KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslagen V-84
(R III-264-1961)

Het meten met scheve regenmeters

Verslag van een colloquium gehouden op

17 januari 1961

door

Dr. C. Levert.

I N H O U D

Neerslagmetingen met scheve regenmeters.

0 Inleiding.

Sedert medio 1958 vinden op het waarnemingsterrein van het K.N.M.I. metingen met scheve regenmeters plaats. In dit verslag wordt een samenvatting gegeven van de "Theorie van het meten met scheve regenmeters". Er is daarbij tevens gelegenheid verslag te doen van veel dat ik over het meten met scheve regenmeters vernam uit voordrachten, gehouden tijdens Alpine Meteorologische Congressen, in discussies met buitenlandse collega's en, tenslotte, uit literatuurstudie.

0.1 Definitie van scheve regenmeters.

Een scheve regenmeter is iedere regenmeter, waarvan de opvangopening niet horizontaal ligt. Wij zullen de stand van de regenmeter vastleggen door die van de regenmeteras m (de normaal op de opening). Voor de "gewone" regenmeter (die met horizontale opening) maakt m een hoek $\gamma_m = 0^\circ$ met de verticaal. Voor een regenmeter met verticale opening is $\gamma_m = 90^\circ$. Deze gevallen en andere met $0 < \gamma_m < 90^\circ$ zullen in het volgende uitvoerig worden besproken.

0.2 Definitie van hoeveelheid neerslag.

L. Serra [2 , 3] wijdde aan dit begrip de volgende beschouwing. "De regen is een alledaags verschijnsel, dat reeds zeer lang wordt waargenomen. Juist hierdoor waarschijnlijk verzuimt men dikwijls te preciseren wat men weten wil, waarom en hoe de meting geschieden moet. Als het om de atmosferische neerslag gaat, kan er weinig verschil van mening zijn. Meteorologisch gesproken, wil men weten de hoeveelheid water, vloeibaar of vast, die per oppervlakte- en per tijdseenheid een gegeven horizontaal vlak, de "pluviometrische sectie" passeert. Dit vlak wordt gematerialiseerd door de horizontale opvangopening van de regenmeter en, zo het om vaste neerslag gaat, door het eveneens horizontaal gedachte vlak, waarop deze zich afzet. Niet alleen zijn aldus scheve regenmeters, vectopluviometers, stereopluviometers overbodig, maar het is eveneens ongewenst om van een meteorologische en een hydrologische neerslaghoogte te spreken; de eerste zou zijn de dikte van de laag water, die zich op een horizontaal vlak verzamelen zou; de tweede zou zijn de verticaal gemeten hoogte van een laag water, gebracht op een hellend vlak, in de onderstelling, dat geen water zou wegstromen, verdampen of in de grond dringen. Er valt slechts één welbepaalde hoeveelheid regen, maar de gebruikers interpreteren deze op verschillende wijzen.

Meteoroloog en hydroloog bijvoorbeeld staan verschillende doeleinden voor ogen. Wat willen zij weten ? De eerste kent graag de hoeveelheid neerslag (in een regen, pet etmaal, per maand etc.) om daarmede, tezamen met andere elementen, het klimaat te beschrijven. Voor de hydroloog is ze ook een post in de waterbalans van een hellend bassin. Op de kaart laat zich de horizontale projectie van dit bassin planimetreren. Indien de neerslag met een horizontale regenmeter gemeten wordt, kan de hydroloog het niet zonder kennis én van de regeninclinatie én van de terreinstelling stellen (wij komen er in 1.1 op terug). De regen valt immers zo goed als nooit verticaal (C.L. evenals trouwens in het vlakke Nederland)."

Er zijn nu 10 jaren voorbij sinds Serra deze beschouwing publiceerde. Ze is echter nog altijd juist, hoewel wij thans naast meteoroloog en hydroloog vele andere "gebruikers" van de neerslag kennen.

De analogie tussen de problematiek van de neerslagmetingen (aan sneeuw even niet gedacht) in het bergland met zijn weinige vlakke land en zijn vele hellingen en die in het vlakke land met zijn relatief vele vlakke land en weinige "hellingen", in casu daken, verticale muren, is zo markant dat ik veel heb kunnen leren van discussies naar aanleiding van de vraag hoe men in de bergen het beste de regen meet.

0.3 Een concrete vraag uit de praktijk.

In een brief (januari 1958) van een loodgietersbedrijf uit Den Haag, wordt aan het K.N.M.I. de vraag gesteld, hoeveel neerslag er tegen een gevel op de noord-, zuid-, west- en oostzijde slaat. De gevels hebben een oppervlak van 84 x 44 en 17 x 44 m^2. Het dak had een eigen gotenstelsel, doch het was gewenst, aangezien het verkeer onder het op pilaren te bouwen gebouw door zou gaan, het gevelwater in afzonderlijke, onderliggende goten op te vangen en af te voeren, waarbij deze goten en afvoerpijpen zodanig gedimensioneerd zouden moeten worden, dat zij gemiddeld bijvoorbeeld niet vaker dan 1 keer per 2 jaren zouden overlopen.

Het K.N.M.I. beschikt echter niet over de gegevens, waarmede de vraag kan worden beantwoord. De regen wordt immers in horizontale regenmeters gemeten. Er werd weliswaar door ons een approximatief antwoord gegeven, maar het vermoeden bestaat (helaas kwam de vragensteller niet meer op de kwestie terug), dat het de vragensteller niet werkelijk verder bracht dan wanneer hij van elders opgedane ervaringen profiteerde. Dit antwoord kwam in het kort op het volgende neer. Rekenende met individuele regens (geen dagsommen), middelende over de totale duur en het gehele spectrum van druppels en onderstellende dat:

1. de horizontale component V_v van de snelheid V van de regendruppel gelijk is aan de snelheid W van de wind op regenmeterhoogte,
2. de windsnelheid W op regenmeterhoogte via een vaste factor uit die op de K.N.M.I.-toren af te leiden is,
3. de gemiddelde straal r van de druppels in de regen stochastisch samenhangt met de gemiddelde intensiteit $\bar{I}$ van de met de horizontale regenmeter gemeten regen (af te leiden uit het pluviogram) volgens $\bar{r} = a\bar{I}^b$ en dat de voor Engelse regens gevonden waarden van a en b ook voor Nederland zouden gelden,
4. de verticale snelheidscomponent V_v van de druppel gelijk is aan de eindvalsnelheid bij een val in een windloze atmosfeer (de druppelstraal r bepaalt éénduidig de V_v),
5. het azimuth ψ van de gemiddelde regendruppelsnelheid V gelijk is aan die van de wind, d.i. $\psi \cong$ windrichting,
6. turbulenties (verstoringen van de druppelbanen) tegen de gevel mogen worden verwaarloosd,

zou een regen, gemeten als H_o mm in de gewone regenmeter (opvangopening O_R m²), tegen de verticale muur (oppervlakte O_M m²), waarvan de normaal een azimuth ψ_M heeft, in totaal een hoeveelheid H_M geslagen hebben, groot

$$H_M = \frac{O_M}{O_R}\,\frac{W}{V_v}\,H_o \cos(\psi - \psi_M) \quad \text{mm}$$

Het gaat om de kansverdeling $\varphi_M(H_M)dH_M$ van deze H_M. Gegeven de gootinhoud B en de afvoercapaciteit p van de goot, alsmede de duur D van de individuele regen, loopt een goot over als

$$H_M > B + pD$$

onderstellend, dat iedere nieuwe regen een lege goot treft (ook als men deze onderstelling niet wil maken, is een en ander wel te berekenen). Echter, zelfs al zouden de kansverdelingen $\varphi_\psi d\psi, \varphi_V dV, \varphi_H dH, \varphi_W dW$ van ψ, V_v, H en W elk bekend zijn, dan nog geldt niet $\varphi_M = \varphi_\psi \varphi_V \varphi_H \varphi_W$, aangezien de variabelen gecorreleerd zijn.

Het lijkt mij nuttig de aandacht op de zwakke punten in deze redenering te wijzen.

a. Het is zo goed als zeker, dat niet $V_h = W$ geldt, doch $V_h > W$. De V_h is gelijk aan de wind van een hoger niveau; gemiddeld 2 à 5 m ? Een en ander zal afhangen van druppelgrootte en windprofiel. **Dit is in studie (zie ook blz. 19).**

b. Natuurlijk is de verhouding van de windsnelheden op toren- en op regenmeterhoogte alles behalve constant regen voor regen.

c. Het is niet zeker of de in punt 3 bedoelde exponentiële relatie ook voor Nederland geldt. Bovendien is ze stochastisch, d.w.z. niet functioneel. Voorts geldt ze alleen voor regens met een eentoppige frequentieverdeling van druppeldiameters en dus voor vele regens niet.

d. Men moet met de wind gedurende de regen rekenen en niet, zoals sommige onderzoekers doen en deden, met de gemiddelde wind gedurende de dag van deze regen. Het is niet uitgesloten, dat doorgaans tijdens de regen de wind zwakker is dan in de uren rondom. Het lijkt mij nuttig, dat dit eens voor Nederland onderzocht wordt.

e. Men moet ook de regenduren kennen en dus dienen pluviogrammen geraadpleegd te worden.

f. Wij wilden het materiaal van De Bilt gebruiken, konden moeilijk beter, hoewel de vraag een Rotterdamse aangelegenheid betrof.

g. Aan de in punt 6 genoemde onderstelling wordt zeker niet voldaan. Experimenten met in de gevel geplaatste regenmeters in Engeland hebben uitgewezen, dat het turbulentie-effect bewerkstelligt, dat langs de randen van de gevel meer regen valt dan over het midden van de gevel. Wanneer de "middenhoeveelheden" kleiner en de "randhoeveelheden" groter zouden zijn dan met de formules berekend worden, zouden deze formules wellicht toch een goede schatting van de gemiddelde (en dus ook de totale) hoeveelheid tegen de gevel kunnen geven.

Vragen van gelijke strekking bereikten ons met betrekking tot steile afritten tot diepgelegen tunnels of viaducten. Voorts denke men aan regendoorslag tegen verticale muren, welke ernstig is vooral bij "slagregen" (én grote intensiteit én sterke wind) en jaarlijks een zeer grote schadepost oplevert. In het Engels spreekt men van slanting rain, driving rain, zie ook [4].

Van verschillende zijden bereikten ons verzoeken de meteorologische achtergrond (zo deze er is) te onderzoeken van het in de bouwwereld gebruikte regeltje, dat men voor elke m^2 dakoppervlak in horizontale projectie 1 cm^2 valpijpdoorsnede moet nemen. De laatste tijd is wel gebleken (er zijn hierover verschillende rapporten o.a. van de zijde van het Bouwcentrum in Rotterdam), dat vele gootconstructies te zwaar gedimensioneerd, derhalve onnodig duur, zijn. In een tijd als de huidige wil de bouwwereld zich hier niet blijvend bij neerleggen.

Vermeld zij nog, dat men slagregens nabootst (fijne regen, zowel als grote druppels, gepaard met zeer krachtige wind) van intensiteiten en met windsterkten, in combinaties, die in de praktijk haast niet voorkomen. Gevolg: Men vraagt het K.N.M.I. met welke combinaties men dan wél moet experimenteren.

1. Theoretische beschouwingen.

1.1. De regenmeter in enkelvoud.

1.1.1. Algemene formules.

Denk een verzameling even grote, homogeen over de ruimte verdeelde, regendruppels in evenwijdige banen vallende, onder zekere hoek met de verticaal, met snelheid V. Zij verder:

d = gewichtshoeveelheid water per eenheid van volume lucht boven de regenmeter tengevolge van deze druppels.

O = oppervlakte van regenmeteropening. De regenmeter staat niet persé horizontaal.

D = duur van de individuele regen.

ϕ = hoek tussen regenmeteras in en vector V.

H_m = gewichtshoeveelheid water, opgevangen in deze regenmeter.

$h_m = H_m : O$ = regenhoogte.

$I_m = H_m : D$ = gemiddelde intensiteit.

(1) Dan is $H_m = ODdV\cos\phi$

Leg een Cartesisch assenstelsel aan; de x-as van N naar S; de y-as van W naar E; de z-as verticaal. Iedere ruimtelijke richting is geheel bepaald door twee parameters, bijv. de hoeken α en β met de x- en y-as. Zij de ligging van de regenmeter bepaald door de hoeken α_m, β_m, γ_m met x-, y- en z-as. Evenzo voor V door de hoeken α, β, γ. Er geldt voor beide $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$

Ga over op de hoeken γ met de verticaal en μ = azimuth in het x,y-vlak t.o.v. S. (zie fig. 1).

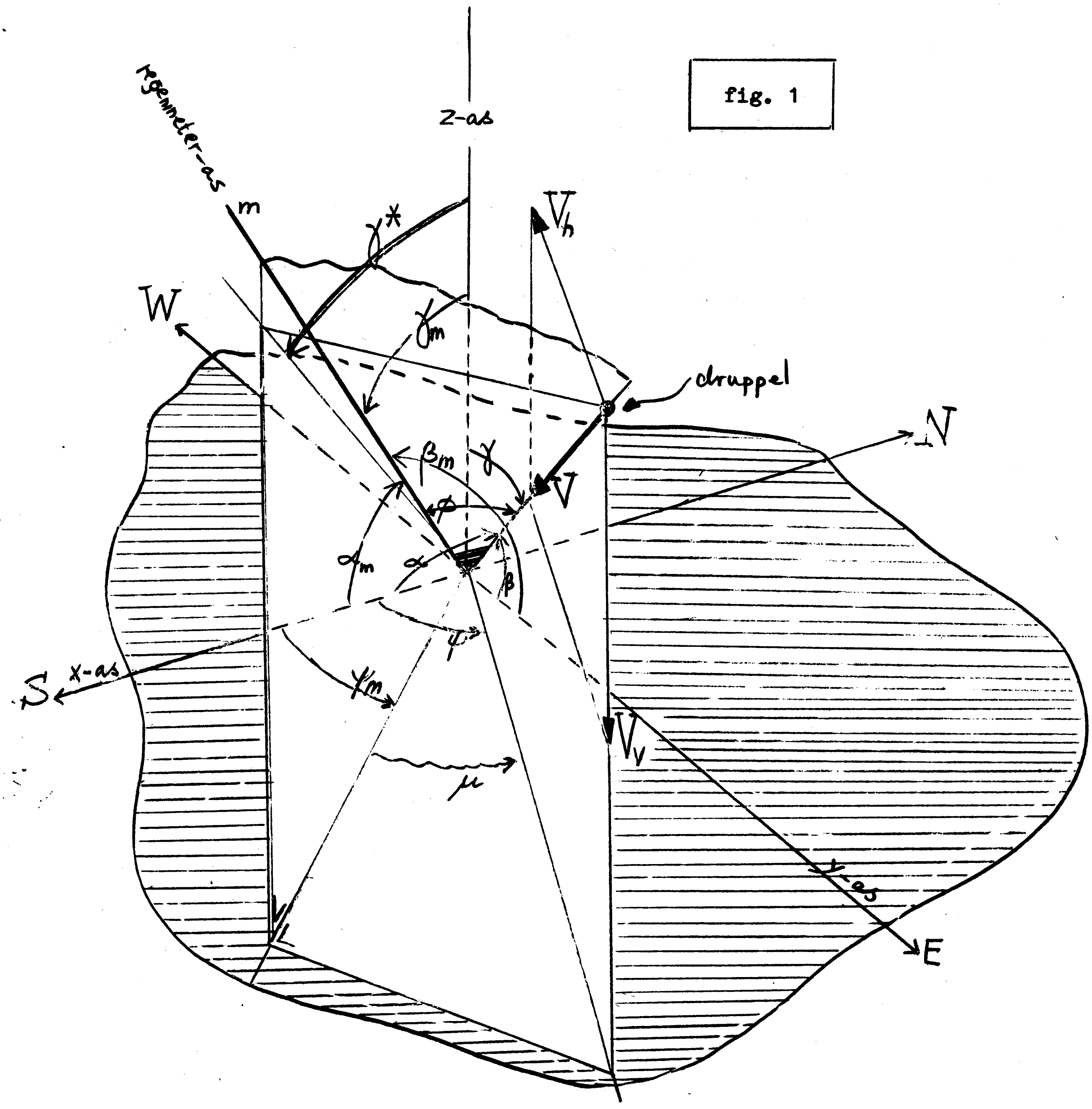
(1) kan dan geschreven worden

$$H_m = ODdV\left[\cos\alpha\cos\alpha_m + \cos\beta\cos\beta_m + \cos\gamma\cos\gamma_m\right] =$$

$$ODdV\cos\left[tg\gamma\sin\gamma_m\cos\mu + \cos\gamma_m\right] =$$

$$(2)\quad ODdV_v\left[k\,tg\gamma\sin\gamma_m + \cos\gamma_m\right]$$

fig. 1



m = regenmeter-as, hoeken α_m, β_m, γ_m met x-, y-, z-as;
inclinatie γ_m, azimuth ψ_m

V = snelheid druppel, hoeken α, β, γ ; incl. γ ; az. ψ

$\phi = \sphericalangle$ m, V

$$\cos\phi = \cos(\gamma-\gamma_m)\left[1-(1-\cos\mu)\frac{\operatorname{tg}\gamma \operatorname{tg}\gamma_m}{1+\operatorname{tg}\gamma \operatorname{tg}\gamma_m}\right]$$

; gewoonlijk $\phi \neq \gamma - \gamma_m$ omdat m, V en z-as niet in eenzelfde vlak liggen.

V_h = hor. comp. van V $= V \sin\gamma$

V_v = vert. comp. van V $= V\cos\gamma$

(3) Hierin is $\mu = \psi - \psi_m$ $\qquad k = \cos\mu$

(4) $V_h = V\sin\gamma$ = horizontale component van V
$V_v = V\cos\gamma$ = verticale component van V

In het algemeen gesproken bevat het vlak door m en V niet de z-as en dus is $\gamma - \gamma_m \neq \phi$ Om precies te zijn

(5) $\cos\phi = \left[1-(1-k)\,tg(\gamma-\gamma_m)\right]\cos(\gamma-\gamma_m)$ in het algemeen $[\ldots] \neq 1$

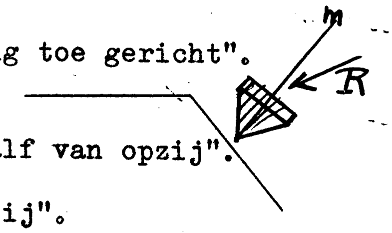
Voor een regenmeter met horizontale opening ($\gamma_m = 0$; ψ_m onbepaald)

(6) schrijven wij $H_o = ODdV_v$.

Men kan (2) omvormen tot

(7) $$H_m = H_o \left[\frac{k^2 tg^2\gamma + 1}{tg^2\gamma + 1}\right]^{1/2} \cos(\gamma^* \mp \gamma_m)$$; zij $$f = \sqrt{\frac{k^2 tg^2\gamma + 1}{tg^2\gamma + 1}}$$

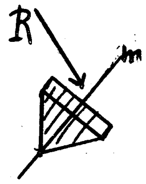
Hierin is γ^* = verticale projectie van γ op het verticale vlak door de regenmeteras, zodat $tg\,\gamma^* = k\,tg\,\gamma$ en $\gamma^* < \gamma$ als $|k| < 1$
In (7) geldt het -teken zolang γ en γ^* aan dezelfde kant van de z-as liggen (als in fig. 1), anders het +teken. Wij onderscheiden de volgende mogelijkheden:



a) $\psi = \psi_m \therefore \mu = 0$; $k = 1$; de regen is "naar de opening toe gericht".

b) $0 < \mu < 90^\circ$; $270 < \mu < 360^\circ \therefore 0 < k < 1$; regen "half van opzij".

c) $\mu = 90^\circ$; $270^\circ \therefore k = 0$; regen "dwars, recht van opzij".



d) $90 < \mu < 180^\circ$; $180 < \mu < 270^\circ \therefore -1 < k < 0$

e) $\mu = 180^\circ \therefore k = -1$; regen "over de meter heen".

(8) Bijgevolg is $\cos\gamma \leq f \leq 1$

als $|k| \leq 1$

Verduidelijking: Houd de scheefgestelde regenmeter vast, wentel V om de verticale as (γ = constant), dan zal H_m variëren van $H_o\cos(\gamma-\gamma_m)/\cos\gamma$ (als μ = o) over $H_o\cos\gamma_m$ (als μ = 90, 270°) naar $H_o\cos(\gamma+\gamma_m)/\cos\gamma$ (als μ = 180°).
Wel is ondersteld, dat $\gamma + \gamma_m < 90^\circ$ of $\gamma > 90 - \gamma_m$, zodat ook in positie e de regen <u>in</u> de meter vallen kan.

Nu volgen enkele bijzondere situaties:

A. vertikale regen $\gamma = 0^\circ$; $H_m = H_0 \cos \gamma_m$

B. verticale regenmeteropening ; $\gamma_m = 90^\circ$; $H_m = H_0 \, tg\, \gamma \cos \mu$

C. horizontale regenmeter : $\gamma_m = 0^\circ$; $H_0 = ODdV_v = ODdV \cos \gamma$

Vraag: Verandert H_0 als nu de wind verandert ?

Antwoord: V_v is constant, maar wat doet d nu de druppelbanen anders gaan hellen ? Verandert de druppeldichtheid van de lucht ?

Ik heb deze formules in detail behandeld, omdat het daarmee mogelijk is op verschillende praktijkvragen numerieke antwoorden te geven en op gemakkelijke wijze tot de theorie der simultane metingen met twee of meer niet alle horizontaal opgestelde regenmeters over te gaan.

Twee vragen liggen direct voor de hand:

a. Aangezien geen opstelling volmaakt vast kan zijn, derhalve γ_m gemakkelijk enkele graden verandert, zonder dat men dit direct kan zien, luidt de vraag welke de relatieve verandering van H_m is per graadverandering van γ_m ?

b. Aangezien het windveld nooit volkomen onveranderlijk is, dus γ gemakkelijk enige graden verandert, zonder dat men dit kan zien, luidt de vraag welke de relatieve verandering van H_m is per graadverandering van γ ?

Wij berekenen daartoe $p = \frac{1}{H_m} \frac{\partial H_m}{\partial \gamma_m}$ en $q = \frac{1}{H_m} \frac{\partial H_m}{\partial \gamma}$;

zowel p als q is een functie én van γ én van γ_m

Er komt

(9) $p = \pm tg(\gamma^* \mp \gamma_m)$; +,- als $0 < k \leq 1$ en -,+ als $-1 \leq k \leq 0$

terwijl $k\, tg\, \gamma = tg\, \gamma^*$ en $\gamma^* = 0$ als $k = 0$

(10) $q = \dfrac{k}{\cos^2\gamma\,(k\, tg\, \gamma + cotg\, \gamma_m)}$

Daar $\gamma + \gamma_m < 90$ is $(\ldots) > 0$, ongeacht k.

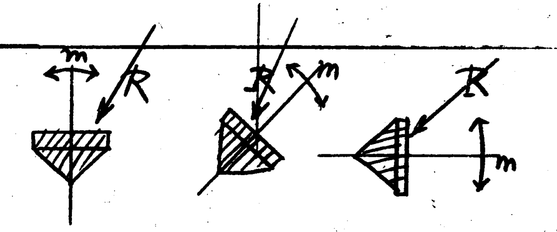
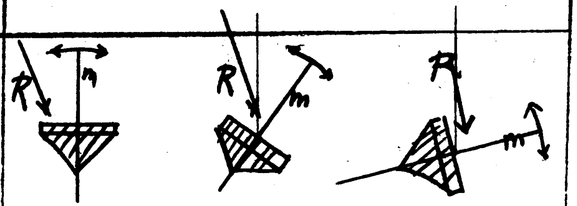
Hoe p en q met γ en γ_m samenhangen, vindt men kort in de tabellen 1 en 2.

N.B. gesteld $\gamma = \gamma_m$, d.w.z. de regenmeteropening $\perp$ regen. Dan is $p = 0$, ongeacht γ_m, en $q = tg\, \gamma_m$, variërend van nul als $\gamma_m = 0$ (horizontale regenmeter) tot ∞ als $\gamma_m = 90^\circ$ (verticale opening).

Tabel 1

$$H = OD\alpha V_v \left[tg\gamma \sin\gamma_m \cos(\psi-\psi_m) + \cos\gamma_m \right]$$

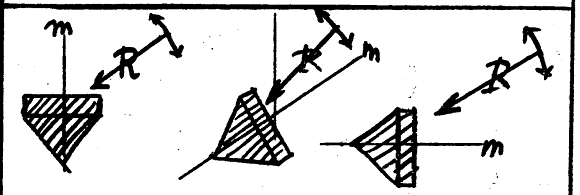
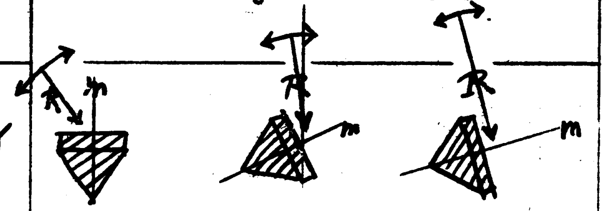
$$P = \frac{1}{H}\frac{\partial H}{\partial \gamma_m}$$

k	H		P			schets
	waarde	max. t.o.v. γ_m als $\gamma_m=$	waarde	minimum t.o.v. γ		
				waarde	bij	
1	$H_0 \frac{\cos(\gamma-\gamma_m)}{\cos\gamma}$	γ	$tg(\gamma-\gamma_m)$	0	$\gamma = \gamma_m$	
0 à 1	$H_0 f \cos(\gamma^*-\gamma_m)$	γ^*	$tg(\gamma^*-\gamma_m)$	0	$\gamma^* = \gamma_m$	moeilijk te tekenen
0	$H_0 \cos\gamma_m$	0	$-tg\,\gamma_m$	H is onafhankelijk van γ; kleinst als $\gamma_m = 0$		moeilijk te tekenen
-1 à 0	$H_0 f \cos(\gamma^*+\gamma_m)$	0	$-tg(\gamma^*+\gamma_m)$	$-tg\,\gamma_m$	$\gamma^* = \gamma = 0$	moeilijk te tekenen
-1	$H_0 \cos(\gamma+\gamma_m)$	0	$-tg(\gamma+\gamma_m)$	$-tg\,\gamma_m$	$\gamma^* = \gamma = 0$	

f, zie form. (7) ; $k = \cos\mu = \cos(\psi-\psi_m)$; $k\,tg\gamma = tg\gamma^*$; $\gamma+\gamma_m < 90^\circ$ ondersteld

Tabel 2

$$H = OD\,d\,V_v\left[tg\gamma \sin\gamma_m \cos(\psi-\psi_m)+\cos\gamma_m\right] \qquad \boxed{q=\frac{1}{H}\frac{\partial H}{\partial \gamma}}$$

k	q: waarde	q: minimum t.o.v. γ_m: waarde	q: minimum t.o.v. γ_m: bij	q: maximum t.o.v. γ_m: waarde	q: maximum t.o.v. γ_m: bij	schets
1	$\frac{1}{\cos^2\gamma(tg\gamma+cotg\,\gamma_m)}$	0 onafh. van γ	$\gamma_m=0$	$\frac{2}{\sin 2\gamma}$	$\gamma_m=90^\circ$	
0 à 1	$\frac{k}{\cos^2\gamma\left[k\,tg\gamma+cotg\,\gamma_m\right]}$	niet uitgewerkt		niet uitgewerkt		moeilijk te tekenen
0	0 omdat H de γ niet bevat	altijd 0, hoe ook γ en γ_m		altijd 0		moeilijk te tekenen
-1 à 0	$\frac{k}{\cos^2\gamma\left[k\,tg\gamma+cotg\,\gamma_m\right]}$	niet uitgewerkt		niet uitgewerkt		moeilijk te tekenen
-1	$\frac{-1}{\cos^2\gamma\left[-tg\gamma+cotg\,\gamma_m\right]}$	0 voor alle γ	$\gamma_m=0$	$-\infty$	$\gamma_m=90-\gamma$	

$k=\cos(\psi-\psi_m)=\cos\mu$; $k\,tg\gamma=tg\gamma^*$; altijd ondersteld $\gamma+\gamma_m<90^\circ$

Hier volgen enkele numerieke toepassingen van de formules. Men vraagt zo dikwijls, hoe nauwlettend moeten we erop toezien, dat de horizontale regenmeter precies horizontaal staat en hoe is dit voor scheef geplaatste regenmeters ?

De p door 57.3° (radiaal) delende, blijkt dat H_m als de inclinatie van de regenmeters met 1° verandert

voor een horizontale regenmeter

bij een verticale regen verandert met 0 %

bij een regen onder 10° verandert met -0.3 à +0.3 % (gem. 0%)

bij een regen onder 20° verandert met -0.6 à +0.6 % (gem. 0%)

bij een regen onder 30° verandert met -1.0 à +1.0 % (gem. 0%)

bij een regen onder 60° verandert met -3.0 à +3.0 % (gem. 0%)

en

voor een regenmeter onder 20° hellende

resp. met, als	$\gamma = 0^\circ$	-0.6 %
als	$= 10^\circ$	-1.0 à -0.3 % (gem. -0.6%)
	$= 20^\circ$	-1.5 à 0 % (gem. -0.7%)
	$= 30^\circ$	-2.1 à 0.3 % (gem. -1.2%)
	$= 60^\circ$	-9.9 à 1.5 % (gem. -5.7%)

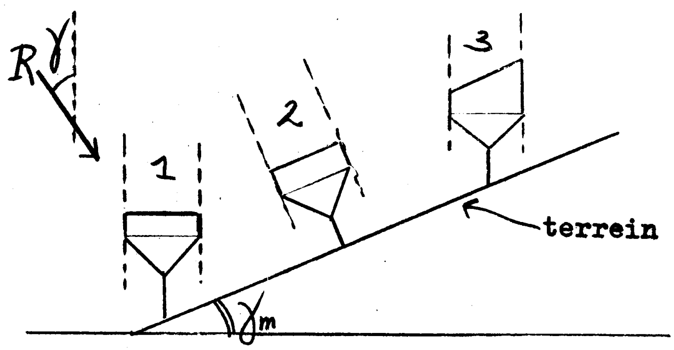
1. Onze metingen met scheve regenmeters hebben aangetoond, dat regeninclinaties in ons land rondom de 25° het meest frequent zijn.
2. Het effect van een kleine "uitpositie" is dus doorgaans voor een horizontale regenmeter kleiner dan voor een scheve.

In zeer vele gevallen is het effect desalniettemin volkomen onbelangrijk. Pleegt men bijvoorbeeld de regencijfers toch op hele mm af te ronden, zoals met de synoptische regenmeter het geval is, dan is het niet nodig uiterst nauwlettend te zorgen voor een horizontale opening. Wij maken deze opmerking, omdat bij een controle bleek, dat de klimatologische regenmeter volkomen goed stond, maar de synoptische onder maximaal $1\frac{1}{2}^\circ$ helde. Wanneer het er echter om gaat te onderzoeken of de verschillen tussen de metingen met vele identieke en op identieke wijze op het waarnemingsveld opgestelde horizontale regenmeters reëel zijn, doen wij verstandig op verschillen van enkele procenten niet te letten, aangezien het zeer moeilijk is voor voortdurend volmaakt horizontale openingen te zorgen.

1.1.2. De W.M.O.-definitie.

In de "Guide to international meteorological instrument and observing practice" van de W.M.O. lezen wij in Chapter 7 onder 7.1 "The total amount of precipitation which reaches the ground in a stated period is expressed as the depth to which it would cover a horizontal projection of the earth's surface, if there were no loss of evaporation ...." 1)

Deze definitie komt m.i. niet overeen met die van Serra, zie onder 0.2. De definitie goed lezende, noopt ze m.i. wél tot het plaatsen van scheve regenmeters in de bergen. Zie het volgende schetsje.



Opvangopening		hoev.in gr.
van 1	0 cm^2	H_1
van 2	0 cm^2	H_2
van 3	$0/\cos\gamma_m$ "	H_3

Er zijn 3 gevallen:

1) men meet slechts met regenmeter 1. Noem $z = H : 0$ de regen<u>hoogte</u>. De W.M.O.-definitie eist te kennen $z_w = z_1 \{ k \,\mathrm{tg}\,\gamma \,\mathrm{tg}\,\gamma_m + 1 \}$, als $z_1 = H_1 : 0$. Indien het bassin een oppervlakte, van de kaart geplanimetreerd, S heeft, ontvangt dit bassin $\frac{S}{O} H_1 [1 + k \,\mathrm{tg}\,\gamma \,\mathrm{tg}\,\gamma_m]$
Als de hydroloog alleen over H_1 zou beschikken, kan derhalve $\frac{S}{O} H_1$ ver bezijden de waarheid zijn. Bijv. $k = 1$; $\gamma = 45^\circ$; $\gamma_m = 45^\circ$; $1 + k \,\mathrm{tg}\,\gamma \,\mathrm{tg}\,\gamma_m = 2$; $\frac{S}{O} H_1$ zou dan 100% mis zijn. De hydroloog moet én γ én γ_m kennen.

2) Indien met regenmeter 2 gemeten wordt, dan is $z_2 = H_2 : 0$. De W.M.O.-definitie eist $z_w = z_2/\cos\gamma_m$
De hydroloog wil weten $\frac{S}{O \cos\gamma_m} H_2$; hij moet nu alleen γ_m kennen.

3. Als met regenmeter 3 gemeten wordt (opening weer // helling, doch thans ellipsvormig), dan is $z_3 = H_3 : 0$ (niet door $0/\cos\gamma_m$, maar door 0 delen). Nu is de hoeveelheid op het totale bassin onmiddellijk: $\frac{S}{O} H_3$. Deze z_3 is nu tevens z_w.

<u>Noot 1.</u> Het veelgeraadpleegde naslagwerk "Handbuch der meteorologischen Instrumente (Kleinschmidt) zegt:"Die Aufgabe der Niederschlagsmessung besteht darin festzustellen, wieviel Wasser aus der Luft in einem bestimmten Zeitraum auf eine Boden- oder Wasserfläche von gewisser Ausdehnung fällt." Let wel, hier is geen sprake van "horizontale projectie", wel daarentegen in de W.M.O.-Guide definitie. Thans $z = z_1 \cos\gamma_m [k \,\mathrm{tg}\,\gamma \,\mathrm{tg}\,\gamma_m + 1]$

1.1.3. Op een schommelend schip.

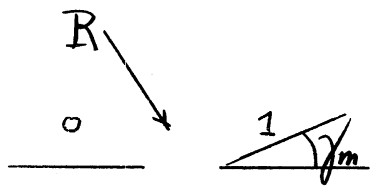
Verwezen zij o.a. naar [5].

De werkelijk gemeten hoeveelheid neerslag wordt voor de roll en pitch van het schip gecorrigeerd tot een bedrag, dat gemeten zou zijn ter plaatse als de opening van de regenmeter constant horizontaal geweest zou zijn. Men gaat uit van de bovengenoemde uitdrukking voor H_m, ontbindt de beweging van de regenmeteras in de componenten pitch en roll en berekent dan de gemiddelde H_m, gemiddeld over een halve schommeling. Voor details, zie [5].

Formule (2) bevat, indien O, D, γ_m, ψ_m bekend zijn, zodra H_m gemeten is, 3 onbekenden: γ, ψ en dV_v

Alle simultane metingen met meer dan 1 regenmeter (waarvan er tenminste één scheef staat) hebben ten doel in hoofdzaak de regeninclinatie γ te vinden. Meestal neemt men ψ = windrichting, terwijl men voor dV_v weinig of geen interesse heeft. Het laatste verwondert mij weliswaar, want zodra men V_v kent, is d te berekenen, het aantal grammen water per m^3 lucht tengevolge van regendruppels, alsmede de druppeldichtheid (aantal druppels per m^3), beide interessante physische grootheden.

In de volgende paragrafen worden de formules voor de simultane metingen met twee of meer regenmeters ontwikkeld.



1.2. Twee (drie) regenmeters.

1.2.1. Een regenmeter horizontaal, de andere scheef.

De twee vergelijkingen zijn

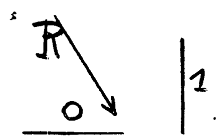
$$(11)\quad H_0 = OD(dV_v) \text{ en } H_1 = OD(dV_v)\left[k\,tg\gamma \sin\gamma_m + \cos\gamma_m\right] \text{ met } k = \cos(\psi - \psi_m)$$

Drie onbekenden γ, ψ, dV_v Zet men ψ = windrichting, dan

$$(12)\quad tg\gamma = \frac{H_1 - H_0\cos\gamma_m}{k\sin\gamma_m} \qquad dV_v = H_0/OD$$

Er is geen check.

Serra koos γ_m = 45° en gaf regenmeter 2 een ellipsvormige opening in een vlak onder 45°.



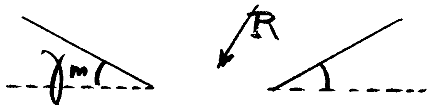
Een extreme positie is γ_m = 90°, verticale opening;
Dan is tg γ = H_1 : k H_0; dV_v = H_0/OD. Men neemt vaak gemakshalve k = 1.

Als men de twee regenmeters op een onderstel plaatst, dat men een windvaan voortdurend tegen de regen in gehouden wordt, dan is automatisch "exact" $k = 1$.

Men kan berekenen welke onnauwkeurigheid σ_γ de hoek γ heeft t.g.v. onnauwkeurigheid in de meting van H_0 en H_1 (en eventueel ook van γ_m). Het blijkt dan dat σ_γ afneemt met toenemende γ_m. Een grotere γ_m lijkt dus beter (extreem: 90^o), echter zou het mogelijk zijn, dat het turbulentie-effect op de twee regenmeters des te ongelijker is naarmate de tweede schever staat (de andere steeds horizontaal gedacht). De meeste auteurs lopen over dit effect heen. Sommige noemen het wel, maar brengen het niet in rekening (hoe zou dit ook moeten gebeuren ?). Serra beweert, dat windtunnelproeven hebben uitgewezen, dat de verliezen tengevolge van het windeffect weinig met de scheefheid van de regenmeter te doen hebben.

1.2.2. Twee even scheef opgestelde regenmeters.

Ik heb zelf gedacht aan twee "tegenover elkaar" geplaatste even scheve regenmeters



Dan is

(13) $$H_1 = OD(dV_v)(k\,tg\gamma \sin\gamma_m + \cos\gamma_m)$$
$$H_2 = OD(dV_v)(-k\,tg\gamma \sin\gamma_m + \cos\gamma_m)$$

(14) Als ψ = windrichting, dan $$tg\gamma = \frac{H_1 - H_2}{2k\sin\gamma_m}$$

en $$dV_v = \frac{1}{OD}\,\frac{H_1 - H_2}{H_1 + H_2}\,\frac{1}{k\,tg\gamma_m}$$

Er is een check zodra ook $H_0 = ODdV_v$ gemeten wordt, want dan is:

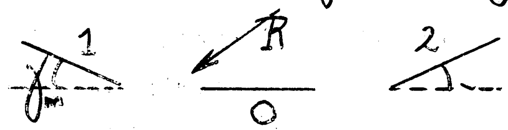
(15) $$H_0 = \frac{H_1 - H_2}{H_1 + H_2}\,\frac{1}{k\,tg\gamma_m}$$

Men kan aantonen, dat σ_γ in deze opstelling van twee regenmeters kleiner is dan die in de opstelling naar Serra, zolang beide hoeken kleiner dan 45^o zijn. Daar wij γ_m toch zeker niet groter dan 45^o zouden willen nemen, verdient onze duplo-opstelling de voorkeur boven die van Serra.

1.3. Drie (vier) scheve regenmeters.

1.3.1. Een horizontale, twee scheve regenmeters.

De drie regenmeterassen zijn in eenzelfde vlak gedacht. Voor de regenmeters 1 en 2 zijn de inclinaties γ_m en $-\gamma_m$



Thans

(16) $H_0 = OD\ (dV_v)$

$H_1 = OD\ (dV_v)\left[k\,tg\gamma \sin\gamma_m + \cos\gamma_m\right]$

$H_2 = OD\ (dV_v)\left[-k\,tg\gamma \sin\gamma_m + \cos\gamma_m\right]$

Drie vergelijkingen met drie onbekenden

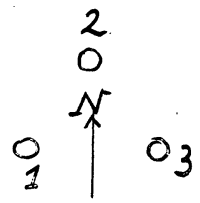
Er is echter een interrelatie (check) $H_1 + H_2 = 2H_0 \cos\gamma_m$

Als ψ = windrichting, dan is.

(17) $tg\gamma = \dfrac{H_1 - H_2}{2k H_0 \sin\gamma_m}$ $\qquad dV_v = H_0/OD$

1.3.2. Drie scheve regenmeters.

C.W.Rose en H.G. Farbrother behandelen deze in [6]. De regenmeters staan alle onder $\gamma_m = 45°$, opgesteld in de hoekpunten van een gelijkzijdige driehoek en "gericht naar het middelpunt". Als no.2 op het N staat, is $\psi_1 = 60°$ $\psi_2 = 180°$ $\psi_3 = 300$ Derhalve



(18) $H_1 = OD(dV_v)\left[tg\gamma \sin 45 \cos(\psi - 60) + \cos 45\right]$

$H_2 = OD(dV_v)\left[tg\gamma \sin 45 \cos(\psi - 180) + \cos 45\right]$

$H_3 = OD(dV_v)\left[tg\gamma \sin 45 \cos(\psi - 300) + \cos 45\right]$

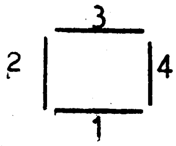
De auteurs geven geen expliciete oplossingen voor γ en ψ (aan dV_v zal wel niet gedacht zijn), uitgedrukt in H_1, H_2, H_3. Altijd is één der drie H's het kleinst (H_k), één het grootst (H_g); de resterende zij H_r. Er werden nomogrammen gemaakt om γ en ψ af te lezen uit H_g/H_k en H_g/H_r. Het verbaast ons dat de auteurs niet op de elegante check wijzen. Als men ook H_0 meet (men zal toch wel altijd de neerslag ook met de horizontale regenmeter meten), geldt

$$\sum_1^3 H_i = \frac{3}{2} H_0 \sqrt{2}$$

Het lijkt me uiterst nuttig deze gelijkheid voor elke dagsom afzonderlijk te toetsen. De auteurs geven niet de nauwkeurigheid σ_γ van γ, afhankelijk van de nauwkeurigheden van H_1, H_2 en H_3 (eventueel ook die van de hoek 45°).

1.4. Vier (vijf) scheve regenmeters, vecto pluviometer.

1.4.1. Voor vier regenmeters met verticale openingen, gekeerd naar N, E, S, W, leze men bij Pers [7] en Hoppestad [8].



Indien tegelijkertijd met de gewone regenmeter gemeten wordt, beschikken we over 3 (en niet 5) vergelijkingen met 3 onbekenden (γ, ψ, dV_v), omdat, althans als gedurende de regen de ψ = windrichting constant is, altijd slechts twee cyclisch successieve regenmeters (1,2 of 2,3 of 3,4 of 4,1) regen opvangen (tenzij de regen exact uit het N, E, S of W zou komen of exact verticaal zou vallen). Als dit 1 en 2 zijn,

(19) geldt

$$H_0 = ODdV_v$$
$$H_1 = ODdV_v \, tg\gamma \cos\psi$$
$$H_2 = ODdV_v \, tg\gamma \sin\psi$$
$$H_3 = H_4 = o$$

en dus

(20) $$tg\gamma = \frac{\sqrt{H_1^2 + H_2^2}}{H_0} \qquad tg\psi = \frac{H_2}{H_1} \qquad dV_v = \frac{H_0}{OD}$$

Er is géén check.

1.4.2. Vier symmetrisch even scheef opgestelde regenmeters. KNMI

Ik heb zelf de voorkeur gegeven aan een opstelling van vier gewone regenmeters, alle hellende onder 20°, geplaatst in de hoekpunten van een vierkant met diagonalen N S, W E, de openingen "naar het midden". Zie [1]. Ook wordt met de horizontale regenmeter gemeten.

Er komen 5 vergelijkingen met 3 onbekenden

(21) $$H_0 = ODdV_v$$
$$H_1 = ODdV_v \, (tg\gamma \sin 20 \cos\psi + \cos 20)$$
$$H_2 = ODdV_v \, (-tg\gamma \sin 20 \cos\psi + \cos 20)$$
$$H_3 = ODdV_v \, (tg\gamma \sin 20 \sin\psi + \cos 20)$$
$$H_4 = ODdV_v \, (-tg\gamma \sin 20 \sin\psi + \cos 20)$$

zodat

(22) $$tg\gamma = \frac{\sqrt{(H_1 - H_2)^2 + (H_3 - H_4)^2}}{(H_1 + H_2)\, tg\, 20} \qquad tg\psi = \frac{H_3 - H_4}{H_1 - H_2} \qquad dV_v = \frac{H_1 + H_2}{2OD \cos 20}$$

Er is een dubbele check, 23 en 24

(23) $H_1 + H_2 = H_3 + H_4$ (hoe ook γ, ψ en ook als voor de hoek 20° een andere waarde gekozen zou zijn.)

(24) $H_1 + H_2 = 2\, H_o \cos 20^\circ$.

Men kan aantonen, dat $\sigma_\gamma(1.4.2) \gtrless \sigma_\gamma(1.4.1)$ als $\gamma_m \gtrless 45^o$ (bij ons $\gamma_m = 20^o$). Aangezien wij ook grote γ's (er zijn er zeker $> 45^o$) wensten te meten, kozen wij γ_m tamelijk klein. Ofschoon 1.4.1 een nauwkeurigere γ levert dan onze opstelling, prefereerden wij onze opstelling én omdat er een dubbele check is én omdat wij vermoeden, dat het turbulentie (wind) effect op de opstelling in 1.4.1 groter zal zijn dan op de onze.

Wat de checks betreft: Zelden zal aan de gelijkheden volkomen voldaan worden. Dit behoeft niet te verbazen. H_o, H_1, H_2, H_3 en H_4 worden immers niet exact gemeten. Bovendien kunnen de regenmeters iets uit de correcte positie geraken ($\frac{1}{2}$, 1^o bijvoorbeeld) waardoor de gegeven formules niet meer de juiste γ leveren. Tenslotte is ondersteld bij de afleiding van de formules, dat de H_o-waarden op de punten, waar nu de meters 1, 2, 3, 4 staan, exact gelijk geweest zouden zijn, àls ze daar gemeten zouden zijn. Aan deze onderstelling wordt in bijzondere gevallen zeker niet voldaan, aangezien de diagonalen van het vierkant 10 m lang gekozen werden.

1.5. Acht (negen) scheve regenmeters.

Lacy [9] plaatst rondom een gewone regenmeter 8 regenmeters met verticale openingen naar N, NE, E .... NW. Zie ook [10]. In het Engels heet dit een "directional raingauge". Bij vaste ψ ontvangen er, bij regen, slechts 4 cyclisch successieve van de 8 regenmeters neerslag.

Is bijvoorbeeld $45 < \psi < 90^o$ (wind tussen SW en W) dan is

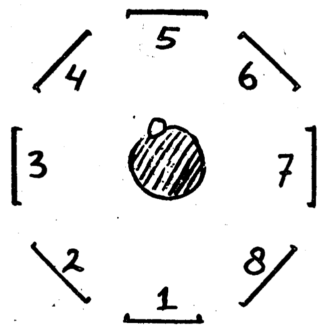
(25) $H_o = ODdV_v$

$H_1 = ODdV_v \operatorname{tg}\gamma \cos\psi$

$H_2 = ODdV_v \operatorname{tg}\gamma \cos(\psi - 45)$

$H_3 = ODdV_v \operatorname{tg}\gamma \cos(\psi - 90)$

$H_4 = ODdV_v \operatorname{tg}\gamma \cos(\psi - 135)$



Men verkrijgt dus 5 vergelijkingen met 3 onbekenden γ, ψ, dV_v

De 2 interrelaties, dus checks, zijn

(26) $H_3/H_1 = (H_2 + H_4) : (H_2 - H_4)$ en $H_1^2 + H_3^2 = H_2^2 + H_4^2$

Het is verwonderlijk, dat Lacy deze niet noemt.

(27) Oplossingen: $\operatorname{tg}\gamma = \dfrac{\sqrt{H_1^2 + H_3^2}}{H_o} = \dfrac{\sqrt{\Sigma H^2}}{H_o\sqrt{2}}$; $\operatorname{tg}\psi = \dfrac{H_3}{H_1}$; $dV_v = \dfrac{H_o}{OD}$

Lacy gebruikt een andere uitdrukking voor $\operatorname{tg}\gamma$, doch moet dan gemakshalve onderstellen, indien $45 < \psi < 90^o$, dat alle ψ-waarden tussen 45 en 90^o even waarschijnlijk zijn.

Dan is $\overline{\Sigma H} = H_0 \operatorname{tg}\gamma \left[\overline{\cos\psi} + \overline{\cos(\psi-45)} + \overline{\cos(\psi-90)} + \overline{\cos(\psi-135)} \right]$

$= \frac{8}{\pi} H_0 \operatorname{tg}\gamma$ Bijv.: $\overline{\cos\psi} = \frac{1}{\frac{1}{4}\pi} \int_0^{45} \cos\psi \, d\psi$

Waaruit $\operatorname{tg}\gamma = \frac{1}{8}\pi \frac{\Sigma H}{H_0} = 0{,}39 \frac{\Sigma H}{H_0}$

De uitdrukking verschilt merkwaardig weinig van de tgγ-waarden bij substitutie van $\psi = 90^o$, $67\frac{1}{2}$ en 45^o, n.l. tgγ = 0.41 ; 0.45 ; 0.41 $\times (\Sigma H)/H_0$

1.6 Twaalf scheve regenmeters (bolvormige regenmeter).

Wanneer het het beste zou zijn de definitie van de intensiteit van een regen te betrekken op een vlak, gelegen ⊥ op de gemiddelde druppelbaan, zou het voor de hand liggen een regenmeter samen te stellen uit zovele deel-regenmeters, dat altijd wel één ervan exact of "bijna" zijn opening ⊥ op de regen gericht heeft. Men heeft in Zwitserland getracht zulk een bol-regenmeter te benaderen. Men dacht aan de dodekaëder, het regelmatige 12-vlak, bestaande uit 12 regelmatige vijfhoeken. Van zes ervan zijn de normalen naar boven gericht. De door deze zes vijfhoeken gepasseerde hoeveelheden regen werden afzonderlijk gemeten. Beter is het regelmatige 20-vlak, dan kunnen er 10 gelijkzijdige driehoeken neerslag ontvangen. Zie verder [11]. Men heeft zelfs bolvormige regenmeters gemaakt (instrumentele kunststukjes) met 32 gaten, gelijkmatig over een halve bol verdeeld, waarvan elk de neerslag afzonderlijk mat.

1.7 Stereopluviometer.

Zie bij Pers [12]. Beschouw de omtrek van het totale bassin. Deze is zekere ruimtelijke curve K. Geef de regenmeter een opening, begrensd door een aan K gelijkvormige kromme k. Vangt nu de meter H_m op, dan ontving het gehele bassin (in de onderstelling, dat over het bassin overal de regen in homogeen dichte evenwijdige banen viel) $H_B = q.H_m$. De factor q is de verhouding der oppervlakten ingesloten door de projecties van k en K op een willekeurig plat vlak (q is onafhankelijk van de ligging van dit vlak); ze behoeft maar één keer berekend te worden. De gedachte is vernuftig, temeer daar de regenmeteropening een onbepaalde oppervlakte heeft, een oppervlakte echter, die men niet behoeft te kennen.

2. Is de regendruppel voor op de wind ?

Ik geef eerst een opsomming van wat enkele anderen hierover zeggen en deel daarna mede, hoe ikzelf de vraag meende te kunnen beantwoorden.

2.1 Experimenten.

Hoppestad [8] constateert: $tg\gamma = V_h : V_v = H_v : H_H$, als $V_h(V_v)$ = horizontale (verticale) component van de druppelsnelheid V op regenmeterhoogte (1½ m) en H_H (H_v) = hoeveelheid neerslag, opgevangen door de regenmeter met horizontale (verticale) opening (Hoppestad neemt hierbij de factor k gemakshalve gelijk 1; immers $tg\gamma = H_v : kH_H$).

Hij constateert verder:

1. waarschijnlijk heeft de druppel onder het vallen een horizontale snelheid groter dan de wind ter zelfde hoogte.
2. desalniettemin moeten wij maar idealiseren en aannemen, dat V_h = windsnelheid op 1½ m.
3. aangezien de windsnelheid in zijn onderzoek alleen op 10 m hoogte gemeten wordt, neemt hij
4. aangenomen mag worden, dat het afbuigingseffect in gelijke mate op H_H en H_v werkt en aldus γ niet beïnvloedt.
5. aangenomen wordt, dat de V, gemiddeld per regen, 4½ m/sec bedraagt. Zo komt er $H_v = \frac{2/3}{4{,}5} H_H W_{10}$, algemeen K H_H W_{10}.

De factor K heet slagregencoëfficiënt (driving rain intensity factor). K kan voor verschillende stations verschillende waarden aannemen en per station van het gemiddelde windprofiel, het druppelspectrum (soort regen) en het jaargetijde afhankelijk zijn. Men kan in K een klimatologische grootheid zien.

Door H_H en H_v te meten (Hoppestad deed dit met de in 1.4.1 behandelde samengestelde regenmeter), kan men K berekenen voor verschillende windrichtingen. Men kan dan K-isolijnen over het land tekenen. Deze kaarten kunnen van nut zijn voor het bouwbedrijf.

Serra [3] beweert, dat de druppel tijdens de val voortdurend een snelheid heeft, waarvan de horizontale component qua richting en grootte gelijk aan de wind op dezelfde hoogte is.

Lacy [9] gelooft, dat de druppel op de wind voor is. Hij komt daartoe a.v. . De octopluviometer en de horizontale werden gedurende 2 jaren elke maand afgelezen: H_0, H_1, H_2, ... H_8 (maandsommen), zie onder 1.5. Dan werd $tg\gamma = 0.39 \sum_1^8 H / H_0$ berekend. Vanzelfsprekend is hierbij sprake van een gemiddelde $\bar{\gamma}$, gemiddeld over de vele regens, waaruit de maandsom is opgebouwd. De gemiddelde wind W op regenmeterniveau werd geschat uit de gemiddelde windsnelheid van 10 m hoogte; men gebruikte hierbij de gemiddelde windsnelheden op de dagen, waarop het regende. Aldus kon $\overline{V_v} = \overline{W}\ \overline{tg\gamma}$ berekend worden, maand voor maand. Deze $\overline{V_v}$ bepaalt eenduidig één druppelstraal r_w. Als men ook de totale regenduur D gedurende de maand kent, kan $\overline{I} = H_0 : D$ = gemiddelde intensiteit berekend worden, welke ook, en wel via het stochastische r-I-verband, een r_I levert. Men kan dan voor alle 24 paren de r_w met r_I vergelijken. Steeds bleek $r_I > r_w$. De verhouding bleek zelfs $1\frac{1}{2}$ à 2. Bovenstaande redenering leert, dat men dit opvallend verschil kan wegwerken door een grotere $\overline{W}$ in te vullen, d.w.z. aan te nemen, dat de druppels op regenmeterhoogte gemiddeld een horizontale snelheidscomponent hebben, gelijk aan de windsnelheid van hoger niveau.

Poncelet [5] , in een studie van regenmeting op zee, zegt $tg\gamma$ = windsnelheid : valsnelheid van druppel. Hij deelt de regens in enkele groepen in, van motregen tot en met zeer zware regen; de waarnemer moet dan visueel beoordelen. Elke groep heeft zijn eigen gemiddelde V_v; motregen $\frac{1}{2}$, zeer zware regen 8 m/sec. In de onder 1.1.3 bedoelde correcties treedt ook de regeninclinatie γ op. Deze wordt berekend via het gegeven formuletje. De windsnelheid is die, welke gemeten wordt op het schip. Over de vraag of deze niet die van de regenmeterhoogte behoort te zijn, behoeft men zich hier geen zorgen te maken, alles kan toch slechts grof zijn. De correcties zijn voor dit doel goed genoeg.

Ik heb zelf a.v. gehandeld. Met behulp van de in 1.4.2 beschreven opstelling zijn tot nu toe (eind 1960) ongeveer 250 hoofdzakelijk individuele regens (alle met $H_0 > 1$ mm) gemeten. Elke meting levert één V_v. Dan is $V_h = V_v\ tg\gamma$. Ook werden de gemiddelde windsnelheden gemeten gedurende de regen op hoogten 60, 100, 200 en 1000 cm. Daarna werden in vier grafieken uitgezet: V_h tegen W_{60}; V_h tegen W_{100}, V_h tegen W_{200} en V_h tegen W_{1000}. In deze 4 puntenvelden is de relatie het strakst bij V_h tegen W_{200}; vermoedelijk zou ze bij V_h tegen W_x met $x \cong 3$ m nog wat strakker geweest zijn. Hoewel deze x onzeker is, is ze zeker >40 cm en <10 m, zodat $V_h >$ Wind op regenmeterhoogte.

2.2 Theorie.

Het vraagstuk kan ook theoretisch worden aangepakt. Men veronderstelt daarbij dat van verschillende hoogten H druppels van verschillende grootten vallen, onder verschillende constant gedachte windprofielen P, terwijl ze aanvankelijk met de wind (verschillende snelheden W_H) meebewogen.

Gezocht wordt dan het verschil Δ tussen de horizontale snelheidscomponent $V_h(z)$ van de druppel en de windsnelheid W_z ter zelfde hoogte z, als functie van H, r, P, Z. Vanzelfsprekend interesseert mij daarbij het meest Δ (z = 40 cm; r). De eerste resultaten (zeer simpele windprofielen) wijzen op $V_h(40) > W(40)$, des te meer, naarmate r groter is. Bij de oplossing van de differentieelvergelijking voor Δ zou een nuttig gebruik van de gamma-rekenmachine gemaakt kunnen worden.

3. Einddoel van onze metingen met scheve regenmeters.

Het einddoel is om elke individuele regen te karakteriseren ("grove analyse") niet slechts door zijn totale hoeveelheid H_0 mm (met de horizontale regenmeter gemeten), zijn totale duur D min., en zijn gemiddelde intensiteit $I = H_0 : D$ mm/min, maar ook door zijn gemiddelde inclinatie $\bar{\gamma}$ en zijn azimuth $\bar{\psi}$ ($\cong$ windrichting, tijdens de regen). Getracht zal worden den alsnog voor elk van de voorbije regens (ruim 10000 stuks te De Bilt in 30 jaren) de γ en ψ te schatten en voor elke komende regen via een simpele duplo-opstelling per keer de γ en ψ te berekenen.

Praktijk

Als men dan vraagt naar de totale hoeveelheid H_F neerslag op een schuin dakoppervlak van F cm^2, waarvan de normaal een inclinatie γ_F en een azimuth ψ_F heeft en als de regen gekarakteriseerd is door H_0, γ en ψ, dan is
$$H_F = \frac{F}{O}(\operatorname{tg}\gamma \sin\gamma_F \cos\mu + \cos\gamma_F) \text{ mm}$$
waarin O (= 400 cm^2) = oppervlak van regenmeteropening en $\mu = \psi - \psi_F$

Voor verticale muren is $\gamma_F = 90°$. Men kan dan ook de hoeveelheden tegen pyramide- of kegelvormige torens, koepels e.d. berekenen.

Theorie

De metingen leveren niet slechts γ en ψ, doch ook dV_v. Indien V_v volgt via de I ($I \rightarrow r \rightarrow V_v$), is ook d bekend. Het is meteorologisch interessant de ruimtelijke waterinhoud aan druppels en het ruimtelijke aantal druppels in regens onder verschillende omstandigheden te kennen. Bij dit onderzoek zouden wij zeer gebaat zijn met een instrument, dat ons de druppeldiameter levert. Dit is momenteel in ontwikkeling.

L I T E R A T U U R

1	Levert C.	Some problems concerning the three dimensional location of a rain.	K.N.M.I.-W.R.-59-2
2	Serra L.	Interprétation des mesures pluviométriques. Lois de la pluviosité.	Tome III; Union Géodésique et Géophysique International-Association Internatopnale d'Hydrologie Scientifique- Assemblée Générale de Bruxelles 1951.
3	Serra L.	La mesure correcte des précipitations. Pluviomètre horizontal et pluviomètres inclinés.	La Houlle Blanche No. special A/1953.
4		Beregening van muren. Een literatuurstudie.	Rapp.No. B-56-288 20/4/1956. Nijverheidsorganisatie TNO; Inst. TNO voor bouwmaterialen en bouwconstructies.
5	Poncelet L.	Measurement of rainfall at sea.	W.M.O.-C.M.M. II (10-10-1956) Doc.45.
6	Rose C.W. en Farbrother H.G.	A method of obtaining average bearing and incidence of rainfall.	Quart.Journ. Roy. Met. Soc. <u>86</u> 408 1960.
7	Pers M.R.	De l'influence du relief sur les précipitation en haute-montagne. Premiers résultats expérimentaux de stéréopluviométrie.	La Météorologie <u>10</u> 473 1934
8	Hoppestad S.	Slagregn i Norge.	Norges Byggforsknings-institutt Rapp.nr.13 1955.
9	Lacy R.E.	Observations with a directional raingauge.	Quart.Journ.Roy.Met. Soc. <u>77</u> 233 1951.
10		Directional raingauge observations at Thorntonhall 1951-1955.	Department of scientific and industrial research Building Research Station; Note B 181.
11	Lütschg O.	Der Kugelniederschlagsmesser.	Gerlands Beiträge zur Geophysik <u>50</u> 423 1937.
12	Pers M.R.	Relations entre les données pluviométriques et les precipitations totales recueillies par un bassin.	La Météorologie <u>8</u> 101 1932.