

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT

SCIENTIFIC REPORT

W.R. 83 - 16

Sara H. Muller en André van Londen

Het beoordelen van regenmeters, met als voorbeelden
de Thies-regenmeter en de elektrische KNMI-regenmeter



De Bilt, 1983

Publikatienummer: K.N.M.I. W.R. 83-16 (INSA)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Instrumentele Afdeling,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

U.D.C.: 551.508.77

INHOUD

	<u>Samenvatting</u>	1-2
	<u>Summary</u>	3-4
1.	<u>Inleiding</u>	5
1.1.	De resolutie van regenmeters	6
2.	<u>WMO-eisen</u>	7-8
3.	<u>Thies-regenmeter</u>	9
3.1.	Oorzaken van fouten bij de Thies-regenmeter	10
4.	<u>KNMI-elektrische regenmeter</u>	11
4.1.	Oorzaken van fouten bij de elektrische regenmeter	12
5.	<u>Testprocedures</u>	13
5.1.	Het testen van de Thies-druppelaar	13
5.2.	Het testen van de Thies-kantelbakjes en de KNMI-regenmeter	14
5.3.	Speciale controles	15
6.	<u>Resultaten</u>	16
6.1.	Intensiteitsmeting	17 t/m 25
6.2.	Hoeveelheidsmeting	26 t/m 32
7.	<u>Vervuilingseffecten, onverwachte effecten</u>	33
7.1.	Vervuiling	33
7.1.1.	Druppelaar	33
7.1.2.	Kantelbakjes	33-34
7.1.3.	KNMI-regenmeter	35
7.2.	Onverwachte effecten	35
7.2.1.	Druppelaar	35
8.	<u>Eigenschappen trechters, verdamping</u>	36
8.1.	Thies-regenmeter	36
8.2.	KNMI-regenmeter	36
9.	<u>Conclusies</u>	37
9.1.	Thies-druppelaar	38
9.2.	Thies-kantelbakjes	38
9.3.	KNMI-elektrische regenmeter	39
9.4.	Standaard KNMI-regenmeter met maatglas	40-41
10.	<u>Aanbevelingen</u>	42-43
11.	<u>Literatuur</u>	44
	<u>Appendix</u>	45 t/m 48

Samenvatting

In dit rapport worden de Thies-regenmeter, de elektrische KNMI-regenmeter en de standaard KNMI-regenmeter met elkaar en met de WMO-eisen vergeleken. Vooral de eerste twee instrumenten zijn uitvoerig aan de tand gevoeld.

Het beoordelen van regenmeters blijkt niet eenvoudig te zijn door de verschillende meetprincipes en de grote variatie in regenintensiteiten (0.1 tot 1000 mm/hr). Bovendien sluiten de WMO-eisen niet bij de praktijk aan. Er wordt meer geëist dan gezien bijvoorbeeld de windfout haalbaar is, en de formulering is ten dele onlogisch.

Voor elk van de twee regenvariabelen (hoeveelheid en intensiteit) die met regenmeters bepaald worden, is een grafiek ontwikkeld waarin de prestaties overzichtelijk gepresenteerd kunnen worden. Alleen de regenmeter zelf wordt beoordeeld, zonder te kijken naar windfouten e.d.

Het Thies-druppelsysteem voldoet niet aan de WMO-eisen en is voor hoeveelheidsmetingen slechter dan de KNMI-regenmeters. Dit is een gevolg van het feit dat de druppelgrootte niet constant is bij variatie van de regenintensiteit en mede afhangt van de vervuiling. Voor het meten van heel lage intensiteiten is de druppelaar principiëel een goed systeem (doorstroomsysteem, prima resolutie), maar behalve het aantal druppels zou ook de druppelgrootte bepaald moeten worden.

Het Thies-kantelbakjes systeem voldoet in geen enkel opzicht. Het resultaat is zo sterk afhankelijk van de mate van vervuiling van de bakjes, dat reproduceerbare resultaten uitgesloten zijn. Fouten van 5% zijn heel gewoon. Nog grotere fouten treden bij lage intensiteiten op door de slechte resolutie en bij hoge intensiteiten door het bijvullen van water tijdens het kantelen. Al deze fouten kunnen we bij elk kantelbakjes systeem verwachten. Het gebruik hiervan moet dus afgeraden worden.

De elektrische KNMI-regenmeter met vlotter systeem voldoet in de huidige vorm niet aan de WMO-eisen. Een drietal gebreken is daarvan de oorzaak:

- Na leging van de kamer registreren sommige exemplaren de eerste 0.1 - 0.2 cc niet. Omdat de regenmeter in de praktijk elke dag tweemaal gereset (= met opzet geleegd) wordt, zal deze fout een grote rol spelen op dagen met weinig neerslag. Het is dus beter om de regenmeter zelden te resetten.

- Tijdens het leeglopen vult nog water bij dat meteen weer wegloopt. Door het aanbrengen van een tweede klep om dit water te verzamelen kan deze fout verholpen worden.
- Voor het meten van lage intensiteiten met korte middelingstijden is de regenmeter minder geschikt dan de Thies-druppelaar, de resolutie is onvoldoende. De WMO-eisen worden lang niet gehaald. Vermoedelijk is een verbetering te bereiken door het gebruik van een andere potentiometer, of een geheel andere registratie van de vlotterhoogte.

De standaard KNMI-regenmeter is weliswaar eenvoudig, maar helaas toch niet zonder meer als referentie geschikt. De schaalverdeling van de bijbehorende maatglazen blijkt slecht geijkt te zijn. Bij vergelijkingsproeven zal hiervoor gecorrigeerd moeten worden.

Summary

The Thies-raingauge, the KNMI electrical raingauge and the standard KNMI-raingauge are compared with each other and with the WMO-accuracy-requirements. Especially the first two instruments have been tested in detail.

Judging of raingauges is difficult, because different measuring principles are used and because rain intensity can vary over a wide range (0.1 - 1000 mm/hr). Moreover there is a gap between the WMO-requirements and the accuracy which is attainable in practice. Fundamentally it is not possible to meet the WMO-requirements if wind errors are taken into account and the wording of the requirements is illogical. For each rain variable (amount and intensity) a diagram has been developed in which the performance of the raingauge can be shown clearly. Only the raingauge itself is judged, taking no account of wind errors etc.

The Thies drop-counting system does not meet the WMO-requirements and is worse than the KNMI-raingauges for the measurement of amounts. This is caused by the fact that the dropsize is not constant and dependent on the rain intensity and that the dropsize depends on the cleanliness. Fundamentally the drop-counting method is a good principle to measure very low intensities, it is a flow-through system and it has an excellent resolution.

However not only the number of drops should be counted, but also the size of the drops should be determined.

The Thies tippingbucket system does not give a good performance.

The results are so strongly dependent on the cleanliness of the buckets that reproducible results are out of the question.

Errors of 5% are quite common. Even larger errors occur at low intensities as a result of the bad resolution and at high intensities as a result of water that fills the bucket during tipping. These errors are to be expected in all tipping-bucket-systems. Therefore the use of such a system is not recommended.

The electrical KNMI-raingauge with float in its present form does not meet the WMO-requirements. This is caused by three shortcomings:

- After the float chamber is emptied, some specimens did not register the first 0.1-0.2 mm. This error is significant on days with little rainfall, because in practice the raingauge is reset (i.e. emptied

intentionally) twice daily.

Fundamentally it is better if the raingauge is seldom reset.

- During the 15 seconds in which the chamber empties no volume can be registered. A second valve is proposed to collect this water and to prevent this error.
- This raingauge is not suited to measure low rain intensities with short integration times because the resolution is insufficient. Its performance is worse than the Thies drop-counting system and the WMO-requirements are not met by a long way. Probably an improvement can be achieved by the use of a different potentiometer or a completely different measurement of the float position.

The KNMI-standard-raingauge is simple but it should not be used as a reference without further ado. The graduation of the measuring glass turned out to be calibrated badly. An extra calibration is required if this raingauge is used in comparative measurements.

1. INLEIDING

Het belangrijkste doel van het onderzoek dat in dit verslag gerapporteerd wordt, was het testen van de Thies-regenmeter voor eventueel gebruik op het KNMI. Als toets-criterium zijn in de eerste plaats de WMO-eisen (zie paragraaf 2.) gebruikt. Deze zijn echter wat aan de strenge kant, gezien de grootte van de windfout (Dekker 1979). Daarom werd besloten om ook te vergelijken met de prestaties van de bestaande KNMI-regenmeters, in het bijzonder met de elektrische regenmeter. Omdat deze prestaties niet bekend bleken te zijn, zijn ook deze onderzocht. Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van het onderzoek dat Van Londen en Rietman (1977) reeds aan de Thies-regenmeter deden. Zij hebben vooral bij hoge regenintensiteiten gewerkt, vanaf ~ 10 mm/hr. Juist lage intensiteiten komen vaak voor (zie paragraaf 9.). Het is daarom belangrijk dat de regenmeter ook bij die intensiteiten goede resultaten geeft.

Het resultaat van de vergelijking van de Thies- en de KNMI-regenmeters onderling en met de WMO-eisen is niet eenvoudig weer te geven, doordat de instrumenten op verschillende principes gebaseerd zijn, en hun gedrag op een verschillende manier van de regen-intensiteit afhankelijk is. Door de resultaten in een tweetal zorgvuldig gekozen grafieken (zie paragraaf 6.) uit te zetten, kunnen we de prestaties toch vergelijken.

In dit onderzoek hebben we ons beperkt tot het eigenlijke hart van de regenmeter: het deel van de regenmeter onder de trechter. Om niet al te veel variabelen tegelijk te hebben, negeren we de externe fouten (windfouten, spatfouten, bevochtigingsfouten, problemen met de verwarming van de trechter, enz.). In paragraaf 2. zal de windfout nog even ter sprake komen, terwijl in paragraaf 8. trechter eigenschappen en verdamping kort aan de orde komen. In de literatuur over regenmeters (voor een overzicht zie WMO no. 343, 1973) wordt vrijwel alleen aandacht aan de externe fouten geschonken, terwijl wordt aangenomen dat de regenmeters zelf foutloos registreren. We zullen zien dat deze aanname niet terecht hoeft te zijn.

Met regenmeters worden twee meteorologische variabelen bepaald: de regenhoeveelheid (H) en de intensiteit (I). Voor elke variabele stelt de WMO aparte eisen. De meeste regenmeters bepalen eerst de hoeveelheid, waaruit vervolgens de intensiteit wordt afgeleid. De intensiteit is de tijdsafgeleide van de hoeveelheid en wordt in de praktijk

bepaald uit het gemiddelde over een bepaalde tijd, die per toepassing kan verschillen. De fout in de intensiteit wordt bepaald door de fout in de hoeveelheid. De fout in de hoeveelheid is afhankelijk van de tijd waarover gemiddeld wordt en wordt verder bepaald door een groot aantal andere oorzaken die in paragraaf 3. en 4. voor elke regenmeter afzonderlijk besproken zullen worden. De verschillende testprocedures worden in paragraaf 5. beschreven. In paragraaf 6. zal wat dieper worden ingegaan op de combinatie van de verschillende soorten fouten, en worden aan de hand van standaardgrafieken de prestaties van de regenmeters onder schone laboratoriumcondities vergeleken. De gevolgen van vervuiling en onverwachte effecten worden in paragraaf 7. samengevat. In paragraaf 9. en 10. worden de resultaten besproken en conclusies en aanbevelingen gegeven.

1.1. De resolutie van regenmeters

Om regenintensiteiten gedurende korte tijdsintervallen nauwkeurig te kunnen meten, moet een regenmeter een hoge resolutie hebben. Dat wil zeggen dat de aanwijzing al verandert bij het toevoegen van heel weinig water.

Omdat water een grote cohesie heeft, vormt het erg graag druppels. Het water dat in de trechter gevangen wordt, verzamelt zich daardoor eerst in druppels alvorens uit de trechter verder de regenmeter in te lopen. De grootte van deze druppels, die afhangt van de eigenschappen van trechter en trechteruitgang (vorm, oppervlaktetoestand, etc.), vormt een fundamentele begrenzing van de maximale resolutie. Een mooi voorbeeld hiervan vinden we bij Plank en Berthel(1983).

Fouten die een gevolg zijn van de onzekerheid die ontstaat door het verzamelen van een zekere hoeveelheid water, vallen onder de fouten door "beperkte resolutie". Een andere oorzaak van fouten door beperkte resolutie kan zich in de elektrische registratie bevinden. Wanneer bijvoorbeeld een instrument met draadgewonden potentiometer gebruikt wordt, kan het signaal slechts in stapjes veranderen. Om de resolutie te verhogen zouden we de draadgewonden potentiometer bijvoorbeeld moeten vervangen door een opgedampte. We moeten ons echter realiseren dat we aan de registratie van het instrument niet zonder meer kunnen zien waardoor de stapjes veroorzaakt worden. Wellicht werden de stapjes al veroorzaakt door het binnen rollen van druppels, en hebben we bij de gekozen trechter de maximale resolutie bereikt. Vervangen van de potentiometer heeft dan geen zin.

2. WMO-EISEN

De eisen die de World Meteorological Organization aan meteorologische metingen stelt zijn te vinden in de CIMO-guide (Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices). Voor regenmeting worden zowel eisen aan de hoeveelheids- als aan de intensiteits-meting gesteld. In Tabel 1 zijn de eisen uit de gids overgenomen. Soms zijn wel en soms zijn geen plus of min (+)tekens opgenomen. De betekenis hiervan is onduidelijk. Wij hebben de eisen opgevat alsof overal een \pm teken stond. Wanneer we de relatieve fouten in grafiek uitzetten, krijgen we figuur 3 en figuur 20. Deze eisen gelden voor de totale meting en lijken wat erg streng als we bedenken dat de windfout wel 5% kan zijn bij intensiteiten vanaf 1 mm/hr, en bij motregen nog groter (zie b.v. Dekker, 1979). Het is dus niet onredelijk om onder laboratoriumcondities niet nog strengere eisen te stellen, maar rechtstreeks met de WMO-eisen te vergelijken.

Enige extra aandacht verdient de WMO-eis voor de intensiteitsmeting in synoptische toepassingen. We zien in figuur 3 (blz. 17) heel duidelijk dat de formulering in tabel 1 tot een merkwaardige grafiek leidt. Voor praktische vergelijkingen hebben we eigenlijk een wat vloeiender curve (zoals de klimatologische eis) nodig, en bij de vergelijkingen zullen we dan ook vooral de gestippelde curves uit figuur 3 in gedachten houden.

De CIMO-guide geeft niet alleen eisen voor de nauwkeurigheid, maar ook voor de middelingstijden: 10 minuten voor synoptische en 1 minuut voor klimatologische intensiteitsmetingen. Er wordt geen sommatietijd opgegeven voor de hoeveelheidsmetingen.

Wanneer we goed naar deze eisen kijken, zien we dat een regenmeter die aan de intensiteitseisen voldoet niet automatisch aan de hoeveelheidseisen zal voldoen, en omgekeerd evenmin.

TABEL 1. WMO-eisen (CIMO-guide, Annex 1A, tabel 2)

Hoeveelheid

Synoptisch	± 0.2 mm tot 10 mm; $\pm 2\%$ daarboven
Klimatologisch	0.1 mm tot 10 mm; 2% daarboven

Intensiteit

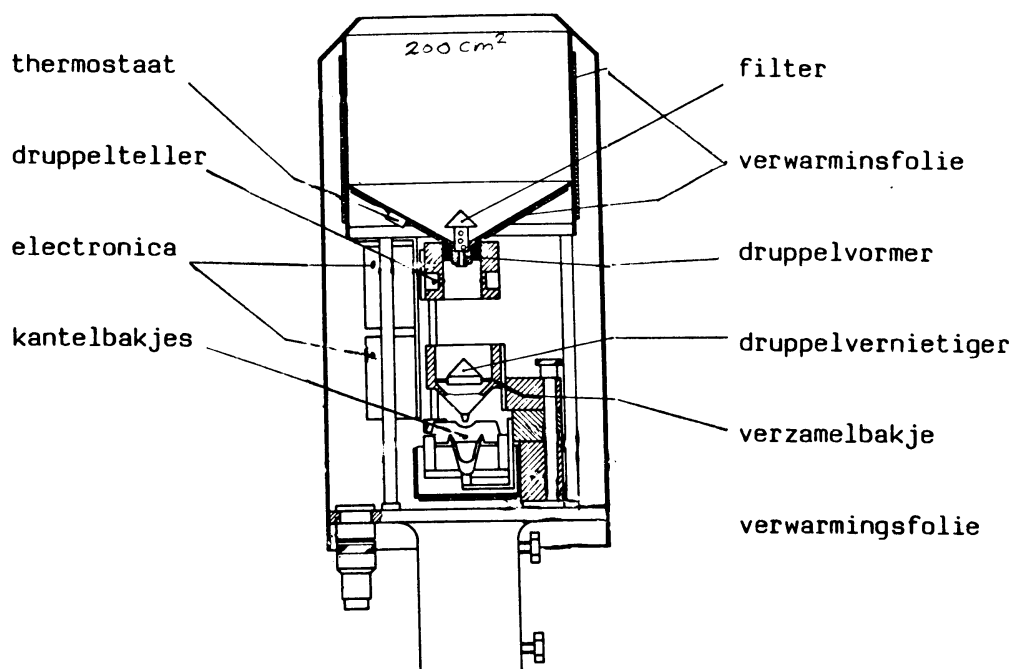
Synoptisch:	gemiddelde over 10 min.: ± 0.02 mm/hr tot 2 mm/hr
	± 0.2 mm/hr tussen 2 en 10 mm/hr
	$\pm 2\%$ boven 10 mm/hr
Klimatologisch:	gemiddelde over 1 min.: ± 0.5 mm/hr tot 25 mm/hr
	2% daarboven

3. THIES-REGENMETER

De Thies-regenmeter bepaalt de regenhoeveelheid op twee manieren. Allereerst wordt het water door een speciaal gevormd gat gevoerd, dat druppels van precies 0.1 gram moet vormen. Deze druppels worden "vernietigd" en naar een systeem van kantelbakjes gevoerd (fig. 1 en 32). Zowel de druppels als het aantal kantelingen worden met behulp van een lichtbron + fotocel geteld. Het druppelsysteem is bedoeld voor lage intensiteiten; bij hoge intensiteiten ontstaat een straal. De kantelbakjes zijn juist voor hoge intensiteiten bedoeld, bij lage intensiteiten is de resolutie van de kantelbakjes onvoldoende.

De Thies-regenmeter is al eerder op het KNMI getest (Van Londen en Rietman, 1977), maar alleen bij hoge intensiteiten ($I \gtrsim 10$ mm/hr). Daarbij werd in het bijzonder de niet-lineaire fout onderzocht die ontstaat omdat nog water in de kantelbakjes bijvult tijdens het kantelen. Hiervan wordt uitgebreid verslag gedaan door Rietman (1978). Het huidige onderzoek is vooral gericht op de lage intensiteiten vanaf 0.3 mm/hr. Bij hoge intensiteiten werden slechts weinig experimenten gedaan. De resultaten stemden steeds overeen met de ervaringen in 1977. Enkele verschijnselen van niet-reproduceerbaarheid die ook al door Van Londen en Rietman genoemd werden worden nu beter begrepen (paragraaf 7.).

Figuur 1. Schema Thies-regenmeter



Specificaties zoals opgegeven door Thies:

nauwkeurigheid druppelaar 3% voor $I < 72$ mm/hr, max. 120 mm/hr

nauwkeurigheid bakjes 3% voor $I < 240$ mm/hr, max. 840 mm/hr.

Deze nauwkeurigheden zijn gebaseerd op druppels van 0.1 gram en bakjes van 2 gram.

Thies levert ook enkele ijkgrafieken, waarop de reeds genoemde niet-lineaire fout voor de bakjes te zien is.

Er werden twee regenmeters van dit type getest: het exemplaar dat zes jaar geleden gekocht was en een nieuw exemplaar (op zicht) dat verbeterd zou zijn. De resultaten bleken niet te verschillen, terwijl aan de essentiële componenten, de bakjes en de druppelvormers, eigenlijk geen verschillen te onderscheiden waren, aan de laatsten zelfs niet onder de microscoop.

3.1. Oorzaken van fouten bij de Thies-regenmeter

A. Druppelaar

- A1 De druppelgrootte is intensiteitsafhankelijk; uit de experimenten bleek dat dit een grote systematische fout met een betrekkelijk kleine spreiding is.
- A2 De druppelgrootte is afhankelijk van de mate van vervuiling (paragraaf 7.1.).
- A3 Druppels schieten soms door en hebben dan een geheel afwijkende grootte (fouten tot 30%) (Zie paragraaf 7.2.).
- A4 Beperkte resolutie door eindige afmetingen druppels (Zie paragraaf 1.1.). Deze fout blijkt niet belangrijk te zijn. Druppels van 0.1 gram zijn klein genoeg voor de WMO-eisen.

B. Kantelbakjes

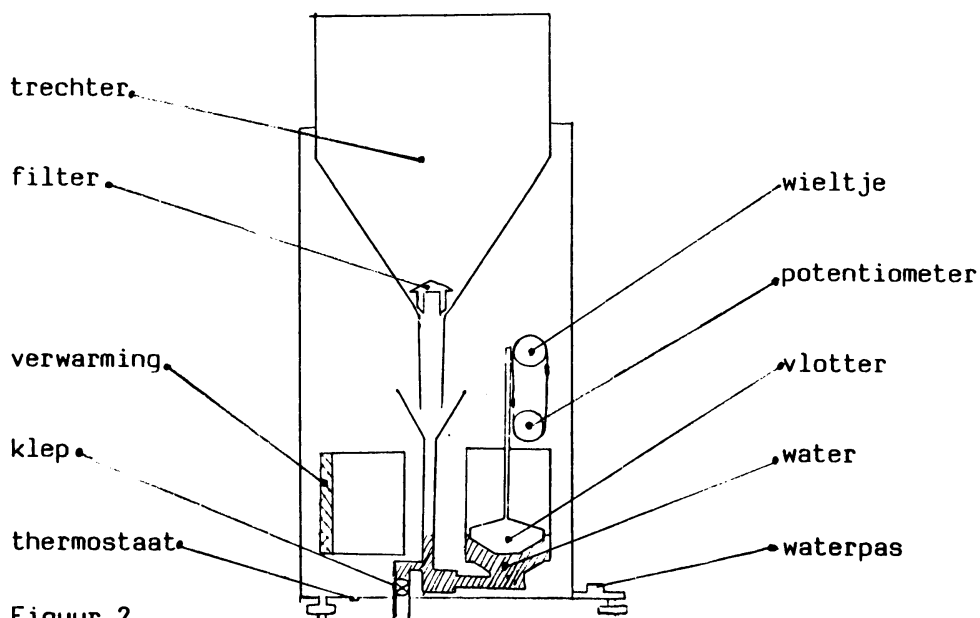
- B1 Inhoud bakje is intensiteitsafhankelijk (Van Londen en Rietman 1977, Rietman 1978).
- B2 Inhoud bakje is vervuilingsafhankelijk. Dit is een vrij grote fout die vrijwel onvermijdelijk blijkt te zijn (paragraaf 7.).
- B3 Beperkte resolutie (een bakje kiept pas bij 2 gram) bij middeling over korte tijden.
- B4 Verdampingsfout. Deze fout zal klein zijn ten opzichte van de andere fouten (Van Londen en Rietman 1977).

4. KNMI-ELEKTRISCHE REGENMETER

Deze regenmeter is gebaseerd op het vlotter principe (zie figuur 2.). Het water wordt verzameld in een kamer, waarin het niveau gemeten wordt door een vlotter. De verplaatsing van de vlotter wordt overgebracht op een potentiometer. De afgetakte spanning varieert tussen ongeveer 0 en 10 volt. Wanneer de instelbare bovengrens overschreden wordt, wordt een klep geopend en loopt de kamer leeg. Zodra de spanning een negatieve waarde krijgt gaat de klep dicht. Het leeglopen duurt 15 seconden. Er is een reset-knop waarmee de kamer naar wens geleegd kan worden.

Totale specificaties van de KNMI-regenmeter zijn niet bekend. De elektrische specificaties zijn te vinden in de documentatie-map Elek. Regenmeter.

De lineariteit van de potentiometer, evenals de nauwkeurigheid van de omschakelpunten is beter dan 0,5%. Standaard afregeling en ijking geschiedt door het instellen van de bovengrens op leeglopen na 400 cc water. Verder wordt dan nog gecontroleerd door het registreren van de spanning na 200 cc. Wanneer de regenmeter in de praktijk in gebruik is, wordt deze elke dag tweemaal gereset.



Schematische tekening elektrische KNMI-regenmeter (naar tekening 02-1-050)

Er werden vijf exemplaren getest, waarvan er drie pas gereviseerd waren. Twee exemplaren hadden net ruim een jaar buiten gestaan. Deze exemplaren waren merkwaardig genoeg het beste, fout 3 uit paragraaf 4.1. was vrijwel afwezig. Verder kwamen de resultaten goed overeen.

4.1. Oorzaken van fouten bij de elektrische regenmeter.

1. Het totaal volume kan onjuist zijn. Bij de pas gereviseerde regenmeters bleken de afwijkingen kleiner dan 1% te zijn.
2. Beperkte resolutie door eigenschappen van de potentiometer (draadgewonden), of wrijving of de manier waarop de druppels naar binnen lopen (zie paragraaf 1.1.). De grootste stapjes waren 1.5 cc (\approx 0.04 mm regen), maar meestal waren ze wat kleiner (0.5 à 1 cc).
3. Aan het begin of aan het eind van één vulling wordt een kleine hoeveelheid water niet geregistreerd. Alle pas gereviseerde regenmeters bleken direct na leging de eerste 4 tot 8 cc (0.1 - 0.2 mm) niet te registreren. Omdat dit onderzoek niet gericht was op het verbeteren van de KNMI-regenmeter, is niet gezocht naar de oorzaak. Wellicht is het voldoende om bij het afregelen op deze fout te letten (controle met injectiespuit). Vlak voor leging wordt slechts 1 cc niet geregistreerd. Omdat de omslag wel bij het juiste totaalvolume geschiedt, wordt deze fout gecompenseerd door een 1 à 2 % foute helling tussen 4-8 en 399 cc. Wanneer regenhoeveelheden bepaald worden tussen twee legingen, is de fout dus maximaal 2%. Treedt er echter een leging op of wordt de meter gereset (! elke dag tweemaal !) dan is de absolute fout 0.1 à 0.2 mm en kan de relatieve fout heel groot zijn. Deze fout is natuurlijk systematisch negatief.
4. Tijdens het leeglopen wordt nog water toegevoegd. Deze fout treedt alleen op bij hoge intensiteiten en het effect hiervan is niet gemeten maar berekend met behulp van het gegeven dat de leeglooptijd 15 seconde is. We hebben de vereenvoudigde aanname gedaan dat de leegloopsnelheid veel groter is dan de bijvulsnelheid. Dit is juist tot ongeveer 500 mm/hr. Een nette beschrijving van deze fout bij vlotterssystemen is te vinden bij Rietman (1978).
5. Verdampingsfout. De verdamping blijkt zeer gering te zijn; bij een relatieve vochtigheid van de omgeving van ongeveer 20% verdamt in één week minder dan 1 cc (0.025 mm).

5. Testprocedures

Het testen van een regenmeter komt in principe neer op het met verschillende snelheden toevoeren van een nauwkeurig bekende hoeveelheid water. Hoewel dit eenvoudig klinkt, ontmoeten we een groot aantal praktische problemen als we een nauwkeurigheid van 1% willen halen. Deze problemen kunnen we in twee soorten verdelen: problemen die samenhangen met het nabootsen van verschillende regenintensiteiten (A) en problemen bij het nauwkeurig bepalen van de hoeveelheid water die werkelijk in de regenmeter belandt (B).

- A. Regenintensiteiten kunnen van heel klein (motregen, ~ 0.1 mm/hr) tot heel groot (tropische stortbui, ~ 1000 mm/hr) variëren. Met variabele slangenpompen kunnen snelheden tot 100 mm/hr verkregen worden. Een tweetal methodes voor het produceren van hogere intensiteiten zijn door Van Londen en Rietman beschreven.
- B. Het afmeten van een hoeveelheid water kan door weging zeer nauwkeurig geschieden. We moeten er echter zeker van zijn dat alle water inderdaad in de regenmeter terecht komt, en bijvoorbeeld niet in de trechter blijft hangen. Afhankelijk van het principe van de regenmeter kunnen we soms het water na passage weer opvangen, waarbij we op moeten passen voor spatten en er natuurlijk geen restje water achter mag kunnen blijven. Bij lage intensiteiten kan de verdamping een rol spelen.

Vooraf de fouten die onder B genoemd worden zijn moeilijk te bestrijden. Omdat de regenmeters op verschillende principes gebaseerd zijn, is er geen standaard oplossing. We zullen nu een gedetailleerde beschrijving geven van de door ons gevolgde testmethodes.

5.1. Het testen van de Thies-druppelaar

Bij de Thies-druppelaar is het mogelijk om het water na meting weer te verzamelen: we kunnen de druppels weer opvangen. De druppels werden opgevangen in plastic bekertjes, waarbij diverse maatregelen genomen waren om spatten en verdampen te voorkomen. De bovenzijde was afgesloten met aluminiumfolie met een klein gat (diameter ~ 10 mm) in het midden om de druppels door te laten. Zowel spatten als verdampen werden hierdoor tegengegaan. Het spatten werd verder beperkt door een kegel (tophoek $\sim 45^\circ$) van aluminiumfolie die op de bodem van het bekertje stond.

Uit het verschil in gewicht tussen het gevulde en het lege bekertje (met toebehoren) werd de gemeten hoeveelheid water bepaald. Bij intensiteiten tussen 1 en 100 mm/hr is de nauwkeurigheid beter dan 0.5%. Bij lagere snelheden gaat de verdamping toch een rol spelen, zelfs als de luchtvochtigheid zo hoog mogelijk (~50 à 60% RV) gehouden werd. Van een identiek bekertje dat voor de proef gevuld werd, werd het gewichtsverlies tijdens de proef bepaald. De gevonden waarde diende als correctie voor de meting. De grootte van de correctie was 1% van de gemeten hoeveelheid water bij 0.6 mm/hr. Bij 0.3 mm/hr was de correctie 2%.

Gecorrigeerd voor de verdamping is de nauwkeurigheid in de bepaling van de hoeveelheid water beter dan 1% bij intensiteiten van 0.3 tot 1 mm/hr.

We kunnen de hoeveelheid water ook vóór toevoer aan de regenmeter bepalen. Een praktische methode hiervoor is het leegzuigen van een buret met een slangenpomp. Bij snelheden tot 50 mm/hr kan hiervoor een 50 cc buret gebruikt worden, tussen 50 en 100 mm/hr een 200 cc buret. Door weging werd de reproduceerbaarheid en nauwkeurigheid van deze methode getest. Bij zorgvuldig aflezen van de buret blijkt de nauwkeurigheid bij de 50 cc buret beter dan 0.5% te zijn. Voor de 200 cc buret is deze beter dan 1%.

Wanneer de hoeveelheid water zowel voor als na meting bepaald werd, blijken de resultaten binnen de hierboven gegeven nauwkeurigheden gelijk te zijn.

De Thies-druppelaar is niet bij hogere intensiteiten dan 100 mm/hr getest. Dit was niet zinvol, omdat al bij 50 mm/hr de druppels in een straal beginnen over te gaan en de meetfout zeer groot wordt.

5.2. Het testen van de Thies-kantelbakjes en de KNMI-regenmeter

Bij deze systemen is het niet mogelijk om op reproduceerbare wijze het water na de regenmeter op te vangen. We moeten dus een bekende hoeveelheid water toevoeren, waarbij we de regenmeter eerst bevochtigen, zodat geen water onderweg achterblijft. Bij snelheden tot 100 mm/hr werden hiervoor buretten met slangenpompen gebruikt zoals in par. 5.1. beschreven is. Bij hogere snelheden zouden we gebruik kunnen maken van de methodes die door Van Londen en Rietman geschreven zijn.

De Thies-kantelbakjes zijn door hen op deze wijze reeds zorgvuldig getest tot 800 mm/hr. Wij hebben slechts globale controles uitgevoerd door het rechtstreeks leeg laten lopen van een 200 cc buret met meer of minder gekneperkraan. Bij interpretatie van de metingen werd rekening gehouden met het vertragen van de leegloopsnelheid als de buret leger wordt. Hierbij bleek dat het verzamelbakje van Thies (zie fig. 1) bij snelheden boven 600 mm/hr over gaat lopen.

Bij de KNMI-regenmeter is de fout bij hoge intensiteiten voornamelijk een gevolg van de leeglooptijd en kan door berekening bepaald worden. Wel werd geconstateerd dat zelfs boven 500 mm/hr de vlotter nog gelijkmatig en rustig stijgt.

5.3. Speciale controles

Bij de kantelbakjes is uitgebreid onderzoek gedaan naar de invloed van vervuiling op het omslagpunt (zie par. 7.1.2.). Hierbij bestond behoefte aan een snelle methode om de inhoud van één bakje te bepalen, dus niet uit het gemiddelde van een groot aantal kantelingen. Daarom werd met een gecalibreerde injectiespuit rechtstreeks water in het bakje gespoten. Wederom door weging werd de nauwkeurigheid van deze methode vastgesteld. Met 3% was deze voor het doel voldoende. Bij de KNMI-regenmeter zijn we speciaal ook geïnteresseerd in het leegloop volume dat precies 400 cc hoort te bedragen. Door het ingieten van een nauwkeurig gewogen hoeveelheid water kan dit met een precisie van 0.5% gecontroleerd worden.

6. RESULTATEN

Zoals al in de inleiding gezegd is, levert het op overzichtelijke wijze presenteren van de resultaten problemen op. De quantitative gegevens over de fouten zijn verzameld in de Appendix. Hierbij zijn de fouten zo veel mogelijk opgesplitst naar hun oorzaken zoals die in paragraaf 3 en 4 besproken zijn. Ten dele zijn de fouten door meting bepaald, maar de grootte van fouten die een gevolg zijn van een beperkte resolutie of middelingstijd zijn berekend.

Alle fouten zijn uitgedrukt als relatieve fouten. De relatieve fout in de hoeveelheidsmeting, dH/H , is rechtstreeks bepaald. De intensiteit wordt berekend als quotient van hoeveelheid en middelingstijd: $I = H/t_m$. De relatieve fout in de intensiteit dI/I is dan $\sqrt{(dH/H)^2 + (dt/t_m)^2}$. We nemen echter aan dat de fout in de tijdmeting zeer klein is waardoor geldt $dI/I = dH/H$.

Er is onderscheid gemaakt tussen systematische en toevallige componenten. Meestal blijkt er sprake te zijn van één overheersende systematische fout. De spreiding hierbij is berekend uit de verschillende toevallige fouten door het trekken van de wortel van de som van de kwadraten.

Om de getallen uit de Appendix beter toegankelijk te maken zijn ze uitgezet in grafieken, één voor de intensiteitsmeting en één voor de hoeveelheidsmeting.

We willen de metingen in eerste instantie vergelijken met de WMO-eisen. Deze geven dI/I als functie van I en dH/H als functie van H . Omdat dH/H in de praktijk van I afhangt, wordt de grafiek voor dH/H tegen H ingewikkeld; deze moet voor elke intensiteit apart getekend worden. Dit probleem geldt niet voor de grafiek van $dI/I (=dH/H!)$ tegen I . Wanneer we de vereenvoudiging maken dat de intensiteiten over de volledige middelperiode constant is, kunnen we deze laatste grafiek eenvoudig tekenen. We zullen dan ook beginnen met de grafiek van dI/I tegen I .

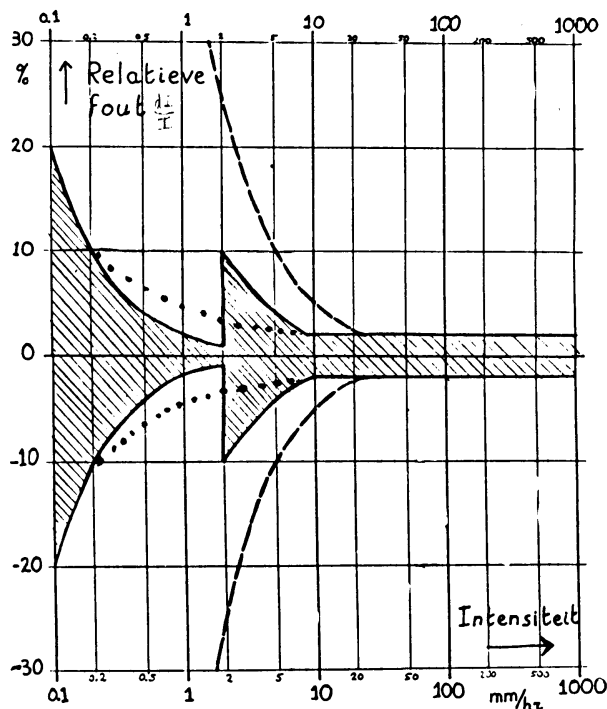
Bij interpretatie moeten we ons goed realiseren dat deze grafieken alleen onder tamelijk ideale omstandigheden gelden. Niet alleen omdat we uitgaan van een constante intensiteit over de volledige middelingstijd (zodat de intensiteits-afhankelijke fouten niet "uitsmeren" over een groter gebied) maar vooral omdat we de gevolgen van vervuilingseffecten die bij de Thies-systemen van groot belang zijn (pa-

grafaaf 7.) in deze grafieken niet meegenomen hebben.

Behalve grafieken met de totale fout, zullen we ook grafieken presenteren waarin voor de systematische fout gecorrigeerd is. Weliswaar is dit in theorie meestal mogelijk, maar in de praktijk niet eenvoudig, zodat we niet te veel waarde aan deze gecorrigeerde grafieken mogen hechten.

6.1. Intensiteitsmeting

We zullen bij de intensiteitsgrafieken drie middelingstijden gebruiken: één uur (klein effect van resolutiefouten), 10 minuten ter vergelijking met de synoptische WMO-eis en 1 minuut ter vergelijking met de klimatologische WMO-eis. We hebben aangenomen dat het gedurende de volledige periode met constante snelheid regent. Hierdoor "smeren" intensiteitsafhankelijke fouten niet uit. Zolang we naar de grafieken met korte middelingstijden kijken, hebben we weinig te maken met de aanname van constante intensiteit.



Dit is de basisgrafiek voor de vergelijking van intensiteitsmetingen. De relatieve fout in de intensiteit wordt gegeven als functie van de intensiteit. De intensiteit kan variëren van motregen (0.1 mm/hr) tot stortregen (1000 mm/hr). Voor synoptische waarnemingen wordt geëist (Tabel 1) dat de fout in het gearceerde gebied, begrensd door de getrokken lijn, ligt. Voor praktische vergelijkingen is echter de stippe lijn handiger. Voor klimatologische metingen moet de fout tussen de gestreepte lijnen liggen. De begrenzingen van het synoptische en het klimatologische gebied zullen in alle volgende figuren herhaald worden.

Fig. 3. Intensiteit; WMO-eisen.

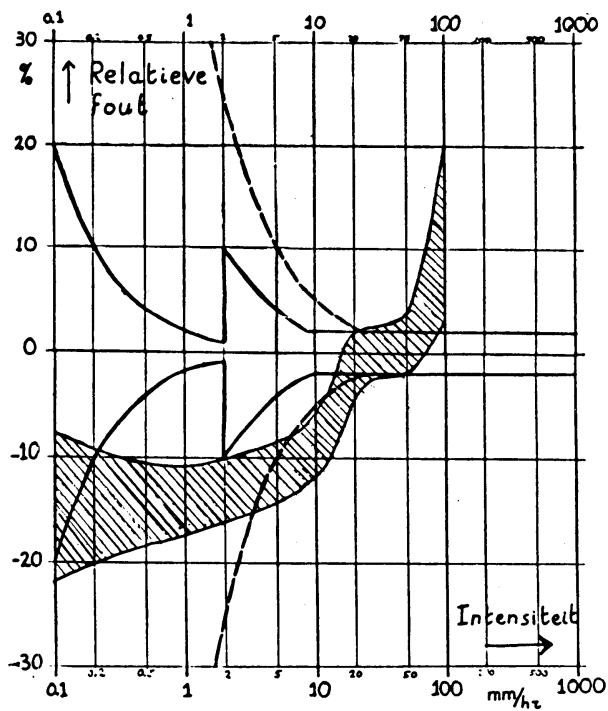


Fig. 4. Thies-druppelaar, gemiddeld over één uur.

De fout die we met de druppelaar maken ligt in het gearceerde gebied wanneer we aannemen dat elke druppel 0.1 gram weegt. Boven 50 mm/hr neemt de grootte van de fout snel toe omdat zich een straal vormt. Slechts tussen 20 en 50 mm/hr voldoet de grafiek aan de WMO-eisen en aan de opgave van de fabrikant (par. 3). Er is over één uur gemiddeld; zelfs bij slechts 0.1 mm/hr zijn in een uur dan al 19 ± 1 druppels geteld, zodat de fout die ontstaat door de beperkte resolutie klein is.

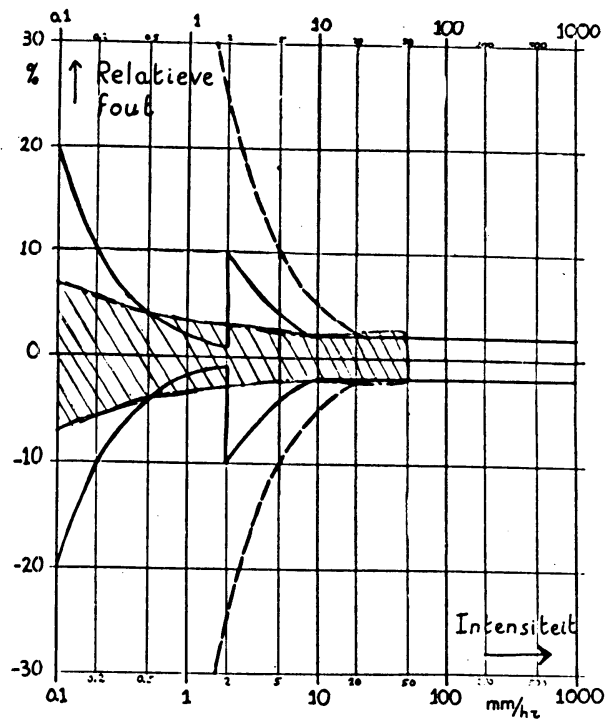
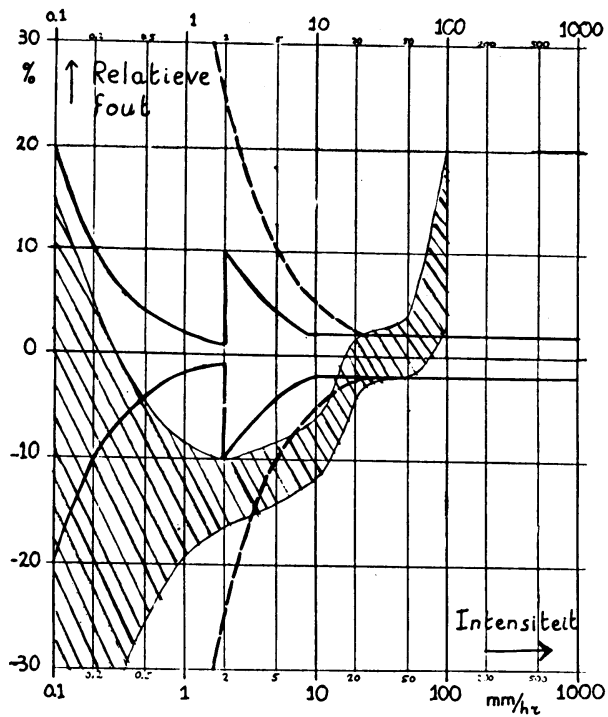


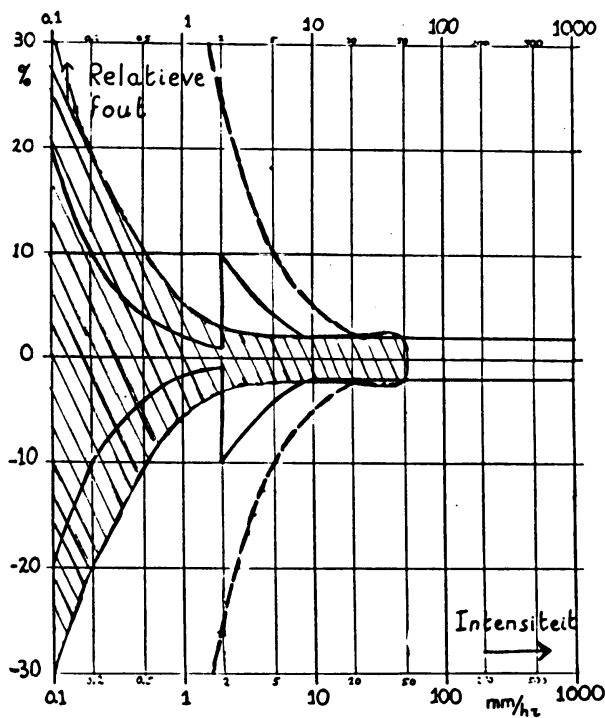
Fig. 5. Thies-druppelaar, gecorrigeerd, gemiddeld over één uur.

Wanneer we voor de systematische fout in de druppelgrootte corrigeren (tot 50 mm/hr) ziet het resultaat er veel acceptabeler uit. We mogen deze grafiek echter nog niet volledig met de WMO-eisen vergelijken. Daarvoor moeten we over kortere tijden middelen. Blijf steeds bedenken dat deze correctie niet eenvoudig is en dat deze grafieken alleen voor schone laboratoriumcondities gelden; sterke vervuiling leidt tot veel grotere fouten (par. 7).



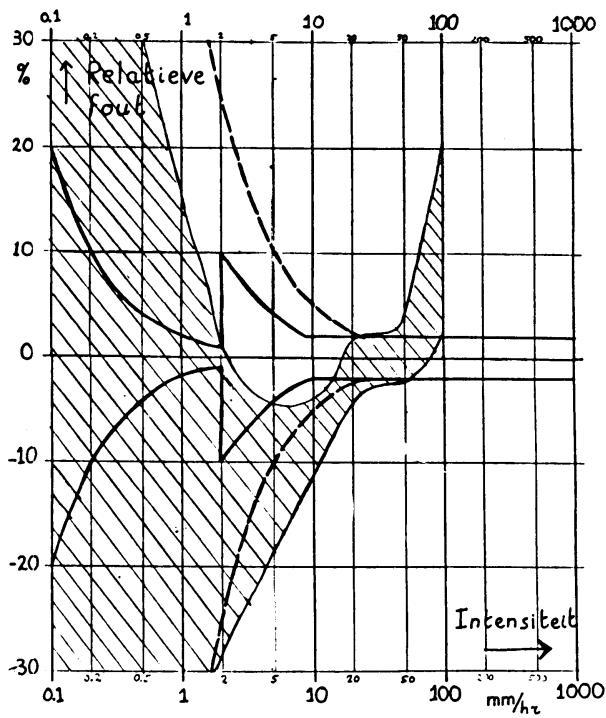
In deze grafiek hebben we over 10 minuten gemiddeld en we mogen met de synoptische WMO-eis (getrokken lijn) vergelijken. We zien dat het gearceerde gebied, vooral door de systematische fout, ver buiten het synoptische gebied valt (zie ook Fig. 3).

Fig. 6. Thies-druppelaar, gemiddeld over 10 minuten.



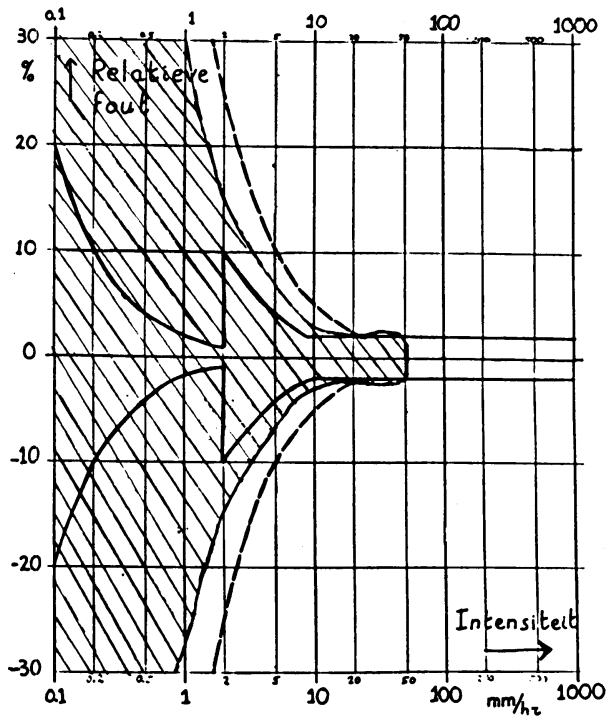
Wanneer we weer corrigeren voor de systematische fout, is de overeenkomst met de synoptische curve lang niet slecht, althans zolang de druppelvormer schoon is.

Fig. 7. Thies-druppelaar, gecorrigeerd, gemiddeld over 10 minuten.



De klimatologie schrijft middeling over één minuut voor. Daarom ontstaan bij lage intensiteiten grote fouten door de beperkte resolutie. Ondanks de systematische fout ligt het gearceerde gebied toch al aardig binnen de klimatologische eis.

Fig. 8. Thies-druppelaar, gemiddeld over één minuut.



Wanneer we voor de systematische fout in de druppelgrootte corrigeren, voldoet de Thies-druppelaar in schone toestand keurig aan de klimatologische WMO-eis voor intensiteiten tot 50 mm/hr.

Fig. 9. Thies-druppelaar, gecorrigeerd, gemiddeld over één minuut.

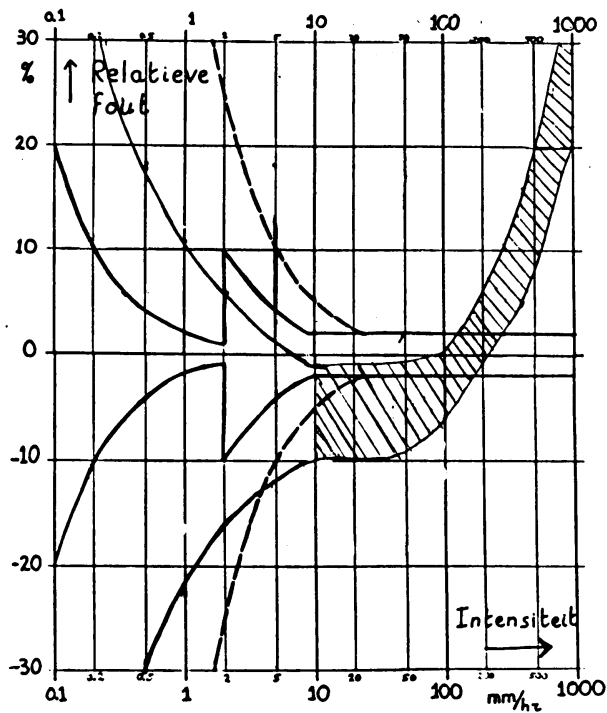


Fig. 10. Thies-kantelbakjes, gemiddeld over één uur.

Wanneer we over één uur middelen, krijgen we de hiernaast geschetste fout met de kantelbakjes, als we aannemen dat elk bakje 2 gram weegt. Metingen zijn alleen in het gearceerde gebied boven 10 mm/hr verricht; bij lagere intensiteiten is de berekende fout uitgezet die het resultaat is van een resolutie van 2 gram. Bij hoge intensiteiten is duidelijk de fout te zien die ontstaat doordat ook tijdens het kantelen nog water bijvult (Van Londen en Rietman 1977, Rietman 1978), en doordat het verzamelbakje overloopt buiten de kantelbakjes om.

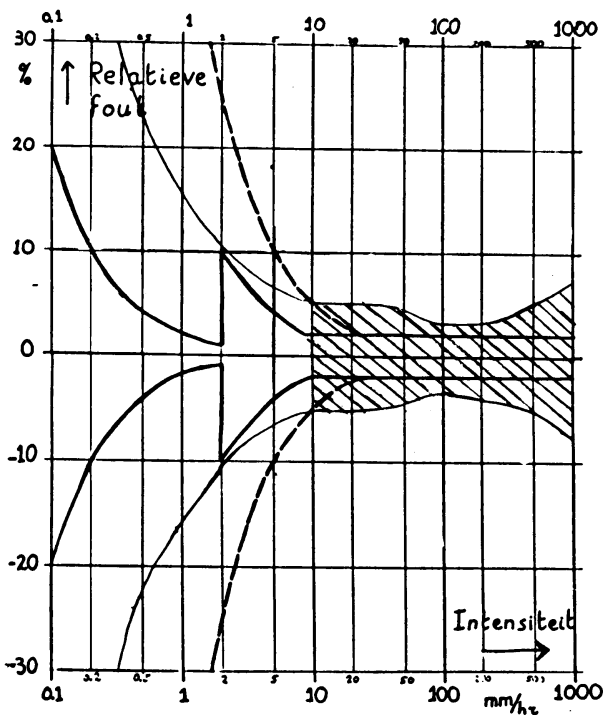
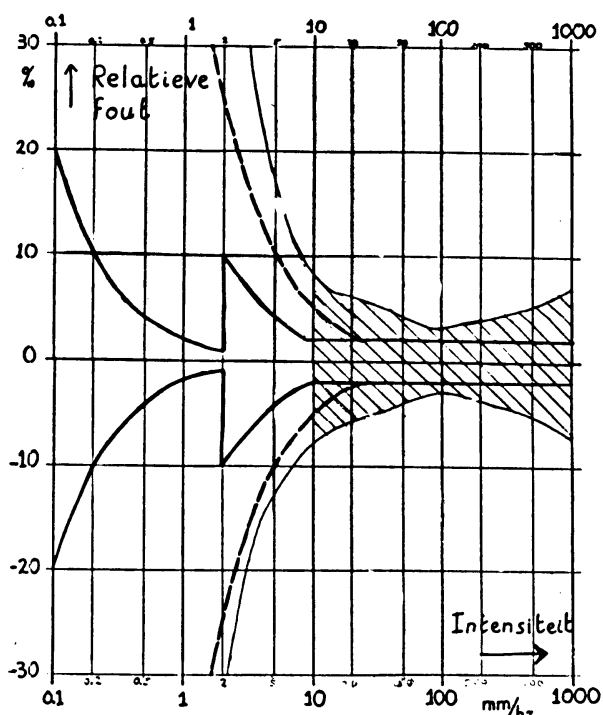


Fig. 11. Thies-kantelbakjes, gecorrigeerd, gemiddeld over één uur.

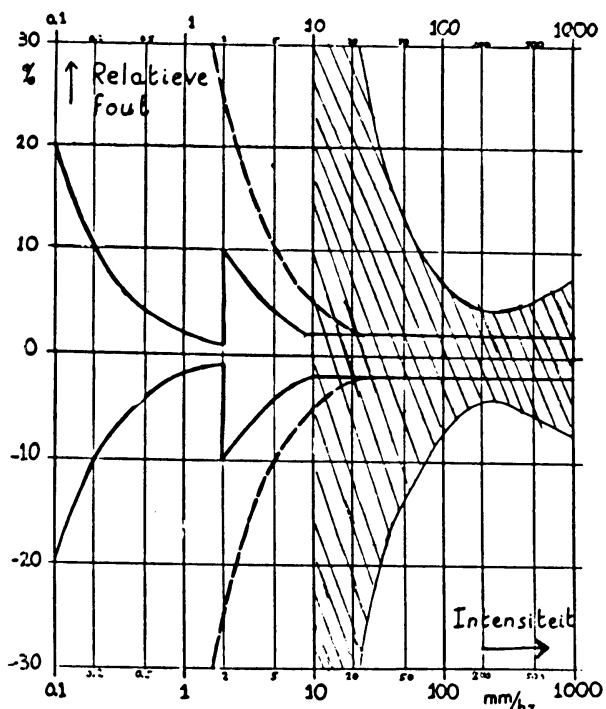
Wanneer we corrigeren voor de systematische fout krijgen we dit resultaat. De spreiding blijkt nogal groot te zijn. Vergelijking met de WMO-eis zullen we in de volgende grafieken maken, waar over kortere tijden gemiddeld wordt.

N.B. Bij hoge intensiteiten (boven 200 mm/hr) werden slechts weinig metingen gedaan. De spreiding is daarom slechts een ruwe schatting.



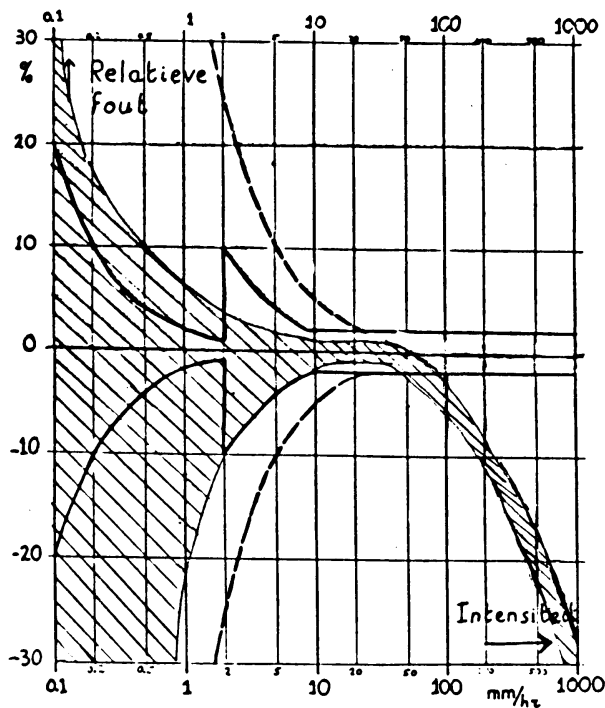
In deze figuur is het resultaat met de kantelbakjes weergegeven bij middeling over 10 minuten en gecorrigeerd voor de systematische fout. We moeten hier vergelijken met de synoptische eis (getrokken lijn) en we zien dat deze eis tot 10 mm/hr zeer ver overschreden wordt door de te beperkte resolutie. Maar ook boven 10 mm/hr is het gearceerde gebied duidelijk te wijd. Verder is ook hier geen rekening gehouden met vervuilingseffecten (par. 7), die het resultaat nog beduidend slechter kunnen maken.

Fig. 12. Thies-kantelbakjes, gecorrigeerd, gemiddeld over 10 minuten



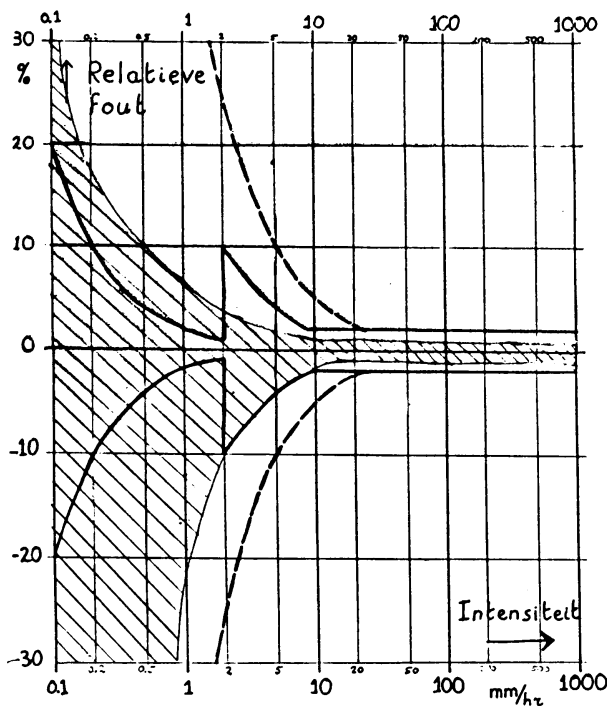
Bij middeling over één minuut is een resolutie van 2 gram ($\hat{=}$ 0.1 mm) echt onvoldoende. De grenzen van de klimatologische eis worden ver overschreden.

Fig. 13. Thies-kantelbakjes, gecorrigeerd, gemiddeld over één minuut



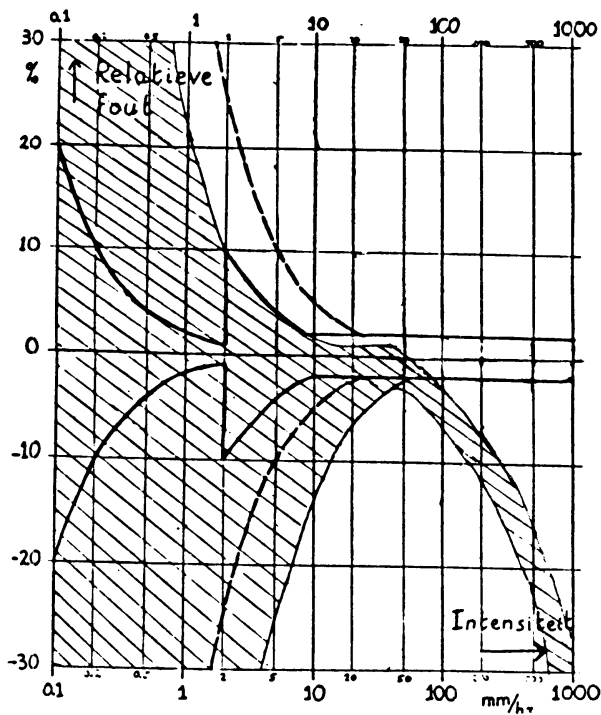
Wanneer we de metingen met de KNMI elektrische regenmeter over één uur middelen, krijgen we dit resultaat. Voor de positieve fouten is de gemeten resolutie van 1.5 cc ($\hat{=} 0.04$ mm) gebruikt. Voor de negatieve fouten wordt het effect van het niet registreren van de eerste 4-8 cc direct na leging getoond; de grafiek is daar gebaseerd op een resolutie van 6 cc ($\hat{=} 0.15$ mm). Boven 50 mm/hr zien we het effect van de watertoevoer tijdens de 15 seconden leeglooptijd.

Fig. 14. KNMI regenmeter, gemiddeld over één uur.



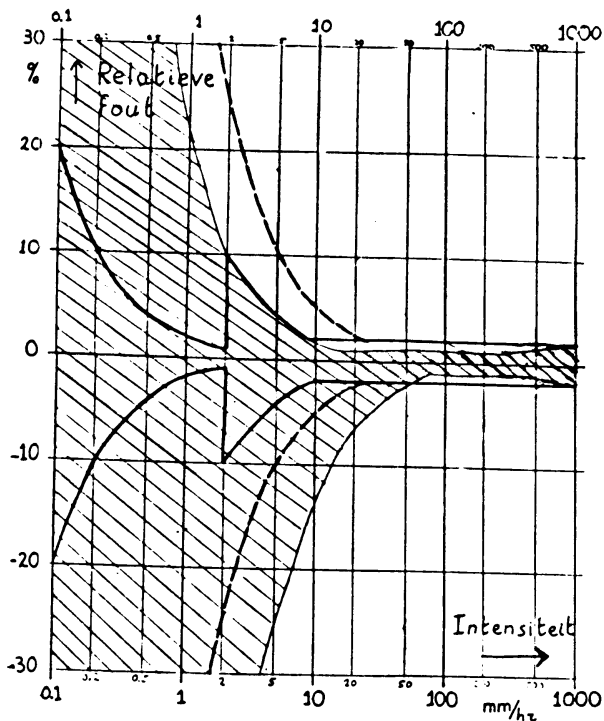
Hier is gecorrigeerd voor de systematische fout die het leeglopen veroorzaakt. Omdat over één uur gemiddeld is, mogen we niet met de WMO-eisen vergelijken.

Fig. 15. KNMI regenmeter, gecorrigeerd, gemiddeld over één uur.



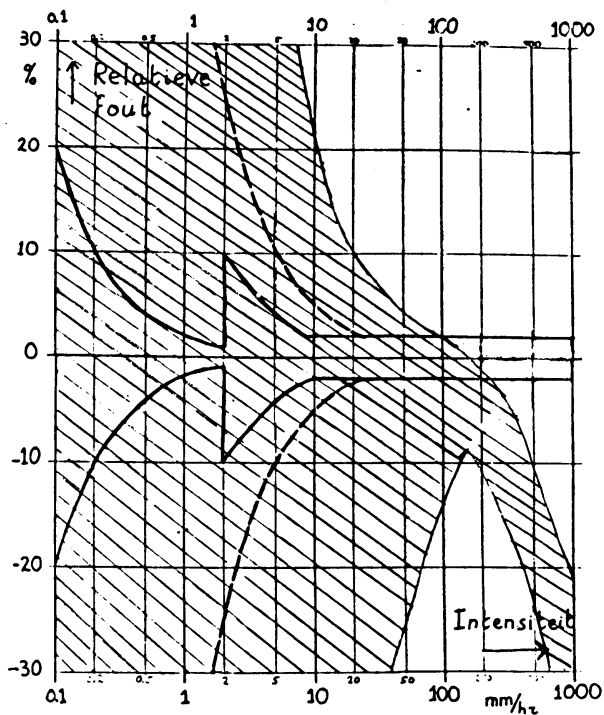
Dit is de fout van de KNMI regenmeter bij middeling over 10 minuten. Vergelijking met de synoptische eisen laat zien dat bij kleine regenintensiteiten een resolutie van 1.5 cc (= 0.04 mm) niet voldoende is, en dat 6 cc onaanvaardbaar is.

Fig. 16. KNMI regenmeter, gemiddeld over 10 minuten.



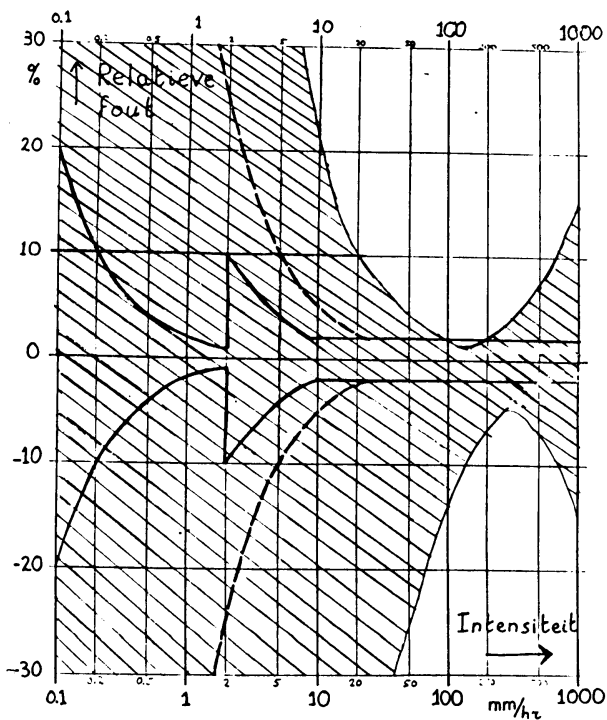
Hoewel dat in de praktijk niet eenvoudig is, kunnen we bij hoge intensiteiten voor de systematische fout corrigeren. Het resultaat vanaf 50 mm/hr is dan zeer goed. Bovendien zal de KNMI regenmeter weinig vervuilingproblemen hebben.

Fig. 17. KNMI regenmeter, gecorrigeerd, gemiddeld over 10 minuten.



Ten behoeve van een vergelijking met de klimatologische eis is ook nog over één minuut gemiddeld. We zien dat de fout nu wel erg groot is.

Fig. 18. KNMI regenmeter, gemiddeld over één minuut.



Zelfs correctie voor de systematische fout leidt niet tot goede resultaten. Het probleem bij heel hoge intensiteiten is nu dat er een grote spreiding is in de kans dat de leeglooptijd van 15 seconden geheel of ten dele in de middelingstijd valt. Des te hoger de intensiteit, des te groter de fout.

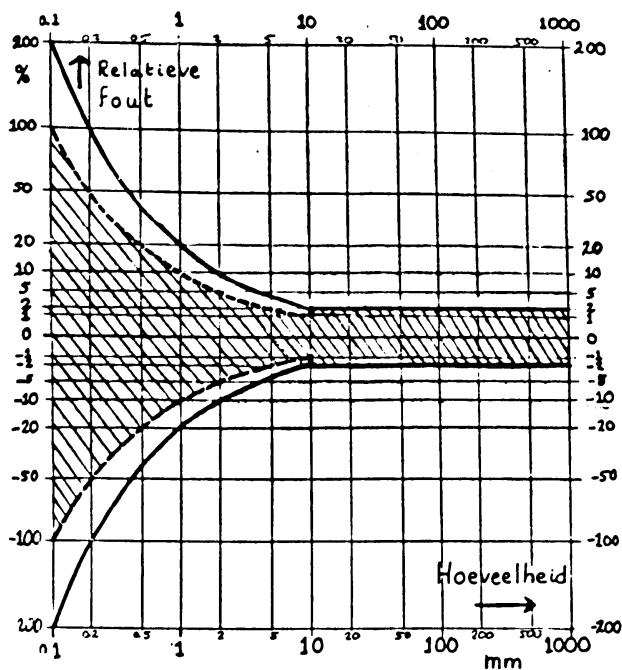
Fig. 19. KNMI regenmeter, gecorrigeerd, gemiddeld over één minuut.

6.2. Hoeveelheidsmeting

De WMO-eis voor de hoeveelheidsmeting geeft de fout als functie van de hoeveelheid. Zoals reeds gezegd hangt de fout in de praktijk behalve van de sommatietijd ook af van de intensiteit. Tezamen bepalen sommatietijd en intensiteit de maximaal mogelijke hoeveelheid. In onderstaande grafieken zullen de fouten aangegeven worden als gebieden die tot een bepaalde intensiteit gelden (zodat het gebied met de hoogste intensiteit alle lagere omvat).

Omdat in de WMO-eis voor de hoeveelheid de relatieve fout van ongeveer 1 tot 200% loopt, is een bijzondere schaalverdeling gekozen. We willen ook negatieve fouten kunnen aangeven zodat we geen logaritmisch maar "wortel"-papier gebruiken. De WMO geeft geen sommatietijden op voor hoeveelheidsmetingen; we hebben gekozen voor 1 uur en 24 uur. Tussentijdse tijden zijn daaruit af te leiden. Bij het interpreteren moeten we ons wederom realiseren dat:

- voor de Thies-regenmeter vervuilingseffecten genegeerd zijn (par. 7)
- de aangegeven intensiteit niet overschreden wordt gedurende de gehele sommatieperiode
- de praktische waarde van grafieken die voor systematische fouten gecorrigeerd zijn, niet erg groot is.



Dit is de WMO-eis voor hoeveelheidsmetingen (zie Tabel 1). De hoeveelheid loopt over vier decaden van 0.1 mm tot 1000 mm. Het gearceerde gebied met de gestreepte begrenzing is de klimatologische eis. In tegenstelling tot de situatie bij intensiteitsmetingen is hier de klimatologische eis dus strenger dan de synoptische eis (de getrokken lijnen).

Fig. 20. Hoeveelheid; WMO-eisen.

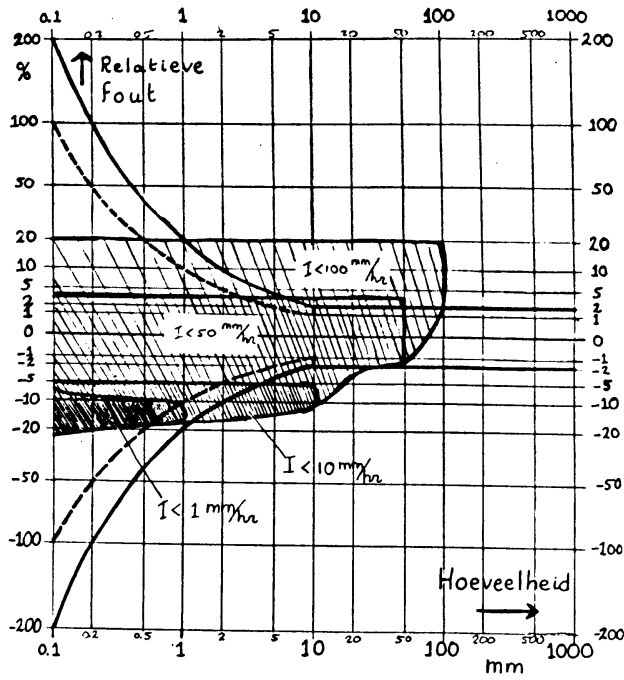


Fig. 21. Thies-druppelaar, gesommeerd over één uur.

Wanneer we gedurende één uur meten, kunnen bij intensiteiten kleiner dan 1 mm/hr niet meer dan 1 mm opvangen. Het gebied behorende bij $I < 1 \text{ mm/hr}$ loopt dus niet verder dan tot $H=1 \text{ mm}$. We hebben hier niet gecorrigeerd voor de systematische fouten van de druppelvormer (zie de toelichting bij Fig. 4 en 5). We zien de fout alleen voor heel lage intensiteiten (en dus kleine hoeveelheden) binnen de WMO-eisen valt. Een positieve fout wil zeggen dat er meer regen waargenomen wordt dan er gevallen is.

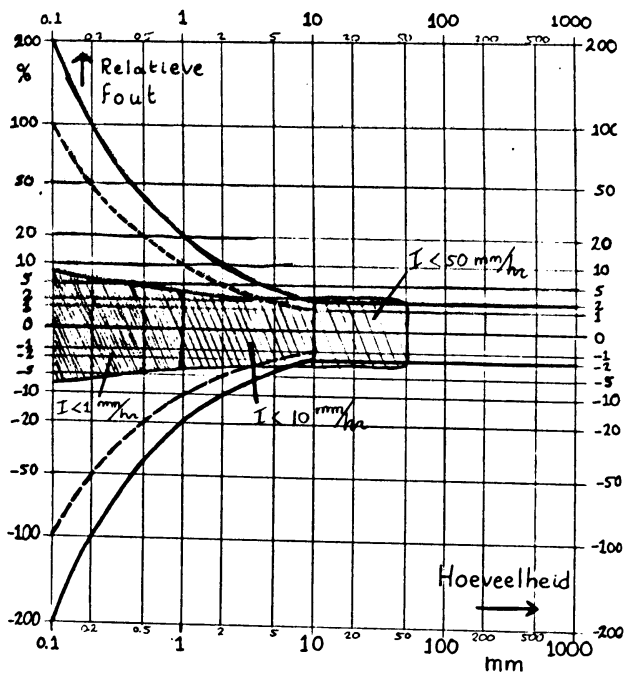


Fig. 22. Thies-druppelaar, gecorrigeerd, gemiddeld over één uur.

Hier is wel gecorrigeerd voor de systematische fouten. Wanneer geen vervuiling van de druppelvormer optreedt, is de nauwkeurigheid nu goed genoeg voor synoptische metingen bij intensiteiten tot 50 mm/hr. Voor klimatologische doeleinden is de nauwkeurigheid tussen 5 en 10 mm net niet hoog genoeg.

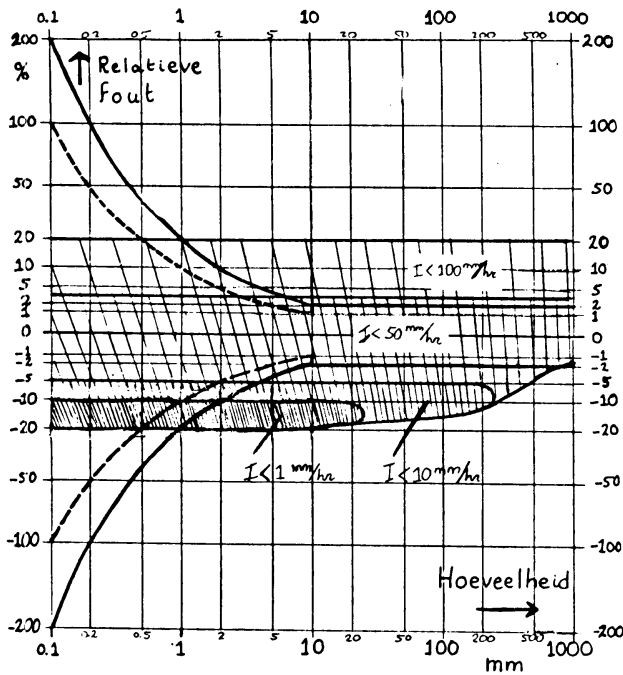


Fig. 23. Thies-druppelaar, gesommeerd over 24 uur.

Wanneer we gedurende 24 uur meten, loopt het gebied behorende bij $I < 1$ mm/hr tot $H=24$ mm. Door de systematische fout is de nauwkeurigheid nu zelfs voor kleine intensiteiten lang niet in overeenstemming met de WMO-eisen.

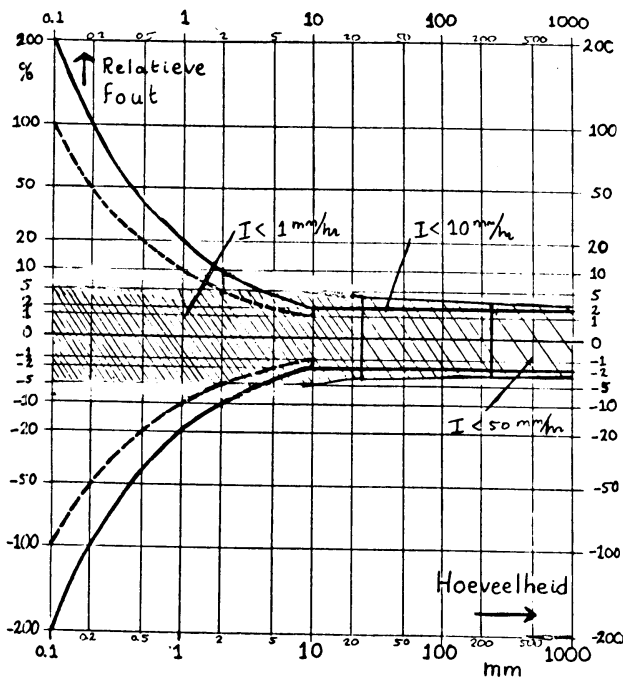
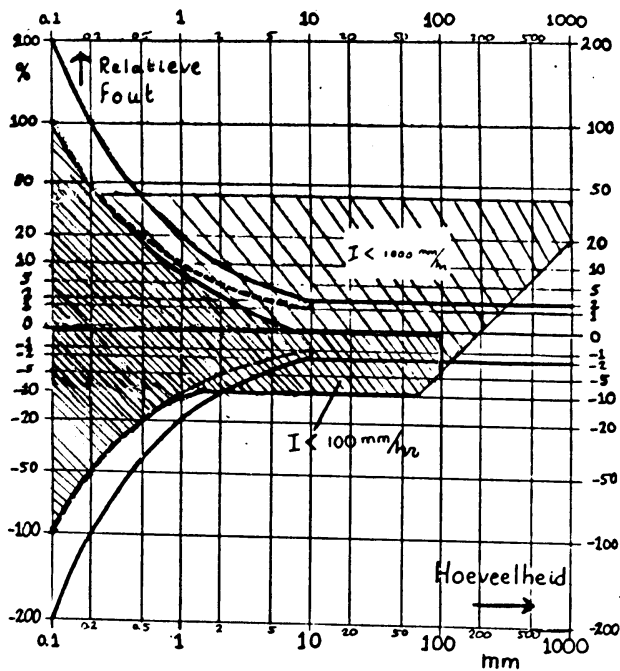


Fig. 24. Thies-druppelaar, gecorrigeerd, gesommeerd over 24 uur.

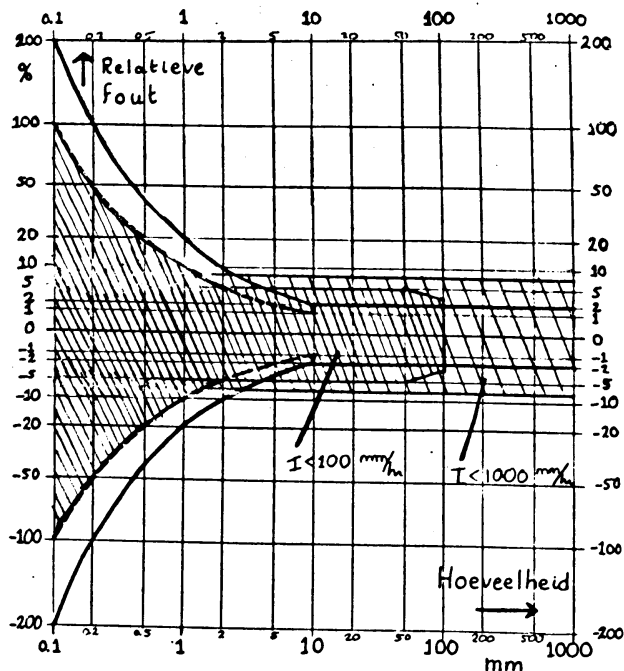
Wanneer we corrigeren voor de systematische afwijkingen, voldoen we tot 2 mm (klimatologisch) of 5 mm (synoptisch) aan de WMO-eis. Tot 20 mm kunnen fouten van 5% optreden, daarboven wordt de fout weer kleiner.

N.B. Door de wat merkwaardige verticale schaal lijkt de overschrijding van de WMO-eis bij 10 mm niet zo groot. De fout is echter 5% bij een eis van 2%.



Zeer grote fouten zijn mogelijk wanneer we bij de kantelbakjes niet corrigeren voor de fout die ontstaat door het bijvullen met water tijdens het kantelen.

Fig. 25. Thies-kantelbakjes, gesommeerd over één uur.



Bij sommatie over één uur en correctie voor de systematische fout, ziet de situatie er wat beter uit, maar voor grote hoeveelheden blijft de fout flink wat groter dan de WMO-eisen. Voor kleine hoeveelheden zien we zelfs bij middeling over één uur het effect van de beperkte resolutie (0.15 mm), maar de fout is niet groter dan de klimatologische WMO-eis.

Fig. 26. Thies-kantelbakjes, gecorrigeerd, gesommeerd over één uur.

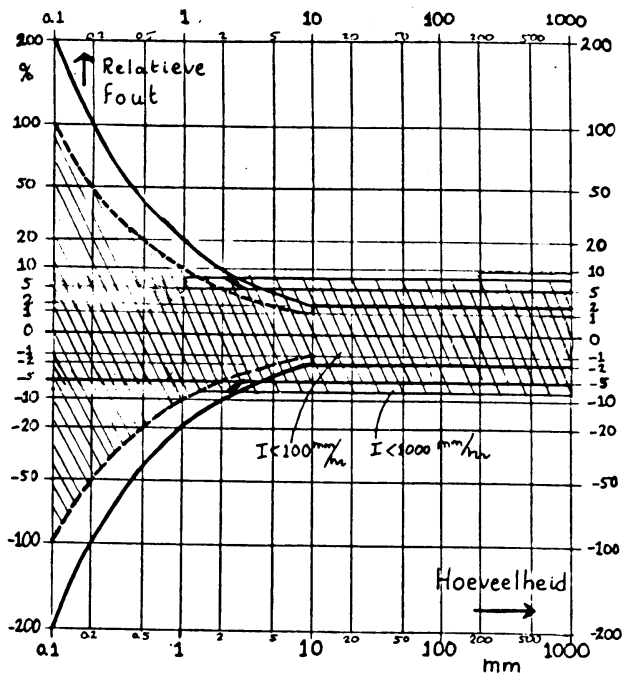


Fig. 27. Thies-kantelbakejs, gecorrigeerd, gesommeerd over 24 uur.

Sommeren over 24 uur geeft geen verandering.

Wanneer in totaal slechts 0.1 mm regen valt, zitten we tegen de resolutie (2 gram = 0.1 mm) van het kantelbakjessysteem aan.

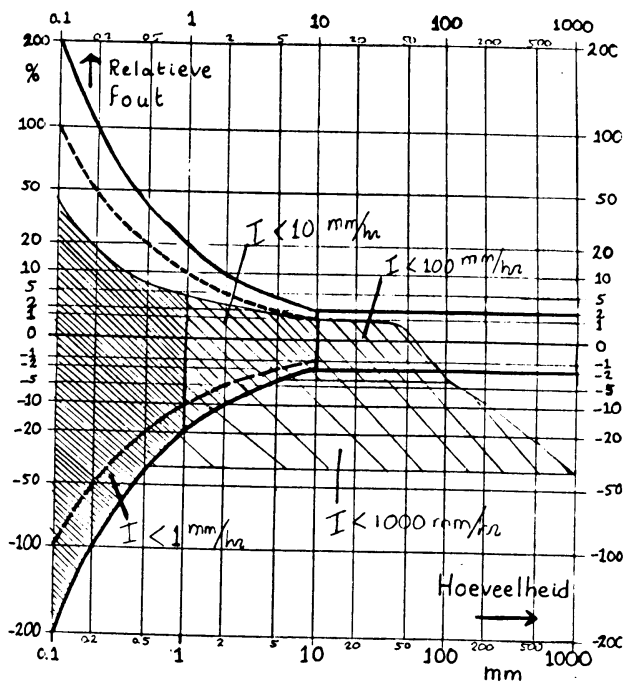


Fig. 28. KNMI-regenmeter, gesommeerd over één uur.

Wanneer we bij de KNMI regenmeter niet corrigeren voor de fout die ontstaat door de regentoevoer tijdens het leeglopen, krijgen we net als bij de kantelbakjes, grote fouten voor hoge intensiteiten.

De gevolgen van de beperkte resolutie bij sommatie over één uur, zullen we in de volgende figuur kijken.

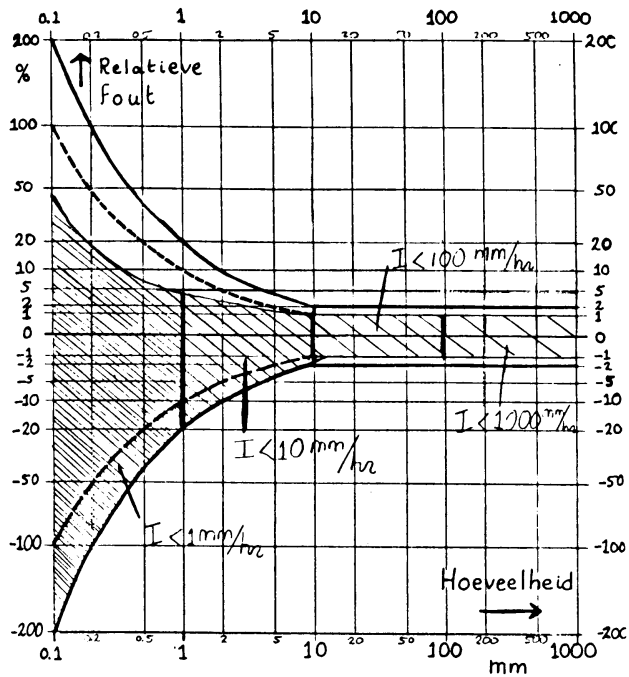


Fig. 29. KNMI-regenmeter, gecorrigeerd, gesommeerd over één uur.

Correctie voor de systematische fout leidt tot een mooie kleine fout bij grote hoeveelheden. Voor kleine hoeveelheden is zelfs een resolutie van 6 cc (zie de negatieve fout en het commentaar bij Fig. 14) nog voldoende om aan de synoptische eis te voldoen. Wanneer we over één uur sommeren, is een iets betere resolutie nodig om aan de klimatologische eis te voldoen; 1 cc is ruim voldoende.

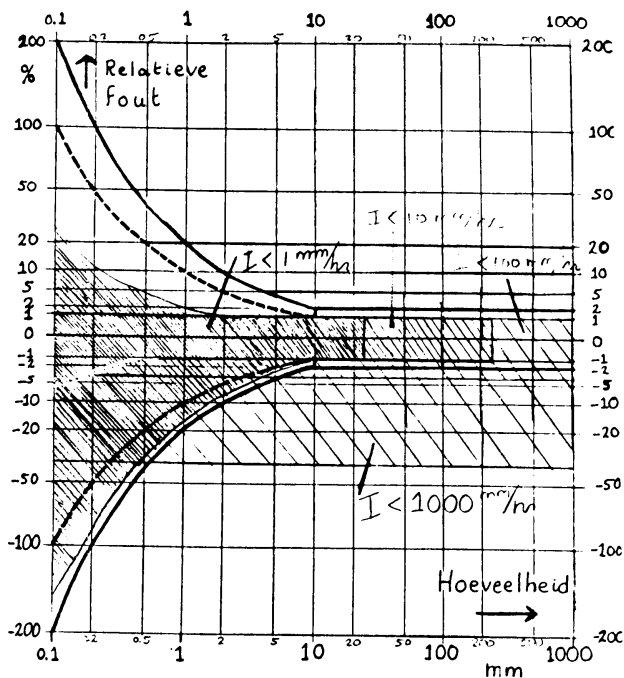
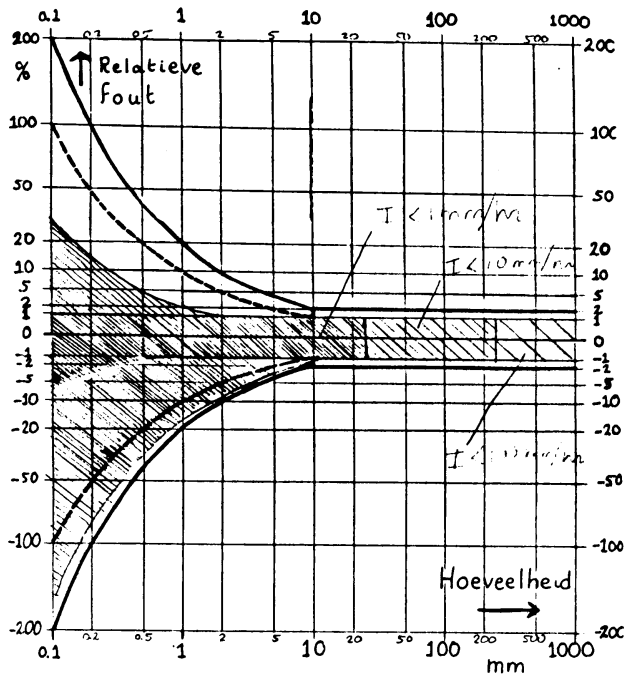


Fig. 30. KNMI-regenmeter, gesommeerd over 24 uur.

Bij sommatie over 24 uur hebben we nog veel last van de systematische leegloopfout bij hoge intensiteiten. De fout bij lage intensiteiten wordt wel wat kleiner, maar we zien toch nog resolutie effecten. (positief 1.5 cc $\hat{=}$ 0.04 mm, negatief 6 cc $\hat{=}$ 0.15 mm).



Gecorrigeerd voor de leegloopfout laat zien dat de KNMI regenmeter voor grote hoeveelheden prachtig aan de WMO-eisen kan voldoen. Voor kleine hoeveelheden is een resolutie van 1.5 cc voldoende, maar de beginfout van 6 cc is klimatologisch niet toelaatbaar.

Fig. 31. KNMI regenmeter, gecorrigeerd, gesommeerd over 24 uur.

7. VERVUILINGSEFFECTEN; ONVERWACHTE EFFECTEN

7.1. Vervuiling

7.1.1. Druppelaar

Bij een intensiteit van 40 mm/hr, waarbij de druppelaar met schoonwater zeer goed voldeed (zie Figuur 13) zijn een aantal proeven met opzettelijke vervuiling uitgevoerd.

Vettigheid heeft tot gevolg dat de druppels zo'n 15% groter worden. Water met een verlaagde oppervlaktespanning (drupje wasmiddel) leidt tot vele procenten kleinere druppels. Duurproeven in het veld zijn niet uitgevoerd. Wel is 10 liter regenwater doorgepompt. Dit had tot gevolg dat de druppels 3% te groot werden. Dit is geen grote afwijking, maar toch een tikje meer dan de spreiding die we met schoon kraanwater zagen.

7.1.2. Kantelbakjes

Vanaf de eerste metingen vertoonden de resultaten een vrij grote spreiding en een kleine negatieve systematische fout (-5%) bij intensiteiten tussen 10 en 100 mm/hr. Bij deze intensiteiten speelt de fout die optreedt door het bijvullen met water tijdens het kantelen geen rol. Ondanks schoonmaken met alcohol was duidelijk te zien dat er druppels in het bakje achterbleven.

Nog beter schoonmaken, gebruik van wasmiddel of van tri, en zelfs polijsten om een zeer lichte aanslag (kalk?) te verwijderen, verminderen het blijven hangen van druppels. Het meetresultaat werd ondanks alle moeite echter alleen maar slechter. Tenslotte kiepten de bakjes al bij 1.6 à 1.7 gram in plaats van bij 2 gram. Invetten met wat huidvet bracht weer verbetering tot 1.9 gram.

Met behulp van Figuur 32 en 33 kunnen we begrijpen wat er gebeurt. Druppels die achterblijven kunnen zowel een positieve als een negatieve fout veroorzaken. In Figuur 32 zien we een schets van het kantelbakje met daarin aangegeven de punten waar het gemakkelijkst water blijft hangen (A, B en C).

In Figuur 33 zien we de zelfde druppels in een dwarsdoorsnede in het rechterbakje liggen. Het linkerbakje is bijna vol. De invloed van A, B en C zal heel verschillend zijn omdat ze op verschillende afstanden van het draaipunt kracht uitoefenen. In het bakje dat volloopt bleken alle druppeld (ook C!) opgenomen te worden in de totale hoeveelheid water en oefenen dus kracht uit via het zwaartepunt Z. Als alleen A blijft hangen, dan zal het bakje te vroeg omklappen (de extra druppel oefent links (Z) verder van het draaipunt kracht uit dan rechts (A)). Als alleen C blijft hangen dan is er juist te veel water nodig om het bakje te doen omklappen. Hierbij hebben we aangenomen dat beide bakjes zich hetzelfde gedragen.

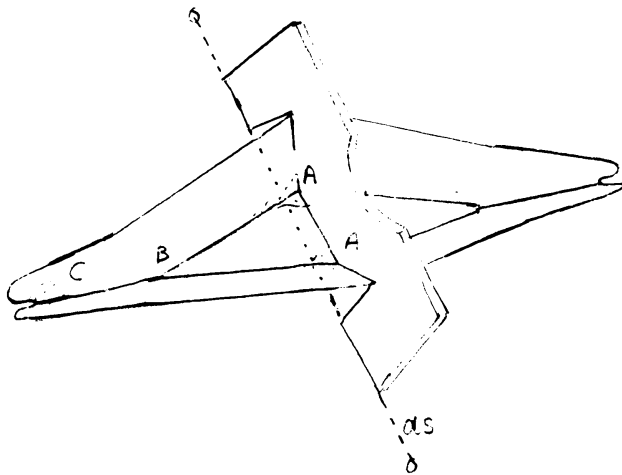
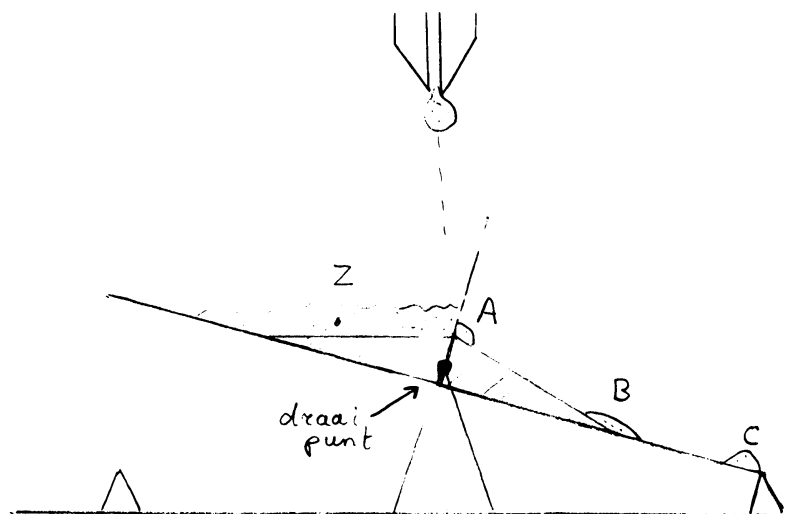


Fig. 32
Het kantelbakje in perspectief.

Fig. 33
Doorsnede door het kantelbakje



Onze experimenten tonen dat de bakjes zonder druppels al bij 1.6 à 1.7 gram kiepen. Door een spoortje vettigheid ontstaat druppel C, waarbij het kieppunt vlakbij de 2 gram komt te liggen. Meer vettigheid veroorzaakt ook bij A flinke druppels, wat de omkiep-inhoud weer kleiner maakt.

Het is merkwaardig dat druppel C kennelijk voor juiste resultaten aanwezig dient te zijn, omdat de fabrikant zijn best doet om door speciale vormgeving (sleufjes in de punten, speciale steuntjes) te voorkomen dat druppel C blijft hangen.

Omdat de vervuilingsafhankelijkheid zo ingewikkeld is, is het onmogelijk om een éénduidig reinigingsvoorschrift te geven: te schoon is niet goed maar te vies ook niet. Dit probleem is hoogst waarschijnlijk de oorzaak van de slechte reproduceerbaarheid die zowel door Van Londen en Rietman (1977) als door ons geconstateerd is.

7.1.3. KNMI regenmeter

Deze regenmeter heeft nauwelijks last van vervuiling. Alleen grote hoeveelheden modder zouden op den duur tot problemen kunnen leiden.

7.2. Onverwachte effecten

7.2.1. Druppelaar

Hoewel bij schoon water de druppels meestal binnen zeer nauwe grenzen dezelfde -zij het intensiteitsafhankelijke- grootte hebben, komen af en toe zeer grote afwijkingen voor (30%). Er kan een toestand ontstaan waarin zich vlak boven het eigenlijke druppelgaatje een dikke druppel water verzamelt. Wanneer deze druppel die zo'n 30% te groot kan zijn, loslaat schiet hij in zijn geheel door de druppelvormer. Dit lijkt een typisch laboratorium-effect dat ontstaat wanneer met zeer regelmatige snelheid water wordt toegevoerd. Deze afwijking is echter zo groot dat hij in de praktijk toch een rol kan spelen, zelfs als de toestand maar zelden optreedt.

8. EIGENSCHAPPEN TRECHTERS; VERDAMPING

8.1. Thies regenmeter

De trechter van de Thies-regenmeter heeft een wat vlakkere bodem dan de WMO adviseert (CIMO-guide chapter 7). Dit kan aanleiding geven tot een onnodig grote spatfout en bevochtigingsfout. De verwarmingsfolie met thermostaat op de trechter zal bij juiste afregeling een goede oplossing kunnen vormen voor problemen met vaste neerslag. Omdat niet in de winter getest is, is hier geen praktijkervaring mee. Verdampingsproblemen kunnen slechts ontstaan bij het beetje water dat in het kantelbakje blijft staan. De fout hierdoor zal bij niet al te kleine hoeveelheden regen te verwaarlozen zijn ten opzichte van de overige geconstateerde fouten.

8.2. KNMI regenmeter

De steilheid van deze trechter is in overeenstemming met de WMO-adviezen. Helaas wordt de trechter niet rechtstreeks verwarmt, en er zijn in de praktijk dan ook klachten over het functioneren bij grote hoeveelheden vaste neerslag.

Het verdient aanbeveling om de trechter zelf te voorzien van een verwarming en thermostaat.

De verdamping uit de regenmeter bleek heel klein te zijn; in één week verdampte minder dan 1 cc bij een relatieve vochtigheid van ongeveer 20%. Wanneer de regenmeter bovendien niet ge-reset wordt zal men de aanwijzing bij zeer lange droge periodes heel langzaam terug zien lopen, en kan gecorrigeerd worden.

9. CONCLUSIES

Bij het beoordelen van de resultaten moeten we ons realiseren dat de ideale regenmeter nog niet bestaat. We mogen dus niet voor alle intensiteiten en middelingstijden een goed resultaat verwachten. Om een compromis te kiezen, kunnen we beter niet uitsluitend met de WMO-eisen vergelijken, maar ook rekening houden met de intensiteitsverdeling die in Nederland voorkomt. Wessels (1972) geeft hierover enige gegevens in de tabellen op pagina 19. Figuur 34 geeft een samenvatting van deze tabellen.

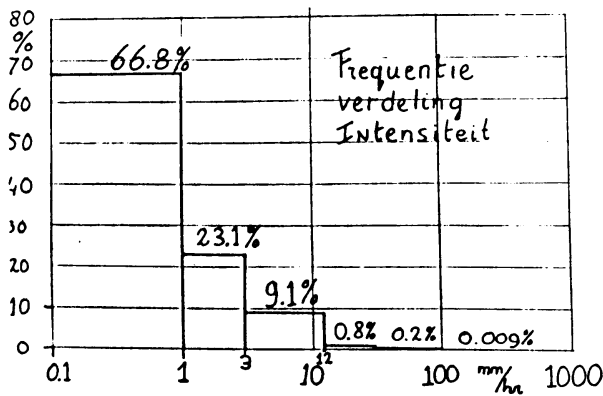


Fig. 34 Frequentieverdeling in klassen van de regenintensiteit, gemiddeld over 3 jaar (Wessels 1972). Regenduur ca. 600 uur/jaar.

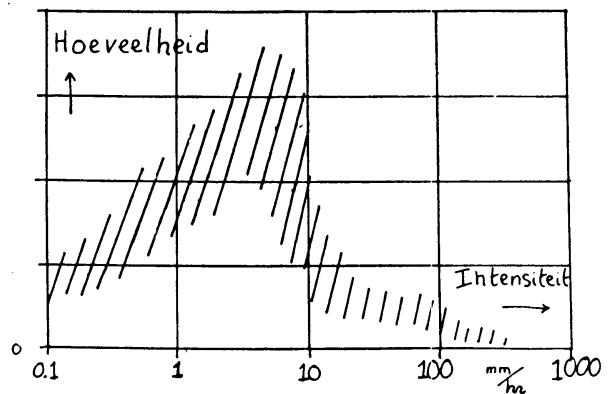


Fig. 35 Verdeling van de hoeveelheid regen als functie van de intensiteit afgeleid uit Fig. 34.

We zien dat intensiteiten boven 100 mm/hr wel zeer zelden voorkomen, en voor intensiteitsmetingen kunnen we dus kiezen voor een regenmeter die vooral in het gebied tot 100 mm/hr nauwkeurig meet. Natuurlijk zijn juist de heel intense buien ook interessant, voor rioolcapaciteiten etc., maar daarvoor is niet de hoge nauwkeurigheid van 2% vereist.

Wanneer we echter over hoeveelheidsmetingen spreken, blijken de intense buien toch veel belangrijker. Figuur 35 is op een heel grove manier uit figuur 34 afgeleid, en slechts bedoeld om een indruk van de orde van grootte te geven. We zien dat ook bij de hoge intensiteiten nog een aanzienlijk deel van de totale neerslag valt. Om grote fouten

in de totale hoeveelheidsmeting te vermijden, moeten we dus ook bij hoge intensiteiten redelijk nauwkeuring kunnen meten.

Wanneer we een compromis moeten kiezen is het verder goed om rekening te houden met de overige fouten (windfouten e.d.). Deze fouten zijn groot voor kleine intensiteiten (wind- en bevochtigingsfout) en voor grote intensiteiten (spatfout).

Bovenstaande overwegingen leiden tot de keuze van een regenmeter die vooral tussen 1 en 100 mm/hr heel nauwkeurig meet.

Als middelingstijden gebruiken we bij voorkeur de door de WMO voorgeschreven tijden. Wanneer de nauwkeurigheid van de metingen duidelijk beter wordt door wat langer te middelen, kunnen we besluiten van het WMO-voorschrift af te wijken.

We zullen nu de verschillende regenmeters beoordelen.

9.1. Thies-druppelaar

Onder geïdealiseerde omstandigheden en gecorrigeerd voor de systematische intensiteitsafhankelijkheid zou de druppelaar behoorlijk aan de WMO-eisen kunnen voldoen, althans voor intensiteiten tot 50 mm/hr. Deze correctie zal echter in de praktijk niet eenvoudig zijn, terwijl zonder correctie de fouten een grote invloed hebben. Bovendien is de druppelgrootte erg gevoelig voor vervuiling en ontstaat bij vervuiling een grote spreiding. Daardoor is de Thies-druppelaar voor hoeveelheidsmetingen minder geschikt dan de KNMI-regenmeters.

Toch heeft een druppelsysteem principiële voordelen: de zeer goede resolutie, de afwezigheid van leeglooptijden e.d. (het is een echt doorstroomsysteem) en daardoor ook de afwezigheid van verdampingsproblemen.

Wanneer onder de druppelaar de druppels niet alleen geteld zouden worden, maar ook de druppelgrootte bepaald zou worden, b.v. met een druktransducer of microfoon, zou een behoorlijk ideaal systeem voor metingen tot intensiteiten van 50 mm/hr kunnen ontstaan.

9.2. Thies-kantelbakjes

De kantelbakjes leveren geen goede prestaties. We zouden wel kunnen corrigeren voor de bijvulfout, maar dit is niet zinvol. De reproduceerbaarheid is toch te slecht ten gevolge van het in wisselende ma-

te blijven hangen van druppels. In hoeverre dit gebeurd hangt op kritische wijze af van de mate van vervuiling. Een geheel schoon (vetvrij) bakje zal in de praktijk niet lang zo schoon blijven en zelfs een spoortje vettigheid heeft al grote gevolgen. Door de adhesie- en cohesie-eigenschappen van water moeten we deze problemen bij elk kantelbakje systeem verwachten. Nog afgezien van het feit dat de resolutie van kantelbakjes systemen onvoldoende is, moet het gebruik hiervan afgeraden worden.

9.3. KNMI-elektrische-regenmeter

De KNMI-elektrische-regenmeter is in principe een veelbelovende regenmeter. In de huidige vorm zijn de prestaties echter matig. De regenmeter voldoet lang niet aan de WMO-eisen. De volgende gebreken zijn hiervan de oorzaak:

- Het bijvullen tijdens de leeglooptijd van 15 seconden. Weliswaar staat de WMO deze leeglooptijd toe (CIMO Guide, Ch.7), maar we hebben in paragraaf 6 gezien dat de fouten wel erg groot zijn (figuur 30). We zouden de metingen achteraf kunnen corrigeren, maar een tweede klep in de toevoerleiding om het water tijdelijk te verzamelen zou beter zijn.
- De fout die ontstaat door het missen van 4-8 cc (0.1-0.2 mm) na leeging is te groot (zie figuur 31). Zolang de oorzaak hiervan niet gevonden is en de fout verholpen, moet de regenmeter niet met de hand gereset worden. Elke reset introduceert deze fout.
- Voor het meten van lage intensiteiten is de resolutie van de KNMI-regenmeter onvoldoende om aan de WMO-eisen te voldoen (figuur 16-19). Een resolutie van 0.1 cc in plaats van 1 cc zou wel voldoende zijn ($0.1 \text{ cc op } 400 \text{ cc} = 2.5 \cdot 10^{-4}$). Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of de resolutie van 1.5 cc een gevolg is van de manier waarop het water naar binnen loopt, van wrijving in het systeem of van de eigenschappen van de potentiometer. In de eerste twee gevallen zal een oplossing niet eenvoudig zijn. Misschien is echter een behoorlijke verbetering haalbaar door vervanging van de huidige draadgewonden potentiometer. We kunnen daarvoor denken aan een groot aantal mogelijkheden:

- * een niet draadgewonden potmeter (zoals in de propvanen)
- * een mechanisch lineaire potmeter
- * diverse optische systemen (optisch array, gecodeerd, Moiré-strepen, Philips linear measuring system MK).
- * E-transformer
- * weging (load-cell)

Voor elk van deze systemen zou gekeken moeten worden of aan de volgende eisen voldaan kan worden:

- een resolutie van 10^{-4} tot $2.5 \cdot 10^{-4}$
- een nauwkeurigheid van 1% over de volle schaal
- een verplaatsing van 75 mm moet mogelijk zijn
- een lage wrijving

Wanneer de regenmeter op de besproken punten verbeterd wordt, zal deze volledig aan de WMO eisen voldoen.

9.4 KNMI standaard regenmeter met maatglas

Van oudsher worden regenhoeveelheden bepaald met de regenmeter uit figuur 36. Daarbij wordt over één dag gesommeerd. Het water wordt opgevangen in de verzamelbak en de hoeveelheid wordt bepaald met een speciaal vervaardigd maatglas.

Windfouten e.d. zijn natuurlijk evenzeer aanwezig als bij de ingewikkelde regenmeters. Verder loopt deze regenmeter door zijn eenvoud weinig kans op fouten.

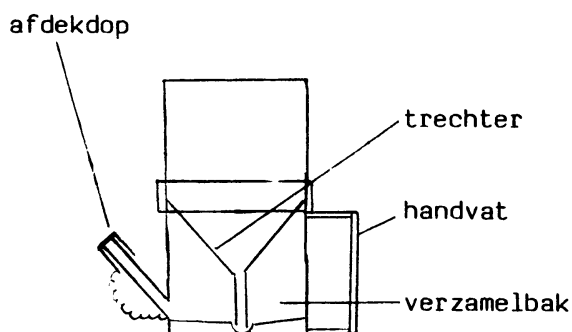


Fig. 36
KNMI standaard regenmeter

Toch was niet echt bekend hoe groot de fouten met deze regenmeter nog kunnen zijn. Bevochtiging van en achterblijvend water in verzamelbak en/of maatglas blijken bij zorgvuldig gebruik vervaarloosd klein te zijn. Ernstig is echter dat de ijking van de maatglazen niet in

orde is. Een aantal verschillende glazen uit verschillende partijen is geijkt en alle glazen bleken na het ingieten van 0.1 mm al 0.2 mm aan te wijzen. Bij sommige glazen nam de afwijking lineair af tot de aanwijzing juist was bij 10 mm, andere glazen over- of ondercompenseerden de fout enigszins (9.95 tot 10.05 mm in plaats van 10 mm). Bij kleine hoeveelheden (tot ~ 3 mm) wordt dus systematisch 0.1 mm teveel aangegeven. Voor grotere hoeveelheden wordt de situatie gunstiger, vooral relatief maar zelfs absoluut zijn de fouten kleiner. Het effect van deze fout is vergelijkbaar met het effect van de fout die bij de elektrische KNMI regenmeter ontstaat door het niet registreren van 0.1 tot 0.2 mm na leging. Gezien deze toch wel grote fout is niet juist om deze eenvoudige regenmeter zonder meer als referentie bij vergelijkingen te gebruiken. De schaalverdeling op de maatglazen is te onnauwkeurig.

10. AANBEVELINGEN

Thies regenmeter

- In zijn huidige vorm is de Thies regenmeter niet geschikt voor hoeveelheidsmetingen met een nauwkeurigheid zoals die op het KNMI verlangd wordt. Alleen voor het meten van lage intensiteiten is de Thies regenmeter geschikter, maar voldoet niet aan de WMO-eisen.

Gebruik bestaande KNMI regenmeters

- De elektrische KNMI regenmeter moet in principe nooit ge-reset worden, de huidige praktijk om dit tweemaal per dag te doen moet verlaten worden.
- De maatglazen van de standaard KNMI regenmeter moeten geijkt worden. Wanneer een nieuwe partij besteld wordt moet er op toegezien worden dat de schaalverdeling beter aangebracht wordt.

Verbeteringen van de elektrische KNMI regenmeter

- De oorzaak van het niet registreren van enkele cc water na leging moet opgespoord worden en deze fout verholpen worden (wellicht is controle hierop bij revisie voldoende).
- Het functioneren bij hoge intensiteiten kan aanzienlijk verbeterd worden door het aanbrengen van een tweede klep in de toevoerleiding, om het water dat tijdens het leeglopen binnenkomt tijdelijk te verzamelen.
- Voor het meten van lage intensiteiten zou de resolutie verhoogd moeten worden. Onderzocht moet worden of dit mogelijk is en, zo ja, hoe.
- Om de problemen met vaste neerslag te verhelpen moet de trechter zelf van een verwarming en een nauwkeurige thermostaat voorzien worden. Deze verwarming zou een opgeplakte folie (zoals bij Thies) of een gesoldeerde Thermocoax draad kunnen zijn.

Wanneer deze verbeteringen uitgevoerd (kunnen) worden hebben we de beschikking over een regenmeter die behoorlijk aan de WMO-eisen voldoet. Als het niet mogelijk blijkt te zijn om de resolutie te verbeteren, is er nog een andere mogelijkheid om lage intensiteiten nauwkeurig te meten. Dit zou een regenmeter moeten zijn die gebaseerd is op het druppelprincipe en die niet alleen de druppels telt, maar ook de druppelgrootte meet.

WMO-eisen

In de huidige vorm zijn de WMO-eisen niet geschikt voor praktisch gebruik. Enerzijds zijn de vereiste middelingstijden en nauwkeurigheden weinig reëel, anderzijds is de synoptische eis van intensiteitsmeting onlogisch (zie paragraaf 2). Binnen het KNMI dienen bruikbare eisen gesteld te worden, die ook internationaal aanvaard moeten kunnen worden.

11. LITERATUUR

Annotated bibliography on precipitation measurement instruments.

Geneva: WMO, 1973.

- (Reports on WMO/IHD projects no. 17).

- (W.M.O.-no. 343).

Guide to meteorological instruments and methods of observation. CIMO Guide

Geneva: WMO, 1973 . 5th. ed. - (WMO-no. 8).

Dekker, C.G. Een onderzoek naar de grootte van de synoptische windfout van de standaard regenmeter. De Bilt: KNMI, 1979.

- (KNMI-V. 317).

Documentatiemap elek. regenmeter 1979.

- (31-7-1979, KNMI constructiebureau) (Unpublished).

Londen, A. van en J. Rietman. Laboratoriumtest Thies regenmeter.

De Bilt: KNMI, 1977.

- (Memo IG-INSa 83-01) (Unpublished).

Plank, V.G. en R.O. Berthel. High resolution snow and rain rate measurements. In: 5th symposium on meteorological observations and instruments, Toronto, april 1983. Publ. by the American Meteorological Society, Boston. p. 27-33.

Rietman J. Lineariteit van regenmeters.

De Bilt: KNMI, 1978. - (Memo IG-INSa 83-02) (Unpublished).

Wessels, H.R.A. Metingen van regendruppels te De Bilt.

De Bilt: 1972. - (Wetenschappelijk rapport WR 72-6).

APPENDIX : Tabel 2 t/m 5

Tabel 2: Omrekening van intensiteit in verschillende eenheden

1 Thies-druppel = 0.1 gram, Thies-bakje = 2 gram, oppervlak Thiestrechter = 200 cm²
 1 vulling KNMI = 400 cc, oppervlak KNMI-trechter = 400 cm²

I	I	I	I	1/I		I	1/I	I	1/I	I	1/I	I	1/I	t vol
				mm/min	cc/min									
		Thies												
		cc/min												
0.1	0.0017	0.032	0.32	3	200	0.016	62.5	0.068	15	6000				
1	0.017	0.32	3.2	0.3	20	0.16	6.2	0.68	1.5	600				
10	0.17	3.2	32	0.03	2	1.6	0.6	6.8	0.15	60				
40	0.67	13	130	0.012	0.5	6.5	0.15	26	0.06	15				
100	1.7	32	320	0.003	0.2	16	0.06	68	0.015	6				
400	6.7	130	1300	0.0012	0.05	65	0.015	260	0.006	1.5				
600	10	190	1900	0.0018	0.037	95	0.010	380	0.009	1				
1000	17	320	3200	0.0003	0.02	160	0.006	680	0.0015	0.6				

Tabel 3 Thiesdruppelaar

$\frac{dH}{H}$: toevallige fout in H; $\frac{dI}{I}$: toevallige fout in I

resolutie dH = 0.1 cc

H : Hoeveelheid I : Intensiteit

$\frac{dH}{H}$ syst : systematische fout, experimenteel bepaald

$$\frac{dI}{I} = \frac{dH}{H} \text{syst} \pm \sqrt{\left(\frac{dH}{H} \text{rand}\right)^2 + \left(\frac{dH}{H} \text{ber}\right)^2}$$

$\frac{dH}{H}$ rand : toevallige fout, experimenteel bepaald

* zeer groot - verwaarloosbaar

$\frac{dH}{H}$ ber : fout ten gevolge van beperkte resolutie, berekend voor verschillende middelingstijden

I mm/hr	24 hr			1 hr			10 minuten			1 minuut			
	$\frac{dH}{H}$ syst %	H cc	$\frac{dH}{H}$ ber %	$\frac{dI}{I}$ %	H cc	$\frac{dH}{H}$ ber %	$\frac{dI}{I}$ %	H cc	$\frac{dH}{H}$ ber %	$\frac{dI}{I}$ %	H cc	$\frac{dH}{H}$ ber %	$\frac{dI}{I}$ %
0.1	-15	46	-	-15 ± 5	1.9	5	-15 ± 6.5	0.32	± 30	-15 ± 30	0.032	*	*
1	-14	460	-	-14 ± 4	19	0.5	-14 ± 4	3.2	± 3	-14 ± 5	0.32	± 30	-14 ± 30
10	-10	4600	-	-10 ± 3	190	-	-10 ± 3	32	-	-10 ± 3	3.2	± 3	-10 ± 5
20-60	0	-	-	± 2.5	-	-	± 2.5	-	-	± 2.5	-	-	± 2.5
100	+ 10	46000	-	10 ± 10	1900	-	10 ± 10	320	-	10 ± 10	32	-	10 ± 10
1000	*	460000	-	*	19000	-	*	3200	-	*	320	-	*

Tabel 4: Thieskantelbakjes
 resolutie $dH = 2$ cc
 voor een verklaring van de symbolen zie tabel 3
 ? niet experimenteel bepaald (schatting)
 * zeer groot
 - verwaarloosbaar
 + slechts weinig metingen, spreiding geschat

I mm/hr	-		24 hr			1 hr			10 minuten			1 minuut		
	$\frac{dH_{syst}}{H}$ %	$\frac{dH_{rand}}{H}$ %	H cc	$\frac{dH_{ber}}{H}$ %	$\frac{dI}{I}$ %	H cc	$\frac{dH_{ber}}{H}$ %	$\frac{dI}{I}$ %	H cc	$\frac{dH_{ber}}{H}$ %	$\frac{dI}{I}$ %	H cc	$\frac{dH_{ber}}{H}$ %	$\frac{dI}{I}$ %
0.1	-5?	5?	46	+ 4	-5 +6?	1.9	*	*	0.32	*	*	0.032	*	*
1	-5?	5?	460	-	-5 +5?	19	+ 10	-5?+10	3.2	+ 60	-5?+60	0.32	*	*
10	-5	+ 3	4600	-	-5 +3	190	+ 1	-5 + 3	32	+ 6	-5 + 7	3.2	+ 60	-5+60
40	-5	+ 5	18500	-	-5 +5	760	-	-5 + 5	130	+ 1.5	-5 + 5	13	+ 15	-5+15
100	-3	+ 3	46000	-	-3 +3	1900	-	-3 + 3	320	+ 0.6	-3 + 3	32	+ 6	-3+ 7
400	10	+ 5+	185000	-	10 +5+	7600	-	10 + 5+	1300	-	10 + 5+	130	+ 1.5	10+ 5+
600	15	+ 6+	280000	-	15 +6+	11400	-	15 + 6+	1900	-	15 + 6+	190	-	15+ 6+
1000	30	+ 7+	460000	-	30 +7+	19000	-	30 + 7+	3200	-	30 + 7+	320	-	30+ 7+

$\frac{dH}{H}$: relatieve fout

H = hoeveelheid

Tabel 5 KNMI regenmeter

$\frac{dH_{br}}{H}$: Berekende fout ten gevolge van de resolutie van 1.5 cc. Tussen haakjes staan waarden voor dH = 6 cc, deze worden gebruikt om het effect te tonen van het niet registreren van 6 cc na leging.
De fout t.g.v. 1.5 cc zal positief uitgezet worden, de fout t.g.v. 6 cc negatief.

$\frac{dH_r}{H}$: toevallige fout door niet lineariteiten e.d. volgens metingen maximaal 1%.

$\frac{dH_{s1}}{H}$: systematische fout ten gevolge van leeglooptijd van 0.25 min. berekend met

$$\frac{dH_{s1}}{H} = \frac{1}{H} \frac{H}{400cc} \times 0.25 \times I = 6.25 \cdot 10^{-4} \text{ (min/cc) } I \text{ (x 100 \%)}.$$

Er is niet volledig rekening gehouden met regen die tijdens het legen valt en ook nog wegloopt (totale inhoud = 400 cc).

$\frac{\Delta H}{H^2 I}$: toevallige fout die ontstaat omdat er een van de intensiteit en middelingstijd (t_m) afhankelijke kans is dat er een leging plaatsvindt. Aangeschat met: $\frac{\Delta H}{H^2 I} = \frac{.25 I}{H}$ P = $\frac{.25}{t_m}$ (minimum van $\frac{H}{400}$ en 1) (* 100 %) P waarschijnlijkheid dat leegloop optreedt.

$$\frac{dI}{I} = \frac{dH_{s1}}{H} \pm \sqrt{\left(\frac{dH_r}{H}\right)^2 + \left(\frac{dH_{br}}{H}\right)^2}$$

* zeer groot - verwaarloosbaar

I	24 hr						1 hr						10 minuten						1 minuut						
	H	br	sl	rl	dI/I	H	br	sl	rl	dI/I	H	br	sl	rl	dI/I	H	br	sl	rl	dI/I	H	br	sl	rl	dI/I
mm/hr	cc	%	%	%	%	cc	%	%	%	%	cc	%	%	%	cc	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0.1	+1	102	-	-	+1(6)	4	+40(*)	-	-	+40(*)	0.7	*	-	-	*	0.07	*	-	-	*	0.07	*	-	-	*
1	+1	103	-	-	+1	40	+4(15)	-	-	+4(15)	7	+20(80)	-	-	+20(80)	7	+20(80)	-	-	+20(80)	7	+20(80)	-	-	+20(80)
10	+1	104	-	-	+1	400	-(1.5)	-	-	+1(2)	70	+2(8)	-	-	+2.5(8)	70	+2(8)	-	-	+2.5(8)	70	+2(8)	-	-	+2.5(8)
100	+1	105	-	-	-4	4000	-	-4	-	-4	700	-	-	-4	-4	700	-	-	-4	-4	700	-	-	-4	
1000	+1	106	-	-	-40	40000	-	-40	-	-40	7000	-	-	-40	-40	7000	-	-	-40	-40	7000	-	-	-40	