

H. J. Cruy

INSTITUUT VOOR LANDBOUWTECHNIEK EN RATIONALISATIE

Rapport 110

BEOORDELING VAN DE STROOIREGELMAAT
VAN CENTRIFUGAAL-KUNSTMESTSTROOIERS

Ir. H. J. Burema

Rapport 110

BEOORDELING VAN DE STROOIREGELMAAT
VAN CENTRIFUGAAL-KUNSTMESTSTROOIERS

Ir. H.J. Burema

Publikatie alleen toegestaan na overleg met de schrijver

Gebruikte symbolen

- x - hoeveelheid kunstmest per meetbak in grammen
- x_i - hoeveelheid kunstmest in i-de meetbak in grammen
- \bar{x} - gemiddelde hoeveelheid kunstmest per meetbak in grammen
- n - aantal meetbakken
- Σ - sommingssymbool
- \bar{d} - gemiddelde afwijking van het gemiddelde in procenten
- d_m - maximale afwijking van het gemiddelde in procenten
- s - spreiding in de hoeveelheden per meetbak in procenten
- a - constante
- b - constante
- j - constante
- k - constante
- c - constante
- r - onregelmatigheidsgetal
- w - werkbreedte van de strooier in m
- Q - nominale kunstmestgift in kg/ha
- m - aantal herhalingen waarover is gemiddeld

BEOORDELING VAN DE STROOIREGELMAAT VAN

CENTRIFUGAAL-KUNSTMESTSTROOIERS

Bij de beoordeling van centrifugaal-kunstmeststrooiers is de beoordeling van de strooiregelmaat een belangrijk facet. Het gaat hierbij niet om de beoordeling van een enkel strooibeeld, maar om een hele reeks van strooibeelden, die onder verschillende omstandigheden ontstaan.

Om een reeks van strooibeelden te kunnen overzien en beoordelen is het welhaast onontbeerlijk elk strooibeeld kort en bondig te karakteriseren, zo mogelijk door een enkel kengetal. De verzameling van vele van deze kengetallen geeft dan informatie over de eigenschappen onder uiteenlopende omstandigheden en vormt een belangrijke bijdrage tot de algehele beoordeling van een strooier.

Gebruikelijke kengetallen om de regelmaat van een strooibeeld aan te geven zijn het gemiddelde van de absolute waarden van de procentuele afwijkingen van het gemiddelde en de spreiding in de hoeveelheden, eveneens uitgedrukt in procenten. Deze twee kengetallen worden berekend volgens

$$\bar{d} = \frac{100 \sum |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}}$$

en

$$s = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{of} \quad s = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Volgens de inzichten van het I.L.R. kleeft aan beide kengetallen het bezwaar, dat in onvoldoende mate gewicht wordt toegekend aan extreme waarden.

Om aan dit bezwaar tegemoet te komen is door het I.L.R. naast de gemiddelde afwijking ook de maximale afwijking van het gemiddelde in de beoordeling betrokken. Voor de beoordeling van een enkel strooibeeld is deze methode zeker te preferen boven de eerder genoemde. Bij de beoordeling van een reeks van strooibeelden vormt echter het feit, dat in wezen met twee criteria wordt gewerkt een welhaast onoverkomelijke moeilijkheid.

Door het definiëren van een onregelmatigheidsgetal van de gedaante

$$r = c \sqrt[j]{ \left(\frac{\bar{d}}{a} \right)^k + \left(\frac{d_m}{b} \right)^k }$$

is een nieuw kengetal voor strooibeelden verkregen.

Door het I.L.R. is het onregelmatigheidsgetal nader gedefinieerd als

$$r = 100 \sqrt[8]{ \left(\frac{\bar{d}}{20} \right)^8 + \left(\frac{d_m}{40} \right)^8 }$$

Dit kengetal komt tegemoet aan de hiervoor geformuleerde wensen. Het karakteriseert elk strooibeeld door één waarderingsgetal, waarin naast de gemiddelde grootte der onderlinge verschillen in voldoende mate de grootste afwijking tot gelding komt. Het biedt bovendien de mogelijkheid vele waarderungen zeer overzichtelijk samen te vatten in strooidiagrammen.

Deze strooidiagrammen maken in de eerste plaats een haast objectieve beoordeling van de strooieigenschappen van een strooier mogelijk. Daarnaast echter bieden de strooidiagrammen de mogelijkheid om bij verschillende meststoffen en nominale giften steeds optimale afstellingen en werkbreedtes te bepalen. Als zodanig kunnen de strooidiagrammen betere informatie verschaffen dan de gebruikelijke strooitabellen. Tenslotte biedt de methodiek aan constructeurs van centrifugaal-kunstmeststrooiers evenzeer gelegenheid tot optimale constructievormen te komen.

1. BEPALING VAN STROOIBEELDEN

Voor de beoordeling van de strooieregelmaat van een kunstmeststrooier dienen strooibeelden ter beschikking te staan. Deze worden verkregen door de hoeveelheden kunstmest, die door de strooier op naast elkaar gelegen oppervlakte-eenheden van het veld worden gedeponereerd, te bepalen. Het I.L.R. hanteert als eenheid van oppervlakte 1 m^2 , nl. 50 cm in de breedterichting en 200 cm in de rijrichting van de strooier. De bepaling van de breedteverdeling van een strooier geschiedt door in een beproevingsruimte een voldoende groot aantal opvangbakken met de genoemde afmetingen naast elkaar in de baan van de te onderzoeken strooier te plaatsen en na een passage van de strooier de opgevangen hoeveelheden kunstmest te wegen. Op deze wijze wordt een enkelvoudig strooibeeld verkregen, dat dient als basis voor de berekening van alle gewenste strooibeelden, zoals die bij meerdere passages van de strooier door overlapping zouden ontstaan. Desgewenst kunnen samengestelde strooibeelden worden berekend voor heen en weer gaand strooien, waarbij de opvolgende banen van de strooier spiegelbeeldig naast elkaar komen te liggen en voor rondgaand strooien, waarbij de banen evenwijdig verschoven naast elkaar komen te liggen.

Voor verschillende meststoffen worden bij een aantal afstellingen van de strooier, steeds tenminste in drievoud, enkelvoudige strooibeelden bepaald.

2. WAARDERING VAN EEN SAMENGESTELD STROOIBEELD

2.1. Bepaling van het onregelmatigheidsgetal

Een samengesteld strooibeeld bestaat uit een aantal hoeveelheden per oppervlakte-eenheid. Bij het I.L.R. onderzoek, met opvangbakken van 50 cm breedte, is dit aantal het dubbele van de werkbreedte in meters.

Uit de hoeveelheden van een strooibeeld wordt in de eerste plaats het rekenkundig gemiddelde bepaald. Hieruit is direct de gemiddeld uitgestrooide hoeveelheid per ha te bepalen. Vervolgens worden de (absolute waarden van de) afwijkingen van dit gemiddelde bepaald en uitgedrukt in procenten van het gemiddelde. Uit deze procentuele afwijkingen wordt wederom het rekenkundig gemiddelde bepaald, dus

$$\bar{d} = \frac{100 \sum |x_i - \bar{x}|}{\bar{x} \cdot n}$$

en wordt de maximale afwijking d_m vastgesteld.

Uit \bar{d} en d_m wordt tenslotte een onregelmatigheidsgetal berekend volgens

$$r = 100 \sqrt[8]{\left(\frac{\bar{d}}{20}\right)^8 + \left(\frac{d_m}{40}\right)^8}$$

2.2. Het verband tussen \bar{d} , d_m en r

Wordt het onregelmatigheidsgetal geschreven in de algemene vorm

$$r = c \sqrt[j]{\left(\frac{\bar{d}}{a}\right)^k + \left(\frac{d_m}{b}\right)^k}$$

dan is voor vaste waarden van c , j en k het verband tussen $\left(\frac{\bar{d}}{a}\right)$, $\left(\frac{d_m}{b}\right)$ en r weer te geven in cartesische nomogrammen. Langs de coördinaatassen worden $\left(\frac{\bar{d}}{a}\right)$ en $\left(\frac{d_m}{b}\right)$ lineair uitgezet; de niveaulijnen voor r verschijnen dan als krommen in het coördinatenvlak. Door de coördinaatassen van een dubbele schaalverdeling te voorzien (door aan a en b waarden toe te kennen) wordt door deze nomogrammen ook het verband tussen \bar{d} , d_m en r gegeven.

In figuur 1 zijn voor enkele waarden van j en k , steeds met $c = 100$ een aantal nomogrammen weergegeven. Hieruit blijkt, dat de vorm van de r -lijnen uitsluitend door de waarde van k wordt bepaald. Naarmate k toeneemt worden de r -lijnen hoekiger.

De waarde van j bepaalt de schaalverdeling voor de stelsels r -lijnen. Voor $j = k$ zijn de r -lijnen aequidistant, voor $j < k$, resp. $j > k$ worden progressief, resp. regressief toenemende waarden voor r gevonden. De factor c is een lineaire schaalvergrotingsfactor.

In figuur 2 is een nomogram weergegeven voor

$$r = 100 \sqrt[8]{\left(\frac{\bar{d}}{20}\right)^8 + \left(\frac{d_m}{40}\right)^8}$$

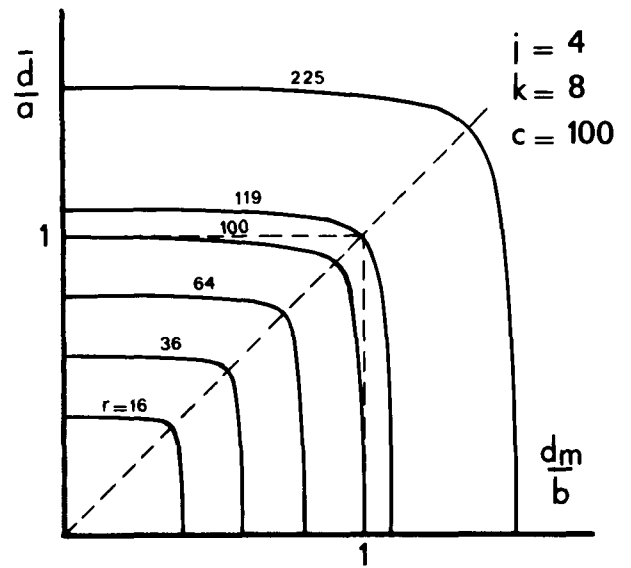
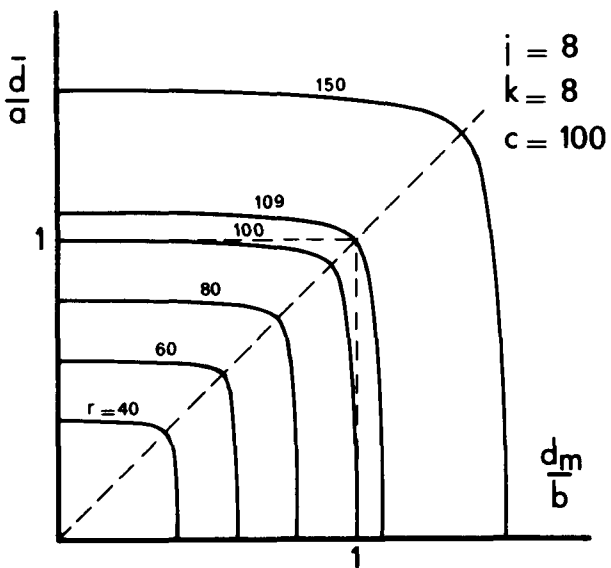
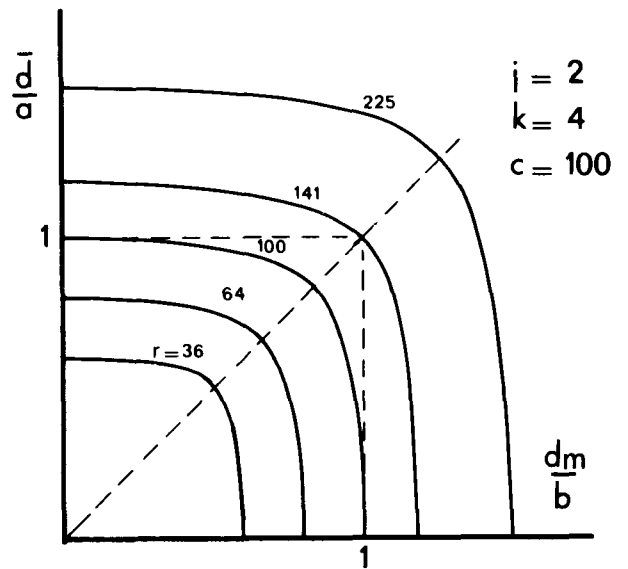
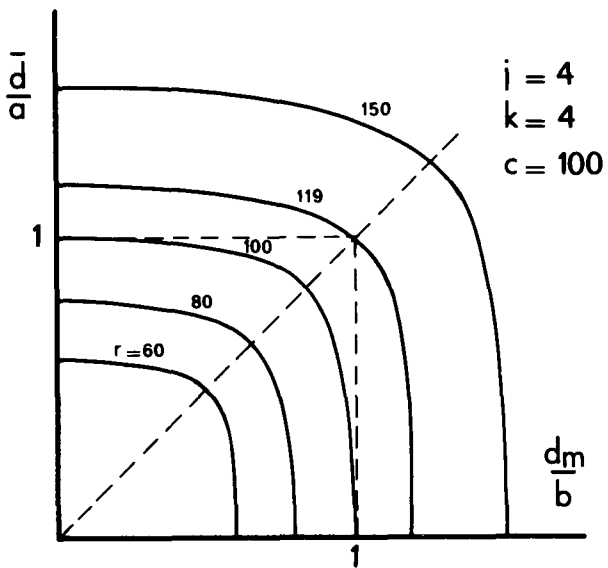
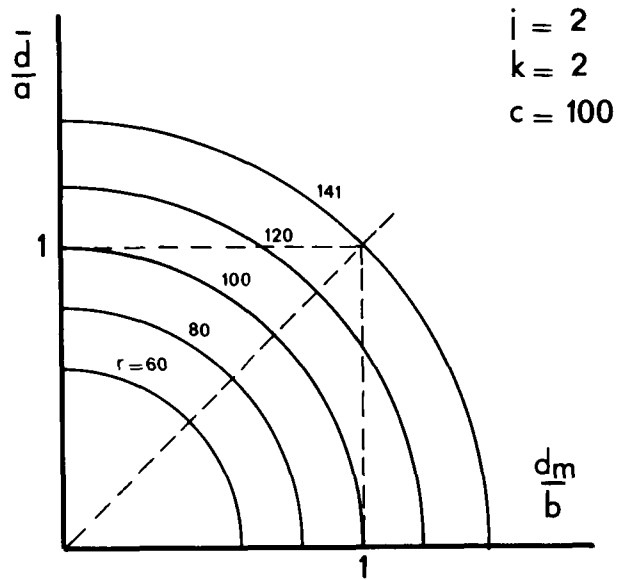
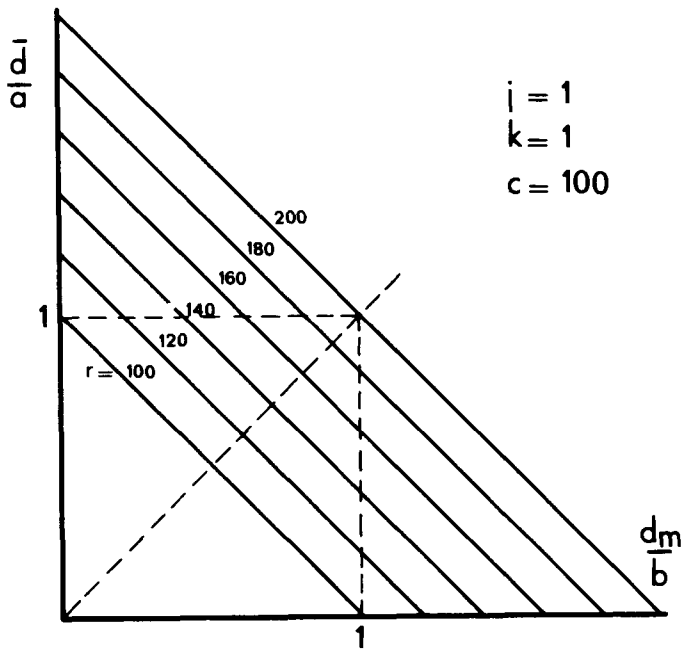


Fig. 1

$$r = c \sqrt[j]{\left(\frac{d}{a}\right)^k + \left(\frac{d_m}{b}\right)^k}$$

voor enkele waarden van j en k .

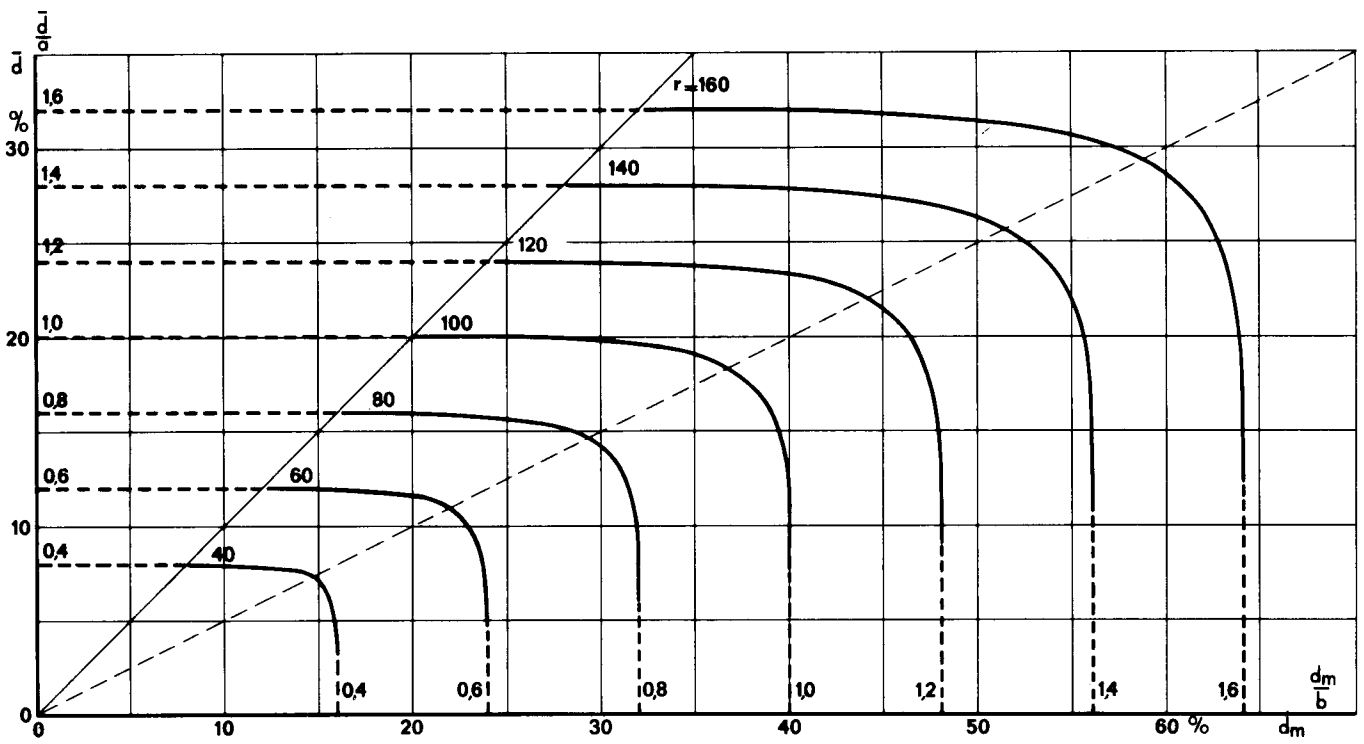


Fig. 2

Nomogram voor $r = 100 \sqrt[8]{\left(\frac{d}{a}\right)^8 + \left(\frac{d_m}{b}\right)^8}$.

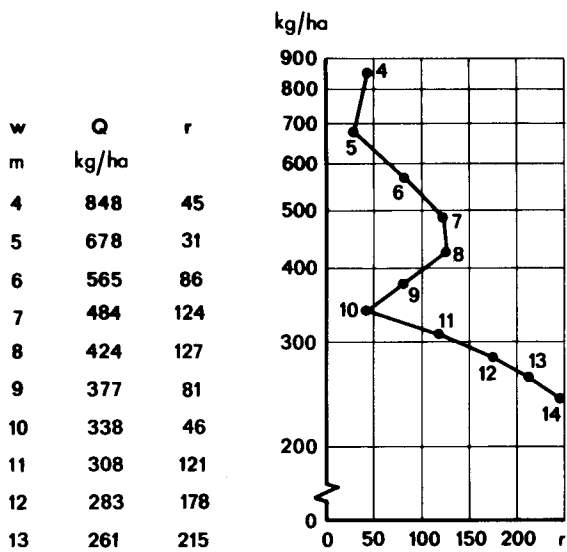


Fig. 3

Waarnemingsresultaten en strooidiagram van een bepaling in twaalfvoud.

3. STROOIDIAGRAMMEN

3.1. Ontwerp van strooidiagrammen

Uit een in veelvoud bepaald enkelvoudig strooibeeld, wordt het gewenste aantal samengestelde strooibeelden, eveneens in veelvoud, berekend. Voor elk samengesteld strooibeeld worden de gemiddeld per ha uitgestrooide hoeveelheid kunstmest en het onregelmatigheidsgetal bepaald en deze grootheden worden voor elke werkbreedte gemiddeld over de beschikbare parallellen. De dan verkregen resultaten worden verenigd in een strooidiagram door de onregelmatigheidsgetallen r lineair in horizontale richting en de uitgestrooide hoeveelheden Q volgens een logaritmische schaal in verticale richting uit te zetten en bij de aldus vastgelegde punten de bijbehorende werkbreedte w te plaatsen.

In figuur 4 zijn de resultaten van een in twaalfvoud uitgevoerde bepaling opgenomen. De samengevatte berekeningsresultaten na middelen over de parallellen en het daarop gebaseerde strooidiagram geeft figuur 3.

De diagrammen voor verschillende afstellingen en meerdere kunstmestsoorten worden verenigd in een of meer tableaux van strooidiagrammen.

In de figuren 6-9 zijn vier van deze tableaux opgenomen, gebaseerd op waarnemingen afkomstig van de beproeving van een aantal centrifugaalstrooiers. Deze zijn telkens samengesteld voor 3 soorten mengmest elk bij 3 afstellingen van de strooier en bepaling in drievoud.

De kunstmestsoorten zijn :

- fijn, prills met vrij kleine ronde korrels
- middel, mengmest met in hoofdzaak middelgrote korrels
- grof, mengmest met in hoofdzaak grove korrels, waarin een bestanddeel fijnere korrels voorkomt.

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde fractieverdeling in gewichtsprocenten voor deze meststoffen.

	< 2 mm	2,0 - 2,8	2,8 - 3,4	3,4 - 4,0	> 4 mm
fijn	26	58	12	3	1
middel	3	15	45	23	14
grof	7	11	21	23	38

De afstellingen werden zodanig gekozen, dat kleine, normale en grote hoeveelheden zo goed mogelijk symmetrisch werden verdeeld.

3.2. Stabiliteit van de diagrammen

Op grond van een aantal controleproeven werd vastgesteld, dat strooi-diagrammen gebaseerd op drie bepalingen van het enkelvoudige strooibeeld reeds een redelijke stabiliteit vertonen en dat binnen een partij kunstmest voorkomende verschillen in korrelgrootte geen aanwijsbare invloed op de strooiregelmaat hebben.

In figuur 4 zijn de resultaten van zulk een controleproef opgenomen. Uit een in zakken voorradige hoeveelheid kunstmest werden 4 partijen geselecteerd met verschillende grofheid. Met elk van deze partijen werden 3 enkelvoudige strooibeelden bepaald, steeds met dezelfde strooier en onveranderde afstelling. Strooidiagrammen werden samengesteld van elk enkelvoudig strooibeeld, van het gemiddelde over elk stel van 3 strooi-beelden en van het gemiddelde over alle 12 strooibeelden. Deze diagrammen zijn in figuur 4 opgenomen. De resultaten van de zeefanalyses zijn hierbij in de vorm van staafdiagrammen mede opgenomen.

De onregelmatigheidsgetallen blijken slechts weinig aan verandering onderhevig te zijn en de gevolgen van verschillen in grofheid zijn te verwaarlozen. Uit de diagrammen blijkt, dat de uitgestrooide hoeveelheid enigermate varieert. Mogelijk zijn kleine verschillen in rijsnelheid hiervoor verantwoordelijk en oefent dit ook nog enige invloed op de r-waarden uit. Zeker is, dat de vulling van de voorraadbak van invloed is geweest. Bij een bakvulling van minder dan 50 kg verminderde bij deze strooier de uitgestrooide hoeveelheid.

3.3. De vorm van het strooidiagram

Een enkelvoudig strooibeeld kan goede samengestelde strooibeelden geven, indien het de vorm van een gelijkbenig trapezium met niet te steil oplopende flanken benadert en symmetrisch is ten opzichte van het midden van de strooier.

In figuur 5 is hiervan een voorbeeld uitgewerkt. De breedte van het enkelvoudige strooibeeld is in dit geval 14 m. Door enkele overlapping ontstaat bij 10 m werkbreedte een regelmatig strooibeeld. Bij kleiner wordende werkbreedte wordt het strooibeeld eerst onregelmatiger, doordat de hoeveelheden aan de einden van de verdeling toenemen en in het midden dus een dal ontstaat. Bij verdere vermindering van de werkbreedte wordt het dal in het midden meer en meer opgevuld. Bij 5 m werkbreedte is dit proces voltooid en wordt bij dubbele overlapping weer een goed strooibeeld verkregen.

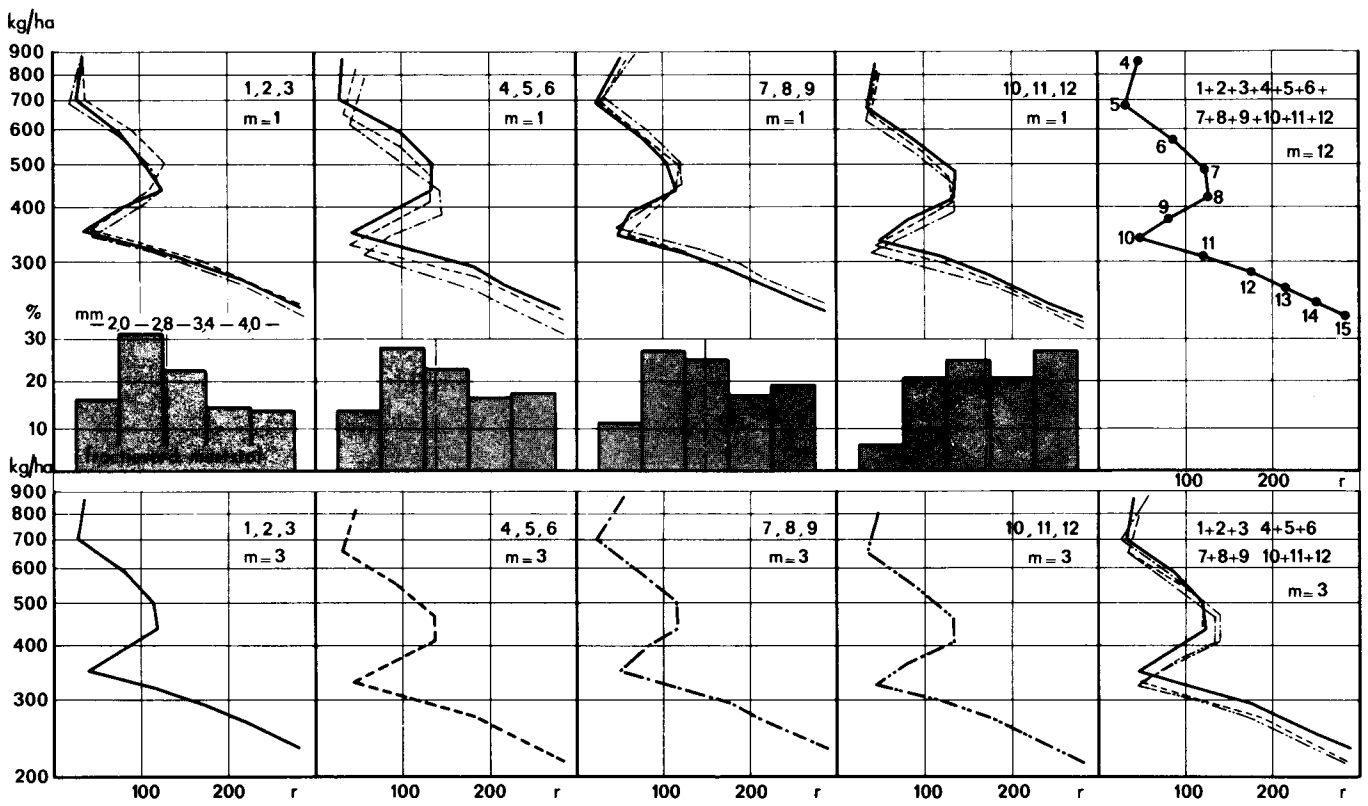


Fig. 4

Strooidiagrammen van 12 bepalingen uit 4 partijen kunstmest met geringe verschillen in korrelgrootte.

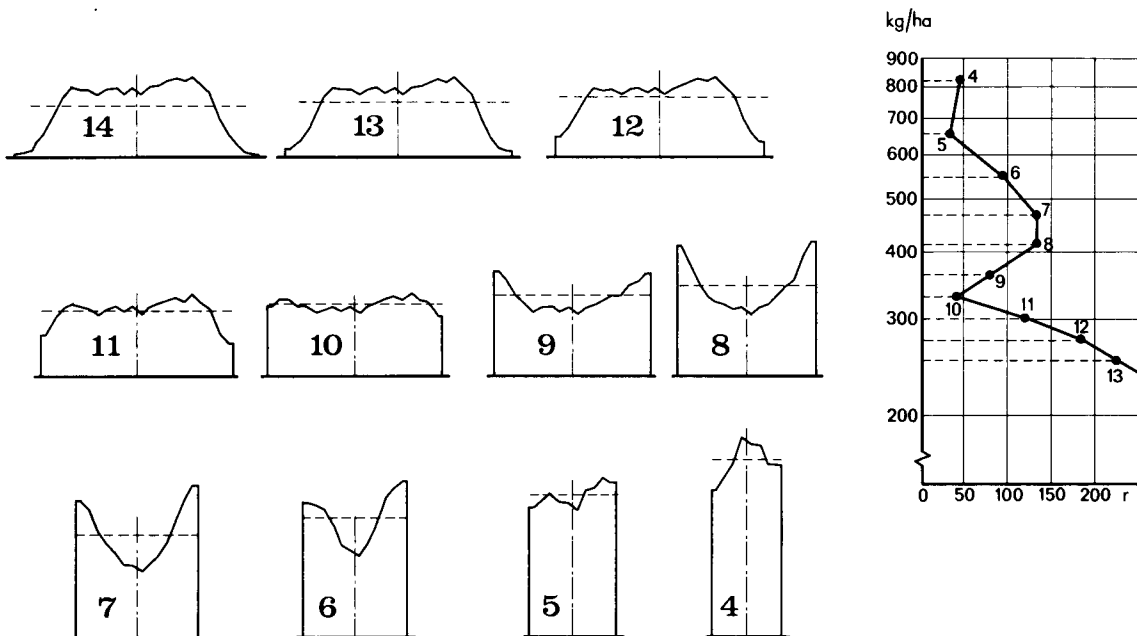


Fig. 5

Serie samengestelde strooibeelden met bijbehorend strooidiagram.

Het strooidiagram geeft in zulke gevallen duidelijk aan bij welke werkbreedtes door enkele en dubbele overlapping goede strooi-beelden zijn te verkrijgen.

Naarmate de flanken van het enkelvoudige strooi-beeld vlakker zijn, wordt de verstoring van de regelmaat tussen enkele en dubbele overlapping relatief kleiner en is de dubbele overlapping minder geaccentueerd.

Een asymmetrisch strooi-beeld heeft tot gevolg, dat de ideale enkele overlapping links en rechts bij verschillende werkbreedtes optreedt. In het diagram wordt het punt van enkele overlapping dan minder duidelijk of in het geheel niet teruggevonden; de dubbele overlapping is meestal nog wel terug te vinden. Vooral bij geringe strooihoeveelheden treedt dit verschijnsel op.

Een enkelvoudig strooi-beeld dat scheef is, d.w.z. dat de hoeveelheid links en rechts ongelijk is, kan bij enkele overlapping nog wel een aanvaardbaar strooi-beeld geven, maar bij dubbele overlapping cumuleren de afwijkingen meestal en ontstaan slechte strooi-beelden. In het diagram is de enkele overlapping dan meestal nog wel terug te vinden, zij het met een vrij hoge r -waarde; het punt van dubbele overlapping komt echter niet meer naar voren.

Als de flanken van het enkelvoudige strooi-beeld erg vlak zijn, dus als de vorm van het strooi-beeld een gelijkbenige driehoek gaat benaderen, dan is de werkbreedte waarbij een goede enkele overlapping optreedt in verhouding tot de breedte van het enkelvoudige strooi-beeld klein. Het punt komt in het diagram duidelijk naar voren. Voor kleinere werkbreedtes treedt in het diagram vervlakking op, waardoor het punt van dubbele overlapping niet meer duidelijk gelocaliseerd is.

4. GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN VAN STROOIDIAGRAMMEN

4.1. Strooidiagrammen als gebruiksaanwijzing

Strooidiagrammen kunnen van veel nut zijn voor een juist gebruik van de centrifugaalstrooier. Er ligt meer informatie in besloten, dan in de gebruikelijke strooitabellen. Heeft een gebruiker voor een kunstmestsoort de nominale gift vastgesteld, dan is uit de diagrammen af te lezen welke mogelijkheden de strooier biedt om deze gift te verwezenlijken en welke mate van onregelmatigheid in elk van deze gevallen verwacht moet worden.

Moet met de strooier waarvoor de diagrammen in figuur 6 zijn opgenomen 400 kg/ha mengmest met grove korrels verstrooid worden met een werksnelheid van 8 km/uur, dan wordt aan de hand van de diagrammen de volgende redenering opgezet.

De diagrammen zijn samengesteld bij een rijsnelheid van 6,4 km/uur. Een gift van 400 kg/ha bij 8 km/uur wordt op dezelfde wijze verdeeld als een gift van 500 kg/ha bij 6,4 km/uur (mits in beide gevallen de strooi-schijf het voorgeschreven toerental heeft). De mogelijkheden volgens de hier beschikbare diagrammen zijn dan

afstelling	6	, werkbreedte	5 m, r =	25
afstelling	$8\frac{2}{3}$, werkbreedte	11 m, r =	100
afstelling	10	, werkbreedte	13 m, r =	200

De laatste mogelijkheid kan buiten beschouwing blijven, daar een zeer onregelmatig strooibeeld moet worden verwacht. De andere twee mogelijkheden kunnen tegen elkaar worden afgewogen. De eerste belooft goed werk, maar de werkbreedte van slechts 5 m kan minder aantrekkelijk zijn. De tweede mogelijkheid is op grond van de werkbreedte van 11 m aantrekkelijk, maar de te verwachten onregelmatigheid is vrij groot. Voor granen kan $r = 100$ als juist toelaatbaar worden beschouwd en kan deze mogelijkheid dus acceptabel zijn. Is het gewas gevoeliger voor over- of onderdo-sering, dan is $r = 100$ niet aanvaardbaar en moet voor de eerste mogelijk-heid worden gekozen.

Er kunnen uit deze drie diagrammen echter reeds meer mogelijkheden worden vermoed en een goede gebruiksaanwijzing kan deze, in de vorm van meer diagrammen, ook bevatten. Uit de hier beschikbare diagrammen kan, vertrouwend op de continuïteit die de diagrammen vertonen, reeds worden vermoed, dat tussen de afstellingen 6 en $8\frac{2}{3}$ nog afstellingen voorkomen waarbij 7 of 8 m werkbreedte de gewenste hoeveelheid geeft met een onre-gelmatigheidsgetal beneden 50. Deze mogelijkheid zal dan in vrijwel alle gevallen de voorkeur verdienen.

4.2. Strooidiagrammen als basis voor de beoordeling van een strooier

Om de mate van bruikbaarheid van een strooier te beoordelen moet een gehele reeks van mogelijkheden worden overzien.

Voor strooier A (figuur 6) leiden de diagrammen tot de volgende vaststellingen. Een werkbreedte van 13 - 14 m geeft met kleine en middelgrote korrels door enkele overlapping een redelijk tot goed strooibeeld, met grove korrels echter een slecht strooibeeld. Een werkbreedte van 16 - 17 m geeft bij grove korrels een goed strooibeeld, maar met kleine en middelgrote korrels onaanvaardbare beelden. Deze werkbreedtes zijn daarom voor deze strooier slechts onder bepaalde omstandigheden aanvaardbaar en bieden steeds een groot risico, dat door een foutieve beoordeling van de omstandigheden slecht werk wordt verkregen. Werkbreedtes beneden 8 - 9 m geven onder vrijwel alle omstandigheden goede tot redelijke resultaten en kunnen zonder grote risico's worden toegepast.

De diagrammen van strooier B (figuur 7) laten zien, dat met enkele overlapping geen redelijk werk verkregen kan worden. De werkbreedte mag bij deze strooier nimmer boven 8 m komen. Ook dan worden nog strooibeelden met een vrij grote onregelmatigheid verkregen.

Strooier C (figuur 8) geeft tot 6 m werkbreedte steeds goed werk. Voor niet te fijne kunstmest is ook een werkbreedte van 7 m aanvaardbaar. Bij de hoge strooihoeveelheden wordt bij een werkbreedte van 10 - 11 m een behoorlijk strooibeeld verkregen. Het risico, dat tengevolge van iets te veel of te weinig overlappen slechte resultaten ontstaan is hier echter aanwezig.

Een soortgelijk beeld vertoont strooier D (figuur 9). Tot 6 m werkbreedte wordt behoorlijk werk verkregen, 7 m is hier niet meer te accepteren. Met niet te fijne meststoffen is bij enkele overlapping bij 10 m werkbreedte ook een voldoende regelmatig strooibeeld te verwachten. Het risico dat door afwijking van de ideale enkele overlapping slecht werk wordt verkregen is hier echter dermate groot, dat deze werkwijze niet als acceptabel mag worden aanvaard.

4.3. Strooidiagrammen als basis voor ontwikkelingswerk

Het summiere materiaal, dat in dit verslag is opgenomen toont reeds aan, dat de strooidiagrammen een grote mate van continuïteit vertonen. Door de wijze van presentatie is de mogelijkheid verkregen het effect van constructieve wijzigingen over het gehele gebruiksgebied te overzien. Het onderlinge verband tussen verschillende grootheden kan empirisch worden vastgesteld. Daarmede is een basis gelegd om tot optimale constructievormen en eenvoudige en doeltreffende afstelmechanismen te komen.

5. LITERATUUR

Marks, K. Zur Problematik der Schleuder-Düngerstreuer.

Landt. Forschung 1959, p. 21 - 24.

Prummel, J. en P. Datema. Strooieregmaat van kunstmeststrooiers en de betekenis daarvan voor de opbrengst.

Landb. Mech. 1962, p. 743 - 752.

Hollmann, W. und A. Mathes. Untersuchungen an Schleuder-Düngerstreuern.

Landt. Forschung 1962, p. 17 - 24.

Oehring, J. Wie genau düngerstreuen ?

Landtechnik 1963, p. 76 - 80.

Patterson, D.E. Collecting broadcast fertilizer during indoor tests.

Journ. Agr. Eng. Res. 1964, p. 74 - 76.

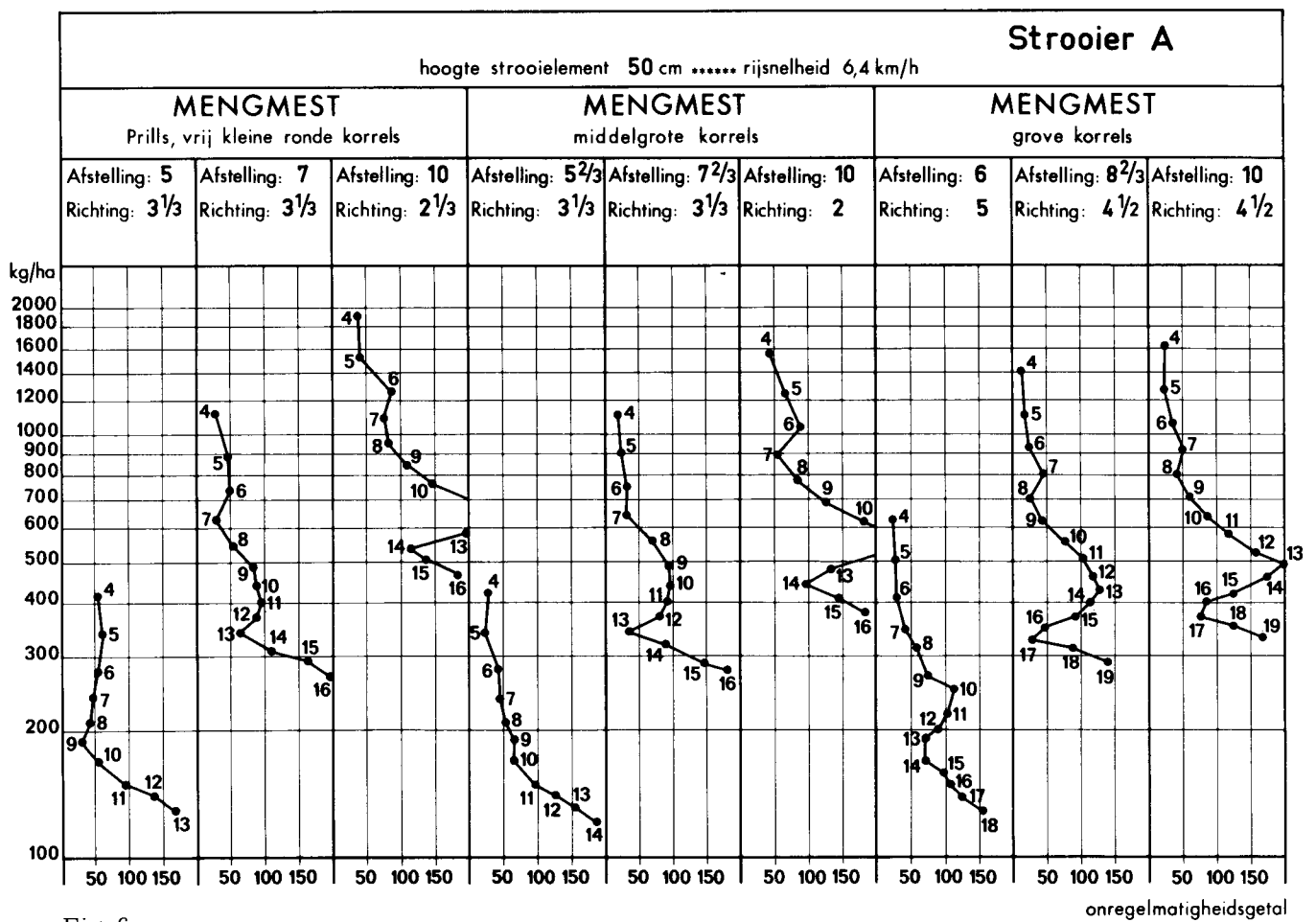


Fig. 6

Strooiediagrammen van strooier A.

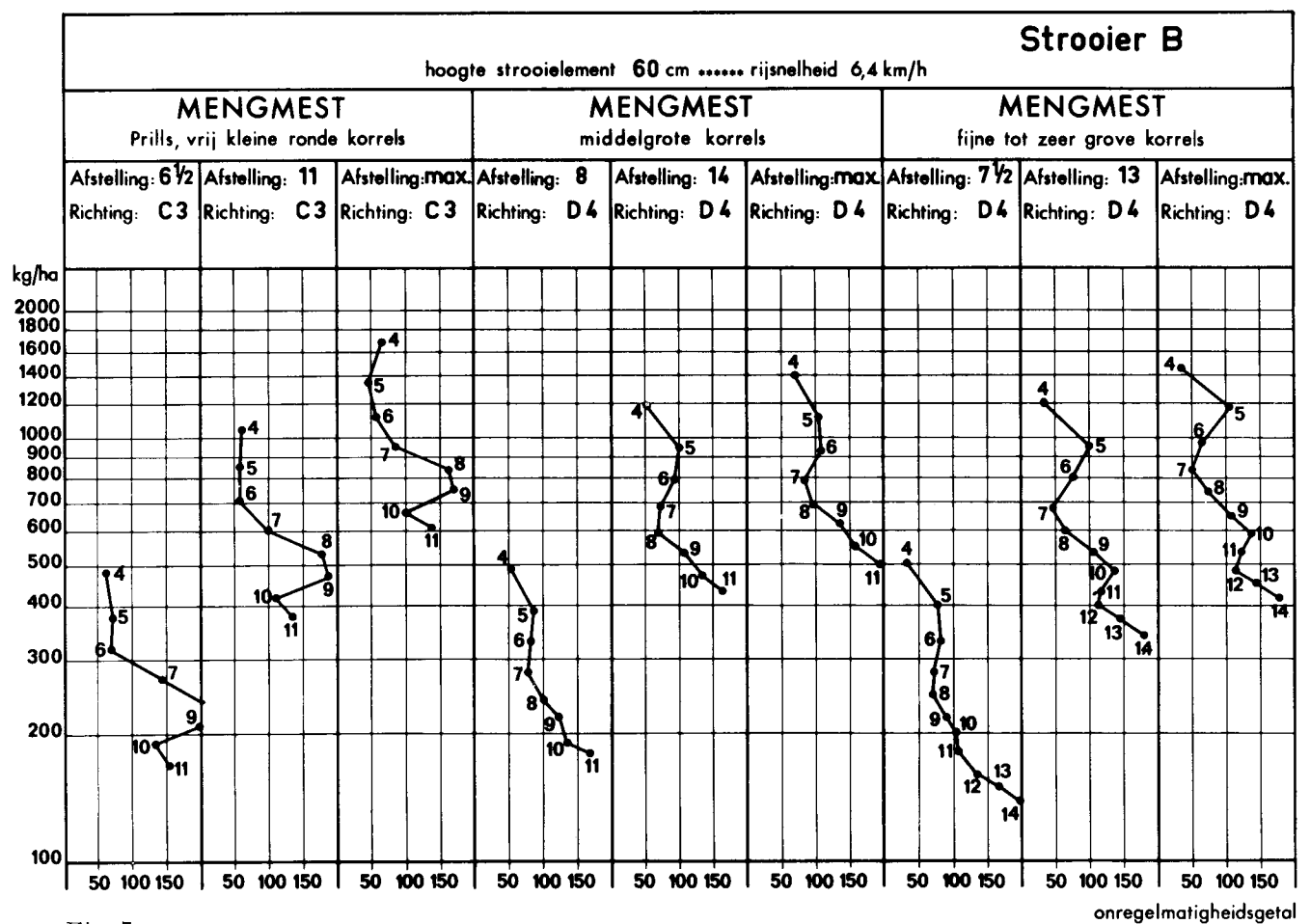


Fig. 7

Strooiediagrammen van strooier B.

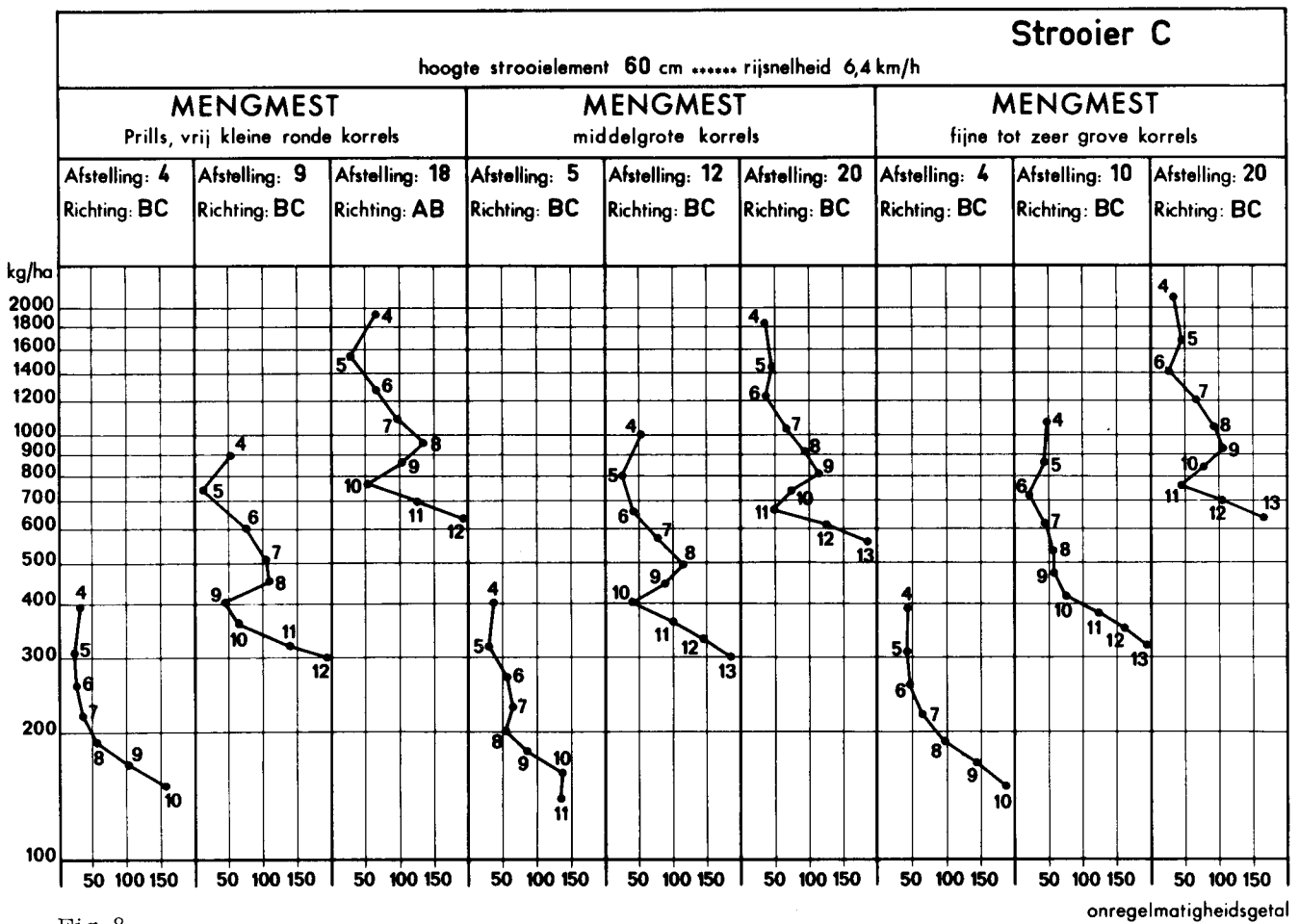


Fig. 8

Strooidiagrammen van strooier C.

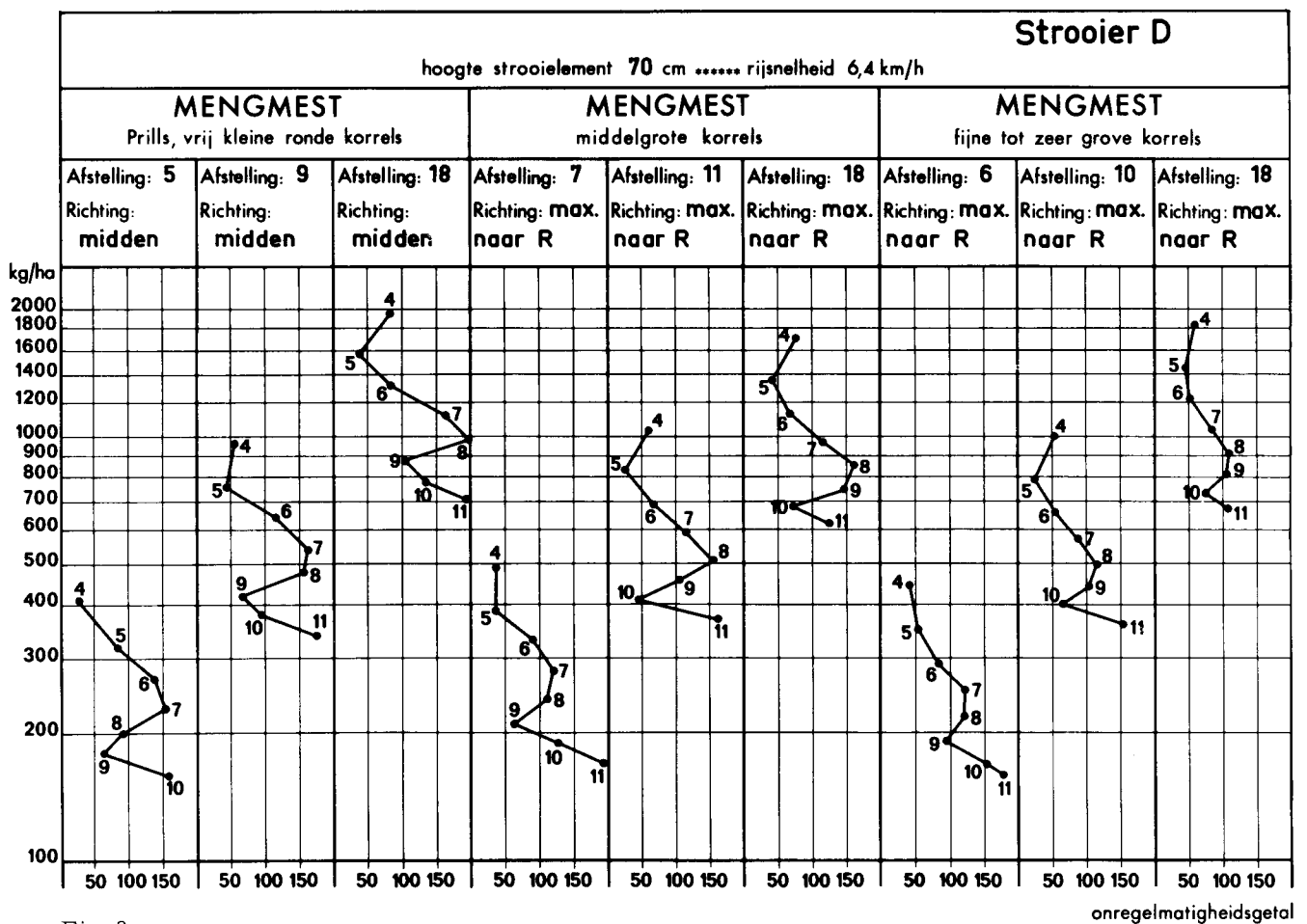


Fig. 9

Strooidiagrammen van strooier D.

