

NN31545.1170

NOTA 1170 ^I

januari 1980

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

PRESTATIES VAN HYDRAULISCHE GRAAFMACHINES (OP RUPSEN)
BIJ HET VERRUIMEN, OPSCHONEN C.Q. PROFILEREN VAN SLOTEN
(RESULTATEN 1979)

G.H. Horst

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, 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 onder-
zoek nog niet is afgesloten.

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

JSN 178 400 01

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 | 7 |
| 3.1. Tijdstudie | 7 |
| 3.2. Produktie | 11 |
| 3.3. Uitleveringsfactor en bakvullingsgraad | 12 |
| 3.4. Secundaire produktie beïnvloedende factoren | 13 |
| 4. BEREKENING PRODUKTIE NORMEN | 15 |
| 5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES | 22 |
| LITERATUUR | 24 |

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 af te leiden uit het bestek. Voor de kosten van de werktuigen gelden de zogenaamde 'Nivag'-normen. De capaciteit van werktuigen (in m', m² of m³ grond per tijdseenheid) wordt verkregen door tijdwaarneming en nacalculatie. Onderzoek naar prestaties van werktuigen op cultuurtechnische werken zijn verricht door VAN GILST (1963) en KNHM (1963). Door de KNHM 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 (op rupsen), uitgerust met een dwarsbak, bij het verruimen, opschoonen en profileren van sloten. Het hier bedoeld onderzoek is gestart in april 1979 en is uitgevoerd in het besteksgebied 'Hantum-Aalzum' in de ruilverkaveling Oost- en Westdongeradeel.

In het onderzoek zijn een drietal hydraulische graafmachines betrokken geweest:

een O & K RH12LC met een bak van 1,50 m³
een O & K RH9 met een bak van 1,15 m³ en
een caterpillar 225 met een bak van 1,10 m³

Alle machines zijn uitgerust met een dwarsbak (c.q. slotenbak). De breedte van de bakken varieerde van 2,25 tot 2,64 m. De uitgegraven grond werd steeds langs de sloot 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

Bij het opschonen, verruimen en profileren van sloten wordt de prestatie van de graafmachines uitgedrukt in de hoeveelheid grond, die per tijdseenheid wordt gegraven en naast de sloot in depot wordt gezet of in het aantal strekkende meters, dat per tijdseenheid wordt gedaan.

De te onderscheiden werkfasen zijn:

- Graven : waarbij de machine op één plaats blijft staan
- Transport : waarbij de machine naar de volgende 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.

Bij geringe hoeveelheid uitkomende specie wordt er nagenoeg uitsluitend geprofileerd.

Bij grotere hoeveelheden uitkomende specie wordt er afhankelijk van die hoeveelheid 1 keer of vaker gegraven, alvorens er (1 keer) wordt geprofileerd

- Lossen : bij de sloten, waarbij detailwaarnemingen zijn verricht, is de grond naast de sloot/leiding in depot gezet
- Inzetten : onder inzetten wordt verstaan het voor het profileren in positie brengen van de bak. In sommige gevallen is de grens tussen zwenken en inzetten niet of nauwelijks waarneembaar. In dergelijke gevallen wordt het inzetten tot het zwenken gerekend

We definiëren nu een transportcyclustijd als de tijd, die tussen twee opeenvolgende transporten ligt plus de tijd van één transport 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, 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:

$$T_t = \frac{\alpha \cdot Q \cdot a}{B_i \cdot B_v} \left(\frac{S_o}{V_{go}} + Z_o + L + Z_{to} \right) + \frac{\beta \cdot Q \cdot a}{B_i \cdot B_v} \left(\frac{S_o}{V_{po}} + Z_o + L + Z_{to} \right) + \frac{\epsilon \cdot Q \cdot a}{B_i \cdot B_v} \left(\frac{S_e}{V_{ge}} + Z_e + L + Z_{te} \right) + \frac{(1-\alpha-\beta-\epsilon) \cdot Q \cdot a}{B_i \cdot B_v} \left(\frac{S_e}{V_{pe}} + Z_e + L + Z_{te} \right) + T \quad (1)$$

waarbij: $\frac{\beta \cdot Q \cdot a}{B_i \cdot B_{vmax}} < 1$ en

$$\frac{(1-\alpha-\beta-\epsilon) \cdot Q \cdot a}{B_i \cdot B_{vmax}} < 1$$

en waarin:

- Q = volume uitgegraven grond per transportcyclus
- $\alpha \cdot Q$ = volume uitgegraven grond tijdens graven talud overkant
- $\beta \cdot Q$ = volume uitgegraven grond tijdens (af)profiëren talud overkant
- $\epsilon \cdot Q$ = volume uitgegraven grond tijdens graven talud eigen kant
- a = uitleveringsfactor van de grond
- S_o = graaf- c.q. profileerlengte talud overkant sloot
- S_e = graaf- c.q. profileerlengte talud eigen kant sloot
- V_{go} = graafsnelheid talud overkant
- V_{po} = profileersnelheid talud overkant
- V_{ge} = graafsnelheid talud eigen kant
- V_{pe} = profileersnelheid talud eigen kant
- Z_o = benodigde tijd voor 1 keer zwenken van overkant sloot
- Z_{to} = benodigde tijd voor 1 keer zwenken naar overkant sloot
- Z_e = benodigde tijd voor 1 keer zwenken van eigen kant sloot
- Z_{te} = benodigde tijd voor 1 keer zwenken naar eigen kant sloot
- L = benodigde tijd voor 1 keer lossen
- T = benodigde tijd voor transport naar volgende standplaats
- B_v = bakvullingsgraad
- B_i = bakinhoud

De volumes worden in eenheden van m³ en de tijd in eenheden van minuten uitgedrukt. De prestatie is derhalve:

$$q = c \cdot \frac{Q}{Tt}$$

$$= c \cdot \frac{Bv.Bi}{a} \left(A \cdot \frac{Se}{Vpe} + BZe + L + CZte + \frac{T}{n} \right)^{-1} \quad (2)$$

waarin: $A = \alpha \left(\frac{So.Vpe}{Se.Vgo} - 1 \right) + \beta \left(\frac{So.Vpe}{Se.Vpo} - 1 \right) + \epsilon \left(\frac{Vpe}{Vge} - 1 \right) + 1$

$$B = (\alpha + \beta) \left(\frac{Zo}{Ze} - 1 \right) + 1$$

$$C = (\alpha + \beta) \left(\frac{Zto}{Zte} - 1 \right) + 1$$

$$n = \frac{a.Q}{Bv.Bi}$$

hierin is n het aantal graafcycli per transportcyclus

c = omrekeningsfactor. Afhankelijk van de tijdseenheid, die men wil hanteren. Voor q in m³ per uur is c = 60

De afstand tussen twee opeenvolgende standplaatsen van de machine is gelijk aan de effectieve werkbreedte van de dwarsbak. Noemen we nu deze afstand ΔB en de hoeveelheid uitkomende specie per strekkende meter I, dan is derhalve

$$Q = I \cdot \Delta B \quad (3)$$

en

$$n = \frac{a.I}{Bv.Bi} \cdot \Delta B \quad (4)$$

Hiermede is q een functie van onder andere de bakinhoud, de effectieve werkbreedte van de bak en de hoeveelheid uitkomende specie per lengte-eenheid.

2.2. Graafmethoden

Er zijn een tweetal graafmethoden te onderscheiden:

Graafmethode I: Bij deze methode wordt eerst het talud aan de overkant van de sloot plus de sloothodem gedeeltelijk gegraven en/of geprofileerd. Vervolgens wordt van-

uit dezelfde standplaats het talud aan de eigen kant (machinekant) plus de slootbodem gegraven en/of geprofileerd, waarna er naar de volgende standplaats gereden wordt. (Per transportcyclus wordt dus een lengte sloot gelijk aan ΔB over het gehele profiel afgewerkt).

Graafmethode II: Bij deze methode wordt eerst uitsluitend het talud aan de overkant van de sloot gegraven en/of geprofileerd over grotere lengte, waarna er teruggereden wordt en vervolgens het talud aan de eigen kant over grotere lengte gegraven en/of geprofileerd.

Vrijwel alle bestudeerde machines werkten vrijwel uitsluitend volgens graafmethode II.

In deze nota zal dan ook alleen verder worden ingegaan op graafmethode II.

Om de produktie te kunnen berekenen met het model, zal in verband met het afzonderlijk graven en/of profileren van het talud aan de overkant en de eigen kant de transporttijd met twee vermenigvuldigd moeten worden. Vergelijking 2 wordt dan:

$$q = c \cdot \frac{Bv \cdot Bi}{a} \left(A \cdot \frac{Se}{Vpe} + BZe + L + CZte + \frac{2T}{n} \right)^{-1} \quad (5)$$

Zowel bij graafmethode I als II worden de sloten door middel van een tweetal dammetjes afgedamd en nagenoeg drooggezet (leeggeschept met de bak). Bij langere sloten wordt de sloot in etappes drooggezet

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

De produktie per tijdeenheid is bepaald door het meten van de lengte opgeschoonde sloot in zekere tijd. Van deze sloot, waarvan het oude profiel bekend is, is naderhand het nieuwe dwarsprofiel opgenomen, waarmee het volume uitkomende specie bekend is. Op de gemeten totale werktijd is de tijd in mindering gebracht, die besteed is

aan andere handelingen dan die, welke voor het werk strikt nodig zijn. Tijdens de detailtijdstudies is van alle afzonderlijke werkonderdelen de tijd direct gemeten. De detailtijdstudies zijn steeds gedurende 8-25 minuten uitgevoerd.

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' erop 1,5.

Het volume vaste grond dat gedurende de waarnemingsperiode is uitgegraven is bepaald door de lengte van de verbeterde sloot te meten en deze te vermenigvuldigen met het oppervlakteverschil tussen de profielen nadat en voor de ingreep plaats vond.

De uitleveringsfactor worden dan gevonden uit:

$$a = \frac{B_i}{Q} \cdot \sum_{j=1}^m B_{v, j} \quad (6)$$

hierin is:

Q = volume uitgegraven 'vaste' grond (m³)

B_{v, j} = bakvullingsgraad tijdens graafcyclus j

m = totaal aantal graafcycli

B_i = bakinhoud (m³)

3. RESULTATEN

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

Tijdens de verrichte detailwaarnemingen is de tijdsduur van vrijwel alle te onderscheiden werkonderdelen afzonderlijk gemeten.

Van elke handeling is bepaald hoe vaak deze per transportcyclus voorkomt. Daarnaast is de gemiddelde tijdsduur van deze handeling gemeten. De gemiddelde afstand, S waarover de graafmachine per transportcyclus wordt verplaatst, welke gelijk is aan de effectieve werkbreedte van de bak, ΔB , is berekend met:

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

hierin is:

q = produktie $m^3 \cdot h^{-1}$

Tc = gemiddelde cyclustijd 10^{-2} min

ΔF = oppervlakteverschil slootprofiel voor en na het uitvoeren van het werk m^2

n = aantal graafcycli per transportcyclus

De resultaten van de detailtijdstudies zijn samengevat weergegeven in tabel 1a en 1b.

Uit tabel 1a en 1b blijkt, dat ondanks een grote variatie in de hoeveelheid uitkomende specie en in de slootinhouden er weinig variatie is in de zwenktijd. Aangezien veelal geen duidelijk onderscheid kon worden gemaakt tussen zwenken en inzetten, is in alle gevallen het inzetten tot het zwenken gerekend. Uit deze geringe variatie in zwenktijd kan geconcludeerd worden, dat de zwenktijd bij het verbeteren van sloten grotendeels afhankelijk is van de zwenkhoek en niet van de slootinhoud. Het terugzwenken naar talud eigen kant vergt meer tijd dan het terugzwenken naar talud overkant ($\Delta t = 1,89$ cmin), omdat het inzetten c.q. in positie brengen van de bak onderin de sloot meer tijd vergt, dan het inzetten op het maaiveld aan de overkant van de sloot. Het tijdsverschil tussen het zwenken en het terugzwenken zal ongeveer gelijk zijn aan de benodigde tijd voor het inzetten.

De verplaatsingsafstand van de machine hangt samen met de effec-

Tabel 14. Resultaten detailwaarnemingen (talud eigen kant)

| L.F. | Hoeverdiepte | | Bak-Verpl. | | Anst. Graf-Prof. | | Zoenken | | Lossen | | Teruggevenken | | Transp. graven profil. | | Bakvulling | | Bak-Utilis. | | Gem. Netto | | Insteek | | Opname | | Machine | | | |
|------|--------------|--------|------------|--------|------------------|-------|---------|--------|--------|-------|---------------|------|------------------------|------|------------|-------|--------------------|---|------------|-------|---------|-----|--------|--------|---------|-----|---|--------|
| | m | | m | | m | | m | | m | | m | | m | | m | | % | | m | | m | | m | | m | | | |
| | B | S = AB | n | Ge | Gpe | Ze | Ze | L | L | L | Zte | Zte | Zte | Zte | T | Bv | Bv | a | a | Tc | q | a | a | β | β | β | β | |
| 0,12 | 2,64 | 1,75 | 1,00 | - | 7,11 | 7,75 | 2,33 | 16,07* | - | 16,07 | - | - | 0,20 | 1,50 | 1,19 | 33,26 | 364 m ³ | A | - | 0,236 | 631 | 0,4 | K | RH12LC | 631 | 0,4 | K | RH12LC |
| 0,22 | 2,64 | 1,97 | 1,00 | - | 9,39 | 8,50 | 2,44 | 16,28* | - | 16,28 | - | - | 0,34 | 1,50 | 1,08 | 36,61 | 323 m ³ | A | - | 0,280 | 692 | 0,4 | K | RH12LC | 692 | 0,4 | K | RH12LC |
| 0,33 | 2,50 | 1,77 | 2,125 | 9,50 | 11,60 | 8,88 | 1,82 | 13,53 | 12,80 | 14,75 | 4,13 | 0,78 | 0,44 | 1,15 | 1,15 | 77,49 | 135 m ³ | F | 2,00 | 0,320 | 630 | 0,4 | K | RH9 | 630 | 0,4 | K | RH9 |
| 0,76 | 2,50 | 1,79 | 2,53 | 8,47 | 9,00 | 8,87 | 2,05 | 13,58 | 14,73 | 12,83 | 4,13 | 0,78 | 0,41 | 1,15 | 1,22 | 88,36 | 117 m ³ | F | 3,14 | 0,200 | 1371 | 0,4 | K | RH9 | 1371 | 0,4 | K | RH9 |
| 0,72 | 2,50 | 1,58 | 2,14 | 4,17** | 5,44 | 6,73 | 2,67 | 13,00 | 12,25 | 14,11 | 4,14 | 0,95 | 0,88 | 1,15 | 1,65 | 72,12 | 136 m ³ | F | 4,00 | 0,228 | 336 | 0,4 | K | RH9 | 336 | 0,4 | K | RH9 |
| 0,74 | 2,25 | 1,40 | 1,00 | - | 15,60 | 10,00 | 3,63 | 24,13 | - | 24,13 | 5,13 | - | 1,19 | 1,15 | 1,32 | 57,89 | 135 m ³ | A | - | 0,411 | 463 | 0,4 | K | RH9 | 463 | 0,4 | K | RH9 |
| 0,75 | 2,25 | 1,01 | 1,00 | 6,90 | - | 8,90 | 3,50 | 26,10 | 26,10 | - | 4,00 | 1,29 | - | 1,10 | 2,40 | 49,40 | 47 m ³ | X | A | 0,725 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,76 | 2,25 | 1,01 | 1,00 | 14,36 | - | 8,36 | 3,07 | 21,93 | 21,93 | - | 3,50 | 1,49 | - | 1,10 | 2,40 | 51,22 | 47 m ³ | X | A | 0,275 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabel 15. Resultaten detailwaarnemingen (talud overkant)

| L.F. | B | | S = AB | | n | Go | Gpo | Zo | L | Zto | Zto | Zto | T | Bv | Bv | Bi | a | Tc | q | c | β | β | | | | | | |
|------|------|--------|--------|------|-------|-------|------|--------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------------------|--------------------|----|-------|-------|------|-----|-----|--------|------|-----|-----|--------|
| | B | S = AB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B | S = AB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,12 | 2,64 | 2,13 | 1,00 | - | 15,09 | 8,70 | 3,17 | 15,57* | - | 15,57 | - | - | 0,77 | 1,50 | 1,19 | 42,53 | 330 m ³ | - | - | 0,764 | 978 | 0,4 | K | RH12LC | 978 | 0,4 | K | RH12LC |
| 0,22 | 2,64 | 1,85 | 1,00 | - | 19,28 | 9,67 | 3,56 | 15,94* | - | 15,94 | - | - | 0,82 | 1,50 | 1,08 | 48,45 | 229 m ³ | - | - | 0,720 | 872 | 0,4 | K | RH12LC | 872 | 0,4 | K | RH12LC |
| 0,33 | 2,50 | 1,64 | 1,08 | - | 13,14 | 8,64 | 2,07 | 11,43 | 11,43 | 4,23 | - | 0,97 | 1,15 | 1,15 | 42,33 | 233 m ³ | - | - | 0,500 | 549 | 0,4 | K | RH9 | 549 | 0,4 | K | RH9 | |
| 1,13 | 2,50 | 1,83 | 2,00 | 7,82 | 12,82 | 7,88 | 2,15 | 10,74 | 9,65 | 11,82 | 4,29 | 1,41 | 1,18 | 1,15 | 1,22 | 66,47 | 165 m ³ | - | - | 0,347 | 1130 | 0,4 | K | RH9 | 1130 | 0,4 | K | RH9 |
| 1,53 | 2,50 | 1,02 | 1,00 | - | 15,82 | 8,18 | 2,00 | 12,27 | - | 12,27 | 4,00 | - | 1,41 | 1,15 | 1,65 | 42,27 | 155 m ³ | - | - | 0,561 | 465 | 0,4 | K | RH9 | 465 | 0,4 | K | RH9 |
| 1,52 | 2,25 | 1,32 | 1,10 | - | 24,73 | 10,73 | 5,18 | 21,64 | - | 21,64 | 8,90 | - | 1,17 | 1,10 | 1,32 | 77,40 | 103 m ³ | - | - | 0,589 | 774 | 0,4 | K | RH9 | 774 | 0,4 | K | RH9 |

gwaast en rijdt tegelijk
 onder natte terreinomstandigheden; het goed opstellen van de machine vergt meer tijd
 derzijde sloot, doch graven en profileren wordt in afzonderlijke werkgangen uitgevoerd
 *afgestreken graven is 0,86 per transportcyclus
 **afgestreken graven is 0,86 per transportcyclus
 Afwezige werkonderbrekingen zijn niet alle gemeten cycli gesloten. Hierdoor zal de werkelijke cyclustijd, iets hoger (0,1 cmin) zijn dan de gemeten gemiddelde cyclustijd
 Afwezige sloot wordt rijden transport (terugrijden) geëgaliseerd o.g. afgestreken
 Plus: niet elke graafcyclus: F varieert enigszins per graafcyclus
 Y: inclusief egaliseren insteek sloot
 Y: afwezige een afwijkend graafpatroon (zie 1) is de gemeten produktie inclusief transport langs sloot

tieve werkbreedte van de bak. De effectieve werkbreedte van de bak (ΔB) is ca. 0,7 x de bakbreedte.

De transportsnelheid bij deze korte rijafstand bedraagt (O & K RH9) 2,5 km/uur.

Voorts blijkt uit tabel 1a en 1b, dat de lostijd bij de O & K RH 9 vrijwel constant is, terwijl deze bij de O & K RH 12LC en de Caterpillar 225 toeneemt met de bakvullingsgraad (zie fig. 1a en 1b).

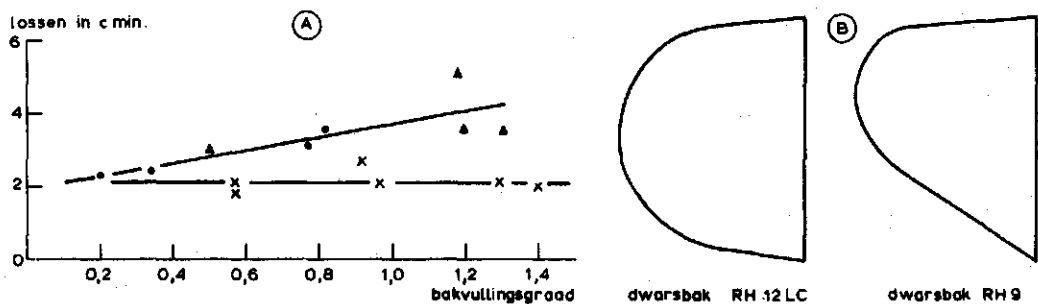


Fig. 1a. Samenhang bakvullingsgraad en en lostijd

Fig. 1b. Dwarsdoorsnede dwarsbakken van verschillende machines

- RH12LC
- ▲ Cat. 225
- × RH9

Deze toename van de lostijd wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de vorm van de bak. De helling van de bakrand is bij het lossen geringer dan bij die van de O & K RH9, waardoor de specie er minder gemakkelijk uitglijdt. De graaf- en/of profileertijd is afhankelijk van de te graven en/of profileren lengte. Deze lengte is bij benadering gelijk aan de taludlengte plus de bodembreedte. Bedraagt de bodembreedte meer dan 1 à 1,50 m, dan zal de overlap bij graven en/of profileren van overkant en eigen kant geringer zijn dan de bodembreedte. De snelheid waarmee de bak door de grond wordt getrokken noemen we graafsnelheid.

De graaf- en profileertijden alsmede de graaf- en profileerlengten zijn nader uitgewerkt weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Nadere specificatie van de graafcyclus-onderdelen

| Machine | Talud overtkant | Sloot bodem | Talud eigen kant | Overkant | | | | | | Eigen kant | | | | | | Trans- port | | |
|------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|----------|-------|------------|-------|--------------------|-------|------------|-------|-------|--------|-------|-------|----------------|--------|-------|
| | | | | graven | | profileren | | graven | | profileren | | Ze | | Zto | | | Lossen | |
| | | | | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | m/min | | m/min | m/min |
| O & K RH12LC | 2,05 | 1,05 | 2,40 | - | 15,09 | 20,54 | - | 7,11 | 47,82 | 7,75 | 8,70 | 16,07 | 15,57* | 2,75 | - | * | | |
| O & K RH12LC | 2,25 | 1,75 | 2,00 | - | 19,28 | 20,75 | - | 9,39 | 39,94 | 8,50 | 9,67 | 16,20 | 15,94* | 3,00 | - | * | | |
| O & K RH9 | 2,10 | 0,50 | 3,20 | - | 13,14 | 19,84 | 9,50 | 38,95 | 11,00 | 33,64 | 8,88 | 8,64 | 13,53 | 11,43 | 1,95 | 4,18 | | |
| O & K RH9 | 2,85/3,35 | - | 3,55 | 7,82 | 36,45 | 12,82 | 22,23 | 8,47 | 41,91 | 9,00 | 39,44 | 8,87 | 7,88 | 13,58 | 10,74 | 2,10 | 4,21 | |
| O & K RH9 | 3,10 | (1,60)2,40/4,00 | - | - | 15,82 | 19,60 | 4,17 | 57,55 ^y | 9,44 | 42,37 | 8,73 | 8,18 | 13,00 | 12,27 | 2,34 | 4,07 | | |
| Caterpillar 225 | 2,05 | 1,30 | 2,25 | - | 24,73 | 13,55 | - | 15,00 | 23,67 | 10,00 | 10,73 | 24,13 | 21,64 | 4,41 | 7,02 | | | |
| Caterpillar 225 | 0,75 | 1,15 | 2,50 | - | - | - | 6,9 | 52,90 | 14,36 | 30,64 | 8,63 | - | 24,02 | - | 3,29 | 3,75 | | |
| Gemiddeld ^v | | | | 36,45 | 20,59 | 40,43 | 40,64 | 8,55 | 8,61 | 13,37 | 11,48 | 2,43 | 4,15 | | | | | |

*inclusief één transport

^ygraaf lengte is niet exact te bepalen^vexclusief caterpillar 225

Uit tabel 2 blijkt, dat de graafsnelheid van de RH121C en de RH9 op de diverse werkonderdelen gelijk zijn.

De gemiddelde graafsnelheid bij de onderscheiden werkonderdelen zijn:

| | |
|-----------------------|---------------|
| graven overkant | + 36,45 m/min |
| profileren overkant | 20,59 m/min |
| graven eigen kant | 40,43 m/min |
| profileren eigen kant | 40,64 m/min |

De gegevens van de Caterpillar zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de ene waarneming onder zeer natte terreinomstandigheden heeft plaatsgevonden, waardoor de stabiliteit van de machine in het gedrang kwam, terwijl van de andere waarneming de graaf- en profileerlengte niet precies vastgesteld kon worden (grote variatie in graaf- en profileerlengte).

Bovendien was de desbetreffende machinist ten tijde van de waarnemingen juist overgegaan van, gedurende lange tijd, graven van nieuwe sloten op het verbeteren van sloten, hetgeen een heel andere aanpak vraagt. Verder kan nog opgemerkt worden, dat de machinist met deze (vrij nieuwe) machine voor het eerst sloten aan het profileren was. Met name het inzetten vergde veel tijd bij deze combinatie. Er zijn inzettijden gemeten van meer dan 11 min gemiddeld. De O & K-combinaties daarentegen waren alle geruime tijd bezig met het verbeteren van bestaande sloten.

3.2. P r o d u k t i e

In tabel 3 zijn de diverse gemeten produkties per combinatie weergegeven, alsmede de bakbreedte en de hoeveelheid uitkomende specie per m'.

De produkties hebben betrekking op het verbeteren van sloten, waarbij de uitkomende grond naast de sloot in depot wordt gezet.

De netto produkties zijn bepaald door de netto gewerkte tijd per lengte-eenheid verbeterde sloot te meten, of omgekeerd de netto verbeterde lengte per tijdseenheid.

Uit tabel 2 en 3 blijkt, dat de produktie bij het verbeteren van

Tabel 3. Gemeten produkties

| Machine | Produktie in m ³ /uur | Hoeveelheid uitkomende specie in m ³ /m ³ | Bakbreedte in m' |
|-----------------|-------------------------------------|---|---------------------|
| O & K RH12LC | 164,52 | 0,55 | 2,64 |
| O & K RH12LC | 134,15 | 1,00 | 2,64 |
| O & K RH9 | 85,41 | 1,65 | 2,50 |
| O & K RH9 | 68,60 | 2,10 | 2,50 |
| O & K RH9 | 67,51 | 1,80 | 2,50 |
| Caterpillar 225 | 60,00 | 1,80 | 2,25 |
| Caterpillar 225 | 40,00 | ca. 1,75 | 2,25 |

sloten voornamelijk bepaald wordt door:

- lengte taluds en bodembreedte
- bakbreedte c.q. de werkbreedte van de bak
- de hoeveelheid uitkomende specie en de bakinhoud

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 graven.

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 ervan af of de breuklijnen aan het oppervlak komen.

Dit laatste gebeurt wanneer een dunne laag wordt losgesneden.

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 1b).

Deze factor bestaat uit het gecombineerd effect van bakverontreiniging en uitlevering van de grond. De samenhang tussen deze 'uitleveringsfactor' a en het slootprofiel is in fig. 2 weergegeven.

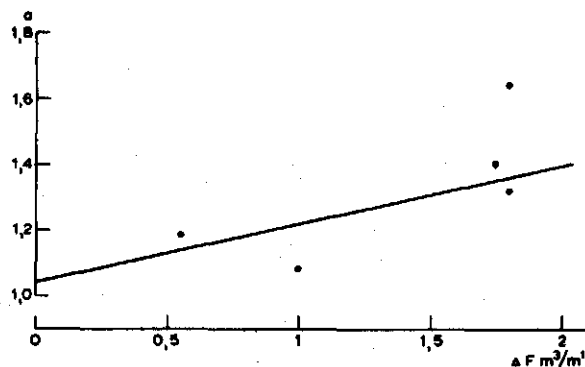


Fig. 2. Verband tussen de hoeveelheid uitkomende specie, ΔF (m^3/m') en de uitleveringsfactor (incl. bakverontreiniging), a.
($a = 0,17 \cdot \Delta F + 1,05$)

Uit fig. 2 blijkt, dat er een relatie is tussen de hoeveelheid uitkomende specie en de uitlevering, incl. bakverontreiniging. Doch aangezien de samenstelling van de uitkomende specie nogal kan variëren, zal er dientengevolge ook een vrij grote variatie in de a-factor kunnen optreden.

In het algemeen evenwel zal de a-factor hoger zijn, naarmate de hoeveelheid uitkomende specie groter is.

3.4. S e c u n d a i r e p r o d u k 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. het maken van dammetjes ten behoeve van het droogzetten van de te verbeteren sloot, alsmede het verwijderen van deze dammetjes nadien,

b. het egaliseren c.q. gladstrijken van de insteek van de sloot aan de eigen kant.

Ad a. Om bij het verbeteren van sloten het te verrichten werk goed te kunnen overzien en te kunnen uitvoeren, worden er een tweetal dammetjes in de sloot gemaakt; waarna de sloot tussen deze dammetjes wordt drooggezet.

Nadat de sloot verbeterd is, worden deze dammetjes weer verwijderd.

De produktieverlaging, die daardoor optreedt, bedraagt 4-17%; gemiddeld 8% (gemeten in 1978 over langere periode).

Ad b. Aangezien bij het verbeteren van sloten bij het modelleren van het talud aan de eigen kant van slootbodem naar insteek sloot wordt gegraven, zal deze insteek, of het direct aangrenzende maaiveld enigszins verontreinigd worden met uitkomende specie. Deze verontreiniging wordt, nadat de sloot onder profiel is gebracht, verwijderd.

Dit kan op 2 manieren geschieden, te weten:

- per transportcyclus wordt er een strookje ter lengte van de werkbreedte van de bak geëgaliseerd of
- na het verwijderen van de hulpdammetjes wordt tijdens het transport (terug) langs de verbeterde sloot, de insteek van deze sloot met de bak geëgaliseerd c.q. afgestreken. De produktiedaling tengevolge van de egalisatie van de insteek aan de eigen kant van de sloot is afhankelijk van de werkmethode, de hoeveelheid uitkomende specie en de omtrek van het nieuwe slootprofiel. In het algemeen is de produktiedaling daardoor niet groter dan 4% en gemiddeld 1-2%.

4. BEREKENING PRODUKTIE-NORMEN

Met het in hoofdstuk 2 ontwikkeld model en de in hoofdstuk 3 gevonden waarden voor verschillende werkonderdelen kunnen produktie-normen worden berekend.

Uit vergelijking (5) en de gevonden parameters uit tabel 2 blijkt, dat de helft van het aantal transportcycli per uur ($= \frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}}$) een functie is van de graaf- c.q. profileerlengte ($= S_e = S_o$).

Tijdens de terreinwaarnemingen is gebleken, dat het verruimen en opschonen kan worden onderscheiden in:

- I - uitsluitend profileren van beide taluds
- II - graven van één talud en profileren van beide taluds
- III - zowel graven als profileren van beide taluds

Aan de hand van vergelijking (5) en de gevonden parameters uit tabel 2 kan met behulp van lineaire regressie de functie $\frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}} = f(S_o)$ voor de drie onderscheiden werkmethoden beschreven worden volgens:

$$\text{I: } \log\left(\frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}}\right) = - 0,0434 S_o + 2,0306 \quad (r = 0,997)$$

$$\text{II: } \log\left(\frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}}\right) = - 0,0428 S_o + 1,8805 \quad (r = 0,997)$$

$$\text{III: } \log\left(\frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}}\right) = - 0,0424 S_o + 1,7682 \quad (r = 0,997)$$

Om tot een produktie in m'/uur te komen wat bij opschonen van sloten gebruikelijk is, dient de helft van het aantal transportcycli per uur vermenigvuldigd te worden met de effectieve werkbreedte van de bak.

$$\text{Oftewel: } S = \Delta B \times \frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}}$$

Aan de hand van bovengenoemde functies is een nomogram, ter bepaling van produkties voor het opschonen van sloten, opgesteld (zie fig. 3).

Op de rechterhelft van dit nomogram is de functie $\frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}} = f(S_o)$ grafisch weergegeven en op de linkerhelft de functie $S = \Delta B \cdot \frac{q \cdot a}{2 \text{ Bi} \cdot \text{Bv}}$.

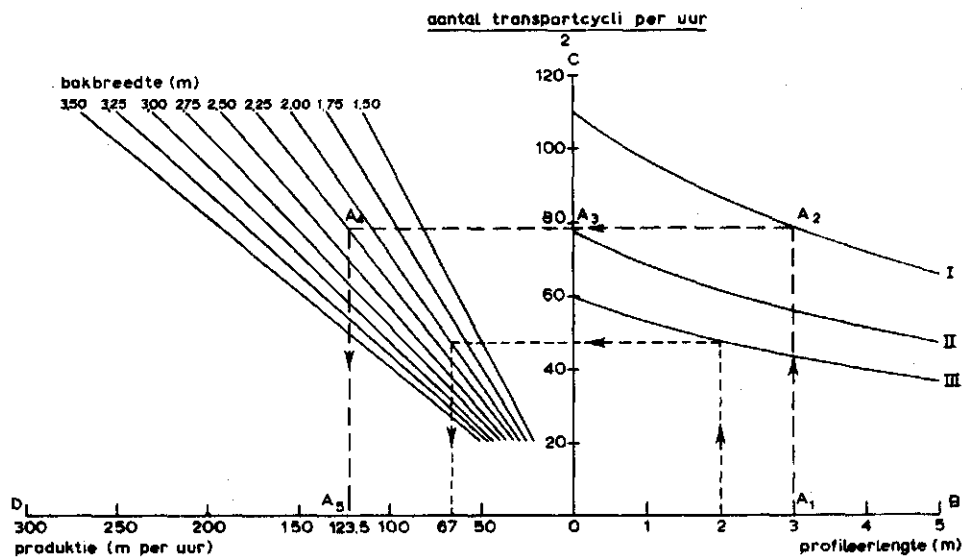


Fig. 3. Nomogram voor de bepaling van prestaties bij het opschonen en verruimen van bestaande leidingen (werkwijze: taludlengte + bodembreedte = graaflengte, aflezen op as OB, = A_1 . Vervolgens aantal transportcycli per uur aflezen op as OC, indien werkmethode bekend is (= A_3). Nu via bekende bakbreedte (A_4) de produktie aflezen op de as OD (= A_5).

Werkmethode I: uitsluitend profileren beide taluds
 II: als I + extra graven een talud
 III: als I + extra graven beide taluds

- In dit nomogram zijn de volgende (variabele) parameters verwerkt:
- diverse graaf- c.q. profileerlengten, waarbij is uitgegaan van een symmetrisch slootprofiel,
 - de drie onderscheiden werkmethoden,
 - diverse bakbreedten, waarbij ervan uit is gegaan, dat de effectieve werkbreedte 0,7 x de bakbreedte is.

Met behulp van dit nomogram kan op eenvoudige wijze de produktie bepaald worden voor het verbeteren van een sloot met een symmetrisch profiel.

Bij een a-symmetrisch profiel zal de produktie echter variëren met de lengten van de taluds. De produktiedaling of stijging, die

optreedt tengevolge van een a-symmetrisch profiel ten opzichte van een symmetrisch profiel met eenzelfde lengte talud overkant (incl. bodembreedte) is voor de 3 onderscheiden werkmethoden weergegeven in fig. 4a, b en c.

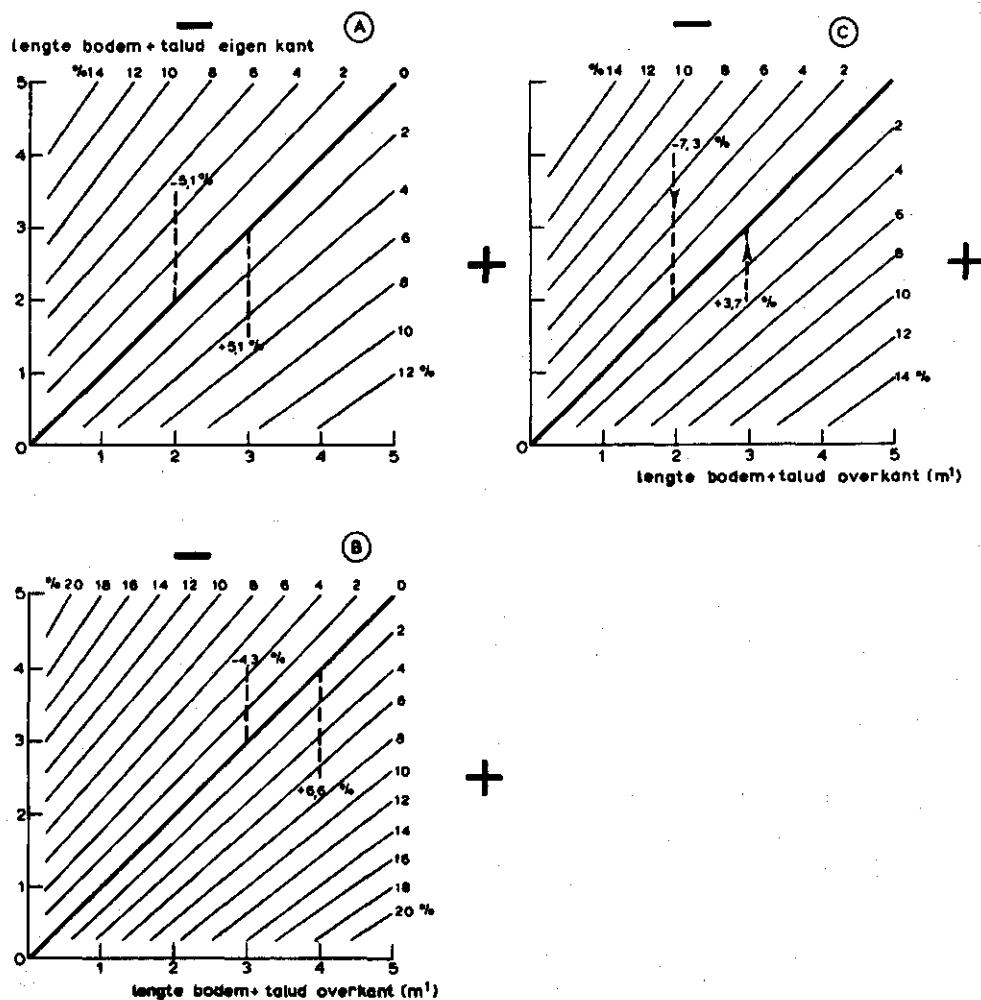


Fig. 4. Produktieverandering tengevolge van een niet-symmetrisch profiel ten opzichte van een symmetrisch slootprofiel met dezelfde lengte talud overzijde en zelfde bodembreedte
 a - voor werkmethode I
 b - voor werkmethode II
 c - voor werkmethode III

De lengte van het talud aan de overzijde is bijvoorbeeld 1,5 m, de bodembreedte 0,5 m en de lengte van het talud aan die zijde van de sloot waar de graafmachine staat 3,5 m. We nemen aan dat methode III wordt toegepast. De basisproduktie wordt in fig. 3 gevonden door in het rechterdeel van deze figuur de bij een graaflengte van $1,5 + 0,5 = 2$ m het aantal transportcycli per uur af te lezen (= 48). Is de breedte van de bak 2 m, dan wordt de produktie gevonden door die produktie af te lezen op de horizontale as die hoort bij een aantal transportcycli per uur van 48 en een bakbreedte van 2 m. De gevonden basisproduktie is 67 m per uur. Het profiel was echter a-symmetrisch. De invloed daarvan op de produktie wordt in fig. 4c gevonden. De correctie wordt afgelezen in het punt dat hoort bij een graaflengte (= lengte bodem + talud) over zijde van 2 m en graaflengte eigen kant van 4 m. De invloed op de produktie is - 7,3%. De uiteindelijke produktie bedraagt dan $(1 - 0,073) \cdot 67 = 62$ m per uur.

Uit fig. 4a, b en c blijkt, dat met een toename van het aantal graafcycli per transportcyclus ook de produktieverandering ten opzichte van een symmetrisch slootprofiel een toename te zien geeft.

Welke werkmethode er toegepast wordt, is afhankelijk van de hoeveelheid uitkomende specie, de bakbreedte en de bakinhoud. Wanneer $\frac{\Delta F \times \Delta B \times a}{2 B_i} < 1$ is, dan wordt werkmethode I toegepast. Wanneer uitsluitend geprofileerd wordt, is hogere bakvullingsgraad dan 1,0 veelal niet mogelijk in verband met de aanwezige bagger. Wordt er zowel gegraven als geprofileerd, dan is een gemiddelde bakvullingsgraad > 1 wel mogelijk. Is $\frac{\Delta F \times \Delta B \times a}{2 B_i} > 1$, dan zal werkmethode II of III toegepast worden.

Werkmethode II wordt toegepast, indien de sloot éénzijdig verruimd moet worden, bijvoorbeeld langs een bestaande weg of langs een groenstrook. De machine staat dan vrijwel altijd aan de slootkant, welke verruimd moet worden. Bij deze werkmethode zal dan ook vrijwel altijd een a-symmetrisch slootprofiel gerealiseerd worden.

Voorts is nog, aan de hand van fig. 1a en fig. 3, de invloed van een minder goed lossende bak op de produktie bepaald. De produktiedaling tengevolge van een minder goed lossende bak (O & K RH12LC en Caterpillar 225) is weergegeven in fig. 5.

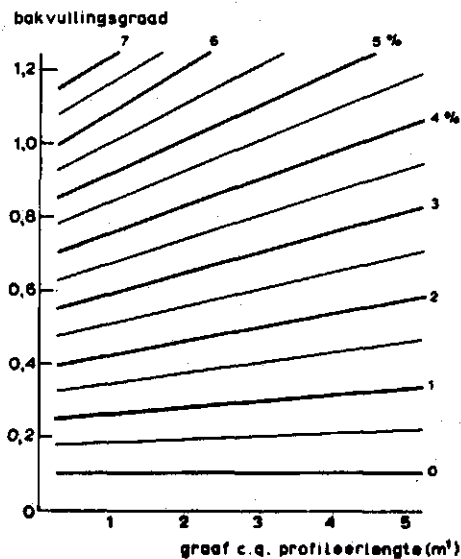


Fig. 5. Produktiedaling tengevolge van minder goed lossende bak
(profileerlengte = lengte talud + bodembreedte)

Uit fig. 5 blijkt, dat naast de bakbreedte er de bakinhoud de produktie nog aanzienlijk beïnvloed wordt door de mate van het lossen van de bak. Uit de figuur blijkt, dat een minder goed lossende bak een produktiedaling van meer dan 5% tengevolge kan hebben.

Tot slot zal aan de hand van een voorbeeld de berekening van de produktie nader worden toegelicht. Voorts zullen een aantal berekende produkties getoetst worden aan een aantal gemeten produkties.

- Voorbeeld: - te realiseren slootprofiel: lengte talud overkant 3 m
 bodembreedte 0,5 m
 lengte talud eigen kant 4 m
- hoeveelheid uitkomende specie: $1,75 \text{ m}^3/\text{m}'$
 - de sloot moet tweezijdig verruimd worden
 - bakbreedte in te zetten machine 2,50 m
 - bakinhoud in te zetten machine $1,3 \text{ m}^3$

Oplissing: $B_i = 1,3$, $\Delta F = 1,75$, $\Delta B = 0,7 * 2,5 \text{ m}$ en $a = 1,35$ (zie fig. 2). Nu is $\frac{\Delta F \cdot \Delta B \cdot a}{2 B_i} = 1,59$, zodat werkmethode III wordt toegepast.

Zie nu fig. 3 onder graaf- c.q. profileerlengte 3,50 m;

de produktie is dan bij graafmethode III en bakbreedte 2,50 m 73 m'/uur.

De produktiecorrectie voor dit a-symmetrisch profiel bedraagt (zie fig. 4c) 3,2%, oftewel de produktie voor dit profiel bedraagt 70,66 m'/uur.

Wordt er nog een correctie toegepast voor het droogzetten van de sloot (incl. maken hulpdammetjes) en het egaliseren van insteek sloot aan eigen kant, totaal $\pm 10\%$ dan bedraagt de netto produktie $0,9 \times 70,66 = 63,60$ m'/uur.

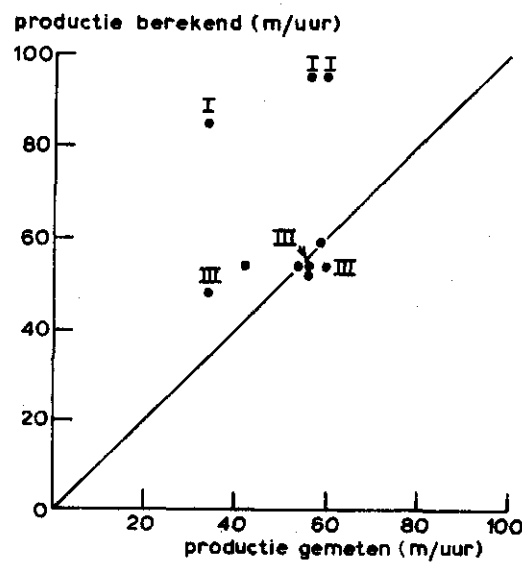


Fig. 6. Samenhang berekende produktie en gemeten produktie

I - berekend volgens werkmethode I

II - zelfde, echter nu berekend volgens werkmethode III

In fig. 6 zijn een aantal op deze wijze berekende produkties vergeleken met gemeten produkties.

Uit deze figuur blijkt, dat de produkties vrij goed te bepalen zijn. Een complicatie is echter dat de hoeveelheid aanwezige slootbagger niet precies bekend is. Daardoor wordt in enkele gevallen de waarde van ΔF (hoeveelheid uitkomende specie per m' sloot) te laag genomen. Vooral van belang is dat indien de waarde van $\frac{\Delta F \cdot \Delta B \cdot a}{2 Bi} \approx 1$. Immers indien deze waarde kleiner is dan 1, wordt methode I gekozen (in fig. 6 gelden de met I aangeduide punten voor

berekende produkties volgens methode I). De produktie bij deze methode is aanzienlijk groter dan bij methode II of III, waar nog een keer extra moet worden gegraven. Aangenomen dat voor de profielen, waarvoor nu de produktie volgens werkmethode I is berekend, nu de werkmethode III zou zijn toegepast, dan vallen de berekende produkties aanzienlijk lager uit (de aldus berekende produkties zijn in fig. 6 met III aangeduid).

Gelet op de meestal onvoldoende informatie over de hoeveelheid slootbagger, lijkt het aan te bevelen aan te nemen dat werkmethode I wordt toegepast indien de verhouding $\frac{\Delta F \cdot \Delta B \cdot a}{2 B_i} < 0,8$ en de andere werkmethoden indien deze verhouding groter is dan 0,8.

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Voor het berekenen van kosten van het verbeteren van sloten (profileren, verruimen, opschonen) is inzicht nodig in de kosten van de graafmachine per tijdseenheid en de prestatie per tijdseenheid.

Een beperkt onderzoek is ingesteld ter bestudering van de prestaties van graafmachines (op rupsen) en de factoren, die de prestaties bepalen. Het onderzoek is uitgevoerd in het besteksgebied 'Hantum-Aalzum'. In het onderzoek zijn een drietal machines betrokken geweest, die waren uitgerust met slootbakken (ook wel dwarsbakken genoemd) met een inhoud van 1,50; 1,15 en 1,10 m³ en een breedte van respectievelijk 2,64; 2,50 en 2,25 m.

Bij het verruimen van de sloten wordt de uitkomende specie steeds naast de sloot in depot gezet.

Afhankelijk van de hoeveelheid uitkomende specie, bakinhoud en het te realiseren slootprofiel zijn een drietal werkmethoden onderscheiden:

- werkmethode I - waarbij het slootprofiel uitsluitend (af)geprofileerd wordt,
- werkmethode II - waarbij één talud gegraven wordt (eigen kant) en het gehele profiel geprofileerd wordt,
- werkmethode III - waarbij het gehele profiel zowel gegraven als geprofileerd wordt.

Bij het verwerken van de gegevens is gebleken, dat de graaf- c.q. profileertijd rechtevenredig is met de graaf- c.q. profileerlengte. Tevens is gebleken, dat de zwenktijd grotendeels en wellicht geheel afhankelijk is van de zwenkhoek. Dit zal evenwel tot een bepaalde slootbreedte gelden. Voort blijkt, dat het inzetten van de bak onderin de sloot meer tijd vergt, dan het inzetten op het maai-veld aan de overkant van de sloot.

De produktie zal afhankelijk van de hoeveelheid uitkomende specie, de bakbreedte, bakinhoud en de taludlengten variëren van ca. 40 tot ca. 170 m'/uur.

Tot slot is een formule opgesteld, waarmee de produktie kan worden berekend voor het verbeteren van sloten.

Met behulp van deze formule is een nomogram opgesteld, waarmee op eenvoudige wijze de produktie bepaald kan worden. De samenhang tussen werkmethode, en daardoor ook bakinhoud en de hoeveelheid uitkomende specie, de taludlengte (incl. bodembreedte) en bakbreedte is hierin verwerkt. Om ook de produkties bij a-symmetrische profielen te kunnen bepalen, is voor elke werkmethode een figuur weergegeven, aan de hand waarvan de produktieverhoging of verlaging ten opzichte van een symmetrisch profiel bepaald kan worden.

Met deze nomogram is voor verschillende verbeterde sloten, waarvan de produktie is gemeten, de produktie berekend. De resultaten hiervan zijn weergegeven in fig. 6. Gebleken is dat er een goede overeenstemming bestaat tussen gemeten en berekende produkties, mits de aanwezige hoeveelheid bagger goed bekend is.

Gelet op het beperkt meetprogramma, kunnen de resultaten slechts met gepaste zorgvuldigheid worden gebruikt.

LITERATUUR

- 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.).
- HORST, G.H., 1979. Prestaties van hydraulische graafmachines bij het graven van sloten/leidingen. ICW-nota 1136.
- KONINKLIJKE NEDERLANDSE HEIDEMAATSCHAPPIJ, 1963. Calculatie Vademecum.
- VERHAGEN, A., 1969. In: Cultuurtechnische Verhandelingen, p.223-247. Staatsuitgeverij Den Haag.