

PRESTATIES VAN HYDRAULISCHE GRAAFMACHINES,
UITGERUST MET EEN RONDE TALUDBAK, BIJ HET
GRAVEN VAN SLOTEN EN LEIDINGEN
(resultaten 1980)

G.H. Horst

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

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 zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

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

ISBN 144688-01

I N H O U D

	Blz.
1. INLEIDING	1
2. THEORIE	2
2.1. Prestaties-bepalende factoren	2
2.2. Graafmethode	4
2.3. Meetmethode	5
3. RESULTATEN	6
3.1. Tijdstudie	6
3.2. Productie	10
3.3. Uitleveringsfactor en bakvullingsgraaf	12
3.4. Secundaire prestatie-beïnvloedende factoren	13
4. BEREKENING PRODUCTIE	13
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	16
LITERATUUR	19
BIJLAGE	

1. INLEIDING

Voor het opstellen en beoordelen van begrotingen van grondwerk moet men, naast gegevens omtrent de te verwerken hoeveelheden, kunnen beschikken over productiecapaciteiten van de machines en de kosten per tijdseenheid.

De omvang van het grondwerk is af te leiden uit het bestek.

Voor de kosten van werktuigen worden jaarlijks normen gegeven onder andere "Nivag"-normen, "Boval"-normen.

De capaciteit van werktuigen (in m, m² of m³ per tijdseenheid) worden verkregen door tijdwaarneming (VAN GILST, 1963 en KNHM, 1963) en eventueel door nacalculatie (VERHAGEN, 1969). Aangezien de momenteel beschikbare normen veelal uit de zestiger jaren dateren en gezien de ontwikkelingen van het machinepark en de veranderingen in werkmethoden is het de vraag of deze normen nog juist zijn.

Op verzoek van de Landinrichtingsdienst is onder meer een onderzoek ingesteld naar de prestaties van hydraulische graafmachines (opruipen) met een taludbak bij het graven van sloten en leidingen. In 1979 is met dit onderzoek begonnen (HORST, 1979).

In 1980 is het onderzoek voortgezet in het besteksgebied "Ee-Engwierum" in de ruilverkaveling Oost- en Westdongeradeel.

Bij de aanvang van dit onderzoek, bleek dat er een nieuwe type taludbak, een zogenaamde ronde taludbak, werd gebruikt. In figuur 1 en 2 is het model van een conventionele respectievelijk ronde taludbak weergegeven. Zoals uit figuur 2 blijkt, is de ronde taludbak, in tegenstelling tot de conventionele taludbak, over het gehele (snij-) profiel grondhoudend (vleugels en bak vormen één geheel), met andere woorden vrijwel alle grond, die los gesneden wordt, wordt met de bak meegenomen.

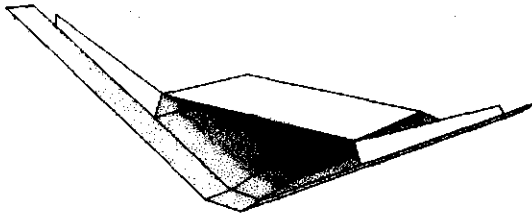


Fig. 1. Schematische weergave
conventionele taludbak

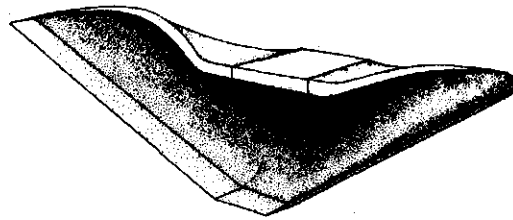


Fig. 2. Schematische weergave ron-
de taludbak

Deze ronde taludbak, met een inhoud van $1,6 \text{ m}^3$, was gemonteerd aan een Caterpillar 235. De ronde taludbak had een vleugellengte van 2,40 m en een vleugelstand van $1 : 1\frac{1}{2}$. De vrijkomende grond werd steeds langs de sloot/leiding in depot gezet.

Aangezien de meeste sloten gegraven zijn met deze ronde taludbak en derhalve ook de meeste waarnemingen hieraan verricht zijn, zal in deze nota hoofdzakelijk ingegaan worden op de prestaties met deze ronde taludbak.

2. THEORIE

2.1. P r e s t a t i e s - 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 tijds-eenheid wordt vergraven en naast de gegraven sloot/leiding in depot wordt gezet. De werkfasen, die hierbij te onderscheiden zijn, zijn:

- graven, waarbij de machine op een plaats blijft staan;
- transport, waarbij de machine naar de volgende (graaf-)plaats rijdt.

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.
- profileren : Onder profileren wordt het onder profiel brengen van

de sloot verstaan. In de praktijk echter wordt veelal profilerend gegraven, dat wil zeggen tijdens één graafcyclus wordt eerst een stukje ruw onder profiel gebrachte (gegraven) sloot geprofileerd en vervolgens wordt de (talud-)bak "vol" gegraven. In het navolgende zal dan ook uitsluitend gesproken worden over 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 tussen twee opeenvolgende transporten ligt plus de tijd van één transport en een graafcyclus als de tijd, die nodig is voor het uitvoeren van alle handelingen, die nodig zijn om 1 keer de bak "vol" te graven en te lossen. Per transportcyclus wordt een volume Q met een uitleveringsfactor a gegraven en in depot gezet.

De benodigde tijd voor het graven en in depot zetten van het volume Q is derhalve:

$$T_t = \frac{Q \cdot a}{B_i \cdot B_v} (G_{pr} + Z + L_t + Z_t) + T \quad (1)$$

- Hierin is: Q = volume vergraven grond per transportcyclus (m³)
 a = uitleveringsfactor van de grond
 G_{pr} = tijd nodig voor 1 keer profilerend graven (min)
 Z = tijd nodig voor 1 keer zwenken (min)
 L_t = tijd nodig voor 1 keer lossen (min)
 Z_t = tijd nodig voor 1 keer terugzwenken (min)
 T = tijd nodig voor transport naar volgende standplaats (min)
 B_v = bakvullingsgraad
 B_i = bakinhoud

Bij het profilerend graven worden boven- en ondergrond vermengd ontgraven, derhalve zijn boven- en ondergrond niet gescheiden in vergelijking 1 weergegeven.

De prestatie tijdens het graven van sloten/leidingen is derhalve:

$$q = c \cdot \frac{Q}{Tt}$$
$$= c \cdot \frac{Bv \cdot Bi}{a} \left(Gpr + Z + Lt + Zt + \frac{T}{n} \right)^{-1} \quad (2)$$

Hierin is: c = omrekeningsfaktor. Afhankelijk van de tijdseenheid, die men wil hanteren. Voor q in m^3 per uur is $c = 60$.

$$n = \frac{a \cdot Q}{Bv \cdot Bi} = \text{aantal graafcycli per transportcyclus.}$$

Noemen we de afstand tussen de opeenvolgende standplaatsen van de hydraulische graafmachine L en het oppervlak van de doorsnede van het slootprofiel F , dan is de hoeveelheid vergraven grond per transportcyclus derhalve:

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

en het aantal graafcycli per transportcyclus is:

$$n = \frac{a \cdot L \cdot F}{Bv \cdot Bi} \quad (4)$$

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

2.2. Graafmethode

Vaak wordt een werkmethode toegepast waarbij vrijwel uitsluitend profilerend gegraven wordt, dat wil zeggen eerst wordt een stukje geprofileerd, waarna de (talud-)bak naar binnen toe "vol" getrokken wordt (zie fig. 3).

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 ($> 8 m^3/m$) wordt er soms een enkele maal uitsluitend gegraven (van 3 naar 4). Bij deze graafmethode worden boven- en ondergrond vermengd ontgraven.

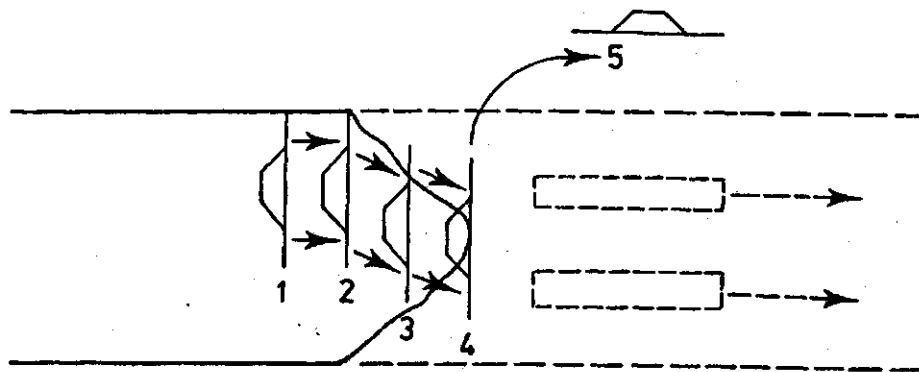


Fig. 3. Schematische weergave graafmethode

2.3. Meetmethode

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

De benodigde tijd voor de onderscheiden handelingen per graafcyclus is direct gemeten. De bovengenoemde tijdstudies zijn steeds gedurende 1 - 12 minuten verricht.

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 ongraven.

Deze uitlevering, het losser 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.

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 afgestreken 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 (m^3)
 $B_{v,j}$ = bakvullingsgraad tijdens graafcyclus j
 n = totaal aantal graafcycli
 B_i = bakinhoud (m^3)

3. RESULTATEN

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

Tijdens de verrichte waarnemingen is de tijdsduur van vrijwel alle te onderscheiden werkonderdelen afzonderlijk gemeten. De hoeveelheid vergraven grond is naderhand bepaald door het oppervlak van de dwarsdoorsnede van de sloot en de gegraven lengte sloot te meten.

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

Tabel 1. Resultaten tijdstudie aan hydraulische graafmachines met taludbak

Sloot- profiel F	Verpl. afstand L	Aantal cycli n	Graaf- tijd G	Zwenken Z	Lossen Lc	Terug- zwenken Zt	Transport- tijd T	Gem. bak- vulling Bv	Hitlev. factor a	Bak- inhoud Bi	Gem. cyclus- tijd Tc	Netto productie q	Cpname duur [¶]
0.42 ^v	+ 3.38	+ 2.00	7.33	6.00	3.67	8.00	3.00	0.73	1.67 ^v	1.6	26.50	161.8	78 ^v
2.03	+ 1.61	+ 3.58	10.41	7.15	3.15	8.33	3.83	0.77	1.34	1.6	30.00	182.1	1020
2.20	+ 2.24	+ 5.33	9.94	6.50	3.38	8.29	4.21	0.75	1.30	1.6	29.13	190.2	466
6.58	1.20	6.40	10.16	7.94	3.88	7.50	2.50	0.99	1.29	1.6	29.78	248.4	953
7.08 ^v	+ 0.82	+ 5.50	8.09	7.45	3.55	6.89	3.61	1.36	2.05 ^v	1.6	26.64	238.0	293 ^v
8.01	+ 1.08	+ 6.80	11.12	8.18	4.00	9.20	2.80	1.04	1.31	1.6	32.82	232.3	588
8.58	+ 1.25	+ 8.57	11.50	8.20	5.60 ^o	8.70	5.63	1.03	1.31	1.6	34.57	217.6 ^o	1037
9.67	-	-	11.11	8.00	3.68	7.62	5.88	1.30	1.42	1.6	30.82	284.3	863
10.50	+ 1.08	+ 8.40	10.19	7.71	3.76	6.57	3.43	1.12	1.33	1.6	29.19	277.8	613
10.54	0.90	6.83	10.44	7.56	3.83	7.44	3.22	1.14	1.32	1.6	30.32	273.5	1243
12.63	+ 1.01	+ 7.11	11.41	8.13	4.00	7.93	4.07	1.36	1.21	1.6	33.41	322.1	1069

^v meting is van (te) korte duur, zodat niet alle factoren nauwkeurig bepaald kunnen worden

^o de tijdsduur, waarin de productie bepaald is, is in alle gevallen langer dan de opnameduur

o de bak lost af en toe zeer slecht, wordt de productie gecorrigeerd naar de gem. lostijd van de overige waarnemingen, dan zal de productie circa 230 m³/uur bedragen

N.B. tijden in eenheden van centiminuten.

afstand (n=1), oppervlakte (n=2) en volume (n=3) in eenheden van mⁿ
productie in m³/uur

$$L = \frac{q}{F} \cdot \frac{T_c}{60} \cdot n \quad (6)$$

Waarin: q = productie (m^3 /uur)

T_c = gemiddelde cyclustijd (min)

F = inhoud slootprofiel (m^3 /min)

n = aantal graafcycli per transportcyclus

De resultaten zijn samengevat weergegeven in tabel 1. Uit tabel 1 blijkt, dat het zwenken en het terugzwenken ongeveer evenveel tijd vraagt (gemiddeld respectievelijk 7.53 en 7.86 cmin).

De zwenktijd geeft enigszins een relatie te zien met de slootinhoud, dat wil zeggen de zwenktijd loopt enigszins op met de slootinhoud, of beter gezegd met de slootdiepte, hetgeen ook aannemelijk is, omdat de zwenkafstand toeneemt. De terugzwenktijd geeft daarentegen geen relatie te zien met de slootinhoud c.q. slootdiepte. Het terugzwenken is een combinatie van de (talud-)bak op de juiste diepte en in graafpositie brengen. Aangezien bij kleinere slootinhouden de transportafstand groter is, zal ook de profileerlengte per graafcyclus groter zijn dan bij grotere slootinhouden. Anderszijds moet bij grotere slootinhouden de (talud-)bak dieper ingezet worden. Derhalve zal de terugzwenktijd bij kleinere en grotere slootinhouden, tot een zekere inhoud, ongeveer gelijk zijn (zie ook bijlage 1).

De verplaatste afstand neemt af naarmate de slootinhoud toeneemt en vanaf een bepaalde slootinhoud blijft deze afstand vrijwel constant. Deze samenhang lijkt aannemelijk, omdat de rijkwijdte van de kraan beperkt is en de machinist goed zicht moet kunnen houden op het werk, ook bij grotere slootdieptes. De graaftijd lijkt niet of nauwelijks een relatie te vertonen met de slootinhoud.

Gebleken is dat het graven met de ronde taludbak gemiddeld circa 5.8 cmin minder tijd vergt dan met een conventionele bak (bijlage 1).

Het zwenken, dat in principe ook niets met de bakvorm te maken heeft, vraagt zowel bij de ronde als de conventionele taludbak \pm 7.50 cmin. Het terugzwenken (inclusief inzetten) daarentegen duurt bij de ronde taludbak ongeveer de helft van de terugzwenktijd bij de conventionele taludbak (gemiddeld respectievelijk 7.86 en 15.57 cmin). Gebleken is, dat het inzetten, dit is het in graafpositie brengen van

de taludbak, (zeer) weinig tijd vergde, doch dit zal slechts een gedeelte van het verschil in terugzwenktijd kunnen verantwoorden. Aangezien de zwenktijden nagenoeg gelijk zijn, lijkt een verschil in zwenksnelheden ook uitgesloten of van (zeer) geringe invloed. Een ander aspect, wat wellicht een groot deel van het verschil in terugzwenktijd veroorzaakt, is de bakvorm. De ronde taludbak neemt vrijwel alle losgesneden grond mee, terwijl overstortende grond niet of nauwelijks voorkomt. Bij de conventionele taludbak wordt vrij veel grond losgesneden, die niet in dezelfde graafcyclus wordt meegenomen (onder andere doordat de vleugels geen grond houden). Bij het graven met een conventionele taludbak moet de taludbak dan ook verder van de hydraulische graafmachine worden ingezet dan met een ronde taludbak. Dit zal zeer zeker de terugzwenktijd en dus de graaftijd aanzienlijk beïnvloeden.

Daarnaast zullen ook het werkinzicht en het werkanimo van de machinist van invloed zijn op de duur van de handelingen.

Verder blijkt uit tabel 1 en bijlage 1 dat de ronde taludbak enigszins beter en sneller lost.

Ook de transportsnelheid (naar de volgende standplaats) ligt hoger, namelijk gemiddeld 2.3 km/uur tegen gemiddeld 1.0 km/uur in 1979. Aangezien deze transporten over zeer kleine afstanden (veelal rond 1.0 m) gaan zal de accuraatheid van machinist hierbij een grote rol (kunnen) spelen.

Tot slot valt op, dat de gemiddelde opnameduur van de waarnemingen van 1980 aanzienlijker korter is dan die van 1979, waarbij opgemerkt dient te worden, dat de tijdsduur, waarover de productie bepaald is, in 1980 in alle gevallen groter is dan de opnameduur van de diverse onderscheiden handelingen.

Deze korte opnameduur is onder andere veroorzaakt door:

- de aanzienlijke hogere productie, welke met de ronde taludbak gerealiseerd wordt, wordt omgekeerd per tijdseenheid ook een grotere lengte sloot/leiding gegraven, zodat per tijdseenheid vaker gestopt moet worden om een volgende gedeelte van de te graven sloot uit te zetten;
- het graven van (nieuwe) sloten binnen het bestek, waarin onderzoek

verricht werd, was beperkt. Bovendien waren de nieuw te graven sloten/leidingen ook van beperkte lengte, zodat door het discontinue waarnemen van deze machinecombinatie vrij grote afstemverliezen in het onderzoek ontstonden;

- voorts werd er door een dreigende ontslag voor een aantal werknemers veel onderling overleg gepleegd, waardoor vrij veel werkonderbrekingen, al of niet van langere duur ontstonden, welke de opnameduur ook nadelig beïnvloeden.

Anderzijds is het ook zo, dat door de kortere cyclustijd een groter aantal cycli en daardoor een groter aantal handelingen per tijdseenheid worden opgenomen en derhalve kan de opnameduur ook enigszins geringer zijn dan bij een langere cylusduur.

3.2. P r o d u c t i e

In figuur 4 is het verband weergegeven tussen de gemeten productie en de inhoud van de gegraven sloot/leiding. De gerealiseerde producties hebben betrekking op het graven van sloten/leidingen, waarbij de vrijkomende grond in depot wordt gezet.

Deze 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. In figuur 4 is voorts een berekende productiekromme van een conventionele taludbak met een inhoud van 1.6 m^3 weergegeven (HORST, 1979).

Uit figuur 4 blijkt, dat de productie bij het graven met een ronde taludbak toeneemt met de toename van de slootinhoud. Deze toename gaat tot een slootinhoud van circa $6.50 \text{ m}^3/\text{m}$. Bij een grotere slootinhoud treedt een productiedaling op en vervolgens weer een productiestijging. De productie is bij een slootinhoud van $\pm 6.50 \text{ m}^3/\text{m}$ ongeveer gelijk aan de productie bij een slootinhoud van $\pm 9.50 \text{ m}^3/\text{m}$. Het snijoppervlak van de ronde taludbak is 3.3 m^2 .

De golvende beweging van de productiekromme heeft enkele oorzaken:

- a) indien het slootprofiel groter is dan het snijoppervlak van de taludbak is de kans op en de mate van overstortende (boven-) grond

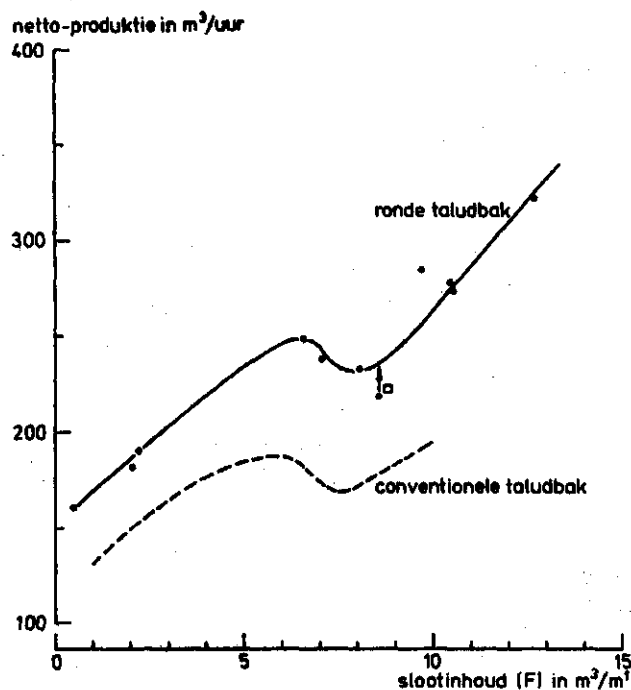


Fig. 4. Gemeten verband tussen netto productie en slootinhoud.
Productie wordt negatief beïnvloed door slecht lossende bak
(zie tabel 1)

- groter. Voorts neemt het aantal keren profileren c.q. profilerend graven per lengte-eenheid toe. Aangezien met de ronde taludbak vrijwel alle losgesneden grond in dezelfde graafcyclus wordt meegenomen, zal de relatie grootte slootprofiel - snijoppervlak (ronde) taludbak van weinig invloed zijn op de productie;
- b) bij grotere sloten ($> + 5 \text{ m}^3/\text{m}$) wordt vochtiger grond vergraven. Deze grond ligt juist boven of juist onder de grondwaterspiegel. Wanneer de drogere bovengrond en de vochtiger ondergrond vermengd in de (talud-)bak komen, kleeft de grond aan de bak vast; de mate, waarin dit gebeurt, is afhankelijk van de terreinomstandigheden. Bij een slootprofiel groter dan $5 \text{ m}^3/\text{m}$, zal de relatief natte grond minder uitleveren, waardoor de gemiddelde uitleveringsfactor afneemt en per keer meer grond ontgraven wordt.

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

Van elke waarneming is een (a-)factor berekend aan de hand van het gemeten aantal graafcycli, de geschatte bakvullingsgraad en de gemeten hoeveelheid vergraven (vaste) grond (tabel 1).

Deze (a-)factor bestaat uit een gecombineerd effect van bakverontreiniging en uitlevering van de grond. De samenhang tussen deze a-factor en de grootte van het slootprofiel is weergegeven in figuur 5.

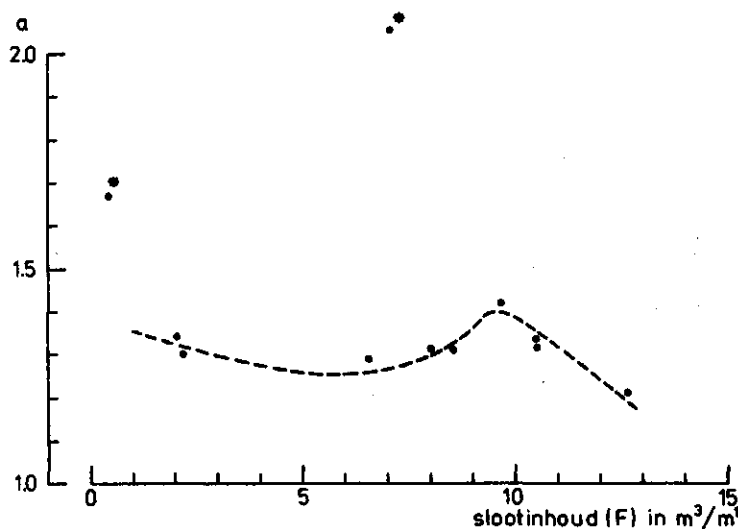


Fig. 5. Gemeten verband tussen uitleveringsfactor, inc. bakverontreiniging, en slootinhoud (* waarnemingen van (te) korte duur)

Uit figuur 5 blijkt dat ook hier een verband bestaat tussen deze factor en de grootte van het slootprofiel, met dien verstande, dat met een toenemende slootinhoud de a-factor eerst enigszins afneemt, vervolgens oploopt en weer afneemt. Dat de a-factor bij kleine slootinhouden vrij hoog is en met de toename van de slootinhoud afneemt, zal (waarschijnlijk) ontstaan door de ronde bakvorm, omdat wanneer het snijoppervlak van de (ronde) taludbak groter is dan het slootprofiel de taludbak slechts over een gedeelte van het snijoppervlak "vol" getrokken wordt, waardoor de grond in de ronde (talud-) bak gaat "krullen" en daardoor extra uitlevert.

De top in de a-kromme zal ontstaan ten gevolge van het vermengd ontgraven van drogere bovengrond en vochtigere ondergrond. Omdat bij nog grotere slootinhouden de hoeveelheid (relatief) vochtige grond toeneemt, zal dientengevolge de a-factor weer afnemen.

Uit figuur 5 blijkt niet, dat de relatie snijoppervlak-grootte slootprofiel van invloed is op de a-kromme van de ronde taludbak.

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

Tijdens de terreinwaarnemingen is gebleken, dat de (netto-)productie ook beïnvloed wordt door de wijze van uitzetten van de te graven sloot/leiding.

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.

Moeter er leidingen met een grote inhoud ($> \pm 9 \text{ m}^3/\text{m}$) gegraven worden, dan worden er meestal aan weerszijden van de leiding een raai piketten uitgezet, waarover de machinist een lijntje spant.

Wanneer bij kleinere slootinhouden de piketten aan die kant van de leiding geslagen worden, waar ook de grond in depot wordt gezet, vallen regelmatig kluiten op het lijntje. Het lijntje wordt met de machine weer vrij gemaakt, wat vrij veel tijd vergt. Gebleken is dat de productie hierdoor met meer dan 5% kan teruglopen.

4. BEREKENING PRODUCTIE

Met het in hoofdstuk 2 ontwikkeld model (vgl. 2) en de in hoofdstuk 3 gevonden waarden voor verschillende werkonderdelen kunnen producties worden berekend. Uit tabel 1 wordt daartoe een verband afgeleid tussen

slootinhoud, aantal graafcycli per uur en de gemiddelde bakvulling.
In tabel 2 is deze samenhang weergegeven.

Tabel 2. Relatie slootinhoud, aantal graafcycli per uur en de gemiddelde bakvullingsgraad

Slootinhoud F	Aantal graafcycli per uur $c. (Gpr+Z+Lt+Zt+\frac{T}{n})^{-1}$	Gemiddelde bak- vullingsgraad Bv	Bv.c. $(Gpr+Z+Lt+Zt+\frac{T}{n})^{-1}$
0.42	230.77*	0.73	169.23*
2.03	200.00	0.77	152.94
2.20	206.01	0.75	154.51
6.58	201.47	0.99	200.21
7.08	225.26*	1.36	305.12*
8.01	182.80	1.04	190.32
8.58	173.58	1.03	178.26
9.67	194.67	1.30	252.38
10.50	205.55	1.12	230.02
10.54	197.91	1.14	225.42
12.63	179.61	1.36	244.15

* waarnemingen van (te) korte duur

Deze samenhang laat zich beschrijven met (zie fig. 6):

$$y = 8.924F + 132.99 \quad (7)$$

$$r = 0.87$$

Hierin is: y = aantal graafcycli per uur x gemiddelde bakvullings-
graad

$$F = \text{slootinhoud in m}^3/\text{m}$$

Substitutie van vergelijking 7 in vergelijking 2 geeft:

$$q = \frac{Bi (8.924F + 132.99)}{a} \quad (8)$$

Waarin: q = netto productie in m^3 /uur

B_i = bakinhoud taludbak in m^3

F = slootinhoud in m^3/m

a = uitleveringsfactor inclusief bakverontreiniging

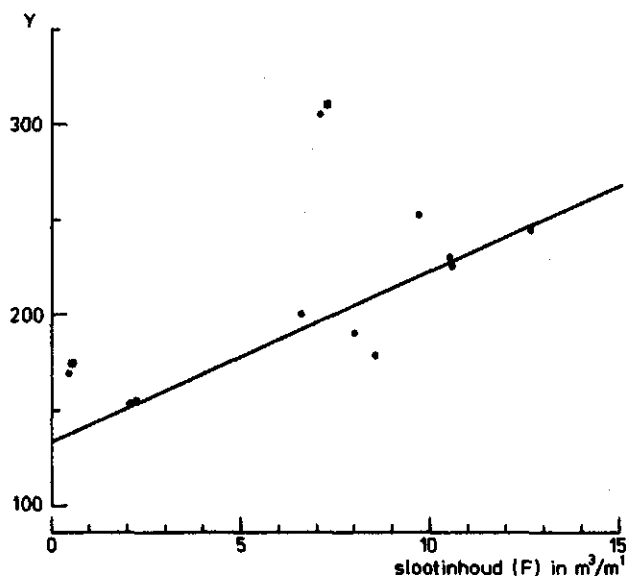


Fig. 6. Samenhang tussen het aantal graafcycli per uur x gemiddelde bakvullingsgraad (=y) en de slootinhoud (F)

* waarnemingen van (te) korte duur

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 ronde taludbakken met verschillende inhouden en bij verschillende slootinhouden de (netto) productie te berekenen.

Omgekeerd kan, wanneer de netto-productie bekend is, de a -factor met deze vergelijking worden bepaald. In figuur 7 is dit verband weergegeven. Tevens is in figuur 7 de gevonden a -kromme voor de conventionele taludbak weergegeven (HORST, 1979).

Uit figuur 7 blijkt, dat zowel bij de conventionele als de ronde taludbak de "top" in a -kromme voorkomt bij een slootinhoud van $+ 8 m^3/m$ en dat bij het graven van sloten/leidingen van beperkte inhoud ($< 4 m^3/m$) de uitleveringsfactor bij de conventionele taludbak kleiner is dan bij de ronde taludbak is. Bij een slootinhoud van meer dan $6 m^3/m$

is de uitleveringsfactor bij de conventionele taludbak aanzienlijk groter dan bij de ronde taludbak.

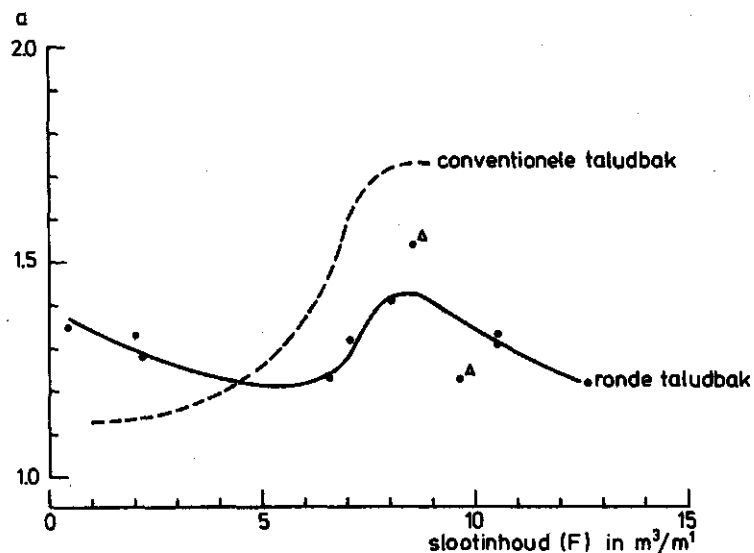


Fig. 7. Berekend verband tussen uitleveringsfactor, inclusief bakverontreiniging (a) en de slootinhoud

Δ deze punten wijken enigszins van de kromme af, omdat de productie ook enigszins afwijkend is (zie fig. 4)

Tot slot dient opgemerkt te worden, dat de productieformule (vergelijking 8) geldt voor het graven van sloten/leidingen met een maximale slootinhoud van $16 \text{ m}^3/\text{m}$. Bij grotere sloten/leidingen zal er (zeer) waarschijnlijk een afbuiging in de productiekromme optreden.

In figuur 8 zijn enkele berekende producties weergegeven.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

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

In 1979 is reeds een onderzoek ingesteld ter bestudering van de prestaties van graafmachines en de factoren, die de productie bepalen. In 1980 is het onderzoek voortgezet in het besteksgebied "Ee-Engwierum" van de ruilverkaveling Oost- en West-Dongeradeel. Het aantal nieuw te

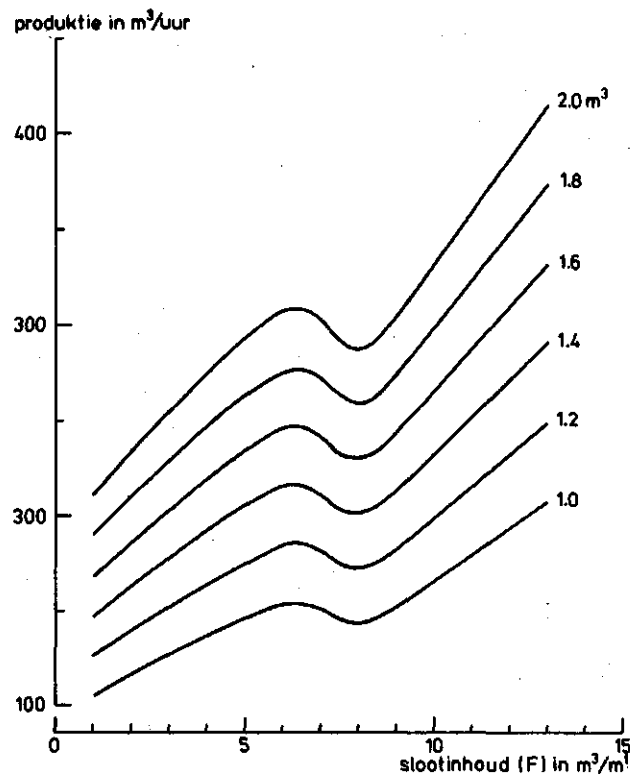


Fig. 8. Berekend verband tussen productie, bakinhoud en slotinhoud voor een ronde taludbak

graven sloten was in dit bestek beperkt.

De grootste lengte van deze sloten zijn gegraven door een Caterpillar 235 uitgerust met een ronde taludbak met een inhoud van 1.6 m^3 . De meeste waarnemingen zijn aan deze machine verricht. De vrijkomende grond werd steeds naast de gegraven sloot in depot gezet.

Er is een werkmethode toegepast waarbij per keer graven eerst een stukje sloot wordt geprofileerd, waarna de bak wordt volgetrokken waarbij de sloot grof onder profiel wordt gebracht.

Gebleken is, dat de producties nauw samenhangen met de bakinhoud en de slotinhoud per lengte-eenheid. Zo bedraagt de productie van de waargenomen machine met een bakinhoud van 1.6 m^3 bij een slotinhoud van $1 \text{ m}^3/\text{m}$ circa $170 \text{ m}^3/\text{uur}$ en bij een slotinhoud van 6, 8 en 10 m^3 respectievelijk circa 245, 230 en $265 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Toenemende productie bij grotere slotinhouden, tot zekere grens, waarna de productie geringer wordt en vervolgens weer toeneemt bij

nog grotere slootinhouden, is het gevolg van een complex samenspel van cyclustijd, bakvullingsgraad en uitleveringsfactor (inclusief bakverontreiniging), waarbij de laatste 2 factoren duidelijk overheersen.

Een vergelijk van de onderzoeksresultaten van de ronde taludbak met die van de conventionele taludbak heeft geleerd, dat de cyclustijd bij een ronde taludbak aanzienlijk geringer is dan bij een conventionele taludbak. Het graven en het terugzwenken, inclusief inzetten vergt bij de ronde taludbak veel minder tijd. Verder is gebleken, dat de ronde taludbak enigszins sneller lost.

Bovendien is het verloop van de uitleveringskromme enigszins afwijkend van de conventionele bak. Vooral bij grotere slootinhouden is de uitleveringsfactor bij de ronde taludbak aanzienlijk lager.

Uit de uitleveringskromme (inclusief bakverontreiniging) van de ronde taludbak blijkt geen invloed van de verhouding snijoppervlak taludbak-oppervlak slootprofiel. Dit wordt veroorzaakt doordat vrijwel geen grond over de vleugels van de bak stort. De voorkomende grote uitleveringsfactor bij een slootinhoud van circa $6,5 \text{ m}^3$, wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat natte grond met droge grond wordt vermengd. De uitleveringsfactor houdt waarschijnlijk meer verband met de grondwaterstand dan met het snijoppervlak van de profielbak.

Door al deze, op de productie van invloed zijnde, verschillen ligt de productie met de ronde taludbak afhankelijk van de slootinhoud per lengte-eenheid 22 tot 38% hoger dan de productie van conventionele taludbak bij slootinhouden kleiner dan $10 \text{ m}^3/\text{m}$, waarbij de invloed van machinisten en machines op de productie voor beide combinaties gelijk gesteld is.

Tot slot is een formule opgesteld, waarmee de productie kan worden berekend van graafmachines uitgerust met een ronde taludbak. De samenhang tussen slootinhoud, bakinhoud en uitleveringsfactor van de grond is hierin verwerkt.

Met deze formule is voor verschillende bakinhouden (1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 en 2.0 m^3) de productie in samenhang met de slootinhoud berekend. De resultaten zijn weergegeven in figuur 8.

Daar het onderzoek van beperkte duur en omvang (slechts 1 machine uitgerust met ronde taludbak) 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 I.M.A.G.).

KON. NED. HEIDEMAATSCHAPPIJ, 1963. Calculatie Vademecum.

HORST, G.H., 1979. Prestaties van hydraulische graafmachines bij het graven van sloten en leidingen (resultaten 1979). ICW-nota 1136.

Bijlage 1

Resultaten detailwaarnemingen conventionele taludbak (resultaten 1979)

Sluot- profiel F	Verpl. afstand L	Aantal cycli n	Graaf- tijd G	Zwenken Z	Lossen Lt	Terug- zwenken Zt	Transport- tijd T	Gem. bak- vulling Br	Uitleverings- factor a	Bak- inhoud Bi	Gem. cyclus tijd Tc	Netto- productie q
1.25	1.65	2.27	17.12	5.40	5.50	16.37	8.00	0.80	1.16	1.32	47.9	114
3.23	0.98	2.67	16.88	8.71	5.29	18.46	5.44	0.88	0.98	1.32	51.4	138
4.63	0.92	4.00	15.96	6.68	3.50	15.54	4.43	0.96	1.19	1.32	42.8	149
5.39	1.20	6.17	14.35	6.93	4.43	14.57	5.83	1.00	1.26	1.32	41.2	152
5.70	0.62	3.24	15.04	7.97	-	19.34 ^v	6.76	1.09	1.31	1.32	44.4	148
6.28	0.86	5.36	15.16	6.81	3.97	14.19	6.00	1.05	1.38	1.32	41.7	144
6.39	0.87	5.21	15.77	6.44	4.56	13.48	5.21	1.16	1.44	1.32	41.3	154
6.92	0.62	3.71	17.38	9.77	3.92	16.39	4.00	1.05	1.19	1.32	48.6	143
7.10	0.50	3.75	15.78	8.04	-	18.20 ^v	5.50	1.27	1.79	1.32	43.5	130

^v inclusief lossen

N.B. tijd in eenheden van centiminuten

afstand (n=1), oppervlak (n=2) en volume (n=3) in eenheden van mⁿ
productie in m³/uur