

PROF. IR. D. A. KRAUJENHOFF VAN DE LEUR,
Landbouwhogeschool, Wageningen*),

IR. F. C. ZUIDEMA,
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Kampen*)

SUMMARY

A study on the relation of rainfall and runoff in an urban area at Lelystad

This paper introduces a study on urban hydrology in the new town of Lelystad in one of the Yssel Lake polders. In order to determine the inflow criteria for rain sewers and subsurface drainage systems in urban areas, a number of research areas have been planned, which vary in size from about 0.7 to 4.0 ha (1.75 to 10.0 acres) and have different hydrological properties. A description is given of the first gauged research area of 2.0 ha (5.0 acres) with a surfaced area of 44%. In this first research area depth of rainfall, rain sewer discharge, subsurface drainage and groundwater level are measured continuously and synchronously (see fig. 1). The data logger has been designed so as to register only after significant changes of these hydrological data. Periodically the moisture condition of the non-surfaced soil is determined by means of a neutron scattering device. The gauges used in this urban catchment area as well as their accuracy have been described to some detail. Finally a first of the measurements in research area nr 1 is presented (see fig. 5).

Een onderzoek naar de relatie tussen neerslag en afvoer in het stedelijke gebied van Lelystad

1. Inleiding

In stedelijke gebieden waar een bodemdrainagesysteem is aangebracht, komt de neerslag, voor zover deze tot afvoer komt, gedeeltelijk in dit stelsel en gedeeltelijk in het rioolstelsel terecht. De verdeling van de neerslag over deze afvoersystemen houdt verband met de grootte van de oppervlakte aan daken en terreinverhardingen binnen het betrokken gebied. Verder is echter weinig bekend over de factoren die in een stedelijk gebied enerzijds het afvoerbare deel van de neerslag en anderzijds het verloop van het afvoerproces bepalen. Toch moet men uiteraard bij het ontwerpen van een rioolstelsel en van een bodemdrainagesysteem in een stedelijk gebied de beschikking hebben over bepaalde afvoernormen. Daarom worden bij het ontwerpen van gescheiden rioolstelsels, die het regenwater afzonderlijk afvoeren, normen gehanteerd, die vrijwel overeenkomen met die van het ontwerp van een samengesteld rioolstelsel.

In feite zijn deze normen slechts op weinig exacte gegevens gebaseerd, zodat er alle reden is om de juistheid aan een onderzoek te onderwerpen.

Daar men ook voor wat betreft de bodemdrainage in stedelijke gebieden nog slechts over weinig gegevens beschikt, was er ook reden om een onderzoek in te stellen naar de juiste afvoernormen voor een dergelijk bodemdrainagesysteem. Het was professor G. Levine van Cornell University, die in 1965 na zijn bezoek aan de IJsselmeerpolders de aandacht vestigde op de unieke mogelijkheid voor onderzoek in het stedelijk gebied van Lelystad, omdat hier een gescheiden rioolstelsel wordt aangelegd. De Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders en de Afdeling Hydraulica en Afvoerhydrologie van de Landbouwhogeschool hebben gezamenlijk deze kans aangegrepen om het afstromingsproces van daken en verhardingen naar het regenwaterriool nader te bestuderen. Hiertoe worden reeds in het ontwerp van dit riool mogelijkheden opgenomen om de afvoeren nauwkeurig te meten. Het resultaat hiervan biedt zich thans aan in de vorm van de eerste hydrologische gegevens uit een volledig geïnstrumenteerd stroomgebied in Lelystad. Met de inrichting van nog enkele meetgebieden is men doende.

Dit artikel beoogt het onderzoek te introduceren door in

het kort de opzet van het onderzoek, de inrichting van het eerste meetgebied, de meet-, en registratie-apparatuur en de ijking van de debietmeters te belichten. Aan het slot worden, bij wijze van voorbeeld, enkele waarnemingen uit het eerste meetgebied gepresenteerd.

2. Opzet onderzoek

De neerslagverdeling over de neerslagverliezen, de afvoer door het regenwaterriool en de afvoer door het bodemdrainagesysteem, kan worden bepaald door zowel de hoeveelheid neerslag in het gebied als de afvoer door beide systemen continu te meten.

In welke mate de verdeling over deze afvoersystemen door de aard en de dichtheid van de bebouwing en de bestrating wordt beïnvloedt, kan worden nagegaan door metingen te verrichten in meetgebieden met verschillende bebouwingen.

Met het oog hierop zal het onderzoek vermoedelijk in de volgende meetgebieden worden uitgevoerd:

1. een woonwijk (laagbouw)
2. een kantoor en winkelcentrum (gedeeltelijk hoogbouw)
3. een parkeerterrein
4. een braakliggend bouwterrein
5. een gebied in het stadspark
6. een akkerbouwgebied in de omgeving van Lelystad.

De gebieden 1 t/m 3 zijn of worden voorzien van een bodemdrainagesysteem en een gescheiden rioolstelsel. In deze meetgebieden komt de afvoerbare neerslag dus via het regenwaterriool en het drainagesysteem tot afvoer. In de gebieden 4, 5 en 6 zonder rioolstelsel, komt het regenwater alleen via het bodemdrainagesysteem tot afvoer.

Het regenwaterriool is ontworpen op een neerslag van 60 l/sec/ha verhard en onverhard oppervlak gedurende een periode van 20 min., d.i. 21,6 mm/uur.

De buizen hebben een diameter van 0,30 m. Deze diameter houdt verband met de afstand tot het aanwezige open water, waarop geloosd kan worden. Aangezien het onderzoek in deze fase tot doel heeft na te gaan hoe de toestroming van afvoerbare neerslag naar het rioolstelsel verloopt, wordt dit systeem gevuld gehouden door opstuwning bij het lozingspunt, zodat de tijdelijke berging in het rioolstelsel is beperkt tot de straatkolken en de verbindingsbuizen met het riool.

Na het opspuiten van het bouwterrein met een laag zand ter dikte van 1 meter op de bodem van zware zavel, is het bodemdrainagesysteem op een diepte van 2 meter beneden

*) Aan dit onderzoek werken voorts mee: G. H. Graasbeek en ir. R. H. Pitlo, Landbouwhogeschool, Wageningen; ir. W. A. Segeren, ir. H. L. Slothouwer, B. R. Voortman en ir. L. J. Zwierstra, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Kampen/Zwolle.

het nieuwe terreinoppervlak aangebracht in de vorm van een samengestelde drainage met een drainreeksafstand van 12 m. Kwel of wegzijging door de dichte zavelondergrond wordt uitgesloten geacht en de rechtstreekse afvoer van grondwater uit het meetgebied naar de gracht is voorkomen door langs deze gracht tot het peil van de drains een verticaal scherm van zware klei aan te brengen.

De waarnemingen, die in de eerste opzet bestaan uit neerslag-, afvoer- en grondwaterstandmetingen, worden door een centraal opgesteld elektronisch apparaat, de „Datalogger” opgenomen en op een ponsband geregistreerd. Hierdoor zal het mogelijk zijn de meetresultaten direct met behulp van een computer te verwerken. Afb. 1 toont een schematische voorstelling van het onderzoek.

Met de meting en automatische registratie in meetgebied 1, is in het voorjaar van 1968 begonnen. Afb. 2 geeft de inrichting weer van dit eerste meetgebied ter grootte van 2,00 ha. Het verharde oppervlak is 0,88 ha, hiervan wordt 25 % door (platte) daken, 37 % door geasfalteerde wegen en parkeerterreinen en 38 % door trottoirs en betegeling ingenomen.

3. De meet- en registratie-apparatuur

Ten gevolge van de betrekkelijk lage regenverliezen op verharde oppervlakken treden de hoogste afvoeren uit stedelijke stroomgebieden vooral in het zomerhalfjaar op wanneer de zwaarste regens met de grootste intensiteiten vallen.

Met betrekking tot het meten van de gebiedsneerslag heeft dit regentype een gunstige en een ongunstige kant: gunstig omdat bij de zware zomerbuien het effect van nabij gelegen gebouwen op de vangst in de regenmeter geringer is dan bij regen in het winterhalfjaar, ongunstig omdat deze soort van regens soms op een beperkte oppervlakte valt, waardoor het moeilijk wordt om de gebiedsneerslag uit een puntwaardering af te leiden. Gezien het betrekkelijk kleine oppervlak van het meetgebied werd aangenomen dat twee grondregometers van het door Colenbrander en Verstraate [1] ontwikkelde type een voldoende inzicht zouden geven, zowel in de ruimtelijke verdeling van de gevallen regen als in de grootte van de (onderling verschillende) invloeden van nabijgelegen gebouwen op de vangst in de beide regenmeters. In een lange reeks van waarnemingen zou een toevallige afwijking van de vangstverschillen kunnen duiden op een

onregelmatige verdeling van de buien over het meetgebied en een systematische afwijking op een verschil in het effect van de omgeving op de vangst in de beide regenmeters.

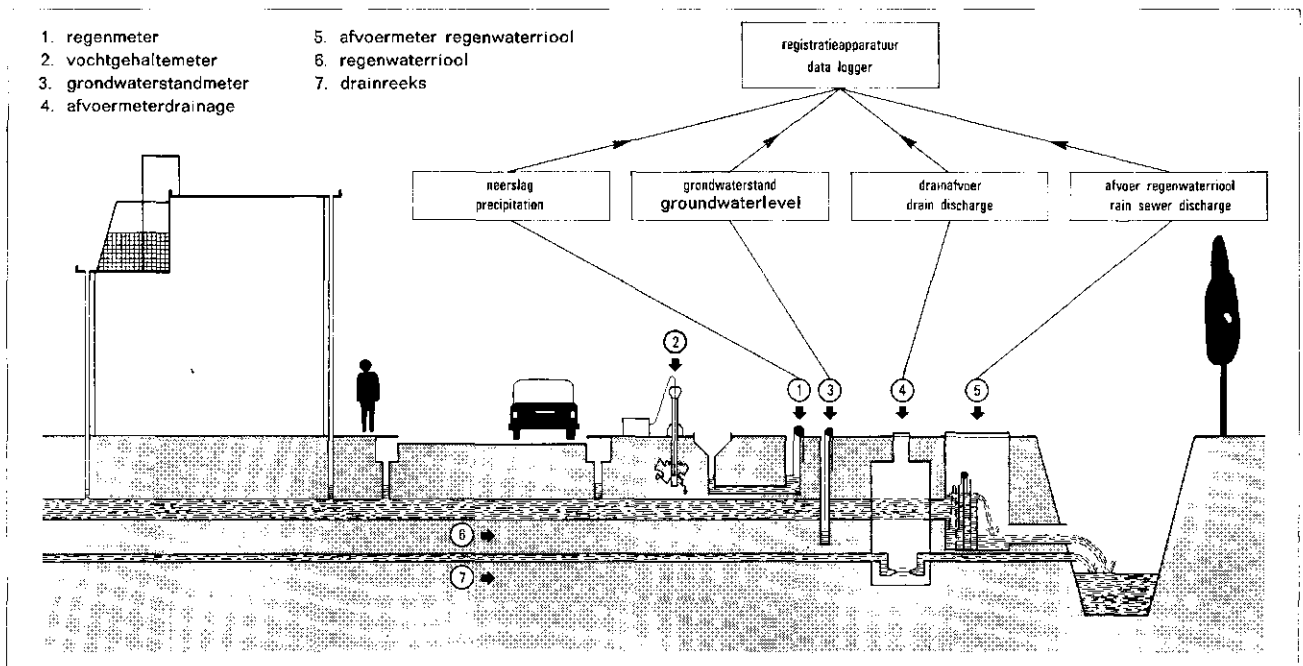
De gevangen neerslag wordt in een elektrisch signaal omgezet, doordat de stand van de vlotter in de verzamelingschacht van de regenmeter via een potentiometer wordt uitgedrukt in een elektrische stroom waarvan de sterkte evenredig is met de verzamelde hoeveelheid neerslag. Dit signaal wordt aan de Datalogger aangeboden. De nauwkeurigheid waarmee de Datalogger de toename van de gevangen neerslag volgt, kon ter plaatse worden gecontroleerd door telkens bekende waterhoeveelheden in de regenmeter te gieten en deze vervolgens met de registratie van de Datalogger te vergelijken. De grootste geconstateerde afwijkingen kwamen overeen met 0,1 mm respectievelijk 0,3 mm, afhankelijk van het al of niet bevochtigd zijn van de opvangtrechter van de regenmeter.

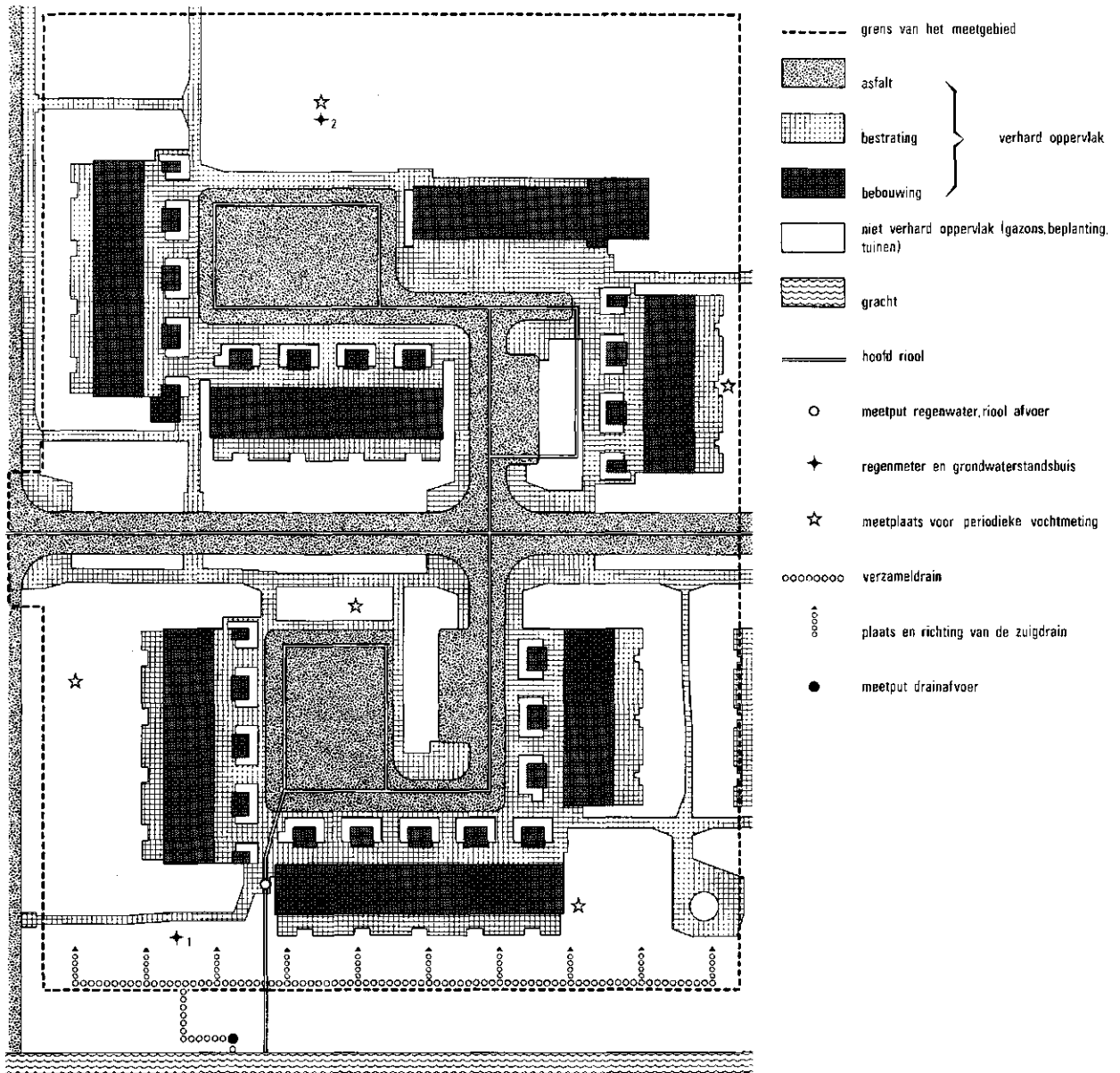
Om het afvoerverloop uit het regenwaterriool te kunnen meten is nabij het lozingspunt een meetput geplaatst voorzien van een Thomsonmeetschot en een stroomverdeler.

De juiste vorm van de stroomverdeler werd in een modelonderzoek (zie afb. 3) bepaald. Voorts moesten de gaatjes in de peilbuis, waarin de overstorthoogte wordt gemeten, zodanig worden gedimensioneerd dat enerzijds de nog niet door de stroomverdeler uitgedempte schommelingen in het water zo min mogelijk in de peilbuis zouden doordringen, terwijl anderzijds het niveau in de peilbuis de waterstandsverandering tengevolge van een snelle afvoerstijging moest kunnen volgen. Als criterium werd aangehouden dat een plotselinge niveaustijging van 10 cm door het niveau in de peilbuis in 17 seconden op 1 mm na moest zijn gevolgd. Dit komt overeen met een najiling van de vlotter van resp. 1 en 4 mm bij eenparige stijgsnelheden van het waterniveau voor het Thomsonmeetschot van resp. 6,6 en 13,2 cm per minuut. De grootste tot nu toe tijdens een bui geconstateerde stijgsnelheid in de buis is 12,3 cm per minuut.

Ook in dit afvoermeeptpunt is de vlotter met een potentiometer verbonden die in evenredigheid met de stand in de peilbuis een elektrische stroom aan de Datalogger levert. Het laboratoriumonderzoek strekte zich ook uit over de lineariteit van de potentiometer en de najiling van de potentiometerstand tengevolge van wrijving in het mechanisme. De in nota no. 9 van het Hydraulica Laboratorium

Afb. 1 - Schematische voorstelling van het hydrologie-onderzoek in Lelystad. (Diagram of the research project on urban hydrology in Lelystad)





Afb. 2 - Plattegrond van meetgebied 1. (Plan of research area nr 1)

[2] neergelegde conclusie t.a.v. dit onderzoek vermeldt dat de door genoemde foutenbronnen veroorzaakte afwijking in de geregistreerde overstorthoogte ten hoogste 3 mm kan bedragen. Uitgaande van de afvoerformule $Q = 1,34 h^{2,48}$ ($m^3 \text{ sec}^{-1}$) betekent een fout van 3 mm in de overstorthoogte een relatieve fout in het debiet Q van 7,5 % bij $h = 0,10$ m en 2,5 % bij $h = 0,30$ m. Bij het bereiken van een afvoertop zal de fout in de uit de geregistreerde overstorthoogte berekende afvoer belangrijk kleiner zijn dan de boven weergegeven schatting van de grootst mogelijke afwijking. Men kan dus stellen dat het verloop van de rioolafvoer nauwkeurig wordt gemeten.

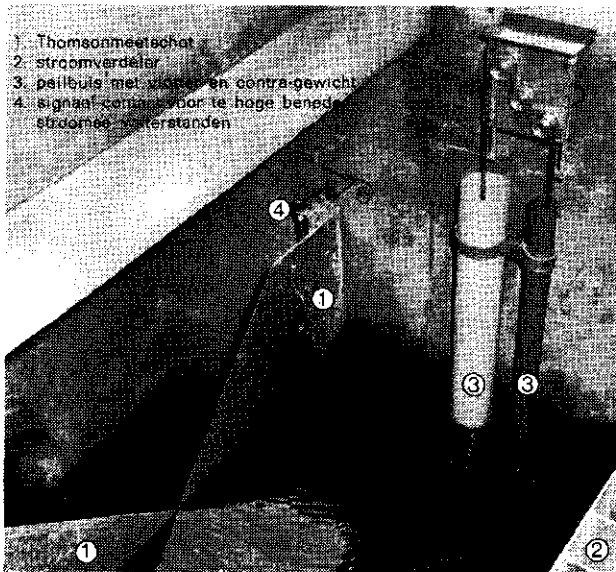
Naast de afvoer uit het regenwaterriool moet ook het debiet van het bodemdrainagesysteem worden gemeten. Hier was het nodig om betrekkelijk geringe debieten in de diep liggende verzameldrain bij kleine vervallen te meten. De keuze viel op een elektromagnetische debietmeter, die eveneens een elektrisch signaal levert dat evenredig is aan het passerende debiet. Voor een grote meetnauwkeurigheid was het gewenst om de snelheid in de debietmeter bij het te verwachten grootste debiet tot 5 meter per seconde op te voeren. Dit werd bereikt door het aanbrengen van een vernauwing met daarop aansluitend een diffusor, welke dient

om het veroorzaakte energieverlies zo laag mogelijk te houden (zie afb. 4).

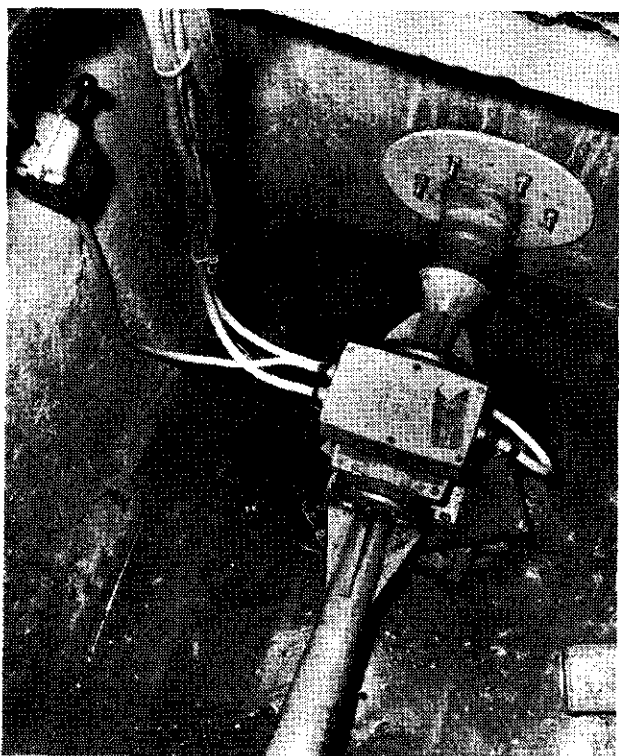
De uitkomsten van het laboratoriumonderzoek wezen op een grote nauwkeurigheid over een groot meetbereik. Enkele veldmetingen hebben deze uitkomsten bevestigd. Meer gegevens over dit laboratoriumonderzoek zijn in de reeds genoemde nota no. 9 [2] te vinden.

Naast de neerslag en de afvoer worden op een tweetal plaatsen nog grondwaterstanden opgenomen, eveneens volgens het vlotter-potentiometersysteem.

In het voorgaande is reeds vermeld dat van de verschillende meetpunten continu signalen aan een centraal registratie-apparaat, de Datalogger genoemd, worden toegevoerd. Deze is gebouwd volgens een principe dat door Learmonth [3] voor een stroomgebied in Canada werd uitgewerkt. Hierbij worden de signalen met korte tussenpozen afgetast. Het daarbij aangetroffen signaal wordt vergeleken met de desbetreffende laatst geregistreerde waarde, die in een geheugen is opgeborgen. Indien het absolute verschil tussen de nieuwe en de opgeborgen waarde groter is dan een te voren vastgestelde intervalgrootte, dan wordt de nieuwe waarde op de plaats van de oude waarde in het geheugen opgeborgen en wordt de nieuwe waarde tevens op de ponsband ge-



Afb. 3 - Meetpunt van de regenwaterrioolafvoer. (Weir box for measuring rain sewer discharge)



Afb. 4 - Meetpunt van de drainafvoer in verzameldrain. (Electromagnetic flowmeter in a collector drain of the subsurface drainage system)

registreerd tezamen met het tijdstip waarop dit signaal is opgenomen (in sec. nauwkeurig).

Dit systeem leek aangewezen voor de registratie van de hydrologische grootheden in een stedelijk stroomgebied waar snel verlopende verschijnselen met meestal lange maar steeds onregelmatige tussenpozen optreden. Men voorkomt aldus een ophoping van oninteressant materiaal, terwijl men toch in staat wordt gesteld om het snelle verloop van het verschijnsel nauwkeurig, dus met korte tijdsintervallen, te volgen. De minimum tijdsduur tussen twee waarnemingen is 13-27 seconden, afhankelijk van het aantal tussenliggende geregistreerde waarnemingen.

Voorlopig worden de door de Datalogger uitgevoerde meetgegevens niet alleen op de ponsband geregistreerd maar

ook met behulp van een snelle „printer” uitgetypt. Voor het overwinnen van de kinderziekten tijdens de inloopperiode en voor het bijstellen van de kritische intervallen voor de signaalvergelijking in de Datalogger zijn de getypte resultaten uiterst waardevol gebleken.

Een meer gedetailleerde beschrijving van dit door de N.V. Philips uitgevoerde registratiesysteem is te vinden in een recent artikel in „Techniek en Toepassing” [4].

Tenslotte worden vochtgehaltemetingen verricht om een inzicht te verkrijgen in de vochtcondities van de grond. Deze additionele metingen met behulp van een neutronsonde geschieden periodiek, b.v. éénmaal per week of 14 dagen en worden niet op de ponsband geregistreerd.

4. Een gemeten neerslag met de daarna opgetreden afvoer

Zonder daaraan in dit beginstadium van het onderzoek hydrologische beschouwingen te willen verbinden worden in afb. 5 enkele waarnemingen uit het eerste meetgebied gepresenteerd. De weergegeven staafdiagrammen van de neerslag en de afvoer zijn verkregen door deze grootheden telkens over intervallen van 3 minuten te berekenen.

Eerst nadat een nader inzicht in het verband tussen deze verschijnselen zal zijn verkregen, kan worden uitgemaakt of ook voor deze studie zal kunnen worden volstaan met de intervallen van 5 minuten die het KNMI in zijn studies over het verloop van regens aanhoudt [5].

Literatuur

1. Colenbrander, H. J. en Verstraate, J. M. I., „Een registrerende grondregenmeter, waarvan de gegevens automatisch kunnen worden verwerkt”. Cultuurtechnisch Tijdschrift, jrg. 6, no. 3 (1966).
2. Hydraulica Laboratorium, „Modelonderzoek stedelijk afvoer-gebied Lelystad”. Nota no. 9, dec. 1967.
3. Learmonth, J. R., „Recording both quickly and slowly changing phenomena”. Proc. Symposium CSIRO Canberra, aug. 1966.
4. Philips Bedrijfsapparatuur Nederland NV, „Datalogger registreert hydrologie-onderzoek”. Techniek en toepassing, nr. 31, okt. 1968.
5. KNMI, „Detailanalyse van pluviogrammen A. Frequentieverdelingen van de hoeveelheden neerslag in tijdvakken van 5 tot 660 minuten”. De Bilt 1968.

Afb. 5 - Neerslag op 11-9-1968 en bijbehorend afvoerverloop van meetgebied 1 (te verharden oppervlak niet afgewerkt). (Precipitation and discharge in a research area nr 1; area to be surfaced unfinished.)

