

IJKING VAN REGENMETERS MET EEN KANTELBAKJES MECHANISME

ONDERZOEKSVERSLAG NR. 85

S. van den Assem

Vakgroep Hydraulica en afvoerhydrologie
Landbouwniversiteit Wageningen, 1988

204714

INHOUD

	Pag.
1 INLEIDING	04
2 MATERIAAL EN METHODEN	05
3 RESULTATEN	06
4 CONCLUSIES	13
5 LITERATUUR	14
APPENDIX	15
a Figuren	
b Foto's	

1 INLEIDING

Voor een onderzoeksproject naar neerslag-bepaling op kleine tijd- en ruimte-schaal zijn regenmeters nodig met een hoge resolutie, dat wil zeggen over korte tijdsintervallen moeten kleine regenhoeveelheden nauwkeurig bepaald kunnen worden. Er is gekozen voor regenmeters die werken volgens het kantelbakjes-principe (tipping buckets). De oorspronkelijke instellingen van de regenmeters zijn zodanig, dat een kanteling optreedt bij ca. 0.1 mm of 0.2 mm neerslag.

De ijkings van de regenmeters zijn gebaseerd op nederlandse omstandigheden met betrekking tot het ingestelde intensiteitsbereik.

De nauwkeurigheid van dit type regenmeter wordt bepaald door enerzijds externe factoren zoals wind, spatten van druppels, bevochtiging van de trechter, verdamping en anderzijds door interne factoren die invloed hebben op het kantel-mechanisme, zoals achterblijvende druppeltjes, vervuiling, al dan niet waterpas staan van de regenmeter en de neerslag-intensiteit. Op de externe factoren wordt verder niet ingegaan. Zie voor details WMO, no. 343 (1973). De interne factoren komen deels naar voren tijdens de bespreking van de resultaten.

2 MATERIAAL EN METHODEN

Acht regenmeters, type Obsermet, met een kantelbakjes-systeem zijn geijkt bij verschillende neerslag-intensiteiten. De regenmeters zijn 0.50 m hoog. De opvangtrechter heeft een diameter van 0.203 m. De oorspronkelijke instelling van 4 regenmeters bedraagt ongeveer 0.1 mm per kanteling en van de overige regenmeters bij benadering 0.2 mm per kanteling. Elke kanteling veroorzaakt een elektrisch pulsje. Het aantal pulsjes en het tijdsverloop tussen de pulsjes zijn waargenomen door een datalogger HP_3421A en verwerkt door een HP_75C.

De ijking verloopt als volgt: een afgewogen hoeveelheid water wordt in een zogenaamde fles van Mariotte toegevoegd. Dit is een afgesloten maatfles met uitstroom, waar lucht alleen kan binnenstromen via een buisje dat loopt van de bovenkant van de fles tot beneden de uitstroom-opening. Met behulp van een dergelijke opstelling blijft het drukverval tijdens het leeglopen constant. Onderaan de uitstroom is een slangetje met een kraan bevestigd. Zie Appendix, foto A1 en A2. Met de kraan kan de leegloop-snelheid ingesteld worden. Vóór het begin van een ijking wordt de fles van Mariotte gedeeltelijk gevuld en de kraan geopend. Zodoende worden slangetje, kraan en regenmeter bevochtigd. Wanneer de fles leeggelopen is, wordt de kraan weer gesloten. De regenmeter wordt voorzichtig nagedruppeld, totdat een kanteling optreedt. Hiermee wordt voorkomen dat de ijking met een gedeeltelijk gevuld kantelbakje begint. Vervolgens wordt de fles van Mariotte gevuld met een nauwkeurig afgewogen hoeveelheid water (ca. 1 kg water; dit komt overeen met ongeveer 30 mm neerslag). Vervolgens wordt de registratie-eenheid gestart en de kraan geopend. Wanneer de fles is leeggelopen wordt de regenmeter nagedruppeld met een nagewogen hoeveelheid water, totdat een laatste kanteling optreedt. Uit de verstreken tijd en het aantal kantelingen kunnen nu respectievelijk de intensiteit en gemiddelde hoeveelheid neerslag per kanteling bepaald worden.

Alle acht regenmeters hebben tweemaal een volledige ijkserie ondergaan: de eerste keer bij de instelwaarden, zoals geleverd door de fabrikant, de tweede maal bij een nieuwe instelling.

De eerste ijkserie is uitgevoerd om een globale indruk te verkrijgen van de ijkwaarden van de regenmeters. Tijdens de tweede ijkserie met gewijzigde opstelling van de regenmeters is een zo groot mogelijke nauwkeurigheid nagestreefd.

3 RESULTATEN

De gemiddelde intensiteit van de gesimuleerde neerslag laat zich als volgt bepalen:

$$I = \frac{c_r M / \rho_w}{O \Delta t} \quad (1)$$

met I de gemiddelde intensiteit (mm/s), c_r de conversiefactor van m naar mm, M de hoeveelheid doorgevoerd water (kg), ρ_w de dichtheid van water (kg m^{-3}), O het oppervlak van de regenmeter (m^2) en Δt de tijd (s), die benodigd is voor het doorlopen van M kg water. Voor de gemiddelde hoeveelheid neerslag per kanteling T (mm) geldt:

$$T = \frac{c_r M / \rho_w}{O n} \quad (2)$$

met n het aantal kantelingen dat optreedt wanneer M kg water doorgevoerd wordt. Voor T geldt dus ook:

$$T = I \Delta t / n \quad (3)$$

Tipping bucket regenmeters blijken intensiteit-afhankelijk te zijn. Hoe hoger de neerslag-intensiteit, hoe hoger de T-waarden. Er wordt namelijk water toegevoegd tijdens het kantelen. In het onderzochte intensiteits-bereik, mag een lineair verband wordt verondersteld:

$$T_m = c + d * I \quad (4)$$

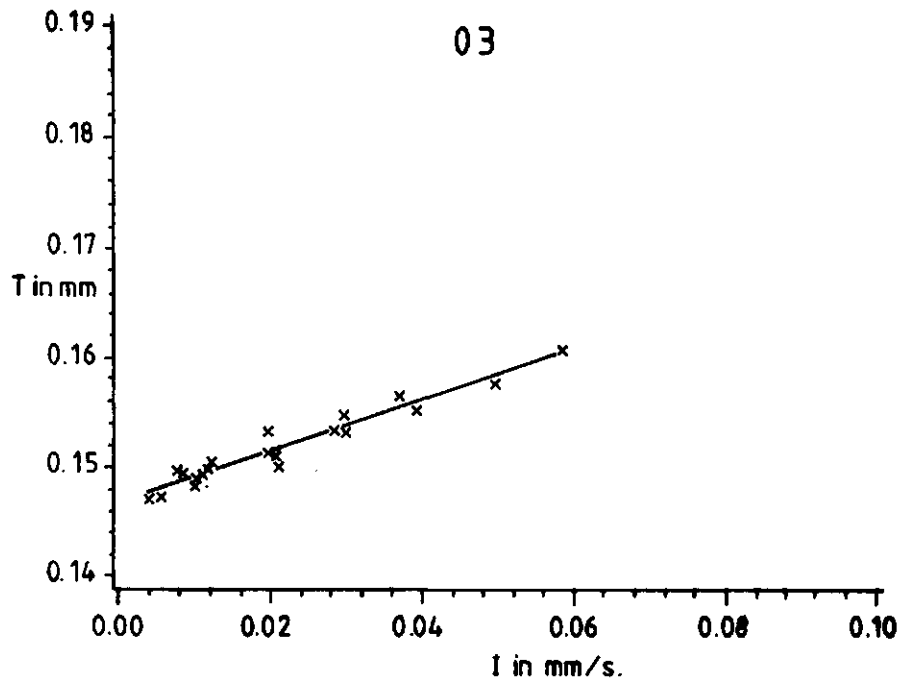
met c (mm) en d (s) als regressiefactoren en T_m de modelwaarde van de hoeveelheid per kanteling. Hier wordt door Muller en Van Londen, (1983) geen rekening mee gehouden bij beschouwing van de nauwkeurigheid van tipping bucket regenmeters.

De 4 regenmeters, genummerd 02 t/m 05 zijn oorspronkelijk afgesteld op ca. 0.2 mm neerslag per kanteling. Ter verhoging van de resolutie van deze 4 regenmeters is de afstelling verlaagd tot een waarde tussen 0.15 en 0.17 mm per kanteling. De regenmeters genummerd 06 t/m 09 zijn oorspronkelijk afgesteld op ca. 0.1 mm per kanteling. Bij deze afstelling is de kantelhoek van het bakje zodanig gering, dat een grote fractie water in het kantelbakje achterblijft (ca. 20-40%). De fractie achterblijvend water hangt af van de oppervlakte-eigenschappen van het kantelbakje. De invloed van vervuiling zal

een belangrijke rol spelen bij regenmeters met een lage afstelwaarde. Derhalve is de afstelling verhoogd tot eveneens een waarde tussen 0.15 en 0.17 mm per kanteling. De regenmeters, genummerd 02 t/m 09 hebben hetzelfde type kantelbakje. Zowel voor als na de wijziging van instelling blijken beide bakjes van de regenmeters in evenwicht te zijn, dat wil zeggen beide bakjes kantelen onder dezelfde omstandigheden bij dezelfde hoeveelheid water.

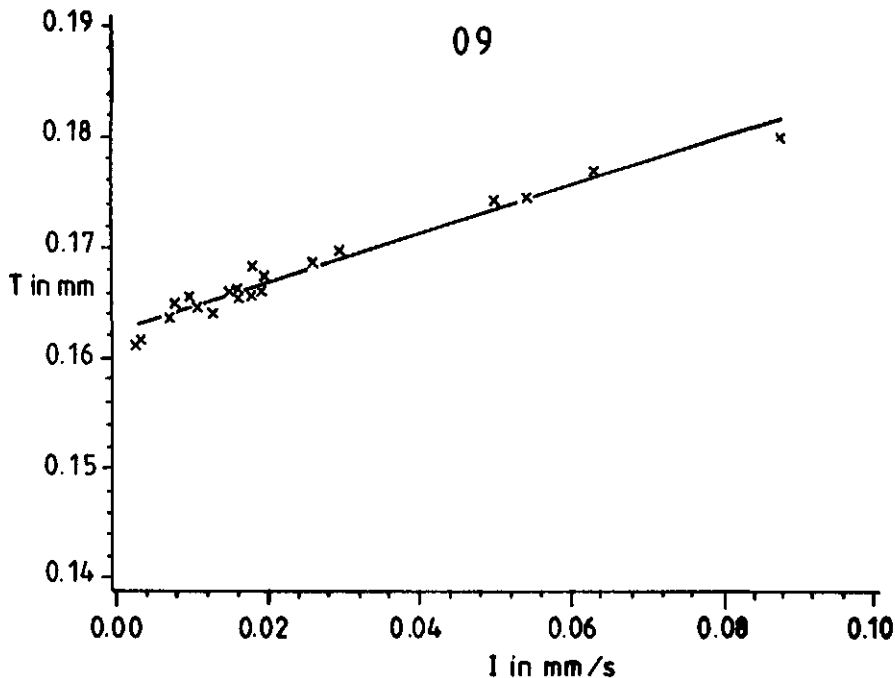
Al de regenmeters zijn bij de twee verschillende afstellingen geijkt. De eerste ijkserie met de oorspronkelijke afstelling diende om een ruwe schatting te verkrijgen van de kantelwaarde en de intensiteits-afhankelijkheid hiervan. Bij de tweede ijkserie is beoogt zo nauwkeurig mogelijk de nieuwe kantelwaarde en de intensiteits-afhankelijkheid hiervan te bepalen.

In de onderstaande grafieken wordt het verband tussen intensiteit en gemiddelde hoeveelheid neerslag per kanteling weergegeven.



Figuur 1 IJklijn van regenmeter genummerd 03 met gewijzigde afstelling.

Uit figuur 1 blijkt duidelijk de lineaire afhankelijkheid van de neerslaghoeveelheid per kanteling met de neerslagintensiteit. In het algemeen blijkt dat de verlaging van de afstelling van de regenmeters 02 t/m 05 een geringe invloed heeft gehad op de intensiteits-afhankelijkheid.



Figuur 2 IJklijn van regenmeter genummerd 09 met gewijzigde afstelling.

De spreidingen van de gevonden T-waarden in figuren 1 en 2 (alsmede in figuren A1 t/m A6) in de Appendix kunnen gezocht worden in:

- a onnauwkeurigheid bij het nadruppelen met de spuitfles aan het eind van elke ijking;
- b variabele hoeveelheid rest-water in de fles van Mariotte en het slangetje met kraan;
- c variabele hoeveelheid rest-water in de trechter van de regenmeter;
- d verschillende hoeveelheid residu-water in de kantelbakjes in de loop van de tijd;
- e niet constante plaats van het residu-water in de kantelbakjes; dit heeft namelijk invloed op het moment welke de druppeltjes uitoefenen;
- f variabele intensiteit tijdens een ijking;
- g eventuele storing in de registratie-apparatuur;
- h overige factoren.

De onder d en e genoemde punten zullen afhangen van de oppervlakte-eigenschappen van de kantelbakjes (polariteit, vervuiling, etc.). Vooral bij de instelwaarde van ongeveer 0.1 mm per kanteling zal dit een grote invloed hebben. Gedurende beide ijkseries is echter geen tijdsafhankelijkheid in de gevonden gemiddelde T-waarden waargenomen.

Ad. f: De mate van variabiliteit in de intensiteit tijdens een ijking heeft

invloed op de gemiddelde kantelwaarde. De gemiddelde kantelwaarden T bij een bepaalde intensiteit zijn bepaald na het doorvoeren van ongeveer 30 mm gesimuleerde neerslag. Dit betekent dat er vele kantelingen zijn opgetreden bij de bepaling van een T -waarde. Elke T -waarde is dus een gemiddelde. Uitgaande van vergl. (1), (2) en (4) kan voor de gemiddelde kantelwaarde worden geschreven:

$$T = \frac{c_0 \Delta t}{\Delta t - d_0 n} \quad (5)$$

met c_0 en d_0 de ideale, werkelijk optredende intercept en helling, respectievelijk, n het totaal aantal kantelingen en Δt de totale benodigde tijd. De werkelijke gemiddelde kantelwaarde T_0 is:

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (6)$$

met T_i de hoeveelheid water bij elke individuele kanteling (mm). Uit vergl. (1), (2) en (4) volgt analoog aan vergl. (5) voor elke individuele kanteling:

$$T_i = \frac{c_0 \Delta t_i}{\Delta t_i - d_0} \quad (7)$$

met Δt_i de benodigde tijd voor een individuele kanteling. Uit vergl. (6) en (7) volgt:

$$T_0 = \frac{1}{n} c_0 \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta t_i}{\Delta t_i - d_0} \right) \quad (8)$$

Wanneer men tijdens de ijking alleen gebruik maakt van vergl. (5), dan vindt men:

$$T_0 = \left(\frac{c_0 \Delta t}{\Delta t - d_0 n} \right) + \text{bias} \quad (9)$$

waarbij Δt de sommatie van alle Δt_i is. De bias (≥ 0) geeft aan dat de gevonden T -waarde volgens vergl. (5) niet overeenstemt met de werkelijk opgetreden gemiddelde T -waarde. De bias is afwezig wanneer tijdens de ijking geen spreiding in de intensiteit is opgetreden. Bij lage intensiteiten tijdens de ijking is deze bias verwaarloosbaar, bij hoge intensiteiten kan

de bias tot enkele procenten van de T_0 -waarde oplopen. Bij enkele ijkingen is deze bias bepaald, volgens vergl. (9); bij een lage gemiddelde intensiteit en een lage variatie in intensiteit tijdens de ijking is een bias van 0.01% van de T_0 -waarde gevonden; bij de gemiddeld hoge intensiteiten met een grotere variatie in intensiteit zijn waarden tot 0.3% van de T_0 -waarde gevonden. Tijdens de ijkingen is voor de bepaling van de kantel-waarden alleen gebruik gemaakt van vergl. (5). Met de bovengenoemde bias is verder geen rekening gehouden, aangezien deze niet van belang wordt geacht.

De spreiding rond de regressielijnen bij regenmeters 02 en 06 is in zowel de eerste als de tweede ijkserie groter, dan van de overige regenmeters uit dezelfde ijkserie. De regenmeters 02 en 06 hebben op dezelfde plaats gestaan; het water is toegevoerd via dezelfde route (fles van Mariotte, slang en kraan) en de registraties hebben via hetzelfde kanaal van de datalogger plaatsgevonden. De grotere spreiding in kantelwaarden rond de regressielijn kan zijn veroorzaakt door een grotere variabiliteit van het restwater in de fles van Mariotte met slangetje en kraan of storingen van elektrische aard.

Tabel 1 Regressie-coëfficiënten c en d volgens vergl. (4): $T=c+d*I$; A: ongewijzigde afstelling; B: na wijziging van de afstelling van de regenmeters; N is het aantal metingen per regenmeter.

regenmeter	A			B		
	c(mm)	d(s)	N	c(mm)	d(s)	N
02	.1697	.4079	19	.1519	.2624	20
03	.2095	.2276	25	.1467	.2358	20
04	.2125	.2317	20	.1502	.1795	20
05	.2096	.2378	20	.1526	.2443	20
06	.1024	.4484	18	.1547	.2880	20
07	.1095	.3759	16	.1611	.2253	20
08	.1112	.3306	17	.1659	.2376	20
09	.1128	.1875	18	.1622	.2216	20

Vóór de wijziging van de afstellingen zijn de d-waarden van alle regenmeters erg verschillend. Na wijziging van de afstellingen zijn de c- en d-waarden onderling redelijk uniform.

De spreiding rond de regressielijn kan weergegeven worden met:

$$E(i) = T(i) - T_m(i)$$

waarbij $E(i)$ (mm) het verschil tussen een waargenomen gemiddelde kantelwaarde bij een bepaalde gemiddelde intensiteit en de hierbij behorende modelwaarde is, uitgaande van vergl. (4). De index i gaat van 1 t/m N , waarbij N het totaal aantal meetpunten per regenmeter is. De standaarddeviatie σ_E van deze spreiding $E(i)$ is een maat voor de opgetreden fout.

Tabel 2 Standaardafwijking σ_E (mm) van de spreiding rond de regressielijn, de absolute waarde van de meest extreme opgetreden afwijking AE in mm en gerelateerd aan de modelwaarde tot RAE (%). In A zijn de resultaten weergegeven van de eerste ijkserie, voor de wijziging van de afstelwaarden en in B de resultaten van de tweede ijkserie, met gewijzigde afstelwaarden van de regenmeters.

regenmeter	A			B		
	σ_E (mm)	AE(mm)	RAE(%)	σ_E (mm)	AE(mm)	RAE(%)
02	.0073	.0189	8.9	.0026	.0052	3.3
03	.0029	.0065	3.1	.0008	.0019	1.2
04	.0037	.0075	3.5	.0011	.0018	1.2
05	.0028	.0052	2.2	.0016	.0039	2.5
06	.0054	.0136	9.7	.0025	.0060	3.5
07	.0072	.0213	17.0	.0015	.0042	2.6
08	.0044	.0120	10.7	.0013	.0027	1.6
09	.0012	.0026	2.3	.0009	.0019	1.2

Uit tabel 2 blijkt duidelijk dat de spreidingen rond de regressielijnen tijdens de tweede ijkserie (B) lager zijn dan tijdens de eerste ijkserie (A). Ook springt de hogere spreiding bij regenmeters genummerd 02 en 06 er duidelijk uit. Houdt men geen rekening met de intensiteits-afhankelijkheid van de kantelwaarden, dan zullen de fout en de onnauwkeurigheid toenemen. Wanneer bijvoorbeeld 10 mm neerslag in 5 minuten valt, vindt men dan slechts 9.5 mm (5% minder). Dergelijke buien komen in Nederland op dezelfde plaats slechts 1 à 2 maal per decennium voor (Buishand en Velds, 1980). In de tro-

pen bijvoorbeeld vinden zulke hoge intensiteiten frequenter plaats. Verder blijkt dat de intensiteit van neerslag bij convectieve buien over zeer korte tijdsintervallen (5-10s) sterk kan variëren, met uitschieters van 2 tot 5 maal de intensiteit gemiddeld over 1 minuut (Giesecke und Meyer, 1984). Bepaald men de hoeveelheid neerslag alleen uit het aantal kantelingen over een vast tijdsinterval, dan worden extremen in neerslagintensiteit uitgemiddeld. Theoretisch kan men door deze uitmiddeling een fout maken tot enkele procenten in een uitzonderlijke situatie. Dit als gevolg van de intensiteitsafhankelijkheid van de regenmeter.

Bij beschouwing van de bovenstaande afwijkingen, dient men te beseffen dat fouten door windeffecten tot ruim 5% kunnen oplopen (Buishand en Velds, 1980).

4 CONCLUSIES

- 1 Bij regenmeters met een kantelbakjes-systeem blijkt dat de hoeveelheid water per kanteling afhankelijk is van de neerslag-intensiteit. Een model waarbij de kantelwaarde lineair afhangt van de intensiteit blijkt goed hierop aangepast te kunnen worden. Vooral bij gebruik van dit type regenmeter in de tropen of andere gebieden met intensieve neerslag dient men hiermee rekening te houden. Onder nederlandse omstandigheden zal dit intensiteits-effect doorgaans gering zijn, vooral vergeleken met fouten door windinvloeden. Intensiteits-correcties in Nederland worden derhalve alleen nodig geacht bij extreem zware neerslag en bij zo nauwkeurig mogelijke bepalingen.
- 2 Afstelwaarden van 0.1 mm per kanteling worden afgeraden, omdat de invloed van vervuiling groot zal zijn en de fractie achterblijvend water per kanteling hoog is.
- 3 Onzekerheid bestaat nu nog wat de invloed van langdurig gebruik zal zijn op de ijkfactoren. Duidelijk is in ieder geval dat de kantelbakjes regelmatig zullen moeten worden schoongemaakt.
- 4 De in dit rapport beschreven ijkings-methode heeft bevredigende resultaten opgeleverd.

5 LITERATUUR

Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980. Neerslag en verdamping. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt.

Giesecke, J. und H. Meyer, 1984. Das räumlich-zeitlich variable Niederschlagsangebot, ermittelt aus Bodennesznetzen. In: Niederschlagvorhersage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. Mitteilung VIII der Kommission für Wasserforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1986.

Muller, S.H. en A. van Londen, 1983. Het beoordelen van regenmeters, met als voorbeelden de Thies-regenmeter en de elektrische K.N.M.I.-regenmeter. W.R. 83-16, K.N.M.I., De Bilt.

W.M.O., 1973. Annotated bibliography on precipitation measurement instruments. W.M.O., no. 343, Geneva.

W.M.O., 1973. Guide to meteorological instruments and methods of observation. CIMO Guide, no. 8, 5th ed., Geneva.

APPENDIX

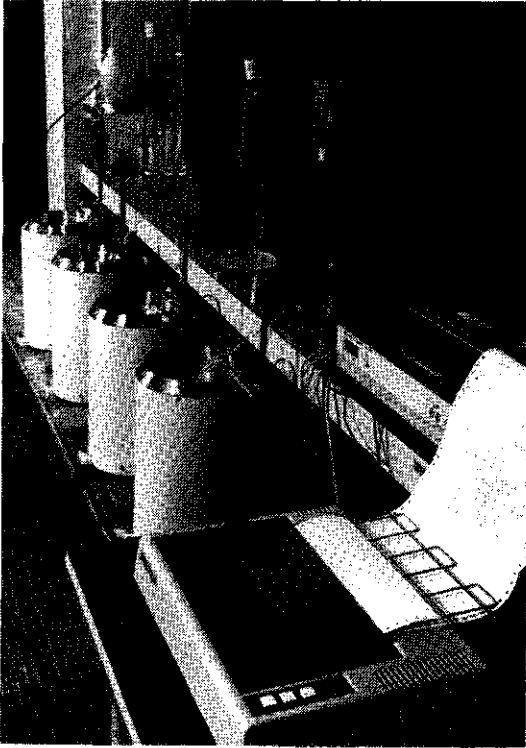
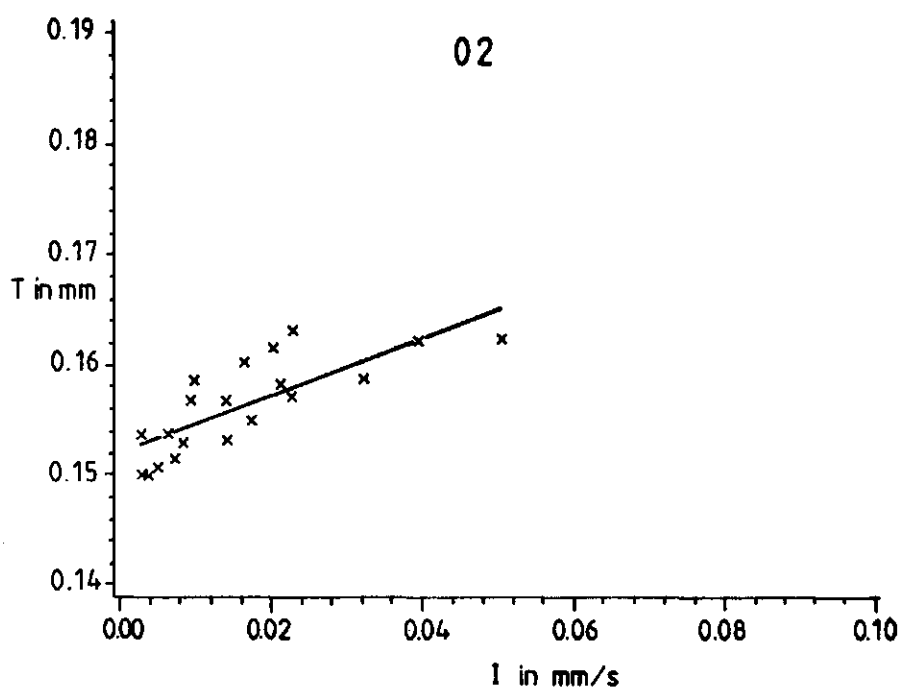


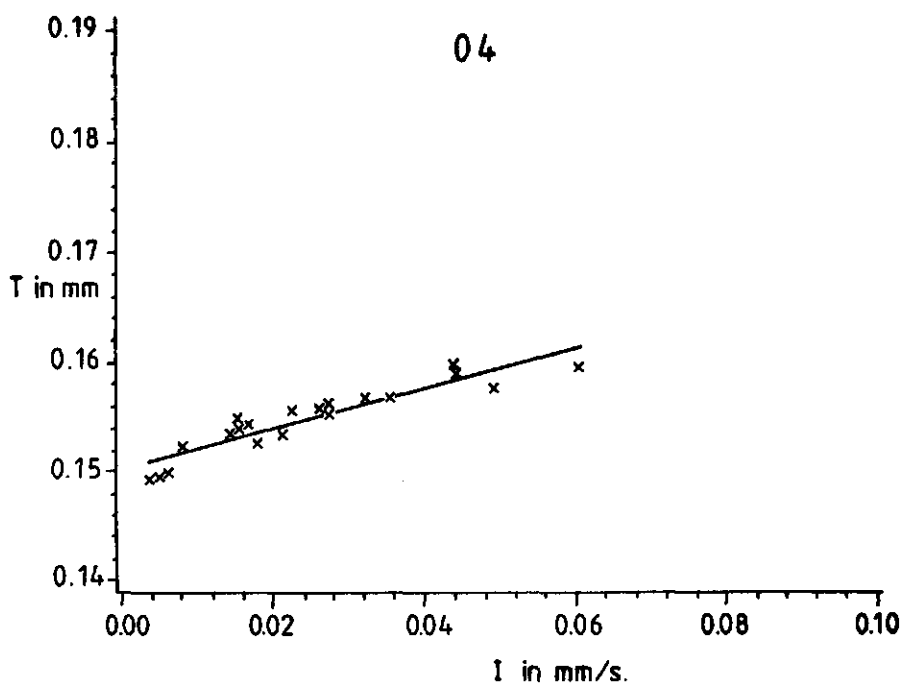
Foto A1 Algemeen overzicht van de ijkopstelling.



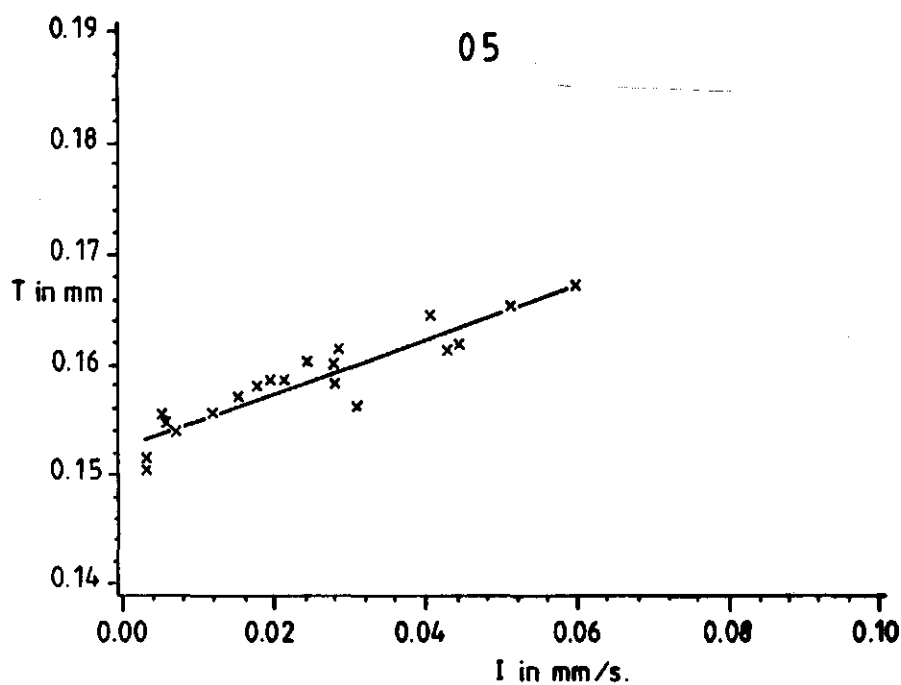
Foto A2 Detail van kraan met regenmeter.



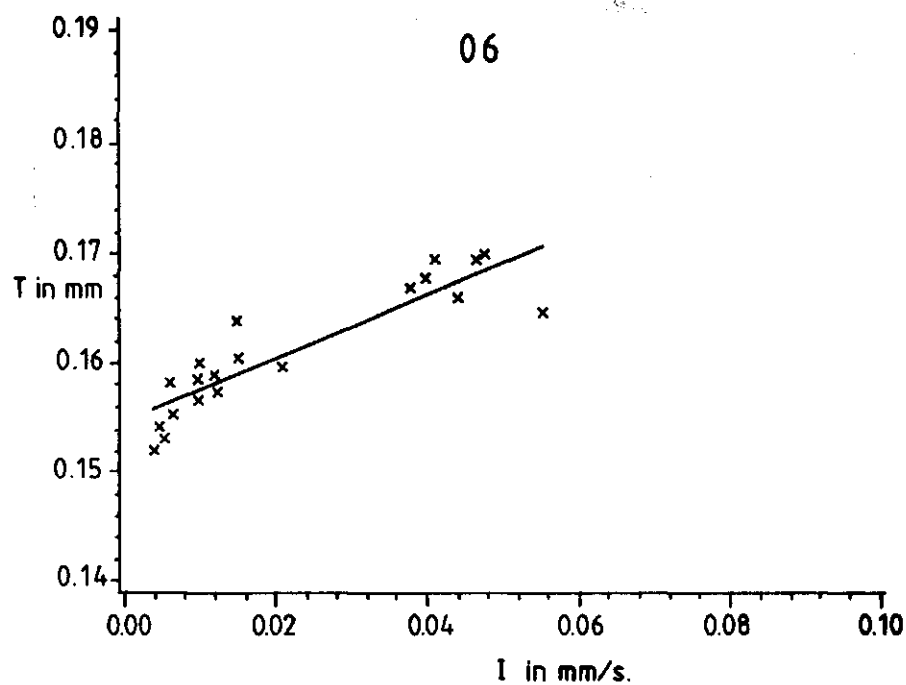
Figuur A1 IJklijn van regenmeter genummerd 02 met gewijzigde afstelling.



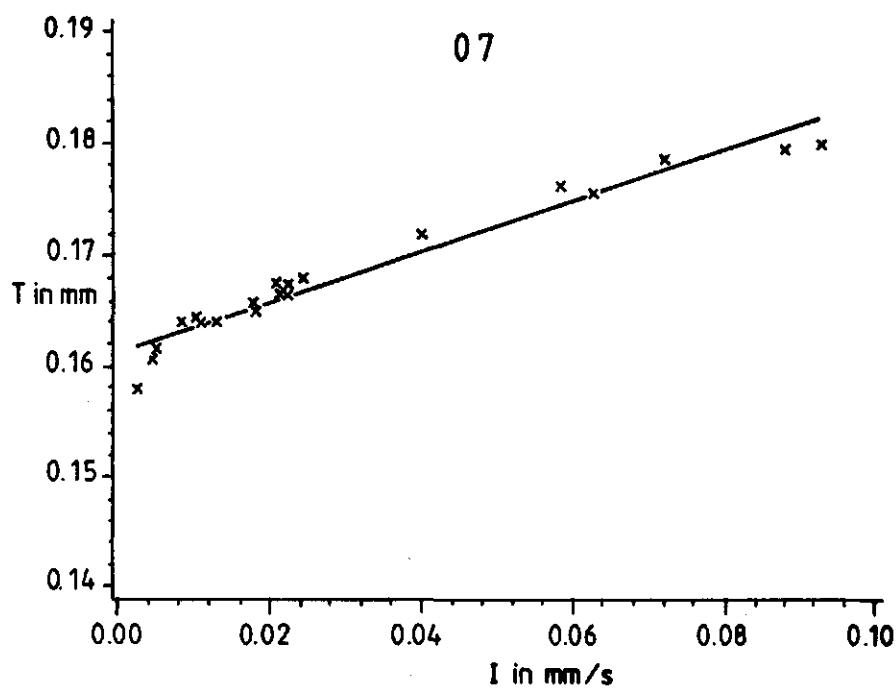
Figuur A2 IJklijn van regenmeter genummerd 04 met gewijzigde afstelling.



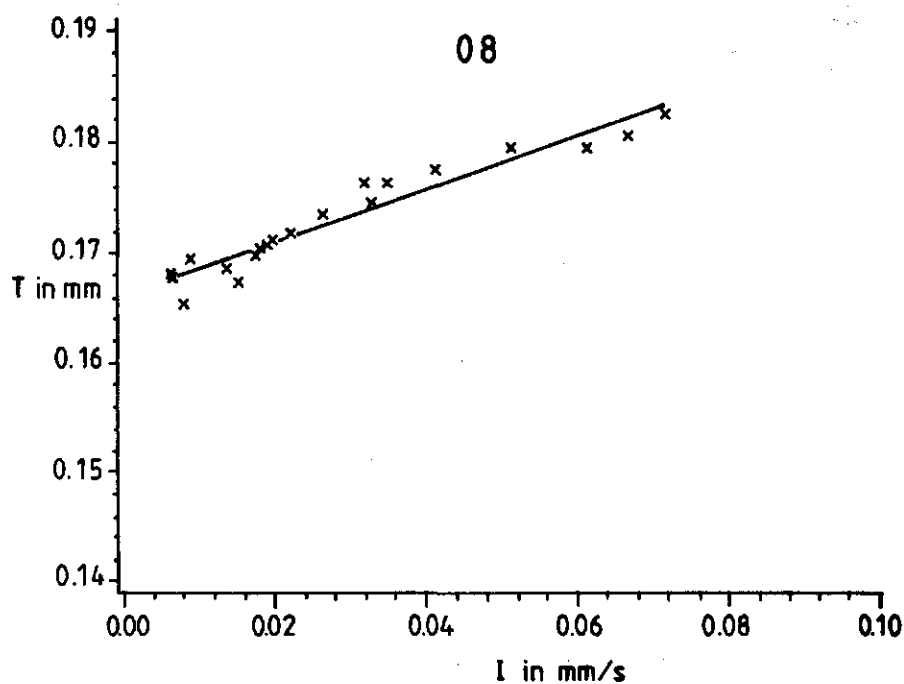
Figuur A3 IJklijn van regenmeter genummerd 05 met gewijzigde afstelling.



Figuur A4 IJklijn van regenmeter genummerd 06 met gewijzigde afstelling.



Figuur A5 IJklijn van regenmeter genummerd 07 met gewijzigde afstelling.



Figuur A6 IJklijn van regenmeter genummerd 08 met gewijzigde afstelling.