

PRESTATIES VAN BULLDOZERS BIJ HET DEMPEN VAN  
SLOTEN EN EGALISEREN MET BOVENGEploegDE  
ONDERGROND, BEREKEND MET EEN MODEL  
(resultaten 1979)

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.

## INHOUD

|                                                  | blz. |
|--------------------------------------------------|------|
| 1. INLEIDING                                     | 1    |
| 2. THEORIE EN MODEL                              | 3    |
| 2.1. Prestatiebepalende factoren                 | 3    |
| 2.2. Werkmethoden                                | 6    |
| 2.3. Meetmethode                                 | 7    |
| 3. RESULTATEN                                    | 9    |
| 3.1. Tijdstudie schuiven en gemengd egaliseren   | 9    |
| 3.2. Tijdstudie poetsen                          | 14   |
| 3.3. Uitleveringsfactor en bladvullingsgraad     | 16   |
| 3.4. Stilstand machines                          | 17   |
| 4. BEREKENING PRESTATIES VAN BULLDOZERS          | 22   |
| 4.1. Productie bij het schuiven                  | 22   |
| 4.2. Prestaties bij het poetsen                  | 29   |
| 4.3. Kostenberekening grondverzet met bulldozers | 32   |
| 5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES                    | 36   |
| 6. LITERATUUR                                    | 39   |
| BIJLAGEN                                         |      |

## 1. INLEIDING

Om een reële begroting voor grondwerk te kunnen opstellen 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 de werktuigen (in m, m<sup>2</sup> of m<sup>3</sup> grond per tijdseenheid) wordt verkregen door tijdwaarneming en/of nacalculatie.

Door van Gilst (1963) en de KNHM (1963) is onderzoek verricht naar de prestaties van werktuigen op cultuurtechnische werken.

Door de steeds voortgaande technische ontwikkelingen van het materieel, waardoor ook de prestaties beïnvloed zullen worden, zullen de productienormen steeds bijgesteld moeten worden. Aangezien dit de laatste jaren niet of slechts beperkt is gebeurd, zullen een aantal normen verouderd zijn. Op verzoek van en in overleg met de Landinrichtingsdienst is een onderzoek ingesteld naar onder meer de prestaties van bulldozers bij het dempen van sloten en egaliseren met bovengeloegde ondergrond.

Voor de realisering van perceelsvergroting wordt in Nederland jaarlijks gemiddeld circa 1600 ha gediepploegd om de hiervoor benodigde (onder-)grond te verkrijgen (Landinrichtingsdienst; 1968 tot en met 1973). De opgeploegde ondergrond wordt met een bulldozer en/of kilver naar de plaats van bestemming geschoven.

In de zomers van 1978 en 1979 is een onderzoek ingesteld naar de tijdsbesteding en de productie van bulldozers bij egalisatiewerkzaamheden (SPRIK en BROEKEMA, 1979).

Aanvullend op dit onderzoek zijn in 1979 detailwaarnemingen verricht aan onder andere bulldozers. Bij deze waarnemingen is de tijdsduur van vrijwel alle te onderscheiden werkonderdelen afzonderlijk gemeten.

In deze nota zullen dan ook vrijwel uitsluitend de resultaten van deze detailwaarnemingen worden besproken.

Met de detailwaarnemingen aan bulldozers is gestart in juni 1979 en zijn uitgevoerd in het besteksgebied „Hantum-Aalsum” in de ruilverkaveling Oost- en West-Dongeradeel.

In het onderzoek zijn elf bulldozers betrokken geweest:

- 1. Caterpillar D5<sup>B</sup> met een motorvermogen van 77 KW
- 3. Caterpillar D6<sup>B</sup> met een motorvermogen van 68 KW
- 4. Caterpillar D6<sup>C</sup> met een motorvermogen van 88 KW
- 1. Caterpillar D6<sup>C</sup> met een motorvermogen van 104 KW
- 1. Fiat Allis AD14B met een motorvermogen van 110 KW
- 1. Liebherr 741 met een motorvermogen van 125 KW

De bladgrootte van de waargenomen machines varieerde van 0,82 x 3,90 m tot 1,08 x 4,10 m, waarbij opgemerkt dient te worden, dat voor twee bulldozers een relatief hoger en smaller blad gemonteerd was namelijk respectievelijk 1,01 x 3,58 m en 1,02 x 3,60 m.

## 2. THEORIE EN MODEL

### 2.1. Prestatiebepalende factoren

De prestatie van bulldozers bij het dempen van sloten en egaliseren is de hoeveelheid grond, die per tijdseenheid over een bepaalde afstand wordt verschoven. De hierbij te onderscheiden werkfasen zijn:

- laden ; onder laden wordt de fase verstaan tussen het moment, waarop een schuifbaan begonnen wordt, waarna de hoeveelheid grond voor het blad (snel) toeneemt, tot het moment, waarop de hoeveelheid grond voor het blad niet meer toeneemt.
- schuiven ; dit is het eigenlijke werk en hieronder wordt verstaan het verplaatsen van een hoeveelheid grond, waarbij de hoeveelheid grond voor het blad constant blijft.
- gemengd egaliseren; onder gemengd egaliseren wordt verstaan het schuiven met een (sterk) wisselende hoeveelheid grond voor het blad. Bij deze wijze van schuiven wordt er afwisselend (bij-) geladen en (gedeeltelijk) gelost.
- poetsen ; hieronder wordt het na-egaliseren van het werkterrein verstaan. De hoeveelheid grond voor het blad bij het poetsen is erg gering. Poetsen moet dan ook meer worden gezien als het afwerken van het werkterrein dan als daadwerkelijk grondverzet.
- lossen ; werkfase waarbij de grond op de bestaande plaats wordt gedeponneerd.
- schakelen ; Fase, waarin van versnelling wordt veranderd. Bij de „direct-drive”-(DD-) machines vergt het schakelen zoveel tijd, dat deze tijdsduur goed te meten is. Bij de „power-shift”-(PS-) machines daarentegen is de schakeltijd dermate gering dat deze niet of slechts onnauwkeurig is te meten.

- terugrijden ; het (achteruit-) terugrijden van einde schuifbaan naar het begin volgende schuifbaan.
- terugpoetsen ; achteruit terugrijden, met het blad van de bulldozer over de grond, met de bedoeling het werkterrein af te vlakken. De hoeveelheid grond achter het blad is hierbij erg gering.  
Het terugpoetsen is, evenals het poetsen een specifieke afwerkingsactiviteit.

Een ander belangrijk begrip, bij het grondverzet met behulp van bulldozers is de bladvullingsgraad.

Om de hoeveelheid grond voor het blad bij het schuiven te bepalen is de bladvullingsgraad geschat. Hierbij is een schaal gehanteerd, die loopt van 0 tot 15 (zie fig. 1).

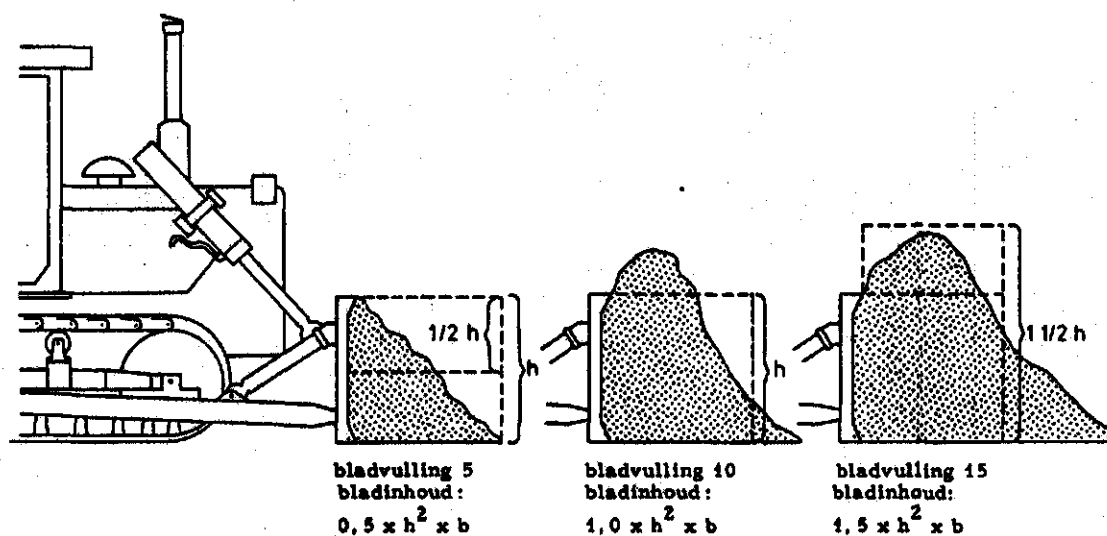


Fig. 1. Schematische weergave klasse-indeling bladvullingsgraad  
(h = hoogte blad; b = bladbreedte)

Noemen we de bladvullingsgraad Blv, dan is de hoeveelheid losse grond voor het blad:

$$\frac{Blv}{10} \times h^2 \times b$$

Een bladvulling 0, betekent een leeg blad en een bladvulling 15 is ongeveer de maximale hoeveelheid grond voor het blad.

De tijd die nodig is om een vol blad grond te verplaatsen over een afstand L, vermeerderd met de tijd die nodig is om terug te rijden van de plek waar wordt gelost naar de plek waar wordt geladen, en vermeerderd met de tijd die nodig is voor het lossen en schakelen wordt de cyclustijd genoemd.

De gemiddelde rijsnelheid tijdens grondtransport over de schuifbaan noemen we  $\bar{V}_s$ , de gemiddelde terugrijnsnelheid noemen we  $\bar{V}_r$ , de lostijd en schakeltijden respectievelijk  $T_l$  en  $T_s$ . De cyclustijd kunnen we nu schrijven als:

$$T_t = \frac{L}{\bar{V}_s} + \frac{L}{\bar{V}_r} + T_l + T_s \quad (1)$$

Hierin is:  $T_t$  = cyclustijd

$L$  = lengte van de schuifbaan

$\bar{V}_s$  = gemiddelde snelheid tijdens grondtransport

$\bar{V}_r$  = gemiddelde snelheid tijdens terug rijden

$T_l$  = lostijd

$T_s$  = schakeltijd

De gemiddelde rijsnelheid tijdens het grondtransport is afhankelijk van de hoeveelheid grond voor het blad. Immers de wrijvingsweerstand van veel grond is groter dan van weinig grond voor het blad. Voorts bestaat er een relatie tussen rijsnelheid en de benodigde duwkracht (Caterpillar), die binnen zekere grenzen nagenoeg lineair is. De relatie tussen rijsnelheid en hoeveelheid grond voor het blad, vertaald in bladvullingsgraad, kunnen we weer geven met:

$$\bar{V}_s = f(Blv)$$

De verhouding  $\frac{L}{\bar{V}_r}$  noemen we de terugrijtijd  $T_r$ .

Doordat met het optrekken en afremmen een vrijwel constante tijd gemoeid is, die moeilijk te meten is, wordt de terugrijsnelheid bepaald als een functie van de terugrijafstand. De terugrijtijd,  $T_r$  is dus dan ook een functie van de terugrijafstand,  $T_r = g(L)$ .

Substitutie van de gedefinieerde functies in vergelijking 1 bevat:

$$T_t = \frac{L}{f(Blv)} + g(L) + T_1 + T_s \quad (2)$$

De prestatie tijdens het schuiven, uitgedrukt in een volume verplaatste vaste grond per tijdseenheid is:

$$q = c \cdot \frac{Q}{U \cdot T_t}$$

$$= c \cdot \frac{Blv \cdot h^2 \cdot b}{\left\{ \frac{L}{f(Blv)} + g(L) + T_1 + T_s \right\} \cdot 10U} \quad (3)$$

Hierin:  $h$  = hoogte blad van de bulldozer

$b$  = breedte blad van de bulldozer

$U$  = uitleveringsfactor van de grond

$c$  = omrekeningsfactor. Afhankelijk van de tijdseenheid, die men wil hanteren

De volumes worden in eenheden van  $m^3$ , lengten in eenheden van  $m$  en de tijd in eenheden van minuten uitgedrukt. Voor  $q$  in  $m^3$  per uur is  $c = 60$ .

Hiermede is  $q$  een functie van onder andere de bladvullingsgraad, de bladinhoud en de schuifafstand.

Poetsen is een oppervlaktebehandeling waarbij het werkelijke grondverzet gering is. Aangezien de bladvullingsgraad bij het poetsen gering, en tevens vrij constant is zal de poetssnelheid ook vrijwel constant zijn. Daardoor is de poetstijd (per poetscyclus) een functie van de poetslengte.

De tijdsduur van een poetscyclus is derhalve:

$$T_t = h(L) + k(L) + T_s \quad (4)$$

Waarin:  $h(L)$  = poetstijd, afhankelijk van 'poetslengte'

$k(L)$  = terug-poetstijd, afhankelijk van 'poetslengte'

$T_s$  = schakeltijd

Per poetscycluss wordt een strook gepoetst met oppervlakte gelijk aan werkbreedte ( $\Delta B$ ) x poetslengte ( $L$ ).

De prestatie tijdens het poetsen uitgedrukt in een oppervlakte per tijdseenheid:

$$F = c \cdot \frac{\Delta B \times L}{h(L) + k(L) + T_s} \quad (5)$$

Hiermede is  $F$  een functie van de poetslengte en de werkbreedte.

## 2.2. Werkmethoden

Bij het grondverzet met bulldozers worden een tweetal werkmetho- den onderscheiden:

Werkmethode I: Bij deze werkmethode wordt het blad snel geladen, waar- na het grondtransport plaats vindt (zie fig. 2). Bij deze methode is de gemiddelde bladvullingsgraad relatief hoog, hetgeen de gemiddelde rijsnelheid nadelig zal beïnvloeden.

De gemiddelde schuifafstand ( $\bar{L}$ ) bij deze werkmethode is gelijk aan:

$$\bar{L} = \frac{L_1 + L_n}{2} \quad (\text{fig. 2})$$

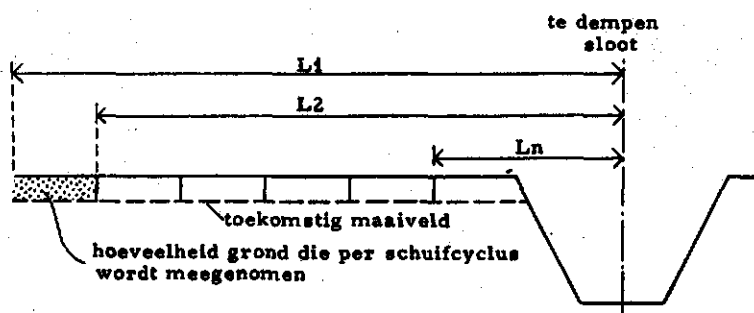


Fig. 2. Schematische weergave werkmethode I

Werkmethode II: Bij deze werkmethode wordt het blad geladen over de gehele werkafstand (zie fig. 3).

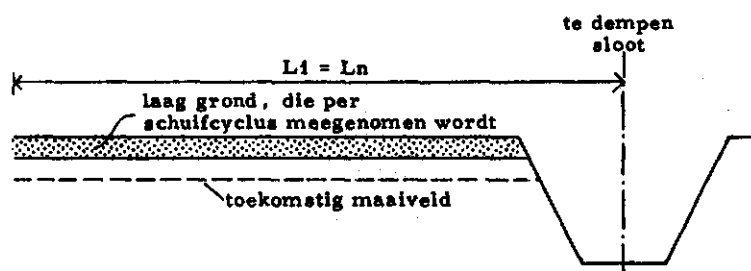


Fig. 3. Schematische weergave werkmethode II

De gemiddelde bladvulling tijdens het schuiven zal dan ook duidelijk lager zijn dan bij werkmethode I. De gemiddelde schuifafstand ( $\bar{L}$ ) hier is:

$$\bar{L} = L1 = Ln$$

Welke werkmethode het hoogste rendement heeft, is afhankelijk van de lengte van de gemiddelde schuifafstand ( $\bar{L}$ ), het verschil tussen de gemiddelde schuifafstanden van beide werkmethoden ( $\Delta\bar{L}$ ) en het verschil in schuifsnelheid bij de werkmethoden ( $\Delta V$ ).

In de praktijk evenwel wordt, afhankelijk van het werkinzicht van de betrokken machinist, volgens een tussenvorm geschoven, met dien verstande, dat bij de aanvang van het werk volgens werkmethode I wordt gewerkt en geleidelijk aan, met de vordering van het werk, overgegaan wordt op werkmethode II.

### 2.3. Meetmethode

De duur van de onderscheiden werkfasen is met een stopwatch gemeten met een nauwkeurigheid van 0,02 minuut. De bladvullingsgraad is per schuifcyclus geschat in een schaal die ligt tussen 0 en 15.

Van elke machine is de rupsbreedte en bladdimensie gemeten en is het serienummer opgenomen om naderhand het motorvermogen te kunnen vaststellen. De lengte waarover de grond wordt verplaatst en de af-

stand die bij het terugrijden is afgelegd is per schuifcyclus gemeten.

De uitleveringsfactor van de grond is bepaald door meting van volumegewicht van zowel de vaste ( $\rho_o$ ) als de losse grond ( $\rho_u$ ). De uitleveringsfactor is dan:

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

### 3. RESULTATEN

De hoeveelheid verplaatste grond is bij het afschuiven duidelijk anders dan bij het afwerken van het perceel (poetsen). Daarom wordt het schuiven en poetsen afzonderlijk behandeld.

#### 3.1. T i j d s t u d i e s c h u i v e n e n g e m e n g d e g a - l i s e r e n

De waarnemingen per machine zijn weergegeven in bijlage I tot en met 10.

De resultaten van de waarnemingen en de overige voor de productie relevante gegevens zijn samengevat in tabel I.

Tijdens de waarnemingen is de laadtijd en de schuiftijd afzonderlijk opgenomen. Daar het echter ondoenlijk is de laad- en schuiflengte afzonderlijk op te nemen, is bij de uitwerking de schuifsnelheid bepaald door de som van laad- en schuifafstand te delen door de som van laad- en schuiftijd.

De bij de gemiddelde schuifsnelheid behorende gemiddelde bladvullingsgraad wordt berekend door aan te nemen dat er een lineair verband bestaat tussen schuifsnelheid en bladvullingsgraad volgens:

$$V = a \cdot Blv + b$$

Hierin is Blv de bladvullingsgraad waarbij met snelheid V wordt gereden.

De gemiddelde schuifsnelheid op een schuifbaan wordt berekend met:

$$\bar{V} = \frac{(a \cdot \frac{Blv}{2} + b) \cdot T_{ld} + (a \cdot Blv + b) T_c}{T_{ld} + T_c} = \frac{L}{T_{ld} + T_c}$$

$T_{ld}$  is de gemeten laadtijd en  $T_c$  de gemeten schuiftijd op een bepaalde schuifbaan.

De gemiddelde bladvulling, die hoort bij de gemiddelde snelheid is derhalve:

Tabel 1. Samengevatte waarnemingen en andere, voor de productie relevante gegevens

| Machine          | Vermogen<br>KW | Blad        |              |             | Rupsen       |             |              | Schuifsnelheid<br>m/min | Terugrijtijd<br>min          | Lostijd<br>min | Schakeltijd<br>per cyclus<br>min |
|------------------|----------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------------------|------------------------------|----------------|----------------------------------|
|                  |                | Hoogte<br>m | Breedte<br>m | Lengte<br>m | Breedte<br>m | Lengte<br>m | Breedte<br>m |                         |                              |                |                                  |
| Liebherr 741     | 125            | 1,08        | 4,10         | 3,05        | 0,71         | 3,05        | 0,71         | - 4,785 Blv + 116,534   | 0,0066 L + 0,0783            | 0,07           | -                                |
| Fiat Allis AD14B | 110            | 0,93        | 3,75         | 3,65        | 0,90         | 3,65        | 0,90         | - 4,072 Blv + 93,556    | 0,0088 L + 0,0580            | 0,07           | -                                |
| Cat D6C - I      | 104            | 1,02        | 3,60         | 2,92        | 0,91         | 2,92        | 0,91         | - 4,179 Blv + 91,264    | 0,0080 L + 0,0837            | 0,07           | -                                |
| Cat D6C - II     | 88             | 0,92        | 4,05         | 2,70        | 0,76         | 2,70        | 0,76         | - 4,355 Blv + 107,333*  | 0,0090 L + 0,0434            | 0,07           | -                                |
| Cat D6C - III    | 88             | 1,02        | 4,00         | n.o.        | 0,76         | n.o.        | 0,76         | - 3,902 Blv + 94,371    | 0,0101 L + 0,0041            | 0,07           | -                                |
| Cat D6C - IV     | 88             | 1,05        | 3,92         | 3,20        | 0,75         | 3,20        | 0,75         | - 4,057 Blv + 106,040   | 0,0075 L + 0,1117            | 0,07           | -                                |
| Cat D6C - V      | 88             | 1,05        | 4,05         | 2,76        | 0,75         | 2,76        | 0,75         | - 5,092 Blv + 99,732    | 0,0093 L + 0,0399            | 0,07           | -                                |
| Cat D6B - I      | 68             | ± 0,83      | ± 3,92       | n.o.        | 0,75         | n.o.        | 0,75         | - 3,904 Blv + 91,964    | 0,0144 L + 0,05 <sup>A</sup> | 0,07           | 0,061                            |
| Cat D6B - II     | 68             | 0,82        | 3,90         | 2,60        | 0,75         | 2,60        | 0,75         | - 4,167 Blv + 106,25*   | 0,0092 L + 0,1288            | 0,07           | 0,074                            |
| Cat D6B - III    | 68             | ± 0,82      | ± 3,90       | n.o.        | 0,75         | n.o.        | 0,75         | - 4,014 Blv + 107,03    | 0,0101 L + 0,0203            | 0,07           | 0,056                            |

n.o. = niet opgenomen

\* = gecorrigeerde waarde (in verband met berijding- en verwerkbaarheid van de grond)

<sup>A</sup> = bij benadering bepaald (vanwege te geringe variatie in de meetgegevens)

Blv = gemiddelde bladvullingsgraad

$$\frac{Blv}{Blv} = \frac{\frac{T_{ld}}{2} + T_c}{T_{ld} + T_c} \cdot Blv$$

Wanneer vrijwel over de gehele schuifbaan geladen wordt, (hetgeen een enkele keer is waargenomen en dan met name bij het afwerken van het perceel), is er vanuit gegaan, dat de gemiddelde bladvullingsgraad gelijk is aan circa 2/3 van de „eind“-bladvullingsgraad.

Bij gemengd egaliseren is de gemiddelde bladvullingsgraad tijdens de waarnemingen direct geschat.

In de meeste gevallen blijkt de gemiddelde bladvullingsgraad circa 0,85 keer de bladvullingsgraad tijdens het schuiven te zijn.

Uit de bijlagen I tot en met 10 blijkt, dat er een (lineair) verband bestaat tussen (terug-)rijafstand en (terug-)rijtijd en tussen de schuifsnelheid en de (gemiddelde) bladvullingsgraad op de schuifbaan. Voorts valt op, dat de helling van de lijn, die het verband weer geeft tussen schuifsnelheid en bladvullingsgraad, voor vrijwel alle machines gelijk is, uitgezonderd de Cat D6C - II en de Cat D6B - II. Deze twee laatste machines hebben onder vrij natte omstandigheden gewerkt. Daardoor is de rijsnelheid bij een zekere bladvullingsgraad lager dan bij dezelfde bladvulling op een droge grond (vergelijking bijlage 11).

De Cat D6C - II is waargenomen op 6/7, 31/7 en 17/8. Wordt het lineair verband tussen de schuifsnelheid en de bladvullingsgraad per waarnemingsdag berekend, dan blijkt, dat voor 17/8 moeilijk een verband te bepalen is, vanwege een (te) geringe variatie in de bladvullingsgraad.

Het lineair verband voor 6/7 en 31/7 is respectievelijk  $v = - 4,34 blv + 114,138$  en  $v = - 4,37 blv + 100,74$ . Aangezien er onder 2 verschillende terreinomstandigheden is gewerkt, is voor de verdere berekening de gemiddelde waarde van deze waarnemingen genomen. De D6B - II is waargenomen op 16/8 en 19/9. Op 19/9 was deze machine bezig met het afwerken (afschuiven laatste laag) van een perceel. Bovendien was het een regenachtige dag, zodat deze waarneming niet representatief is voor het werken onder normale omstandigheden. De samenhang tussen snelheid en gemiddelde bladvulling is voor deze machine bepaald aan de hand van waarnemingen op 16/8.

Uit tabel 1 blijkt, dat de bladafmetingen bij de waargenomen machines nogal varieert.

Aangezien 8 van de 10 machines Caterpillar's zijn en Caterpillar vrij veel gegevens omtrent haar machines publiceert (bijvoorbeeld Handbook), is de relatie bepaald tussen bladgrootte c.q. bladinhoud en motorvermogen volgens de standaardgegevens van Caterpillar voor D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> en D<sub>6</sub> (zie fig. 4).

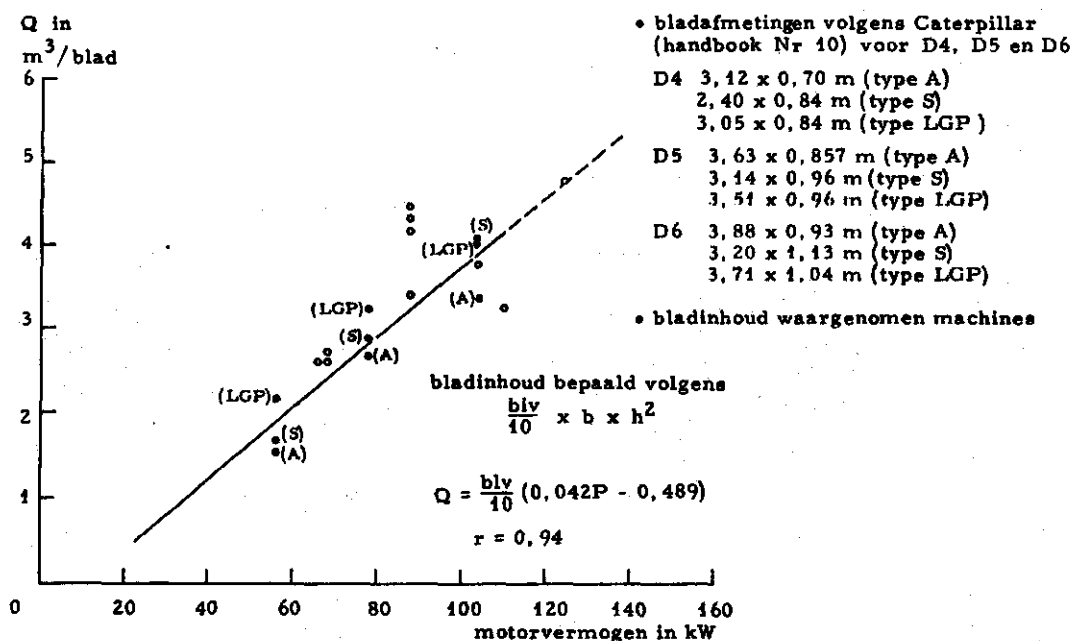


Fig. 4. Samenhang tussen bladinhoud en motorvermogen volgens gegevens Caterpillar en voor de waargenomen machines

Verder is de bladinhoud c.q. bladgrootte van de waargenomen machines vergeleken met die van de standaardgegevens van Caterpillar.

Volgens fig. 4 is de bladgrootte van de D<sub>6</sub>B's vrijwel standaard, evenals die van de Liebherr 741, D<sub>6</sub>C - I en D<sub>6</sub>C - II. De Fiat Allis AD14B heeft een te klein blad gerekend naar het motorvermogen en de Cat D<sub>6</sub>C - III, IV en V daarentegen een te groot blad.

Voorts wordt door Caterpillar ook de relatie tussen trek- c.q. duwkracht en de daarbij behorende rijsnelheid gegeven voor de verschillende typen machines.

Alle waargenomen machines kunnen meer dan 3,00 m<sup>3</sup> grond voor het blad hebben.

Uit monsternamen ten behoeve van de bepaling van de uitleveringsfactor van de grond is gebleken, dat het gemiddelde volumegewicht van de grond voor het blad  $1438 \text{ kg/m}^3$  is. Oftewel  $3,00 \text{ m}^3$  grond weegt  $4314 \text{ kg}$ .

Aangenomen is dat de wrijvingsfactorcoëfficiënt tussen grond-grond circa 1 is. Gebaseerd op de door Caterpillar gegeven relatie tussen trekkracht (duwkracht) en rijsnelheid is de schuifsnelheid bepaald wanneer er  $3 \text{ m}^3$  grond voor het blad aanwezig is, bij bulldozers met verschillend motorvermogen (fig. 5).

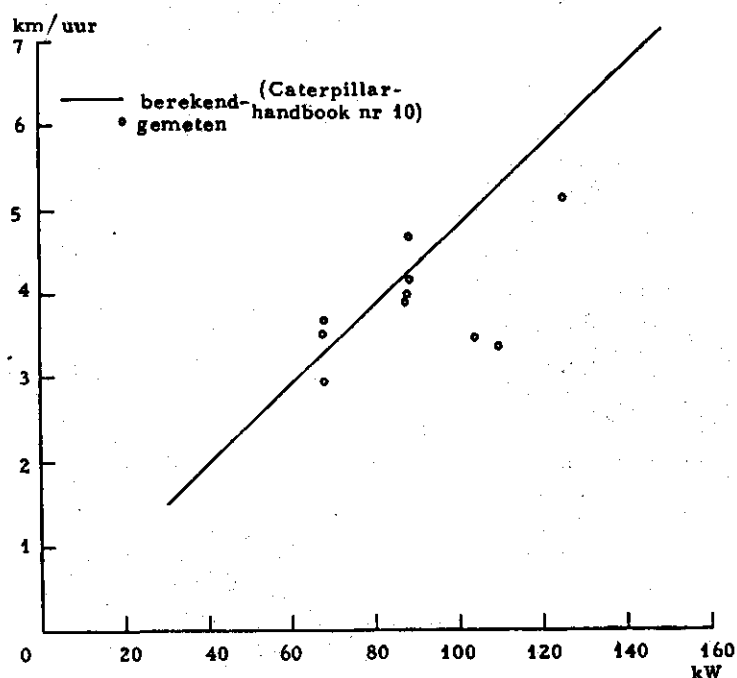


Fig. 5. Relatie schuifsnelheid - motorvermogen bij  $3,00 \text{ m}^3/\text{blad}$  (bij een volumegewicht van  $1438,8 \text{ kg/m}^3$ )

Met de gegevens uit tabel 1 kan ook de schuifsnelheid van de waargenomen machines bij  $3,00 \text{ m}^3/\text{blad}$  bepaald worden.

Vergelijken we nu de schuifsnelheden van de waargenomen machines met die van de door Caterpillar opgegeven (schuif-)snelheden, dan blijkt, dat de schuifsnelheid van de Cat D6B's en de Cat D6C - II, III, IV en V overeenstemmen met de door Caterpillar opgegeven snelheden. De Liebherr 741 rijdt enigszins langzamer dan de door Caterpillar gegeven snelheid voor dat motorvermogen.

De Fiat Allis AD14B en de Cat D6C - I rijden beduidend langzamer dan de door Caterpillar gegeven snelheid.

### 3.2. T i j d s t u d i e p o e t s e n

Bij het poetsen, zowel vooruit als achteruit, is de hoeveelheid grond voor het blad gering. Derhalve heeft de bladvullingsgraad bij het poetsen nagenoeg geen invloed op de productie. Aangezien het poetsen een oppervlaktebewerking is, wordt de productie uitgedrukt in een oppervlakte per tijdseenheid.

Tijdens de waarnemingen is gebleken dat het afwerken van een perceel, dat wil zeggen het laatste schuifwerk en het poetsen, meestal wordt verricht door dezelfde machines.

De waarnemingen van het poetsen c.q. terugpoetsen zijn weergegeven op bijlage 12 en 13.

Uit bijlage 12 en 13 blijkt, dat ondanks de verschillen in het vermogen van de bulldozers (68 - 88 KW), de poets- respectievelijk terugpoets-snelheden van de waargenomen machines in dezelfde orde van grote liggen. Het is dan ook goed mogelijk om voor alle machines gezamenlijk een vergelijking op te stellen voor het poetsen van het terugpoetsen. Deze vergelijkingen voor het poetsen en het terugpoetsen zijn respectievelijk:

$$T = 0,01401 L - 0,13129 \quad (r = 0,98)$$

en

$$T = 0,01029 L + 0,00353 \quad (r = 0,97)$$

Tijdens de terreinwaarnemingen is gebleken, dat bij het poetsen twee werkmethoden kunnen worden onderscheiden (zie fig. 6).

Werkmethode I: Bij deze methode wordt over de volle lengte zowel (heen-) geпоetst als teruggepoetst. Waarna, om een nieuwe poetsbaan te kunnen aanvangen, de machine eerst voor deze poetsbaan gezet moet worden (van 3 via 4 naar 1). Bij een "PS"-machine vergt dit ongeveer 0,31 minuten en bij een "DD"-machine ongeveer 0,38 min (inclusief 2 x schakelen).

Bij deze werkmethode wordt de ene kopakker volledig  
gepoetst, terwijl op de andere wendakker (bij 1) een  
strook ongepoetst blijft ter breedte van de lengte van  
de bulldozer, welke naderhand nog gepoetst moet worden.

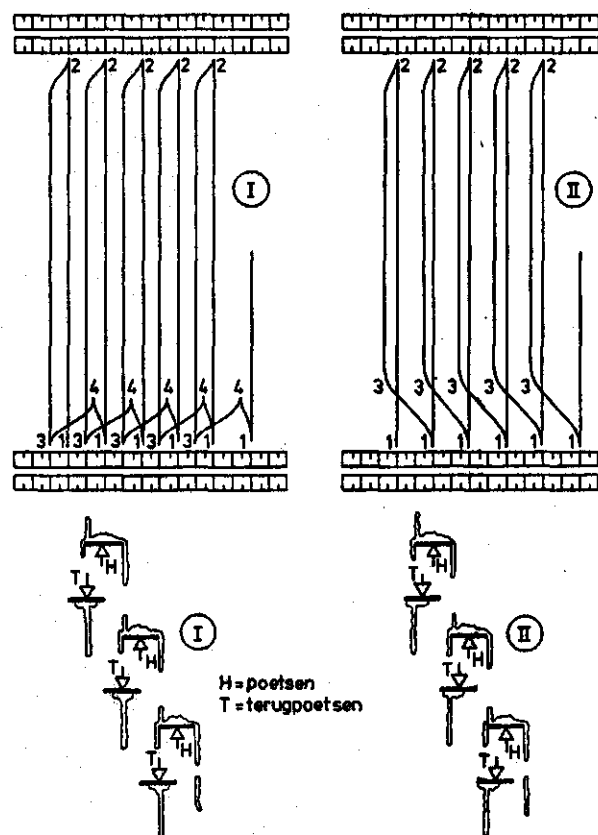


Fig. 6. Schematische weergave poetsen volgens werkmethode I en II

Werkmethode II: Bij deze werkmethode wordt over de volle lengte (heen-)  
gepoetst, terwijl bij terugpoetsbaan vroegtijdig, van  
deze baan wordt afgeweken om direct met de volgende  
poetscyclus te kunnen beginnen (van 3 naar 1).

Bij deze methode wordt de ene kopakker volledig gepoetst,  
terwijl op de andere kopakker een vrij brede strook on-  
afgewerkt blijft, welke naderhand apart gepoetst wordt.  
Bij deze werkmethode is de poetscyclusduur korter dan  
bij werkmethode I.

Daarentegen is de strook, welke naderhand nog apart afgewerkt moet worden bij methode II veel breder.

Tijdens de waarnemingen is gebleken, dat van de betrokken machinisten vrijwel steeds enkelen volgens werkmethode I werkten en de overigen volgens methode II. Voorts is gebleken, dat bij het poetsen de strook, welke per poetscyclus wordt afgewerkt ongeveer gelijk is aan bladbreedte  $\times$  poetslengte (verminderd met de breedte van de onafgewerkte strook op de ene hopakker). Oftewel de werkbreedte is gelijk de bladbreedte (zie fig. 6).

### 3.3. U i t l e v e r i n g s f a c t o r e n b l a d 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 inneemt tijdens het schuiven en het volume, dat deze hoeveelheid innam in de ongeroerde toestand (dus voor het ploegen).

Deze uitlevering ontstaat, doordat er als gevolg van het snijden en verschuiven van de grond breukvlakken (glijvlakken) ontstaan.

De mate van voorkomen en de intensiteit van deze breukvlakken is mede afhankelijk van de vochtigheidstoestand van de te verwerken grond en de dikte van de af te schuiven laag. Des te droger de grond is en des te dunner de af te schuiven laag is, des te meer breuklijnen zullen er ontstaan en daardoor meer kluiten en brokken.

Om de uitlevering van de grond tijdens het schuiven te kunnen bepalen, zijn een aantal monsters op verschillende percelen genomen van zowel de grond van het bulldozerblad als van de ongeroerde grond. Tijdens de terreinwaarnemingen is gebleken, dat de grond voor het blad qua structuur in 2 delen is op te splitsen (zie fig. 7).

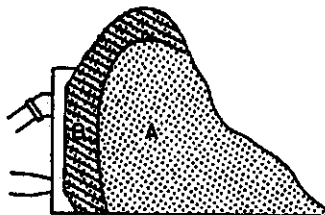


Fig. 7. Dwarsdoorsnede van een „blad" grond en de plaats van monsternamen

Bij het (ver-)schuiven van grond glijdt er voortdurend een laag grond langs het blad, waardoor deze laag versmeerd en/of verkneet wordt. Deze laag is in fig. 7 weergegeven als laag B.

Uit visuele waarnemingen en globale metingen is gebleken, dat deze laag ongeveer 20% van het volume grond voor het blad inneemt.

Bij de monsternamen ter bepaling van de uitlevering zijn dan ook van zowel laag B als van volume grond A monsters genomen.

De bepaalde volumegewichten van de monsters zijn weergegeven in tabel 2.

Uit tabel 2 blijkt, dat de gemiddelde uitleveringsfactor van de grond voor het blad varieert van 1,26 tot 1,42. Bij de verdere berekeningen is een gemiddelde uitleveringsfactor van 1,35 aangehouden.

Gebleken is dat bij het schuiven de gemiddelde bladvullingsgraad, over de gehele schuifbaan gerekend, circa 9,75 is en bij het poetsen circa 1 - 3. Opgemerkt dient te worden, dat een enkele keer bij het afwerken van een perceel er in plaats van poetsen en terugpoetsen er gemengd geëgaliseerd werd en teruggepoetst (veelal door de oudere en wellicht meer ervaren machinisten).

### 3.4. S t i l s t a n d m a c h i n e s

Indien binnen de uitvoeringsduur van het schuifwerk neerslag valt, zal het volumegewicht van de grond toenemen. Hierdoor is meer vermogen nodig om een dezelfde volume grond te verschuiven dan onder droge omstandigheden.

Bovendien neemt de berijdbaarheid van het werkstrook af. Valt er een grote hoeveelheid neerslag, hetzij in een korte duur met een hoge intensiteit of in een langere duur met een geringe intensiteit, dan zullen de terreinomstandigheden van dien aard worden, dat er een sterke productiedaling van de bulldozers op zal treden.

Om nu (overmatige) structuurschade te voorkomen, wordt het werk bij natte terreinomstandigheden stil gelegd.

Het ontstaan van natte terreinomstandigheden is onder andere afhankelijk van:

Tabel 2. Volumegewichten van de grondmonsters en de aan de hand daarvan berekende uitleveringsfactoren

| Perceel<br>nr. | Plaats van<br>monsternamen | Vocht gew. | Droog gew. | Gemiddeld<br>droog gew. | Uitleve-<br>ringsfactor | Gem. uittl.<br>factor |
|----------------|----------------------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 3              | ongeroerd                  | 181,32     | 145,60     | 149,21                  | 1,00                    | 1,42                  |
|                | ongeroerd                  | 186,48     | 150,12     |                         |                         |                       |
|                | ongeroerd                  | 188,80     | 152,92     |                         |                         |                       |
|                | A                          | 117,87     | 93,58      | 99,70                   | 1,50                    |                       |
|                | A                          | 121,67     | 100,85     |                         |                         |                       |
|                | A                          | 121,47     | 101,45     |                         |                         |                       |
|                | A                          | 120,85     | 102,92     | 138,43                  | 1,08                    |                       |
|                | B                          | 181,25     | 143,22     |                         |                         |                       |
|                | B                          | 170,94     | 133,63     |                         |                         |                       |
|                | 22                         | ongeroerd  | 193,1      | 161,97                  | 162,90                  |                       |
| ongeroerd      |                            | 193,9      | 162,0      |                         |                         |                       |
| ongeroerd      |                            | 197,4      | 164,8      |                         |                         |                       |
| A              |                            | 138,3      | 112,4      | 111,25                  | 1,46                    |                       |
| A              |                            | 121,2      | 107,8      |                         |                         |                       |
| A              |                            | 131,1      | 113,0      |                         |                         |                       |
| A              |                            | 131,2      | 111,8      | 147,85                  | 1,10                    |                       |
| B              |                            | 186,1      | 151,1      |                         |                         |                       |
| B              |                            | 179,3      | 144,6      |                         |                         |                       |
| 23             |                            | ongeroerd  | 189,5      | 157,6                   | 158,37                  | 1,00                  |
|                | ongeroerd                  | 189,1      | 158,0      |                         |                         |                       |
|                | ongeroerd                  | 190,8      | 159,5      |                         |                         |                       |
|                | A                          | 160,8      | 136,7      | 120,70                  | 1,31                    |                       |
|                | A                          | 129,8      | 111,0      |                         |                         |                       |
|                | A                          | 149,7      | 129,9      |                         |                         |                       |
|                | A                          | 122,2      | 105,2      | 147,75                  | 1,07                    |                       |
|                | B                          | 175,5      | 143,3      |                         |                         |                       |
|                | B                          | 186,3      | 152,2      |                         |                         |                       |
|                | 59                         | ongeroerd  | 188,73     | 157,80                  | 158,83                  | 1,00                  |
| ongeroerd      |                            | 184,14     | 154,08     |                         |                         |                       |
| ongeroerd      |                            | 198,35     | 164,61     |                         |                         |                       |
| A              |                            | 136,76     | 110,52     | 121,28                  | 1,31                    |                       |
| A              |                            | 149,35     | 121,55     |                         |                         |                       |
| A              |                            | 153,84     | 125,59     |                         |                         |                       |
| A              |                            | 156,40     | 127,45     | 141,71                  | 1,12                    |                       |
| B              |                            | 175,57     | 141,16     |                         |                         |                       |
| B              |                            | 175,09     | 142,26     |                         |                         |                       |

- de vochtkarakteristiek en het capillair geleidingsvermogen van de bodem (c.q. grondsoort)
- de vochttoestand van de bodem bij de aanvang van een neerslagperiode
- de hoeveelheid neerslag, die binnen een bepaalde tijd valt
- de drainage intensiteit

Het vaststellen van het vochtkarakteristiek en het capillair geleidingsvermogen van de bodem is een vrij onvangrijk en tijdrovend werk.

In een afzonderlijk onderzoek zal dan ook aan de hand van gemeten vochtkarakteristiek en capillair geleidingsvermogen aan genomen grondmonsters, gemeten vochtspanning in het terrein en de neerslag het vochtverloop in de bodem worden gesimuleerd.

Om in deze nota toch al enigszins op het optreden van stilstand van de machines ten gevolge van (te) natte terreinomstandigheden in te kunnen gaan, zijn de neerslaggegevens, stilstand van de machines en de gemeten vochtspanningen met elkaar vergeleken.

Op bijlage 11 zijn de neerslaggegevens, alsmede de stilstand van de machines en, voor zover gemeten, de vochtspanning van de bodem, gemeten in de toplaag, weergegeven.

Het blijkt, dat, wanneer er circa 14 mm neerslag op 1 dag valt, of circa 20 mm binnen 3 (regen-) dagen, na een (vrij) droge periode, de bulldozers worden stopgezet. Wordt dit als criterium genomen, dan blijkt dit de stilstand in 1978 goed te verklaren (SPRIK en BROEKEMA, 1979).

Het grondverzet met bulldozers op cultuurtechnische werken vindt veelal plaats in de periode mei-september.

Het aantal potentiële stops is bepaald uit neerslaggegevens in de maanden mei tot en met september van de jaren 1975 tot en met 1979 voor het station Dokkum en Ternaard. Als criterium is gehanteerd 14 mm of meer regen in 1 dag of 20 mm of meer in 3 dagen (zie tabel 3).

Er blijkt een goede samenhang te bestaan tussen het aantal keren dat het werk stilgelegd zou worden en de totale neerslagsom (fig. 8).

De duur van de stilstand kan worden bepaald via simulatie van de vochttoestand van de bodem. En dan nog pas wanneer de vochttoestand waarbij juist weer met het werk wordt begonnen bekend is.

Tabel 3. Neerslagtotalen over de periode mei tot en met september van de stations Dokkum en Ternaard en het aantal potentiële stops van de machines

| Jaartal | Dokkum     |                      | Ternaard   |                      |
|---------|------------|----------------------|------------|----------------------|
|         | N - totaal | Potentiële stops (a) | N - totaal | Potentiële stops (a) |
| 1975    | 309,9 mm   | 6                    | 258,1 mm   | 6                    |
| 1976    | 191,8 mm   | 3                    | 193,8 mm   | 4                    |
| 1977    | 264,3 mm   | 3                    | 222,6 mm   | 4                    |
| 1978    | 352,9 mm   | 6                    | 351,3 mm   | 6                    |
| 1979    | 409,2 mm   | 8                    | 351,5 mm   | 6                    |

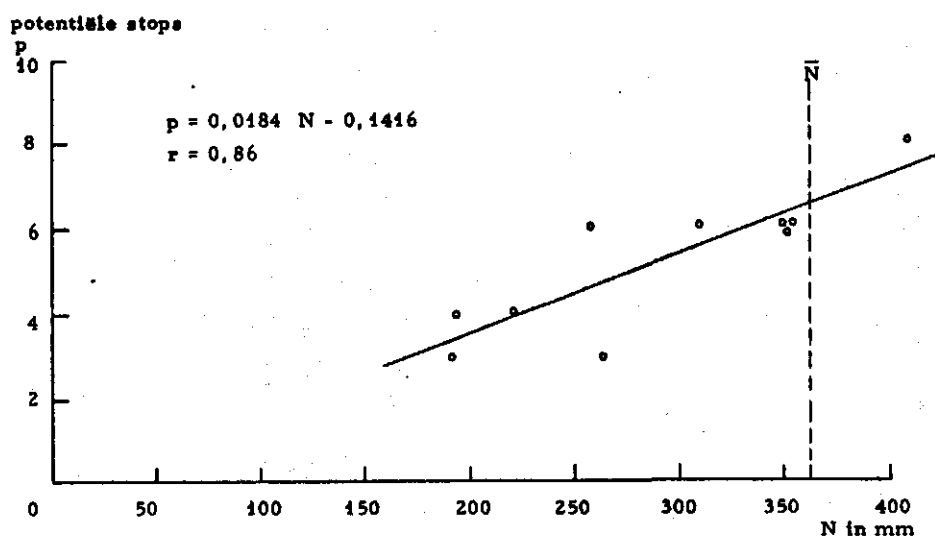


Fig. 8. Relatie tussen de hoeveelheid neerslag in de periode mei tot en met september en het aantal potentiële machinestops ten gevolge van (te) natte terreinomstandigheden

De waargenomen machinestops in 1979 duurden gemiddeld circa 3 dagen.

Het meerjaarlijkse neerslaggemiddelde over de periode mei-september voor Dokkum is 363,2 mm zodat het aantal potentiële machinestops 6,54 is.

De periode mei tot en met september omvat 153 dagen, waarvan 107

werkdagen (de bouwvak meegerekend) of 92 werkdagen (excl. de bouwvak).

Stellen we de gemiddelde stopduur ten gevolge van (te) natte terreinomstandigheden op 3 dagen, dan zal in een gemiddeld jaar het aantal dagen stilstand  $\frac{107}{153} \times 6,54 \times 3 = 14$  dagen (incl. bouwvak) respectievelijk  $\frac{92}{153} \times 6,54 \times 3 = 12$  dagen (excl. bouwvak) bedragen, oftewel de stilstand van bulldozers ten gevolge van (te) natte terreinomstandigheden bedraagt in de regio Dokkum-Ternaard 13% van het aantal werkdagen in een gemiddeld jaar (van mei tot en met september).

#### 4. BEREKENING PRESTATIES VAN BULLDOZERS

##### 4.1. Productie bij het schuiven

De productie van bulldozers bij grondverzet is gedefinieerd in vergelijking 3 volgens:

$$q = c \cdot \frac{Blv \cdot h^2 \cdot b}{10 \left\{ \frac{L}{f(Blv)} + g(L) + T_1 + T_s \right\} \cdot U} \quad (3)$$

Hierin is:  $Blv$  = bladvullingsgraad:  $0 < Blv < 15$   
 $h$  = hoogte van het blad  
 $b$  = breedte van het blad  
 $L$  = lengte schuifbaan  
 $T_1$  = tijd, nodig voor lossen van het blad  
 $T_s$  = schakeltijd  
 $f(Blv)$  = schuifsnelheid als functie van bladvulling  
 $g(L)$  = terugrijtijd, als functie van de lengte van de schuifbaan  
 $c$  = omrekeningsfactor voor eenheden

De schuifsnelheid is een lineaire functie gebleken van de vullingsgraad van het blad. Dus is:

$$f(Blv) = a \cdot Blv + b \quad (7)$$

De terugrijtijd is een lineaire functie, van de lengte van de schuifbaan, en kan worden geschreven als:

$$g(L) = d \cdot L + e \quad (8)$$

De parameters  $a$  en  $b$  in vergelijking 7 en  $d$  en  $e$  in vergelijking 8 staan voor de bestudeerde machines in tabel 1.

De gemiddelde rij snelheid op de schuifbaan is groter dan overeenkomt met de bladvullingsgraad tijdens het schuiven. De gemiddelde bladvulling op de schuifbaan is 0,85 keer de bladvulling tijdens het schuiven. Voor de berekening van de gemiddelde schuifsnelheid moet dan ook de gemiddelde bladvulling worden ingevuld in vergelijking 7.

Uit de waarnemingen is gebleken, dat de gemiddelde bladvullings-

graad over de gehele schuifbaan gerekend, circa 9,75 bedraagt. De hoeveelheid grond, die per schuifbaan wordt verschoven is:

$$\frac{9,75}{8,50} \times h^2 \times b.$$

De gemiddelde afstand, waarover de grond verplaatst moet worden (de transportafstand), wordt berekend middels een schuifstaat. De op deze wijze berekende transportafstand (zwaartepunt afgraving - zwaartepunt ophoging) is de kortste gemiddelde verplaatsingsafstand van de grond. De gemiddelde lengte van de schuifbaan zal met name door de voor het laden en in mindere mate door de voor het lossen benodigde afstand langer zijn dan de transportafstand. Deze (lengte-)toeslag noemen we  $\Delta L$ . Uit de waarnemingen blijkt  $\Delta L$  circa 15 m te zijn.

De uiteindelijke produktie van bulldozers wordt berekend met:

$$q = c \cdot \frac{\overline{Blv} \cdot h^2 \cdot b}{\left\{ \frac{(L + \Delta L)}{(a \overline{Blv} + b)} + d (L + \Delta L) + e + T_1 + T_s \right\} \cdot 8,5 U} \quad (9)$$

Worden nu de parameters uit tabel 1 in vergelijking (9) gesubstitueerd, dan wordt de produktie per machine verkregen. In figuur 9 zijn de voor de waargenomen machines berekende productiecuren weergegeven.

Uit figuur 9 blijkt, dat relatief gezien de Fiat Allis AD14B en de Caterpillar B6C - I ver beneden hun vermogen hebben gewerkt, terwijl de Caterpillar D6C - IV boven zijn vermogen heeft gewerkt.

Uit fig. 4 blijkt, dat de Fiat Allis AD14B relatief een klein blad heeft en dat de schuifsnelheid van zowel de Fiat Allis AD14B als de Caterpillar D6C - I relatief geringer is, waardoor de produktie, gerekend naar het motorvermogen, ook geringer zal zijn.

De hoge produktie van de Caterpillar D6C - IV kan verklaard worden aan de hand van de terugrijksnelheden; deze is namelijk aanzienlijk hoger dan die van de andere D6C's.

Vergelijking 9 brengt de reciproke relatie tussen prestatie en schuifafstand onder andere naar voren. Gebaseerd op de gevonden parameters kan deze vergelijking worden omgezet in een empirische functie van de gedaante:

$$q = f(L) = \frac{C_1}{L + C_2} \quad (10)$$

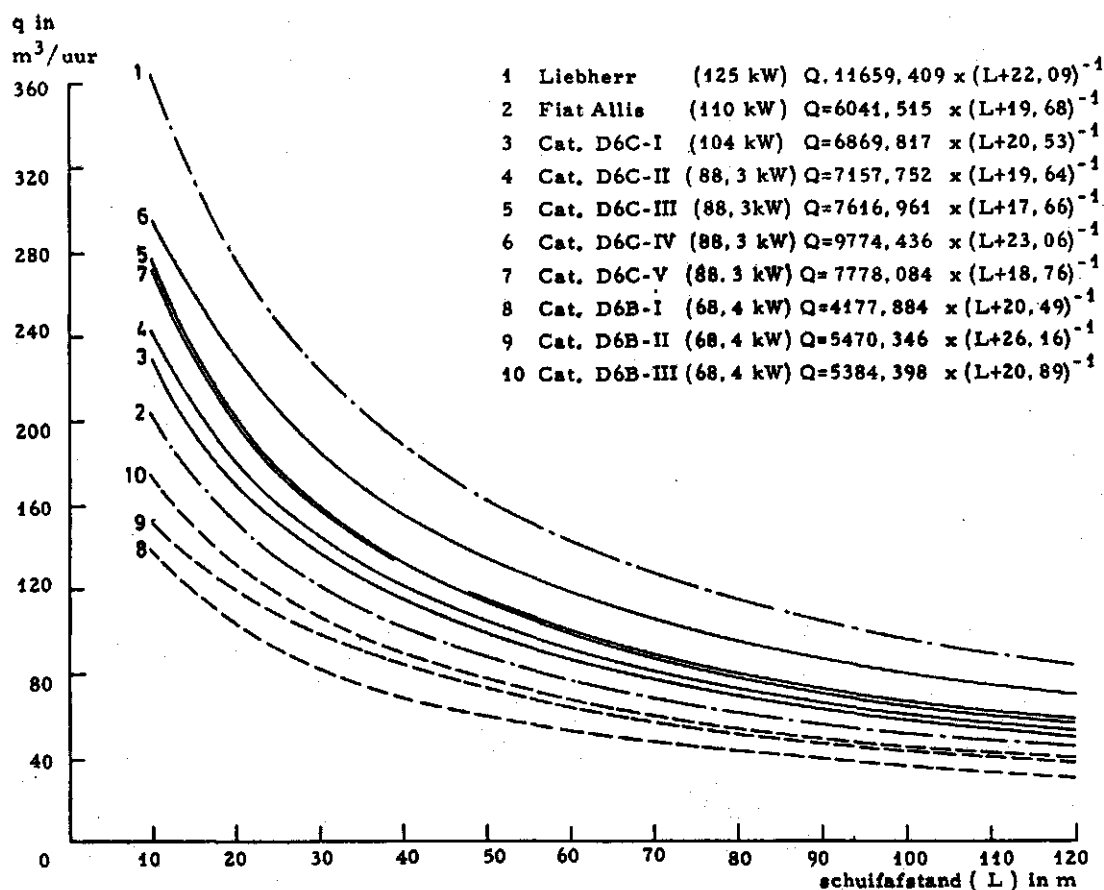


Fig. 9. Berekende producties van de waargenomen machines, bij diverse schuifafstanden

De constanten  $C_1$  en  $C_2$  worden via vereffening gevonden. De waarde  $C_2$  varieert daarbij van 17,7 tot 26,2. De waarde van  $C_1$  ligt tussen 4178 en 11659.

Om nu de productiefuncties op eenvoudige wijze onderlinge te kunnen vergelijken en/of te kunnen relateren aan het motorvermogen, zullen de functies omgerekend moeten worden tot functies met dezelfde waarde voor  $C_2$ . Wanneer uitgegaan wordt van een gemiddelde waarde voor  $C_2$  van 21, dan kan de algemene functie voor de productie geschreven worden als:

$$q = C_1 \times (L + 21)^{-1} \quad (11)$$

De met vergelijking 11 berekende producties wijken af van berekende producties met vergelijking 9. De grootste afwijking voor afstanden groter dan 25 m staan in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4. Grootste verschil tussen berekende productie volgens vergelijking 11 en vergelijking 9

| Machine        | Productiefunctie                | Max. afwijking in m <sup>3</sup> /uur |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Liebherr 741   | $11504,59 \times (L + 21)^{-1}$ | 2,5                                   |
| Cat. D6C - II  | $7279,98 \times (L + 21)^{-1}$  | 2,0                                   |
| Cat. D6C - III | $7944,55 \times (L + 21)^{-1}$  | 5,9                                   |
| Cat. D6C - V   | $7999,30 \times (L + 21)^{-1}$  | 3,8                                   |
| Cat. D6B - II  | $5142,73 \times (L + 21)^{-1}$  | 4,9                                   |
| Cat. D6B - III | $5391,72 \times (L + 21)^{-1}$  | 0,1                                   |

De Fiat Allis AD14B, de D6C - I, D6C - IV en de D6BI zijn vanwege hun (te) sterk afwijkende productie hierbij buiten beschouwing gelaten.

Uit de tabel blijkt, dat de maximale afwijking ten gevolge van de omrekening 0,1 - 5,9 m<sup>3</sup>/uur bedraagt. Deze maximale afwijking treedt in alle gevallen op bij een schuifafstand van 25 m en neemt met de toename van de schuifafstand snel af.

Met behulp van lineaire regressie kan met de gegevens van tabel 4 de samenhang bepaald worden tussen de waarde van  $C_1$  (vergelijking 11) en het motorvermogen van de betrokken machines. Deze samenhang kan omschreven worden als:

$$C_1 = 110,40 P - 2147,9 \quad (r = 0,99) \quad (12)$$

Substitueren we deze waarde in vergelijking 1, dan ontstaat een algemene productieformule, met als variabelen de schuifafstand en het motorvermogen te weten:

$$q = (110,40 P - 2147,9) \times (L + 21)^{-1} \quad (13)$$

In plaats van een productie kunnen we omgekeerd, wanneer de productie en schuifafstand bekend is, het „werkvermogen" van een machine, gerelateerd aan de overige machines berekenen.

Uit figuur 9 blijkt, dat de productie van de Fiat Allis AD14B en

Cat. D6C - I bij een schuifafstand van 60 m respectievelijk 75,8 en 85,3 m<sup>3</sup>/uur bedraagt.

Berekenen we aan de hand van deze gegevens hun vermogen, dan blijkt dat het werkvermogen van de Fiat Allis AD14B en de Cat. D6C - I, gerelateerd aan de overige machines, slechts respectievelijk 77,2 en 83,7 KW bedraagt in plaats van respectievelijk 110 en 104 KW.

Voorts is de invloed van de bladvullingsgraad op de productie nagegaan met vergelijking 9. In figuur 10 is van een tweetal machines de productie weergegeven bij diverse bladvullingsgraden.

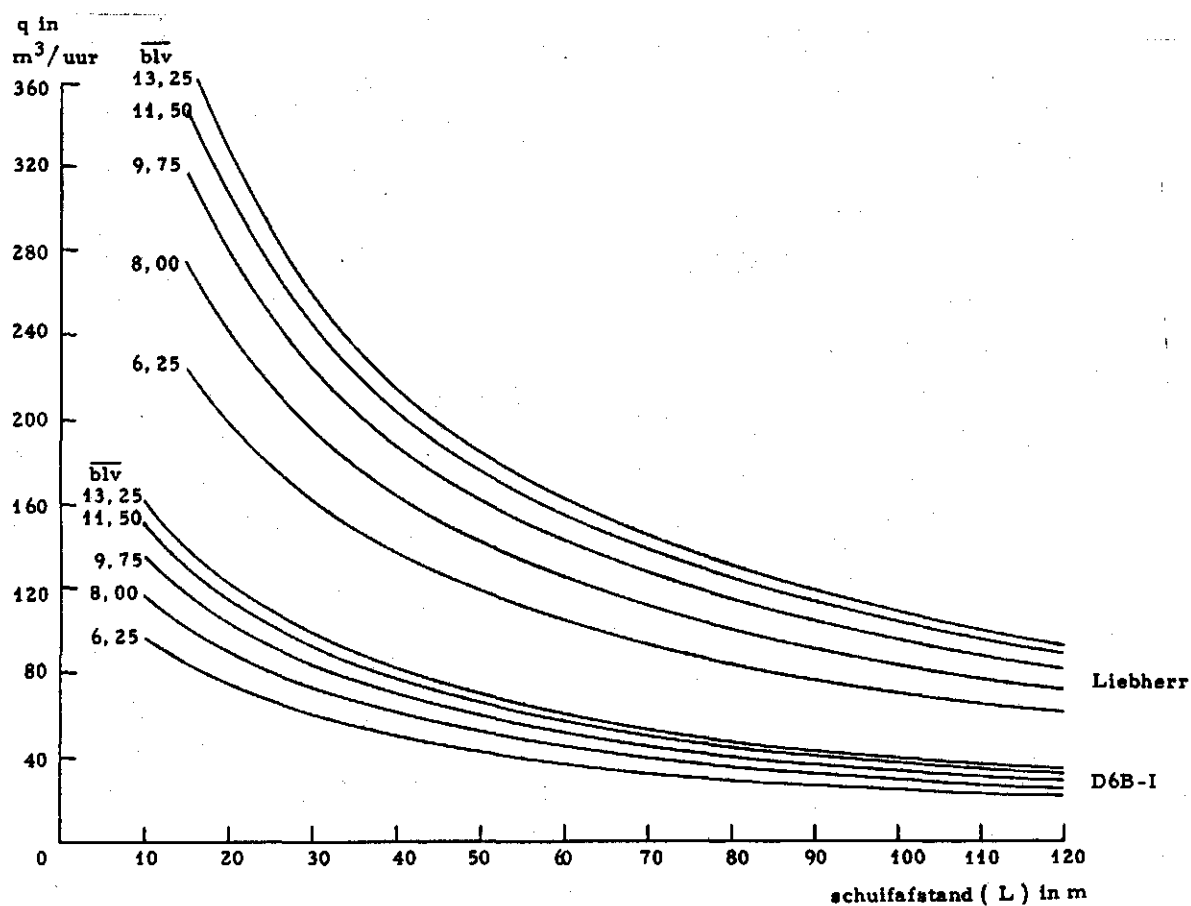


Fig. 10. Berekende producties bij diverse bladvullingsgraden

Uit deze figuur blijkt, dat met de toename van de bladvullingsgraad de productie niet evenredig blijft toenemen.

In het algemeen kan gezegd worden, dat indien de gemiddelde bladvullingsgraad hoger is dan 9,75 de productie relatief weinig toeneemt.

Tevens zal bij een hogere gemiddelde bladvullingsgraad het brandstofverbruik wel toenemen, zodat het de vraag is, of het financieel gezien wel zinvol is om te schuiven met een zeer hoge gemiddelde bladvullingsgraad, dat wil zeggen een gemiddelde bladvullingsgraad  $> 9,75$ . Met het ontwikkelde model is de grondverzetsproductie berekend, van die percelen, waarvan in 1978 en 1979 het grondverzet, de tijdsbesteding en derhalve ook de productie is opgenomen. Voorts is aan de hand van een schuifstaat de schuifafstand berekend.

Tabel 5. Gebruikte basisgegevens voor produktieberekeningen

| $\bar{L}$ | 1978      |       | $\bar{L}$ | 1979        |        |
|-----------|-----------|-------|-----------|-------------|--------|
|           | $\bar{P}$ | q     |           | $\bar{P}^*$ | q      |
| 49        | 119       | 132,2 | 33,4      | 88,3        | 97,45  |
| 65        | 124       | 93,1  | 49,0      | 79,6        | 70,10  |
| 43        | 116       | 127,8 | 77,6      | 81,4        | 85,30  |
| 56        | 110       | 97,4  | 35,5      | 75,8        | 90,22  |
| 49        | 125       | 102,9 | 67,9      | 87,8        | 71,22  |
| 57        | 82        | 71,0  | 62,7      | 81,8        | 83,76  |
| 53        | 103       | 98,4  | 53,2      | 86,0        | 98,48  |
| 35        | 113       | 173,7 | 40,1      | 78,6        | 80,72  |
| 71        | 76        | 94,3  | 67,6      | 83,6        | 58,32  |
| 66        | 76        | 85,0  | 43,2      | 88,3        | 126,08 |
| 30        | 112       | 155,9 | 62,6      | 88,9        | 51,85  |
| 40        | 120       | 194,4 | 54,9      | 89,4        | 76,07  |
| 37        | 77        | 93,1  | 55,9      | 81,2        | 84,15  |
| 40        | 77        | 78,6  | 56,4      | 99,5        | 77,43  |
| 51        | 85        | 79,7  | 70,0      | 103,1       | 105,23 |
| 54        | 83        | 73,2  |           |             |        |
| 60        | 89        | 98,4  |           |             |        |
| 40        | 87        | 126,3 |           |             |        |
| 53        | 84        | 89,2  |           |             |        |
| 30        | 73        | 149,3 |           |             |        |

Waarin:  $\bar{L}$  = gewogen gemiddelde schuifafstand in m

P = gewogen motorvermogen aan vliegwiel in KW (voor de

\* Fiat Allis AD14B en Cat. D6C - I is een motorvermogen van respectievelijk 77,2 en 83,7 KW aangehouden)

q = productie in  $m^3$ /uur

De gemiddelde afstand is gewogen naar de hoeveelheden grond volgens:

$$\bar{L} = \frac{\sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot g_{i,j}}{\sum_i \sum_j g_{i,j}} \quad (14)$$

Hierin is  $L_{i,j}$  de afstand tussen herkomst vak  $i$  en bestemmingsvak  $j$ , terwijl  $g_{i,j}$  de hoeveelheid grond is die vanuit vak  $i$  wordt gebracht naar vak  $j$ .

Op de percelen wordt meestal met meerdere bulldozers gewerkt. Het motorvermogen van die bulldozers is niet steeds gelijk. Tijdens de waarnemingen is niet gebleken dat een bulldozer met een groot of klein vermogen gemiddeld respectievelijk over grote of kleine afstanden schuift. Op grond daarvan kan het gemiddeld motorvermogen van de groep bulldozers worden bepaald met:

$$\bar{P} = \frac{\sum P_k \cdot T_k}{\sum T_k} \quad (15)$$

Hierin is  $P_k$  het vermogen van bulldozer  $k$  en  $T_k$  is de tijdsduur die bulldozer  $k$  op het bewuste perceel heeft gewerkt.

In fig. 11\* zijn de berekende netto-producties uitgezet tegen de gemeten netto-producties. De producties zijn berekend met  $q = (110,4 P - 2147,9) \times (L + 21)^{-1}$ .

Figuur 11\* toont voor zowel 1978 als 1979 een spreiding van punten rond de 45°-lijn.

Het gemiddelde verschil tussen de berekende en gemeten productie bedraagt voor 1978  $15,0 \text{ m}^3/\text{uur}$  en voor 1979  $12,6 \text{ m}^3/\text{uur}$ . Dus gemiddeld  $13,8 \text{ m}^3/\text{uur}$  over beide jaren.

Bij de berekende producties van 1979 is voor de Fiat Allis AD14B en de Cat. D6C - I een motorvermogen van respectievelijk 77,2 en 83,7 KW aangehouden.

Afwijkingen tussen de berekende en de gemeten netto-productie worden onder andere veroorzaakt door:

\*Fig. 11 zie pag. 36

- wisselende terreinomstandigheden tijdens het grondverzet en daardoor ook een wisselend volume-gewicht van de grond
- een sluitcorrectie, welke veelal noodzakelijk is om tot een gesloten grondbalans te komen
- afrondingsfouten . Bij het waterpassen worden maaiveldshoogten evenals de vizierlijn in cm afgelezen. Hierdoor kan per punt een afrondingsfout ontstaan van maximaal + of - 0,9 cm (oftewel 90 m<sup>3</sup>/ha)
- schuifafstand. De schuifafstand die op basis van een schuifstaat bepaald wordt, is de optimale schuifafstand. In de praktijk echter zal deze (optimale) schuifafstand slechts worden benaderd.

Uit figuur 11 blijkt, dat de verhouding tussen gemeten en berekende netto-productie voor 1978 en 1979 respectievelijk 0,88 en 0,87 is en gemiddeld over beide jaren 0,88.

Wordt deze factor in de productieformule gebracht, dat ontstaat:

$$q = (97,15 P - 1890,2) \times (L + 21)^{-1} \quad (16)$$

#### 4.2. P r e s t a t i e s b i j h e t p o e t s e n

Wanneer de in hoofdstuk 3 gevonden waarden in het in hoofdstuk 2 ontwikkelde model (5) worden gesubstitueerd, ontstaat de vergelijking:

$$F = 60 \frac{\Delta B \times L}{0,0243 L - 0,12776 + T_s} \quad (17)$$

Wordt in deze formule de werkbreedte ( $\Delta B$  = bladbreedte) en de poetslengte (L) in m ingevoerd, dan wordt de productie in m<sup>2</sup>/uur gevonden.

Wordt nu in vergelijking (13) nog onderscheid gemaakt naar type machine (DD of PS) en naar werkmethode (I of II), dan ontstaan de volgende vergelijkingen:

$$\text{PS-machine, werkmethode I: } F = \frac{2469,14 \Delta B}{1 + \frac{7,36}{L}} \quad (18)$$

$$\text{PS-machine, werkmethode II: } F = \frac{2469,14 \Delta B}{1 - \frac{5,26}{L}} \quad (19)$$

$$\text{DD-machine, werkmethode I : } F = \frac{2469,14 \Delta B}{1 + \frac{13,14}{L}} \quad (20)$$

$$\text{DD-machine, werkmethode II: } F = \frac{2469,14 \Delta B}{1 - \frac{2,64}{L}} \quad (21)$$

De breedte van de kopakkers, welke naderhand afgewerkt moeten worden, kan voor werkmethode I en II op respectievelijk  $\pm 10$  en  $\pm 30$  m gesteld worden.

Om tot een productie voor een geheel perceel te komen, dient de poetsproductie van het perceel en de kopakker waarbij de breedte van het perceel de poetslengte is op de kopakker, afzonderlijk berekend te worden, waarna volgens onderstaande vergelijkingen de poetsproductie per perceel bepaald kan worden:

$$\text{voor PS-machine: } \frac{2469,14 \Delta B \times L}{L + \frac{73,6}{LK} + 17,36} \quad (22)$$

$$\text{werkmethode I: } \frac{L}{\frac{10}{F1} + \frac{L}{F2}}$$

$$\text{voor DD-machine: } \frac{2469,14 \Delta B \times L}{L + \frac{131,4}{LK} + 23,14} \quad (23)$$

$$\text{voor PS-machine: } \frac{2469,14 \Delta B \times L}{L - \frac{157,8}{LK} + 23,14} \quad (24)$$

$$\text{werkmethode II: } \frac{L}{\frac{30}{F1} + \frac{L}{F2}}$$

$$\text{voor DD-machine: } \frac{2469,14 \Delta B \times L}{L - \frac{79,2}{LK} + 27,36} \quad (25)$$

Waarin:  $q_1$  = productie poetsen kopakker

$q_2$  = productie poetsen perceel

$L$  = gemiddelde poetslengte perceel

$LK$  = gemiddelde poetslengte kopakker

Wordt van een aantal willekeurige percelen zowel volgens werkmethode I als II de productie bepaald, dan blijkt dat de producties vrijwel gelijk zijn.

Bij grotere percelen valt werkmethode I veelal gunstiger uit dan werkmethode II.

In het algemeen zal de gekozen werkmethode de productie niet of nauwelijks beïnvloeden.

Tot slot is van een aantal percelen, waarvan de poetsproductie ook is gemeten, de poetsproductie berekend.

In figuur 12 zijn de berekende poetsproducties uitgezet tegen de gemeten poetsproducties.

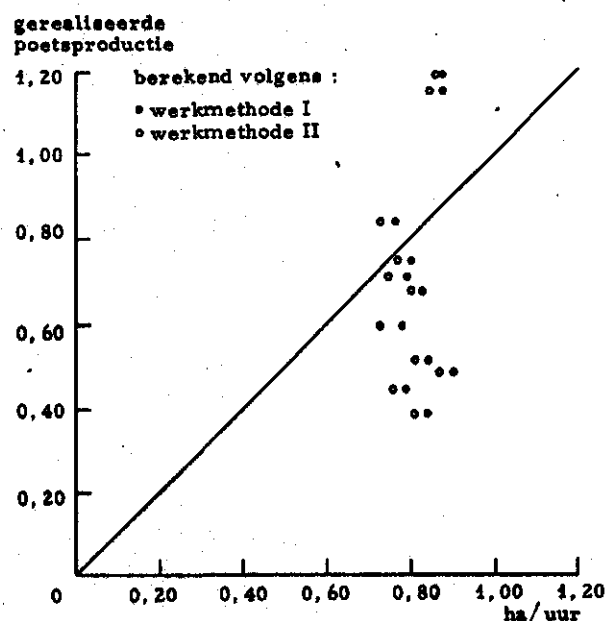


Fig. 12. Samenhang tussen de berekende poetsproducties en de gemeten poetsproducties

Uit figuur 12 blijkt, dat de spreiding in de gemeten producties veel groter is dan die in de berekende producties.

De poetsproductie wordt in grote mate door zowel de maaiveldsligging bij de aanvang van het poetsen, als de terreinomstandigheden tijdens het poetsen beïnvloed. Zijn de terreinomstandigheden tijdens het schuiven minder goed, dan zal een onegalere maaiveldsligging voor het poetsen achtergelaten worden, dan onder goede terreinomstandigheden.

Wanneer er onder minder goede terreinomstandigheden gepoetst moet worden, dan zal het meer werk vragen om een goede maaiveldsligging te verkrijgen.

Samengevat kan gezegd worden, dat de poetsproductie zowel door de

terreinomstandigheden tijdens het schuiven als tijdens het poetsen beïnvloed kan worden.

De netto-productie zal onder goede terreinomstandigheden circa 0,70 tot 0,90 ha/uur bedragen bij een bladbreedte van  $\pm 3,60$  tot 4,00 m en bij een perceelsgrootte van minimaal 1,25 ha. Bij geringere perceelsgrootten gaat de perceelsvorm een steeds belangrijkere rol innemen, waardoor de productie kan afnemen.

#### 4.3. Kostenberekening grondverzet met bulldozers

Om een kostenberekening te kunnen maken, is derhalve een gegeven of een berekende productie, een inzicht in de kostprijs c.q. huurprijs van het materieel noodzakelijk. Deze huurprijzen worden onder andere jaarlijks bekend gemaakt door de BOVAL (Bond van agrarische loonbedrijven in Nederland).

Volgens deze bond waren de huurprijzen per 1-3-1979 als volgt:

|               |        |   |            |
|---------------|--------|---|------------|
| motorvermogen | 59 KW  | - | f 57,-/uur |
| motorvermogen | 74 KW  | - | f 65,-/uur |
| motorvermogen | 92 KW  | - | f 71,-/uur |
| motorvermogen | 103 KW | - | f 78,-/uur |

Deze huurprijzen zijn inclusief machinist, doch exclusief brandstof en BTW. Voor PS-machines wordt 5% meer gerekend. Volgens Caterpillar bedraagt het brandstofverbruik bij grondverzet met bulldozers:

|               |        |   |            |
|---------------|--------|---|------------|
| motorvermogen | 46 KW  | - | 8,7 l/uur  |
| motorvermogen | 56 KW  | - | 11,0 l/uur |
| motorvermogen | 78 KW  | - | 14,8 l/uur |
| motorvermogen | 104 KW | - | 19,7 l/uur |
| motorvermogen | 149 KW | - | 28,0 l/uur |

Het BTW-percentages over de huurprijs bedraagt 18% en over de brandstof 4%.

Aan de hand van deze gegevens is het mogelijk om een kostprijs per uur per machine te berekenen. Via lineaire regressie is de relatie huurprijs (exclusief BTW en brandstof) - motorvermogen ( $K = 0,4559 P + 30,3655$ ) en de relatie brandstofverbruik (B) - motorvermogen ( $B = 0,1857 P + 0,36$ ) bepaald.

Wanneer we uitgaan van een brandstofprijs van f 45,45/100 l (prijspeil 1-7-1979), dan is de totale kostprijs (inclusief BTW) per uur:

$$\text{DD-machine: } K = 0,6257 P + 36,00 \quad (26)$$

$$\text{PS-machine: } K = 0,6526 P + 37,79 \quad (27)$$

De netto-kosten per m<sup>3</sup> grondverzet zijn dan:

$$\text{DD-machine: } \frac{K}{q} = \frac{0,6257 P + 36,00}{(97,15 P - 1890,2) \times (L + 21)^{-1}} \quad (28)$$

$$\text{PS-machine: } \frac{K}{q} = \frac{0,6526 P + 37,79}{(97,15 P - 1890,2) \times (L + 21)^{-1}} \quad (29)$$

In tabel 6 is de kostprijs per m<sup>3</sup> grondverzet voor een 5-tal machines weergegeven bij diverse schuifafstanden.

Tabel 6. Kostprijs (inclusief BTW) per m<sup>3</sup> grondverzet bij diverse schuifafstanden en motorvermogens (prijspeil 1979)

| Type machine     | Motorvermogen | Schuifafstand in m |         |         |         |         |
|------------------|---------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
|                  |               | 25                 | 50      | 75      | 100     | 125     |
| Cat. D6B         | 68,4 KW       | f 0,76             | f 1,18  | f 1,59  | f 2,00  | f 2,42  |
| Cat. D6C         | 88,3 KW       | - 0,66             | - 1,01  | - 1,37  | - 1,73  | - 2,08  |
| Cat. D6C         | 104 KW        | - 0,59*            | - 0,91* | - 1,23* | - 1,56* | - 1,88* |
| Fiat Allis AD14B | 110 KW        | - 0,57*            | - 0,88* | - 1,20* | - 1,51* | - 1,82* |
| Liebherr 741     | 125 KW        | - 0,54             | - 0,83  | - 1,12  | - 1,41  | - 1,70  |

\* bij een productie overeenkomstig het motorvermogen

Uit de tabel blijkt, dat bij het schuiven de machines met het grootste motorvermogen het voordeligste product leveren.

Bij het poetsen wordt de productie, en derhalve ook de kostprijs per oppervlakte-eenheid, in sterke mate beïnvloed door de bladbreedte.

In tabel 7 is de kostprijs van het poetsen weergegeven voor een 5-tal machines voor zowel poetsmethode I als II bij een bladbreedte



van 4,00 m, alsmede voor drie machines bij een maximale standaard-blad-breedte, bij diverse perceelsgroottes.

Uit tabel 7 blijkt, dat de laagste kostprijs per oppervlakte-eenheid gerealiseerd wordt door de machine met het geringste motorvermogen. De kosten van het afwerken van percelen zullen het geringst zijn, wanneer een machine met een vrij gering motorvermogen en een zo breed mogelijk blad wordt ingezet.

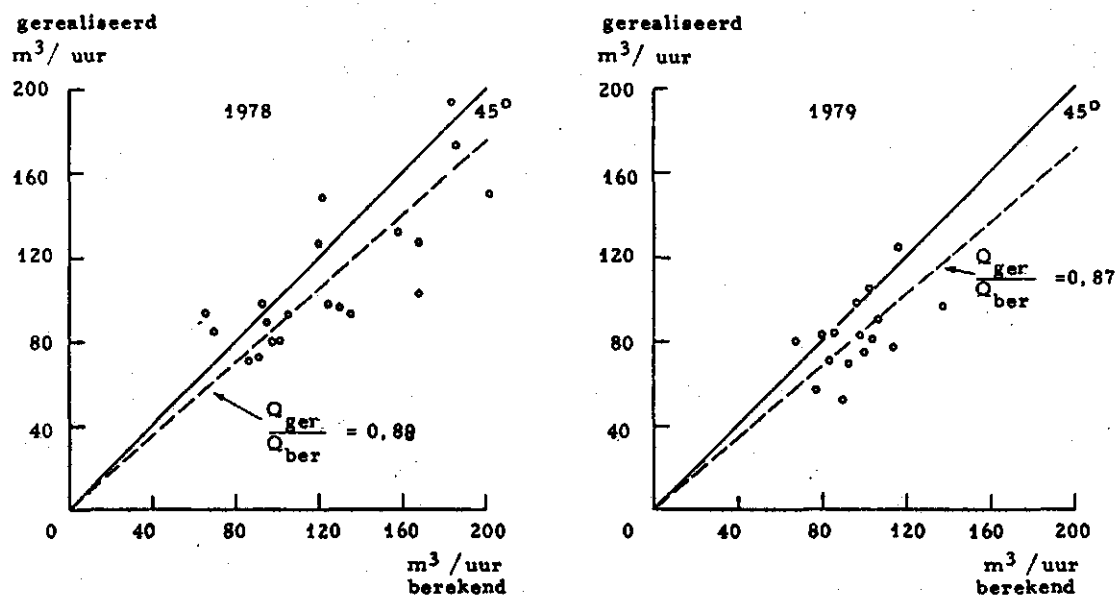


Fig. 11 Samenhang tussen de berekende netto-productie en de gemeten netto productie.  
(zie pag. 29)

## 5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Voor de berekening van prestaties van bulldozers bij egalisatiewerkzaamheden en bij het afwerken van het perceel na de egalisatie, het zogenaamde poetsen, zijn modellen opgesteld. Onderzoek ten behoeve van het meten van modelparameters is verricht in 1979 in het besteksgebied Hantum-Aalzum in de ruilverkaveling Oost- en West-Dongeraardeel. De modelparameters hebben betrekking op de samenhang tussen rijksnelheid van bulldozers en de hoeveelheid grond voor het blad (gekarakteriseerd als bladvullingsgraad), de samenhang terugrijtijd en lengte van de schuifbaan, de bladvullingsgraad, uitleveringsfactor van de grond en de schakel- en lostijden. Het model beschrijft de relatie tussen bladvullingsgraad, bladafmeting, motorvermogen, uitleveringsfactor van de grond, afstand waarover de grond wordt verplaatst en de productie per tijdseenheid. Aan 11 machines is onderzoek verricht. Het motorvermogen varieerde van 68 KW tot 125 KW.

Verder is nagegaan onder welke condities het werk werd stilgelegd. Een kostenvergelijking is tenslotte uitgevoerd om na te gaan bij welk soort werk welke bulldozer het beste (goedkoopste) is in te zetten.

Gebleken is dat de rijksnelheid tijdens het schuiven terug loopt van circa 6 km per uur met nagegnoeg leeg blad tot circa 3 km per uur met vol blad. Het verband tussen rijksnelheid en bladvullingsgraad is nagegnoeg lineair. De terugrijksnelheid was circa 6 km per uur.

Er was een duidelijke samenhang tussen bladafmeting en motorvermogen. Gebleken is, dat 3 bulldozers waren uitgerust met bladen die groter waren dan de bij die bulldozers behorende standaardblad. Een machine was met een kleiner dan het standaardblad uitgerust. De uitleveringsfactor van de grond, is gedefinieerd als de verhouding tussen het droog volume gewicht van de grond in ongeroerde ligging en het volume gewicht dat de grond heeft wanneer deze is losgegraven en voor het blad ligt. Deze factor is gemiddeld 1,35 op de onderzochte zavelgrond. Het droogvolume gewicht van de ongeroerde grond varieerde van 1490 - 1630 kg/m<sup>3</sup>.

De vullingsgraad van het blad is weergegeven in een schaal die loopt van 0 - 15. Hierin is 0 een leeg blad, 10 stelt het volume grond voor, gelijk aan  $h^2$ . b. Hierin is h de hoogte van het blad en b de

breedte. De bladvullingsgraad is 0 aan het begin van de schuifbaan en maximaal aan het eind daarvan. Wanneer de af te schuiven laag dik is, wordt het blad zo snel mogelijk geladen. Bij nog een relatief dunne laag af te schuiven grond is gebleken dat deze laag in een aantal dunne laagjes wordt afgeschoven. Dit gebeurt zodanig dat het blad juist vol is aan het eind van de schuifbaan. De gemiddelde bladvullingsgraad bleek 9,75 te zijn.

De berekende producties met het model bij het egaliseren en slootdempen bleken hoger te zijn dan de gemeten producties in 1978 en 1979. De gemeten producties lagen circa 12% lager. De oorzaak hiervan is onder meer dat bij de productieberekening de theoretisch minimale gemiddelde schuifafstand is gebruikt, zoals die uit een schuifstaat is te bepalen. In de praktijk wordt niet steeds op optimale wijze geschoven, zodat de gemiddelde reële schuifafstand groter is dan de theoretisch berekende minimum afstand. De producties zijn circa  $240 \text{ m}^3/\text{uur}$  bij verplaatsingsafstand van 25 m en circa  $100 \text{ m}^3/\text{uur}$  bij verplaatsingsafstand van 120 m indien een bulldozer wordt gebruikt met motorvermogen van 125 KW. De producties van een bulldozer van 68 KW zijn respectievelijk  $120 \text{ m}^3/\text{uur}$  en  $40 \text{ m}^3/\text{uur}$ .

De met het model berekende prestaties bij het afwerken van het perceel, het zogenaamde poetsen, toonden grote afwijkingen ten opzichte van de gemeten producties. Bij berekende productie van circa 0,8 ha per uur, werd een productie gemeten van 0,4 - 0,85 ha per uur. Wel is duidelijk geworden dat de prestatie bij het poetsen nauwelijks of niet afhangt van het motorvermogen van de bulldozer, maar wel in sterke mate van de breedte van het blad. Poetsen is derhalve een oppervlakte bewerking.

Om te kunnen aangeven welke bewerking het goedkoopste door welke machine kan worden uitgevoerd, is een kostprijs calculatie uitgevoerd, gebaseerd op het prijspeil van 1979. Per  $\text{m}^3$  verplaatste grond kost een bulldozer 0,81 en 2,75 gulden bij schuifafstanden van respectievelijk 25 m en 125 m bij een motorvermogen van 68 KW en 0,53 respectievelijk 1,68 gulden bij motorvermogen van 125 KW. Hieruit blijkt dat een groter vermogen van de bulldozer een geringe kostprijs oplevert dan een geringer vermogen. De kostprijs van poetswerk, uitgevoerd met een bulldozer van 56 KW met een blad van 4 m breed, is 103 en 83 gulden per ha bij een perceelsoppervlak van respectievelijk 0,25 en 4 ha. Bij een motor-

vermogen van 104 KW is de kostprijs respectievelijk 147 en 116 gulden per ha. Voor poetswerk geldt dat een bulldozer met een zo gering mogelijk vermogen en een zo breed mogelijk blad, het goedkoopste werkt.

Onderzocht is voorts nog onder welke condities het schuifwerk wordt stilgelegd. Gebleken is dat het werk wordt stilgelegd op de zavelgrond in dit besteksgebied in de periode mei tot en met september wanneer er meer dan 14 mm regen valt op één dag of meer dan 20 mm in drie dagen. De stilstand duurde gemiddeld drie dagen. Gebaseerd op deze criteria is het gemiddeld aantal keren per seizoen (mei tot en met september) berekend waarop het schuifwerk zal worden stilgelegd. Voor een jaar met een gemiddelde neerslag is dit aantal 6,5. Bij een duur van de stops van 3 dagen, een periode die totaal 153 dagen omvat met daarin 107 werkdagen, zal het werk in de periode mei tot en met september gemiddeld 14 werkdagen worden stilgelegd.

## 6. LITERATUUR

VERHAGEN, A., 1969. In: Cultuurtechnische Verhandelingen Staatsuitgeverij Den Haag.

GILST, W.J. van, 1963. Machines op Cultuurtechnische werken in Nederland ILR 75 (ILR is het huidige IMAG).

KON. NED. HEIDE MAATSCHAPPIJ, 1963. Calculatie Vademecum.

SPRIK, J.B. en BROEKEMA, B., 1979. Sloodemping en egalisatie met bovengedroegde ondergrond door bulldozers (resultaten 1978) ICW nota 1147.

CATERPILLAR, 1979. Caterpillar Performance Handbook nr. 10.

KNMI. Neerslaggevens 1975 tot en met 1979.

