

Navorsingsbriewe

Invals- en asimuthoeke by haelval

UITTREKSEL

Eenvoudige toerusting en wiskundige metodes vir die bepaling van die invals- en asimuthoeke van haelkorrels en 'n verteenwoordigende waarde van die windspoed by haelval word bekendgestel. Hierdie tegnieke word tans by navorsing in die landbousektor toegepas.

ABSTRACT

The incidence and azimuth angles of hailfall

Simple equipment and mathematical methods for determining the incidence and azimuth angles of hailstones and a representative value of the wind speed during hailfall are presented. These techniques are currently employed in research in agriculture.

1. INLEIDING

Kenmerke van haelval, soos kinetiese botsenergie, die massa hael en die aantal haelstene, kan uit die grootteverspreiding van die korrels, wat met 'n haelblok meetbaar is, bepaal word.^{1,2} Een van die voordele van haelblokke van WNNR-ontwerp³ is dat die haelduikgroottes feitlik onafhanklik van die haelinvalshoek (d.w.s. van windsterkte) is, sodat die oorspronklike haelkorrelgroottes dus ondubbelsinnig verkry kan word. Die kinetiese energie van haelstene, en dus die risiko van haelskade, word groter hoe sterker die wind waai. Om dit te kan kwantifiseer, is metodes ontwikkel vir die bepaling van die invals- en asimuthoeke by haelval, waar die invalshoek Ψ die hoek tussen die vertikale rigting en die haelsteenbaan is, terwyl die asimuthoek Θ die windrigting aandui, bv. 360° , 90° , 180° en 270° beteken onderskeidelik noord, oos, suid en wes. By 'n pasbeginde projek waarby haelvalparameters met haelskade aan landbougewasse in verband gebring word, word die haelvaldata op die onderstaande manier verkry en verwerk.

2. DIE HAELSILINDER EN HAELBLOK

Die haelmeetapparaat omvat 'n horisontaal gemonteerde WNNR-tipe haelblok bo-op 'n 2,3 m-hoë paal en 'n "haelsilinder", in plaas van 'n "haelkubus" (soos wat voorheen⁴ beskryf is) 0,3 m laer af (figuur 1). Die silinder, wat 152 mm hoog en bo en onder oop is, word gevorm deur 'n stuk koudgewalste, halfharde aluminiumplaat (in die handel bekend as 2SH4 Alcan S.A.) van 760 mm \times 152 mm om 'n polistireensilinder van 242 mm deursnee (wat aan die paal bevestig is), te buig en vas te klem. 'n

Enkele monterpaal word gebruik om die versteuring van landboubedrywighede tydens eksperimentering tot 'n minimum te beperk.

In beginsel word Θ uit die asimutale hoekposisies van duikies op die haelsilinder bepaal en Ψ uit die verhouding van die aantal duike in die haelblok met dié in die silinder.

Die silinder word in 'n mate deur die haelblok afgeskerm, byvoorbeeld, vir $\Psi < 2,8^\circ$ sal die silinder nie getref kan word nie, maar vir $\Psi = 4,2^\circ$ sal hy oor sy voile hoogte getref word as die horisontale projeksie van die haelsteenbane parallel aan 'n haelbloksy is. As dié projeksie parallel aan 'n diagonaal van die haelblok is, sal $\Psi = 10,2^\circ$ beteken dat 'n haelblokhoek in lyn kom met die silinder se onderste rand en sowat 90% van die halfsilinderoppervlakte blootgestel sal wees; hierdie waarde sal 100% bereik as $\Psi \geq 15,1^\circ$. In terme van windspoed geld die volgende:

$$W = V_o \tan \Psi \text{ (sien figuur 2a)}$$

waar W die windspoed en V_o die haelsteeneindvalspoed in stil lug is.

$$\text{Maar } V_o = 124\Phi^{1/2} \text{ (SI-eenhede)}^5$$

$$\therefore W = 124\Phi^{1/2} \tan \Psi \dots\dots\dots (1)$$

waar Φ die ekwivalente sferiese deursnee van die haelsteen is.

Tabel 1 toon die verwantskappe tussen W en vier arbitrêre waardes van Φ in terme van die bogenoemde vier Ψ -waardes aan.

Dit blyk dus dat data reeds in wind van net 'n paar km per uur op die silinder geregistreer sal kan word. 'n Verdere faktor in die guns hiervan is die getalloorwig van klein korrels ($\Phi \leq 1$ cm) teenoor groteres.

TABEL 1
Verwantskap tussen Φ en W in terme van vier unieke Ψ -waardes

		$\Phi = 1 \text{ cm}$	$\Phi = 2 \text{ cm}$	$\Phi = 3 \text{ cm}$	$\Phi = 4 \text{ cm}$
$V_o \text{ (m/s) (benaderd)}$		12	18	21	24
(km/h)		43	65	76	86
W (km/h)	$\Psi = 2,8^\circ$	2,1	3,2	3,7	4,2
	$\Psi = 4,2^\circ$	3,2	4,8	5,6	6,3
	$\Psi = 10,2^\circ$	7,7	11,7	13,7	15,5
	$\Psi = 15,1^\circ$	11,6	17,5	20,5	23,2

3. BERAMING VAN INVALSHOEK

Volgens (1) is die verband tussen invalshoek en haelsteengrootte (in wind van konstante spoed) $\Psi \propto \text{bgtan} (\Phi^{-1/2})$. Veronderstel eers eenvoudshalwe dat die haelstene van konstante deursnee Φ is, sodat Ψ deur W alleen bepaal word. Laat $A_s = abcd$, die vlakgeprojekteerde oppervlakte van die silindersy (figuur 2b). Die effektiewe vlakgeprojekteerde oppervlakte van die silindersy vir haelstene van invalshoek Ψ in wind van konstante spoed is dan

$$A_{s\Psi} = A_s \sin \Psi + dfc \cos \Psi - aeb \cos \Psi \text{ (sien figuur 2b)}$$

$$= A_s \sin \Psi \text{ (omdat } dfc = aeb) \dots \dots \dots (2)$$

Daarenteen is die effektiewe oppervlakte van 'n haelblok van oppervlakte A_b vir haelstene van invalshoek Ψ (figuur 2c)

$$A_{b\Psi} = A_b \cos \Psi \dots \dots \dots (3)$$

Gestel n_s en n_b is die aantal haelduik onderskeidelik op die silinder en die blok; omdat $n \propto A_\Psi$ vir 'n gegewe haelval, sal

$$\frac{n_b}{n_s} = \frac{A_{b\Psi}}{A_{s\Psi}} = \frac{A_b \cos \Psi}{A_s \sin \Psi} = \frac{A_b}{A_s \tan \Psi} \text{ (uit (2) en (3))}$$

$$\therefore \Psi = \text{bgtan} \frac{A_b n_s}{A_s n_b} \dots \dots \dots (4)$$

Vir die bestaande waardes $A_b = 547,9 \text{ cm}^2$ en $A_s = 367,8 \text{ cm}^2$ is

$$\Psi = \text{bgtan} (1,49 \frac{n_s}{n_b}) \dots \dots \dots (5)$$

Uit (1) en (5) blyk dit dus, vir haelstene van konstante Φ , dat

$$W = 184,8 \Phi^{1/2} \frac{n_s}{n_b}$$

Streng gesproke, is windspoed nie konstant nie en W behoort dus as die bes verteenwoordigende waarde van die windspoed tydens hael beskou te word.

Haelblokontledings toon gewoonlik dat ook Φ nie konstant is nie en daar is empiries gevind dat die gemete haelstene se mediaandeursnee, Φ_{med} , 'n W -waarde korrek binne 'n paar persent lewer, nl.

$$W = 184,8 \Phi_{med}^{1/2} \frac{n_s}{n_b} \dots \dots \dots (6)$$

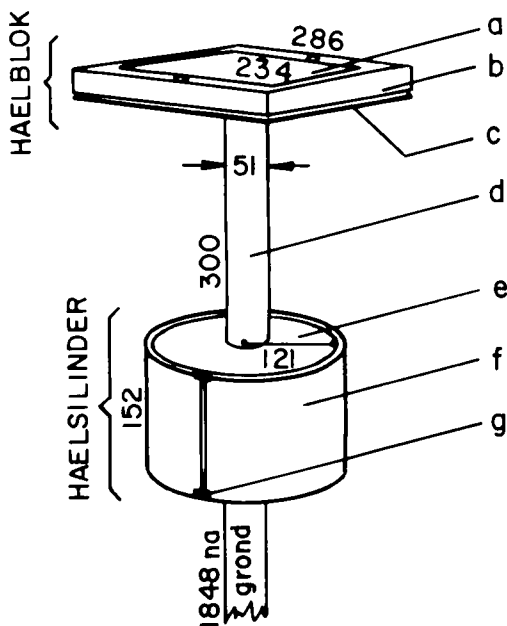
Met W bekend volgens (6) en (1) is dit dus moontlik om individuele Ψ -waardes vir haelstene van enige gemete grootte Φ soos volg te bereken:

$$\Psi = \text{bgtan} \left[1,49 \frac{n_s}{n_b} \left(\frac{\Phi_{med}}{\Phi} \right)^{1/2} \right] \dots \dots \dots (7)$$

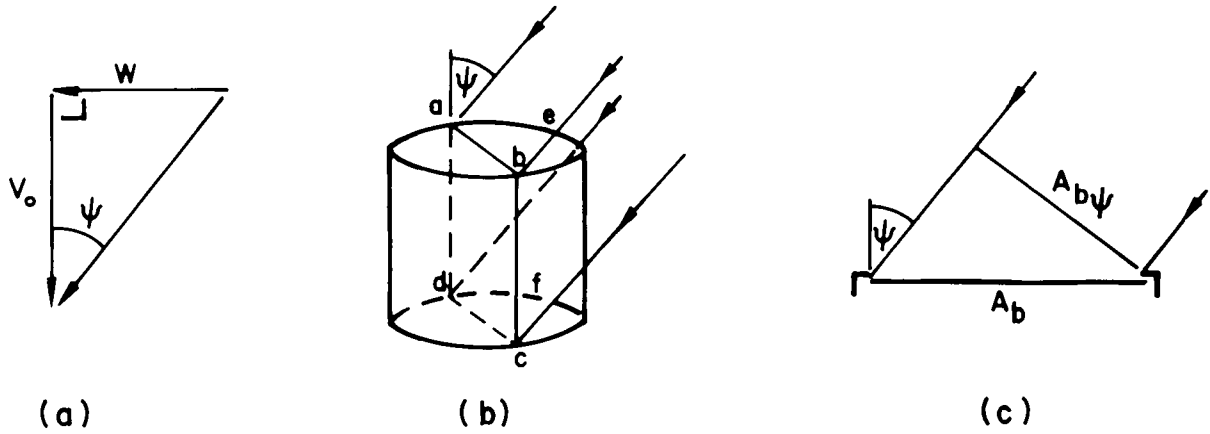
4. BERAMING VAN ASIMUTHOEK

Gestel haelstene word aangedryf deur 'n wind uit die asimutale rigting $\Theta = 0^\circ$ en dat dié wat die silinder tref, so versprei is dat die projeksie van hulle bane op 'n horisontale vlak 'n vaste afstand λ van mekaar af is (figuur 3 stel hierdie model diagrammaties voor).

Die asimuthoekposisies van duikmerkies op die silinder kan dan deur α , relatief tot die windrigting, aangedui word (figuur 3a). Die waarde van Θ word gedefinieer as die rekenkundige gemiddelde van α , d.w.s. $\Theta \equiv \bar{\alpha}$. Die totale aantal duik sal bepaal word deur die verhouding tussen λ en silinderradius r (ons postuleer dat r/λ heeltallig is) en deur die posisie van



FIGUUR 1: Lyntekening van 'n haelblok en hael-silinder met afmetings in mm. Die letters stel voor: a) sensorplaat op polistireenblok; b) aluminiumraam met vasklemboute; c) haelblokbasis; d) monterpaal; e) polistireensilinder met rubberskyf bo-op; f) sensorplaat om polistireensilinder; en g) klampie.



FIGUUR 2: Skematiese voorstelling van (a) vektore van windsnelheid W , haelsteeneindsnelheid in stil lug V_0 en hulle resultante wat 'n hoek Ψ met die vertikaal maak; (b) haelcilinder met haelsteenbane by invalshoek Ψ ; en (c) snit deur haelblok met haelsteenbane by invalshoek Ψ .

die silinderas relatief tot die projeksie van die haelsteenbane. Onder die laasgenoemde punt beskou ons twee gevalle: (i) vir 'n wanpassing van 0, wanneer die silinderas in lyn met die projeksie van 'n haelsteenbaan lê, sal

$$\alpha_i = \pm \text{bgsin} \left(\frac{i\lambda}{r} \right) \text{ (waar } i = 0, 1, 2 \dots \frac{r}{\lambda} \dots \dots \text{ (8)}$$

en (ii) vir 'n wanpassing van $\frac{1}{2}\lambda$, wanneer die silinderas halfpad tussen twee haelsteenbaanprojeksies lê, sal

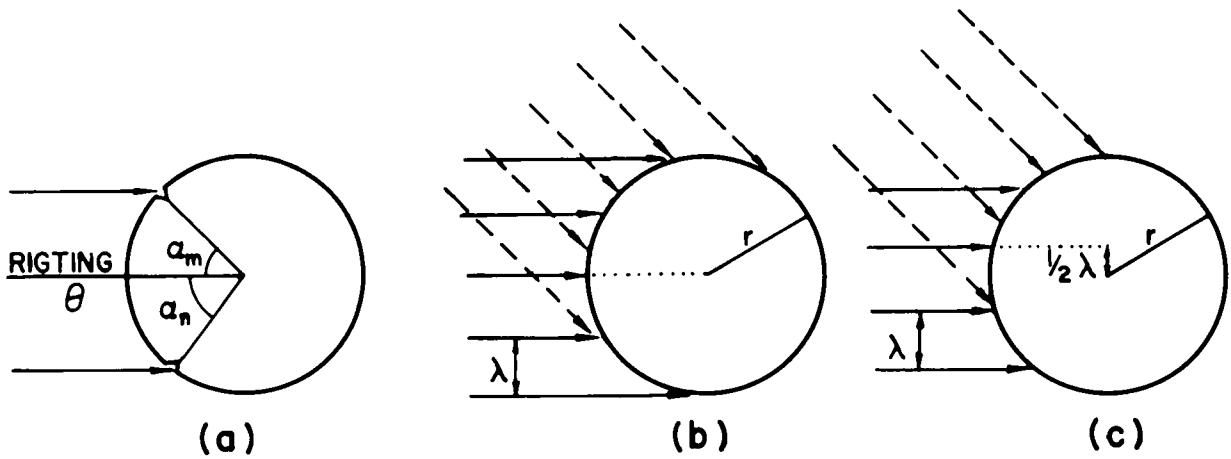
$$\alpha_i = \pm \text{bgsin} \left(\frac{(i - \frac{1}{2})\lambda}{r} \right) \text{ (waar } i = 1, 2, 3 \dots \frac{r}{\lambda} \dots \dots \text{ (9)}$$

Gestel nou $r/\lambda = 2$ en dat die haelval vir $2t$ sekondes uit 'n vaste rigting Θ duur (vollynbane in figuur 3b en c). Gestel verder dat die silinder elke t sekondes deur een haelkorrel per baan getref word. Vir 'n wanpassing van 0 (figuur 3b) sal, na t sekondes, $\alpha_i = 0, \pm 30$ en $\pm 90^\circ$ (volgens (8)), $\bar{\alpha} = 0^\circ$ en σ_{n-1} , die standaardafwyking van die monster $= \pm 67,1^\circ$. Na nog t sekondes en vyf verdere botsings (die wind het nie gedraai nie en die α -posisies bly onveranderd) sal $\bar{\alpha} = 0 \pm 63,2^\circ$ en $\Delta\alpha = \alpha_{maks} - \alpha_{min} = 180^\circ$. Vir 'n wanpassing van $\frac{1}{2}\lambda$ (figuur 3c) sal, na t sekondes $\alpha_i = \pm 14,5$ en $\pm 48,6^\circ$ (volgens (9)) en $\bar{\alpha} = 0 \pm 41,4^\circ$. Na nog t sekondes en vier verdere botsings sal $\bar{\alpha} = 0 \pm 38,3^\circ$ en $\Delta\alpha = 97,2^\circ$.

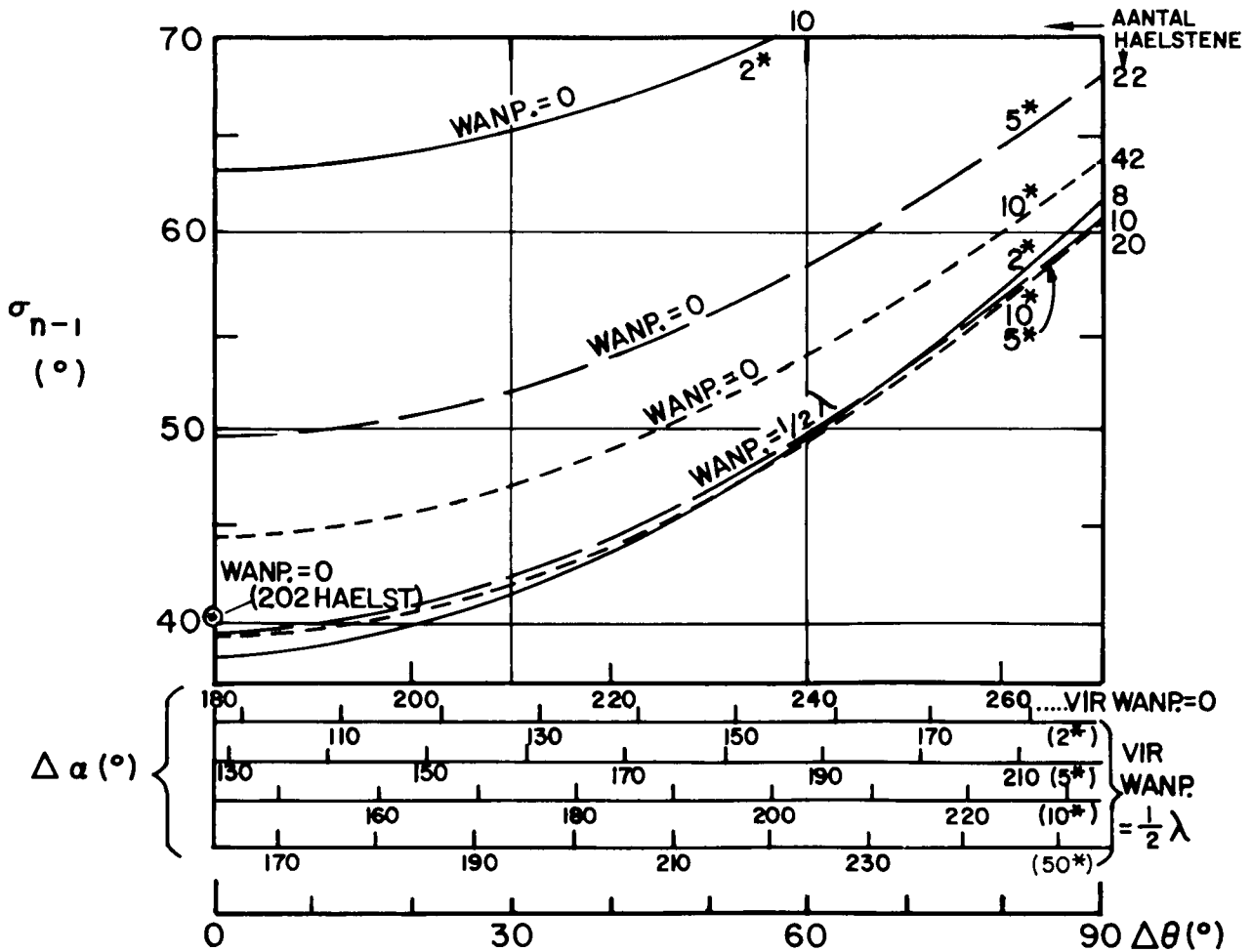
TABEL 2
Gemiddelde asimuthoek $\bar{\alpha}$ en standaardafwyking van die monster σ_{n-1} as funksie van r/λ en wanpassing by verskillende windrigtingsveranderings

	Wanpassing	Aantal haelstene	Windrigtingsverandering, $\Delta\Theta$					
			0°		45°		90°	
				*		*		*
$\frac{r}{\lambda} = 2$	0	5×2	$0 \pm 63,2$	180	$22,5 \pm 67,5$	225	$45 \pm 79,1$	270
	$\frac{1}{2}\lambda$	4×2	$0 \pm 38,3$	97,2	$22,5 \pm 45,3$	142,2	$45 \pm 61,5$	187,2
$\frac{r}{\lambda} = 5$	0	11×2	$0 \pm 49,7$	180	$22,5 \pm 54,8$	225	$45 \pm 67,8$	270
	$\frac{1}{2}\lambda$	10×2	$0 \pm 39,3$	128,3	$22,5 \pm 45,6$	173,3	$45 \pm 60,6$	218,3
$\frac{r}{\lambda} = 10$	0	21×2	$0 \pm 44,5$	180	$22,5 \pm 50,0$	225	$45 \pm 63,7$	270
	$\frac{1}{2}\lambda$	20×2	$0 \pm 39,3$	143,6	$22,5 \pm 45,5$	188,6	$45 \pm 60,2$	233,6
$\frac{r}{\lambda} = 50$	0	101×2	$0 \pm 40,3$	180		225		270
	$\frac{1}{2}\lambda$	100×2	$0 \pm 39,3$	163,8		208,8		253,8

* $\Delta\alpha = \alpha_{maks} - \alpha_{min}$



FIGUUR 3: Planvoorstelling van haelsilinders met bane van haelstene deur wind uit rigting Θ aangedryf. Figuur (a) toon twee haelduike by asimutposisies α_m en α_n . By die ander twee figure dui gebroke lyne op haelsteenbane ná 'n windrigtingsverandering van 45° en 'n stippellyn op die verlengde van die haelsteenbaan naaste aan die silinderas. By albei die figure is $r/\lambda = 2$, maar die wanpassings verskil: by (b) is dit nul en by (c) $\frac{1}{2}\lambda$.



FIGUUR 4: Grafiese voorstelling van standaardafwyking σ_{n-1} vanaf die monster se gemiddelde waarde $\bar{\alpha}$ teen windrigtingsverandering $\Delta\Theta$ vir twee wanpassings (afgekort wanp.) en verskeie waardes van r/λ , met sterretjies aangedui (sien ook Tabel 2). $\Delta\alpha = \alpha_{maks} - \alpha_{min}$, word saam met $\Delta\Theta$ vir verskillende kombinasies van r/λ en wanpassings aangetoon.

Dus sal in albei gevalle, na $2t$ sekondes, $\Theta \equiv \bar{\alpha} = 0^\circ$.

Beskou nou 'n windrigtingsverandering van $+45^\circ$ t sekondes ná die aanvang van die haelval; die tweede t sekondes van die haelval word deur gebrokelynbane in figuur 3 voorgestel. Vir 'n wanpassing van 0 sal die vyf α -waardes van die eerste t sekondes aangevul word deur $-45, 15, 45, 75$ en 135° (volgens (8)) en dus sal $\bar{\alpha} = 22,5 \pm 67,5^\circ$. Vir 'n wanpassing van $\frac{1}{2}\lambda$ sal die vier α -waardes van die eerste t sekondes aangevul word deur $-3,6; 30,5; 59,5$ en $93,6^\circ$ (volgens (9)) en dus sal $\bar{\alpha} = 22,5 \pm 45,3^\circ$. In albei gevalle blyk dit dat $\Theta = 22,5^\circ$, wat inderdaad die gemiddelde asimuthoek van haelval oor $2t$ sekondes is. Waardes vir 'n windrigtingsverandering van 90° sowel as resultate vir verskeie ander r/λ -waardes word in tabel 2 en figuur 4 getoon.

In die praktyk is $\Delta\alpha$ meestal tientalle grade $<180^\circ$, wat inhou dat 'n wanpassing van $\frac{1}{2}\lambda$, volgens die bostaande model, miskien meer realisties as 'n wanpassing van 0 is (tabel 2). Om dieselfde rede kan die familie van die onderste drie krommes in figuur 4 beskou word as die mees betroubare verwantskap tussen windrigtingsverandering $\Delta\Theta$ en die standaardafwyking van $\bar{\alpha}$. In sulke gevalle (wanpassing = $\frac{1}{2}\lambda$) sal die aantal haelstene klaarblyklik nie 'n groot effek op die waarde van σ_{n-1} , wat by 'n windrigtingsverandering van 0° sowat 40° is, hê nie.

Daarenteen lyk dit of 'n werklike windrigtingsverandering uit σ_{n-1} bespeur sal kan word eers as Θ met 'n hele paar tientalle grade verander het.

TEN SLOTTE

Voorlopige eksperimente is afgehandel en die metodes van dataverwerking is nou ook gevestig. Die volgende stap is om haelvalparameters in 'n eksperimentele netwerk van 24 haelblokke en -silinders op die proefplaas van Sentraoes (Koöp.) Bpk. naby Ficksburg te bestudeer en met haelskade van verskillende tipes gewasse op verskillende stadia van volgroeiheid in verband te bring.

SUMMARY

Hailfall intensities are determined with the aid of hailpads of CSIR design. Simple equipment (a hailpad complemented with a "hail cylinder", Figure 1) and mathematical methods were developed to determine Ψ , the incidence angle of hail, Θ , the

azimuth angle of hail, and W , a representative value of the windspeed during hailfalls. It is shown (Eq.

(6)) that $W = 184,8 \Phi_{med}^{1/2} \frac{n_s}{n_b}$ where Φ_{med} is the median diameter of the recorded hailstones (considering equivalent spherical diameters) and n_s and n_b are the number of dents on the cylinder and the pad, respectively. Individual Ψ -values may then be obtained for hailstones of any given size Φ (from Eqs. (1) and (6)), viz. $\Psi = \arctan \left[1,49 \frac{n_s}{n_b} \left(\frac{\Phi_{med}}{\Phi} \right)^{1/2} \right]$. If the azimuth

angular positions of dents on the cylinder are indicated by α , relative to true north, Θ is defined as $\bar{\alpha}$, the arithmetic mean value of α . The most probable relationship between $\Delta\Theta$, the change in wind direction, and σ_{n-1} , the standard deviation of the sample, is indicated by the family of three lowest curves in Figure 4. These curves suggest that σ_{n-1} does not depend strongly on the number of hailstones and that a change in wind direction of several tens of degrees has to take place before it will be evident from σ_{n-1} . The techniques above are currently employed to identify hailfall parameters in a network of 24 hailpads/cylinders on an experimental farm, ultimately aiming to correlate these parameters with hail damage to various types of crops at different stages of maturity.

VERWYSINGS

1. Schleusener, R.A. & Jennings, P.C. (1960). An energy method for relative estimates of hail intensity, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 41, 372-376.
2. Roos, D.v.d.S. (1980). Hailfall intensities, *S. Afr. J. Sci.*, 76, 360-363.
3. Roos, D.v.d.S. (1978). Hailstone size inferred from dents in cold-rolled aluminium sheet, *J. Appl. Meteor.*, 17, 1234-1239.
4. Morgan, G.M. & Towery, N.G. (1976). On the role of strong winds in damage to crops by hail and its estimation with a simple instrument, *J. Appl. Meteor.*, 15, 891-898.
5. Roos, D.v.d.S. & Carte, A.E. (1973). The falling behaviour of oblate and spiky hailstones, *J. de Rech. Atmos.*, 7, 39-52.

D. v.d.S. ROOS

Afdeling Atmosferiese Wetenskappe,
NFNL, WNNR,
Posbus 395,
Pretoria 0001