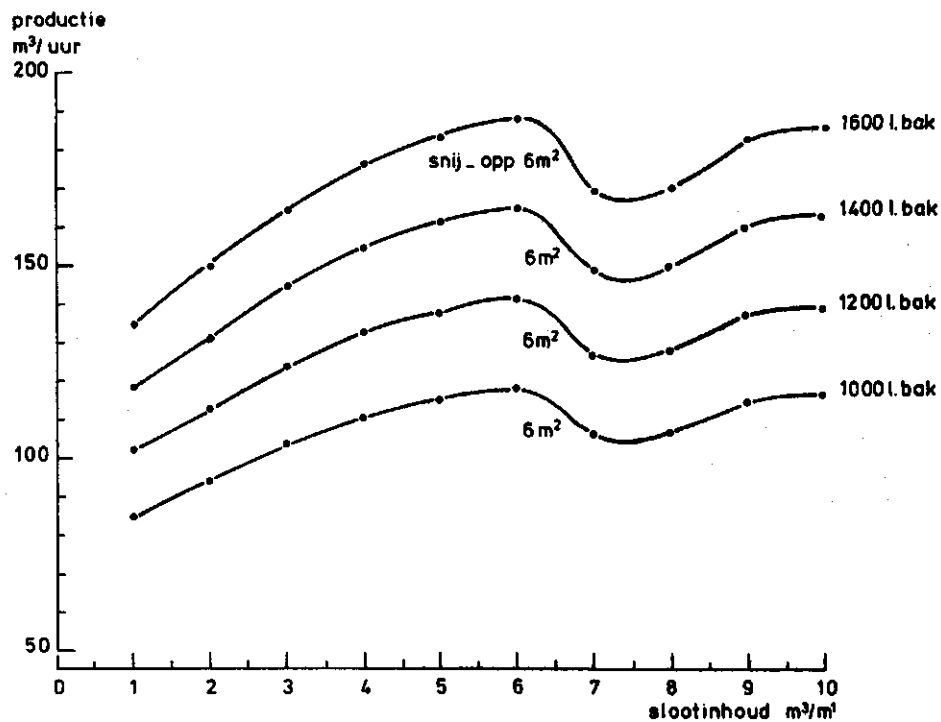


Fig. 7. Berekend verband tussen productie, bakinhoud en slotinhoud, graafmethode I

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Voor het berekenen van kosten van het graven van sloten en leidingen is inzicht nodig in de kosten van de graafmachines per tijdseenheid en de prestaties per tijdseenheid.

Een onderzoek is ingesteld ter bestudering van de prestaties van graafmachines en de factoren die de prestaties bepalen. Het onderzoek is uitgevoerd in het besteksgebied 'Hantum-Aalzum' en gedeeltelijk in de 'Marne'. In het onderzoek zijn een drietal machines betrokken geweest die waren uitgerust met taludbakken met een inhoud van $1,32 \text{ m}^3$ en $1,1 \text{ m}^3$, helling van de vleugels $1 : 1,5$ en een snijoppervlak van 6 en $6,6 \text{ m}^2$. De werkwijze bij het graven was dat de ontgraven grond in depot werd gezet langs de nieuw gegraven leiding.

Een tweetal werkmethoden zijn onderscheiden:

- werkmethode I, waarbij per keer graven eerst een stukje leiding wordt geprofileerd, waarna de bak werd volgetrokken onderwijl de

sloot grof onder profiel brengend

- werkmethode II, waarbij de bouwvoor eerst afzonderlijk werd ontgraven, vervolgens de leiding grof onder profiel wordt gebracht, waarna de leiding nauwkeurig wordt geprofileerd.

Gebleken is dat bij graafmethode I de prestatie circa 10% groter is dan bij methode II bij gelijke bakinhoud. De prestaties hangen voorts samen met de inhoud van de leiding per lengte-eenheid. Bij methode I is de productie circa 110 m^3 per uur bij slootinhoud van $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ en circa 155 m^3 per uur bij slootinhoud van $6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ (bakinhoud $1,3 \text{ m}^3$). Bij grotere slootinhouden neemt de productie weer af (135 m^3 per uur bij slootinhoud $7,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$). De oorzaak is dat de uitleveringsfactor aanzienlijk groter is dan bij kleinere sloten, doordat de toppen van de vleugels van de talud-bak dan juist door de bovenlaag snijden waardoor veel grond los naar beneden stort. Het is waarschijnlijk dat dit proces in het algemeen zal optreden wanneer het snijoppervlak van de bak gelijk is aan het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de leiding.

Het verschil tussen de producties van de twee methoden wordt verklaard door de gemiddeld geringere bakvullingsgraad bij methode II. Bij methode I varieerde de bakvulling van 0,8 (slootinhoud $1,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) tot circa 1,15 (slootinhoud circa $7,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$), terwijl dit bij methode II 0,8 (slootinhoud circa $4,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) tot circa 1 (slootinhoud $7,9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$).

Toenemende productie bij grotere slootinhouden, tot zekere grens, waarna de productie geringer wordt bij nog grotere slootinhoud, is het gevolg van een complex samenspel van geringer wordende cyclustijden, toenemende bakvullingsgraad en toenemende uitleveringsfactor van de grond, waarbij de laatste twee factoren overwegen.

De cyclus, dit is de tijdsduur die nodig is voor 1 keer een bak volgraven, lossen en de bak weer in positie brengen voor een volgende keer graven, vermeerderd met de tijd per cyclus die nodig is voor verplaatsen van de machine, is bij graafmethode I groter dan bij graafmethode II. Bij methode I varieerde deze van circa 0,48 min (slootinhoud $1,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) tot 0,44 min (slootinhoud $7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$). Bij methode II was dit circa 0,35 min (slootinhoud $3,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) tot circa 0,4 min (slootinhoud $7,9 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$).

De extra tijd per graafcyclus, die nodig is om de bak in positie te manoeuvreren voor het profileren en de extra tijd voor het graven tijdens profileren werd berekend. Deze extra tijd is gemiddeld circa 0,055 min respectievelijk 0,066 min. Berekend werd voorts dat de productie met circa 37% zou stijgen indien de leidingen niet nauwkeurig onder profiel zouden worden afgewerkt.

Gebleken is dat wanneer wordt gewerkt onder erg natte omstandigheden van de top laag de bak snel verontreinigd wordt met aanhelevende grond. Schoonmaken van de bak gebeurt dan in handkracht.

Tot slot is een formule opgesteld waarmee de productie kan worden berekend van graafmachines. De samenhang tussen slootinhoud, bakinhoud en uitleveringsfactor van de grond is hier in verwerkt. Met deze formule is voor verschillende bakinhouden (1,0, 1,2, 1,4 en 1,6 m³) met snijoppervlak van circa 6 m², de productie in samenhang met de slootinhoud berekend voor methode I, onder aanname dat slechts een verband geldt tussen slootinhoud en uitleveringsfactor van de grond. De resultaten zijn in fig. 7 weergegeven.

Daar het onderzoek van beperkte duur en omvang is geweest, kunnen de gepresenteerde resultaten slechts met gepaste zorgvuldigheid worden gebruikt.

LITERATUUR

VERHAGEN, A., 1969. In: Cultuurtechnische Verhandelingen, p 223-247

Staatsuitgeverij Den Haag

GILST, W.J. VAN, 1963. Machines op Cultuurtechnische Werken in

Nederland. I.L.R. 75 (I.L.R. is het huidige IMAG)

KON. NED. HEIDE MAATSCHAPPIJ, 1963. Calculatie Vademecum