

## 5-minuten regens

De bepaling van de frequentieverdeling van neerslaghoeveelheden en regenintensiteiten en in samenhang met berging, regenpompoevercapaciteit en verdamping, de overstortfrequentie; uitgaande van de 5-minuten regenvalgegevens van De Bilt over twaalf jaren (1928, 1933 en 1951-1960).

### Inleiding

Reeds lang bestond de behoefte aan regenvalgegevens gedurende korte perioden, o.a. voor de berekening van rioolstelsels.

Doordat beschikt kon worden over de door het KNMI vastgelegde vijf-minuten regenvalcijfers van De Bilt over 12 jaren, werd besloten om deze gegevens m.b.v. een computer te bewerken, teneinde een beter inzicht te verkrijgen in frequenties van neerslaghoeveelheden, regenintensiteiten en overstorten.

Hoewel deze gegevens, voor wat betreft de frequentieverdeling van de neerslag gedurende tijdvakken, variërende van 5-660 minuten, reeds door het KNMI zelf bewerkt en gepubliceerd zijn [1], is thans doelbewust een aantal andere stochastische bewerkingen toegepast, om zodoende tot een uitbreiding van de tot nu toe bekende resultaten te kunnen komen. Bij de opzet van de verwerking werd vooral gedacht aan het berekenen van rioolstelsels, maar de uitkomsten zullen tevens bruikbaar materiaal bieden voor afvoerberekeningen van open watergangen in landbouwgebieden e.d.

In dit artikel zal worden getracht enkele van de meest kenmerkende resultaten weer te geven en te behandelen. Het was niet zinvol en in het kader van dit artikel ook niet mogelijk, om alle resultaten in de vorm van tabellen en grafieken te publiceren. Het ligt in de bedoeling om op korte termijn een zo volledig mogelijke uitgave te doen verschijnen, waarin vele grafieken zullen worden opgenomen, met een toelichtende tekst, die aan belangstellenden tegen kostprijs ter beschikking kan worden gesteld.

In dit stadium was het tevens niet zinvol om alle gewenste bewerkingen reeds uit te voeren en het is daarom dan ook zeer wel mogelijk om de gegevens in de toekomst voor een specifiek geval opnieuw te bewerken.

Een woord van dank willen wij richten tot het KNMI in De Bilt, voor de bereidwillige medewerking en adviezen bij de verwerking van de door dit Instituut geleverde gegevens.

### Basisgegevens en verwerkingsmethode

#### *Samenstelling en invoer van de basisgegevens*

De vijf-minuten regenvalgegevens zijn door het KNMI vastgelegd op ponskaarten en reeds grotendeels overgezet op magnetisch tape. Het totale bestand voor de beschouwde 12 jaren (1928, 1933 en 1951-1960, uitgezonderd de maand december 1955) omvat ruim 75000 ponskaarten.

Iedere ponskaart vertegenwoordigt een „nat” 5-minuten tijdvakje en bevat o.a. gegevens over de tijdslocatie van het vakje, zowel in het jaar als binnen de regen waartoe het vakje behoort, het aantal vakjes dat de regen duurt en de gevallen neerslag in het vakje.

Het totale bestand werd in chronologische volgorde gesorteerd en gecontroleerd op foutieve en/of ontbrekende kaarten, die hersteld werden.

In totaal bleken er 43 kaarten te ontbreken op het totaal van ruim 75000, zodat de quantitative nauwkeurigheid van de basisgegevens voldoende hoog mocht worden geacht.

In totaal bleken er 6603 regens te zijn opgetreden, variërende van 312 in 1933 tot 699 in 1957. Het aantal natte 5-minuten tijdvakjes varieerde van 3907 in 1933 tot 8404 in 1954. Een jaar van 365 dagen telt 105120 vijf-minuten tijdvakjes.

De verwerking van dit grote aantal gegevens en de vele bewerkingen die nodig waren, zou zonder gebruik te maken van een computer praktisch onmogelijk zijn geweest, maar de basis voor de verwerking is uiteraard destijds door het KNMI gelegd door de grafische voorstelling van de neerslag in de vorm van pluviogrammen, om te zetten in digitale gegevens op ponskaarten.

Voor de verschillende verwerkingen waren een tiental uitgebreide computerprogramma's opgesteld die uitvoerig getest werden, alvorens met de eigenlijke bewerking kon worden aangevangen.

Voor zover mogelijk was, werden de verkregen uitkomsten vergeleken met die van het KNMI [1], hetgeen tot bevredigende resultaten leidde.

#### *Gehanteerde grootheden, begrippen en definities*

Volledigheidshalve zijn hieronder enkele in dit artikel gehanteerde begrippen in het kort toegelicht.

##### a. Berging B (mm)

Onder de Berging B wordt verstaan de hoeveelheid neerslag, die maximaal in het rioolstelsel kan worden geborgen, zonder ergens tot overstorten aanleiding te geven; uitgedrukt in mm t.o.v. het verhard oppervlak, met afvoercoëfficiënt 1.

##### b. Regenpompoevercapaciteit P (mm/uur)

Onder de regenpompoevercapaciteit, hierna kortweg genoemd Pompcapaciteit P, wordt verstaan de totale maximale overcapaciteit van de pompen van het (de) rioolgemeal(en), die beschikbaar is voor de afvoer van neerslag uit het rioolstelsel naast de droogweerafvoer (d.w.a.), uitgedrukt in mm/uur t.o.v. het verhard oppervlak.

Hierbij is er van uitgegaan, dat de pompcapaciteit in werking treedt zodra het riool wordt gevuld en dat deze pompcapaciteit constant blijft tijdens het geheel of gedeeltelijk gevuld zijn van het rioolstelsel. In werkelijkheid zal het pompregime van vele factoren afhankelijk zijn. Het is echter mogelijk om de 5-minuten regenvalgegevens met een specifieke variërende pompcapaciteit te bewerken.

##### c. Berging C (mm)

Onder de Berging C wordt verstaan dat gedeelte van de gevallen neerslag, dat in de vorm van plassen op straat, platte daken, dakgoten e.d. geborgen kan worden en niet tot afstroming komt in het rioolstelsel, maar door verdamping weer verdwijnt. Deze Berging C, ook wel Berging op Straat genoemd, wordt uitgedrukt in mm t.o.v. het verhard oppervlak.

##### d. Verdamping V (mm/5-minuten)

In de overstortberekningen is in samenhang met de Berging C ook de invloed van de verdamping betrokken.

Deze verdamping is werkzaam gedurende de droge periode tussen de regens door en is dan in staat om de geheel of gedeeltelijk gevulde Berging C weer geheel of gedeeltelijk te ledigen.

Daar niet, zoals met de neerslag, beschikt kon worden over 5-minutengegevens van de verdamping van een vrij wateroppervlak (evaporatie), werd uitgegaan van de maandcijfers over de beschouwde 12 jaren, die eveneens door het KNMI ter beschikking waren gesteld.

Nadat van elk jaar, voor iedere maand het aantal droge 5-minuten tijdvakjes was berekend, kon de gemiddelde verdamping per droge 5-minuten periode worden berekend voor iedere willekeurige maand, uitgedrukt in mm/5 minuten t.o.v. het verhard oppervlak.

TABEL I - Maandverdamping in mm en gemiddelde verdamping  $V$  per droge 5-minuten periode in  $10^{-3}$  mm, voor het jaar 1951

	jan.	febr.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
per maand	10,2	19,8	36,3	68,7	90,7	112,0	93,3	65,9	37,7	27,3	13,4	7,0
per 5-min.	1,3	2,6	4,4	8,7	10,8	13,4	10,7	8,0	4,6	3,1	1,7	0,8

Deze uitkomsten, waarvan er enkele in tabel I vermeld staan, werden in de overstortberekeningen ingevoerd.

*Statistische bewerking volgens methode Gumbel*

Om voor een bepaalde gebeurtenis de verwachtingswaarde te kunnen bepalen bij een bepaalde aangenomen periodiciteit of herhalingstijd, werden de verkregen uitkomsten statistisch bewerkt, waarbij gebruik werd gemaakt van de Theorie der Extreme Waarden en wel in het bijzonder van de methode zoals die door Gumbel werd ontwikkeld [2].

In het kader van dit artikel zal verder niet worden ingegaan op de toepasbaarheid en de voor- en nadelen van de methode Gumbel (zie hiervoor de uitgebreide literatuur over dit onderwerp, o.a. [3]), doch zal worden volstaan met een korte beschrijving van de wijze waarop deze methode in dit geval werd toegepast.

Voor elk der beschikbare jaren werd van een bepaalde gebeurtenis de maximale opgetreden waarde bepaald, zodat voor een bepaalde gebeurtenis beschikt kon worden over 12 jaarmaxima ( $X$ ).

Overeenkomstig de methode Gumbel werd voor iedere waarde  $X_i$ , de bijbehorende onderschrijdingsfrequentie  $f(X_i)$  bepaald, volgens de formule:

$$f(X_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

( $i$  is het rangnummer van de in opklimmende grootte gerangschikte maxima  $X_i$ , terwijl  $n = 12$ , het aantal waarnemingen bedraagt).

Vervolgens werd de vergelijking bepaald van de „Gumbel-rechte”, waarbij gebruik werd gemaakt van de methode van de kleinste som der kwadraten van de afstanden beschouwd t.o.v. beide assen van het assenstelsel.

Op deze wijze werd voor een bepaalde periodiciteit of herhalingstijd  $T$  in jaren (return-period of Gumbel) de bijbehorende maximale waarde van een gebeurtenis berekend, waarvan verwacht kan worden dat deze maximale waarde gemiddeld éénmaal in de  $T$  jaar bereikt of overschreden zal worden. Eenvoudigheidshalve is de periodiciteit van

$T = 1.1$  jaar uit de berekeningen gelijk gesteld aan  $T = 1$  jaar in de resultaten (grafieken), daar bij de methode Gumbel de waarde  $T = 1$  jaar niet wordt bereikt, maar wordt benaderd.

Bovenstaande berekeningswijze werd geprogrammeerd en de berekeningen werden door de computer uitgevoerd.

Het geringe aantal waarnemingsjaren ( $n = 12$ ) is weliswaar een minimum voor een betrouwbare toepassing van de methode Gumbel, maar de resultaten zijn voldoende reëel, aangezien het hier een aantal representatieve jaren betreft voor het Nederlands klimaat. Het was uiteraard beter geweest wanneer over de gegevens van meerdere jaren kon worden beschikt.

Een gevolg hiervan is, dat men bij de beschouwing van de resultaten bij grotere periodiciteiten, zoals bijvoorbeeld  $T = 50$  en  $T = 100$  jaar, de nodige reserve in acht zal moeten nemen.

**Regenintensiteiten**

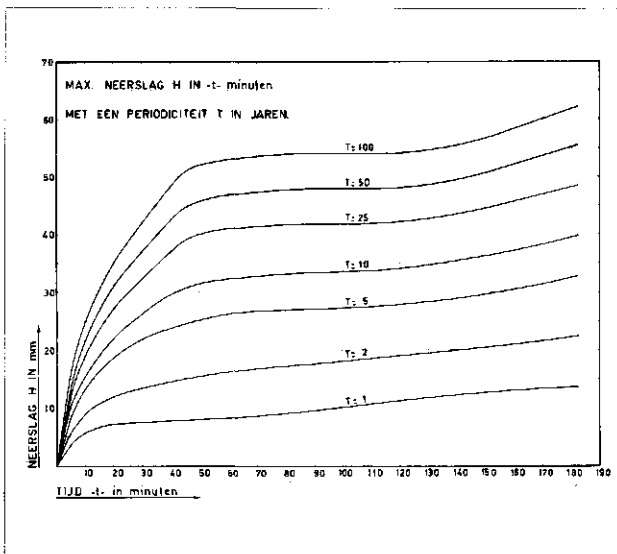
Veelal zal men geïnteresseerd zijn in het antwoord op de vraag: hoe groot zal de te verwachten maximale hoeveelheid neerslag zijn, die gevallen is gedurende een bepaalde tijdsperiode, of anders geformuleerd, hoe groot zal de maximale te verwachten regenintensiteit zijn in een bepaalde periode, bij een bepaalde aangenomen periodiciteit? Daartoe werd van elk jaar afzonderlijk en voor een aantal tijdsperiodes, variërende van 5-180 minuten, de maximale hoeveelheid neerslag bepaald. De genoemde tijdsperiodes liggen geheel willekeurig binnen een jaar en zijn onafhankelijk van b.v. het begin van een regenbui.

Op deze wijze werden voor iedere gekozen tijdsperiode twaalf jaarmaxima bepaald die vervolgens met behulp van de methode Gumbel statistisch bewerkt werden.

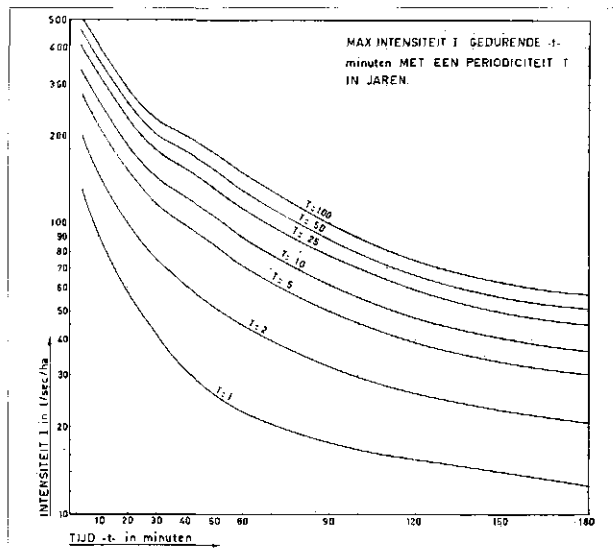
Het resultaat van deze bewerking is weergegeven in tabel II en op grafische wijze verwerkt in de afb. 1 en 2.

In deze afbeeldingen is het verband weergegeven tussen de te verwachten maximale hoeveelheid neerslag  $H$  (afb. 1) of de maximale regenintensiteit  $I$  (afb. 2) gedurende een bepaalde tijdsperiode  $t$  en een periodiciteit  $T$ , d.m.v. lijnen met gelijke periodiciteit (isoperioden).

Afb. 1 - Te verwachten maximale neerslag gedurende perioden van 5-180 minuten.



Afb. 2 - Te verwachten maximale regenintensiteit gedurende perioden van 5-180 minuten.



Opvallend is het verloop van deze krommen voor grotere periodiciteiten  $T$  in het gebied van  $t = 70 - 130$  minuten (afb. 1).

Blijkbaar valt er in een periode van ongeveer 70 minuten vrijwel evenveel neerslag als in langere perioden, tot 130 minuten toe. In hoofdstuk 3. „Neerslaghoeveelheden tot 14 dagen”, zal hier nader op worden teruggekomen.

In het verleden waren reeds eerder dergelijke krommen samengesteld o.a. door Braak [4], Oostwoud Wijdenes [5] en Levert [6]. Uitgaande van de toenmalige beschikbare regengegevens en door gebruik te maken van de empirische formule van Reinhold [7], kwamen zij tot hun afgeleide krommen, die onderling evenwel, vooral bij grotere periodiciteiten, tot belangrijke verschillen aanleiding gaven.

Van essentieel belang voor de toepassing van de formule van Reinhold voor Nederland was de  $i_{1, 15}$ , de gemiddelde intensiteit gedurende een periode van 15 minuten met een periodiciteit van 1 jaar. Door Oostwoud Wijdenes werd deze gesteld op 90 l/sec./ha, hetgeen overeenkomt met een neerslag van 8.1 mm gedurende 15 minuten.

Uit afb. 1 volgt, dat deze waarde 6.8 mm bedraagt bij  $t = 15$  min. en  $T = 1$  jaar, ofwel 75,6 l/sec./ha.

TABEL II - Maximale te verwachten neerslag  $H$  in mm gedurende een periode van  $t$  minuten bij een periodiciteit  $T$  in jaren

Periode $t$ in min.	Periodiciteit $T$ in jaren						
	1	2	5	10	25	50	100
5	3.8	5.8	8.2	9.8	11.8	13.3	14.8
10	5.5	9.0	13.2	16.0	19.6	22.2	24.9
15	6.8	10.9	15.8	19.1	23.4	26.5	29.7
20	7.0	12.1	18.2	22.4	27.6	31.5	35.4
30	7.5	13.5	20.8	25.7	32.0	36.6	41.2
45	7.2	15.0	24.5	30.9	39.0	45.0	51.0
60	8.1	16.2	25.8	32.4	40.7	46.8	53.0
90	9.6	17.5	27.1	33.6	41.9	48.0	54.1
120	11.2	18.9	28.0	34.3	42.2	48.1	53.9
150	12.7	20.6	30.0	36.4	44.6	50.6	56.6
180	13.5	22.1	32.5	39.5	48.5	55.1	61.7

De krommen voor  $T = 1$  jaar blijken in hun geheel lagere waarden op te leveren dan de overeenkomstige resultaten van Oostwoud Wijdenes. Overigens blijkt er voor de andere periodiciteit een opvallende overeenkomst met de door Oostwoud Wijdenes samengestelde krommen met  $i_{1, 15} = 90$  l/sec./ha.

De grote verschillen, die Oostwoud Wijdenes destijds al constateerde met de resultaten van Braak, werden nu ook gevonden. Levert vond indertijd al lagere waarden dan Oostwoud Wijdenes, hetgeen verklaard kan worden uit het feit, dat hij gehele regens beschouwde en niet zoals Oostwoud Wijdenes en de nu uitgevoerde berekeningen, de meest intensieve gedeelten van de regens.

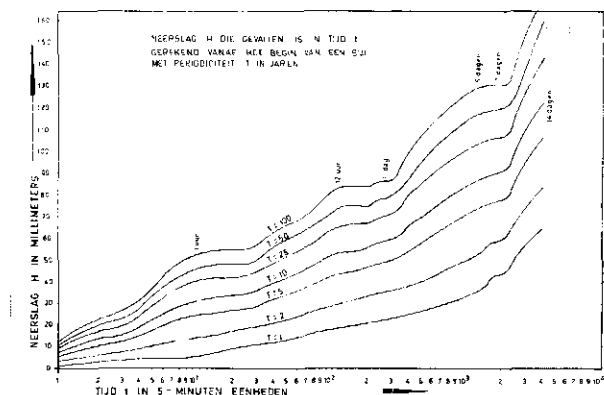
### Neerslaghoeveelheid tot 14 dagen

Om een uitspraak te kunnen doen over de te verwachten maximale hoeveelheden neerslag gedurende langere perioden, gerekend vanaf het begin van een regen, werden de 5-minuten regencijfers als volgt bewerkt.

Voor in totaal 98 tijdsperioden, variërende van 5 minuten tot 14 etmalen, steeds gerekend vanaf het begintijdstip van iedere opgetreden regen, werd voor elk der 12 jaren de maximale hoeveelheid neerslag gedurende genoemde tijdsperioden bepaald. Dit leverde tenslotte voor elk der 98 tijdsperioden 12 jaar-maxima op, die vervolgens met behulp van de methode Gumbel statistisch bewerkt werden.

Het resultaat van deze bewerking is op gecompriëerde wijze grafisch weergegeven in afb. 3 voor verschillende periodiciteiten  $T$ . Duidelijk blijkt uit deze krommen, dat bij grotere periodiciteiten een periode met grote neerslag gevolgd zal worden door een periode met geen of zeer weinig neerslag.

Een belangrijke conclusie die men o.a. uit afb. 3 kan trek-



Afb. 3 - Te verwachten maximale neerslag gedurende perioden van 5 minuten tot 14 dagen, gerekend vanaf het begin van een regen.

ken is, dat een extreem hoge hoeveelheid neerslag, die bijvoorbeeld gemiddeld éénmaal in de 50 jaar bereikt of overschreden zal worden, voornamelijk valt gedurende de eerste 5 dagen, gerekend vanaf het begin van een regen en daarna gevolgd zal worden door een betrekkelijk droge periode van ongeveer 3 dagen. Dit verschijnsel valt ook voor kortere perioden waar te nemen.

In afb. 1, waarin de resultaten waren weergegeven van tijdsperioden tot 180 minuten, die onafhankelijk waren van het begintijdstip van een regen, trad een identiek verschijnsel op bij grote periodiciteiten. Om na te gaan, of er een zeker verband bestond tussen beide verschijnselen, werden in afb. 4 voor periodiciteiten  $T = 2$  en  $T = 50$  jaar de bijbehorende krommen uit de afb. 1 en 3 samengevoegd.

Uit het resultaat hiervan valt de belangrijke conclusie af te leiden dat de extreem hoge neerslag die valt in een periode van 130 à 140 minuten bij een periodiciteit van bv.  $T = 50$  jaar, zal vallen in de eerste 60 minuten van een regen. Bovendien valt er uit te concluderen dat voor langere tijdsperioden het geen of zeer weinig verschil uitmaakt, of een willekeurige periode of een periode gerekend vanaf het begin van een regen wordt beschouwd, voor de te verwachten maximale hoeveelheid neerslag bij een hoge periodiciteit.

In het verleden is reeds door het KNMI voor een aantal waarnemingsstations in Nederland de frequentieverdeling bepaald voor k-daagse neerslagsommen [8], waarvan de resultaten voor elke maand in tabelvorm gepubliceerd zijn. Zij kunnen echter moeilijk worden vergeleken met de thans verkregen resultaten, aangezien de k-daagse neerslagsommen bepaald werden aan de hand van etmaalregenvallen en de huidige resultaten verkregen zijn door uit te gaan van het begin van iedere regenbui.

### Overstortfrequentie

#### Algemeen

Voor ieder jaar afzonderlijk en voor 214 combinaties van Berging B, Berging C (inclusief de verdamping) en Pomp-capaciteit P werden o.a. de totale overstorthoeveelheid en het aantal overstorten per jaar bepaald. In tabel III is een overzicht van het aantal beschouwde combinaties B, C en P gegeven.

De hieronder in het kort te behandelen 5-minuten berekeningsmethode komt er in principe op neer, dat alle natte 5-minutenvakjes in chronologische volgorde doorlopen werden en dat na iedere 5-minuten periode een waterbalans-berekening werd uitgevoerd.

Hierbij is van essentieel belang de gedane aanname, dat de regenintensiteit slechts per 5 minuten als zijnde constant werd aangenomen, dit in tegenstelling tot vroegere berekeningswijzen, waarbij met de intensiteit gedurende de gehele

TABEL III

Berging B in mm	Pompcapaciteit P in mm/uur	Berging C in mm	Aantal combinaties
0	0.5	0	45
1	0.7	1	
3	1.1	1	
	1.5	3	
	2.0		
5	0.5		144
6	0.6	0	
7	0.7		
8	0.8	1	
9	0.9		
11	1.1	3	
	1.5		
	2.0		
13		0	24
15	0.7		
18		1	
21	2.0	3	
4	1.2	0	1
Totaal aantal combinaties B, C en P:			214

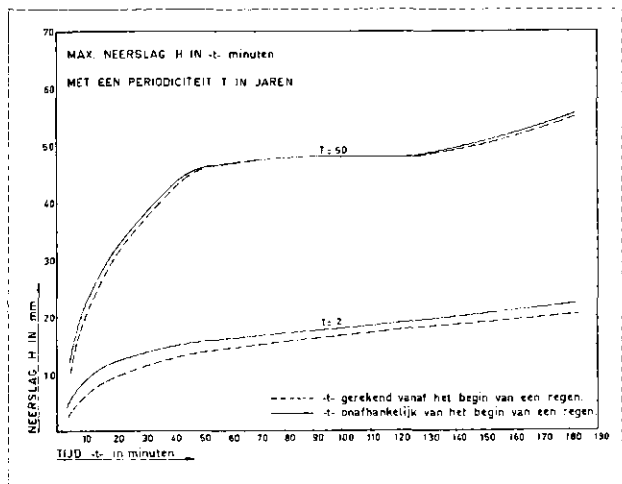
duur van een regen als zijnde constant aannam en men aan het einde van een regen een waterbalans-berekening uitvoerde. Bovendien werden daarbij regens met een totale neerslag kleiner dan 4 mm verwaarloosd, terwijl in de hier gevolgde berekeningswijze geen enkele regen, hoe klein ook, verwaarloosd werd.

Een tweede aanname was, berekeningstechnisch noodzakelijk, dat de Bergingen B en C aan het begin van een jaar als zijnde leeg werden aangenomen. Een grote verbetering reeds ten opzichte van vroeger gedane berekeningen, waarbij de Berging C (evenals de verdamping) werd verwaarloosd en de Berging B aan het begin van iedere regen op 0 werd gesteld.

*Principe van de berekening*

In de hierna te behandelen methode zijn de grootheden Neerslag H, Pompcapaciteit P en de Verdamping V alle uitgedrukt in mm/5-minuten. In het voorbeeld van afb. 5 begint op het tijdstip t = 0 de eerste regen in een jaar. Zodra aan het einde van een nat 5-minuten vakje de gesommeerde neerslaghoeveelheid H groter wordt dan de Berging C zal er door de pompen van het rioolgemaal per 5 minuten P mm van verpompt worden, echter nooit meer dan het gedeelte dat boven de lijn C ligt. Indien tijdens het verloop van een regen de Berging C gevuld raakt, zal deze berging

Afb. 4 - Te verwachten maximale neerslag gedurende perioden van 5-180 minuten onafhankelijk van, en gerekend vanaf het begin van een regen.



gedurende het gehele verdere verloop van de regen gevuld blijven en pas in de droge periode na een regen onder invloed van de Verdamping V geheel of gedeeltelijk geleidigd worden.

Zodra aan het einde van een nat 5-minutenvakje de gesommeerde hoeveelheid neerslag H minus de verpompte hoeveelheid P, groter wordt dan Berging B + C, begint het overstorten. (In afb. 5 tussen t = 10 en t = 15 en per definitie op t = 10 min.). De overgestorte hoeveelheid neerslag per 5 minuten is X genoemd. Indien door een sterke afname van de regenintensiteit, P groter wordt dan H (bij t = 25 min. in afb. 5), zal het overstorten ophouden. Wanneer de regenintensiteit daarna weer gaat toenemen kan het overstorten op een later tijdstip opnieuw beginnen.

Binnen een regen kunnen dus één of meerdere deeloverstorten voorkomen, terwijl tussen twee deeloverstorten in, onder invloed van de pompcapaciteit, Berging B teruggevoerd kan worden.

Op bovenstaande wijze wordt dus aan het einde van ieder nat 5-minutenvakje een waterbalans-berekening uitgevoerd. Afhankelijk van de lengte van de droge periode tussen twee opeenvolgende regens, de Pompcapaciteit P, de Verdamping V en de mate waarin Berging B en C gevuld zijn aan het einde van de „oude” regen, kan nu voor de „nieuwe” volgende regen de begintoestand worden bepaald.

Vooraf bij elkaar snel opvolgende regens, is het mogelijk dat door de eerste regen, die zelf niet tot overstorten aanleiding behoeft te geven, aan het begin van de tweede regen nog zoveel berging gevuld zal zijn, dat de tweede regen op zijn beurt snel tot overstorten aanleiding zal geven, terwijl deze regen dit bij een volledig beschikbare berging niet, of althans veel later zou doen.

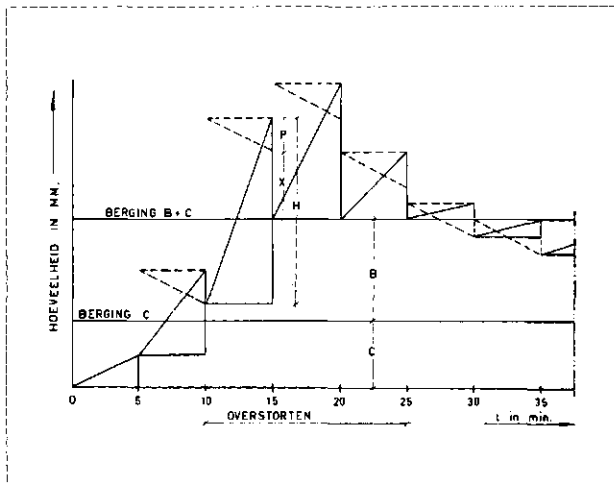
Deze onderlinge afhankelijkheid van twee opeenvolgende regens is weergegeven in afb. 6. Het vroeger gehanteerde begrip leidingstijd is daarmee vervangen door een logische verwerking van de pompcapaciteit en verdamping in de boven omschreven 5-minuten berekeningsmethode.

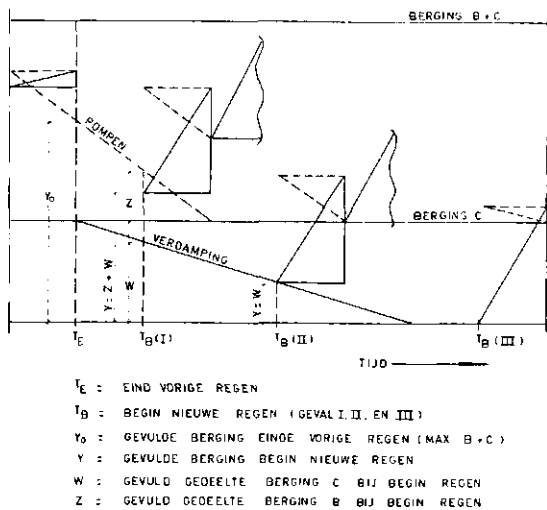
Sommatie van de 5-minuten overstorthoeveelheden X binnen een bui gaf de totale overstorthoeveelheid per regenbui voor een bepaalde combinatie B, C en P, terwijl deze gesommeerd de totale overstorthoeveelheid per jaar voor de beschouwde combinatie opleverde. Sommatie van het aantal regenbuien, dat één of meerdere deeloverstorten opleverde, gaf het aantal overstorten per jaar voor een bepaalde combinatie.

*Enkele resultaten*

Voor elk der 214 combinaties B, C (inclusief de verdamping) en P volgden uit de berekening voor zowel het aantal overstorten per jaar, als de totale overstorthoeveelheid per jaar,

Afb. 5 - Principe van de overstortberekening volgens de 5 minuten methode.





Afb. 6 - Onderlinge beïnvloeding van twee opeenvolgende regens in de overstortberekening.

12 waarden (één per jaar). Daar deze niet zoals bij voorgaande bewerkingen, extreme waarden waren, kon hier dus niet een statistische bewerking met behulp van bijvoorbeeld de methode Gumbel, toegepast worden.

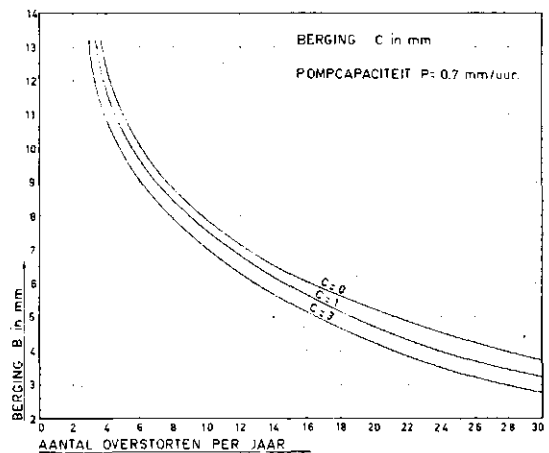
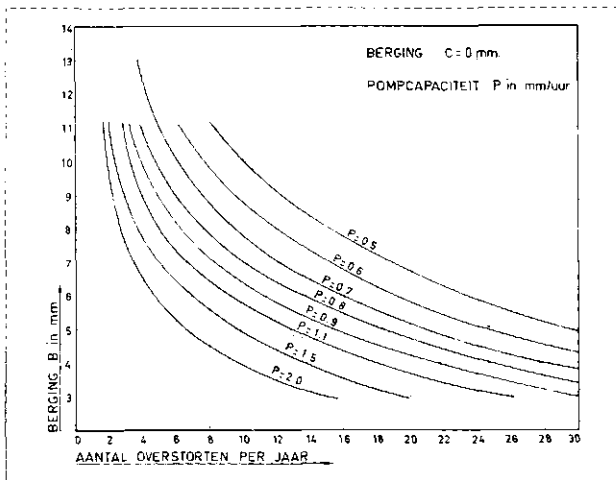
Als uiteindelijk resultaat werd het rekenkundig gemiddelde genomen van de 12 jaarresultaten.

Hiermede was het verband bepaald tussen de volgende 4 grootheden: Berging B, Berging C, Pompcapaciteit P en het gemiddelde aantal overstorten, c.q. de gemiddelde totale overstorthoeveelheid per jaar. Voor een gedeelte van deze uitgebreide resultaten is dit verband grafisch weergegeven in de afb. 7-10. Belangrijke verschillen traden op met de tot nu toe bekende grafische verbanden tussen berging, pompcapaciteit en aantallen overstorten, c.q. totale overstorthoeveelheid per jaar, die gebaseerd waren op de regengegevens van 11 jaar (regengrafiek van Kuipers) of op die van 37 jaar [9].

Voor een Berging B = 7.0 mm, Berging C = 0 mm en Pompcapaciteit P = 0.7 mm/uur volgt uit de afb. 7 en 9 dat het gemiddeld aantal overstorten per jaar ruim 12 bedraagt en de totale gemiddelde overstorthoeveelheid 49.4 mm per jaar.

Kuipers kwam tot respectievelijk 10 en 60 mm, terwijl

Afb. 7 - Gemiddeld aantal overstorten per jaar voor verschillende Berging B, Pompcapaciteit P en constante Berging C.



Afb. 8 - Invloed Berging C op het gemiddeld aantal overstorten per jaar.

Böttger en v. d. Herik [9], (tabel I) tot respectievelijk 10 en 49 mm kwamen.

In 1960 traden 23 overstorten op met een totale overstorthoeveelheid van 124,0 mm, terwijl Böttger en v. d. Herik voor datzelfde jaar respectievelijk 13 en 92,6 mm vonden.

Deze verschillen vinden ongetwijfeld hun oorzaak in de toegepaste berekeningsmethoden en de vorm waarin de basisgegevens beschikbaar waren.

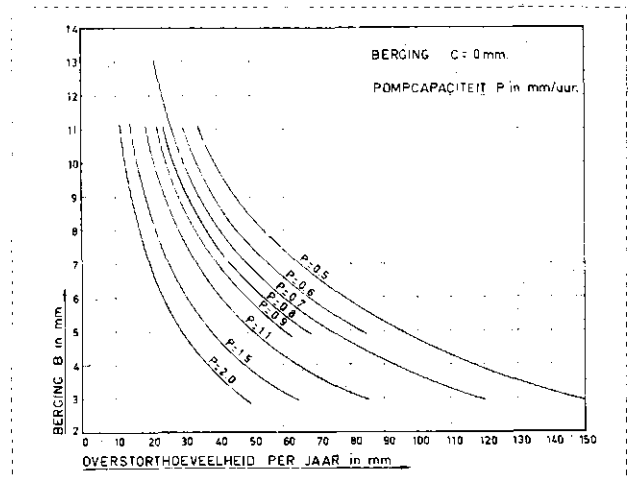
De invloed van de Berging C gecombineerd met de Verdamping V is duidelijk waar te nemen in de afb. 8 en 10, naarmate de Berging B afneemt is de invloed van Berging C relatief steeds groter.

Behalve het aantal overstorten en de overstorthoeveelheid per jaar, werd ook voor iedere combinatie B, C en P per jaar de maximale overstorthoeveelheid tijdens een regenbui bepaald. Deze uitkomsten leenden zich weer wel voor een statistische bewerking met behulp van de methode Gumbel. De resultaten hiervan zullen opgenomen worden in de uitgebreide uitgave, die over de 5-minuten regens zal verschijnen.

#### Vergelijking met andere gegevens

Om te kunnen bepalen in hoeverre de thans bewerkte 12 jaren (1928, 1933 en 1951-1960) vergelijkbaar waren met de

Afb. 9 - Gemiddelde totale overstorthoeveelheid per jaar voor verschillende Berging B, Pompcapaciteit P en constante Berging C.



TABEL IV

	Aantal overstorten per jaar			Overstorthoeveelheid in mm per jaar			Basisgegevens
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	
12 jaar (1928, 1933 en 1951-1960)	3	7.7	14	7.5	37.2	94.3	5-minuten regengegevens
37 jaar (1926-1962)	4	9.9	15	8.8	48.8	114.8	37 j.-regengegevens
11 jaar (1938-1948)	5	10.0	15	8.8	37.5	114.8	idem
12 jaar (1928, 1933 en 1951-1960)	4	9.1	15	9.4	35.9	92.6	idem

door Kuipers beschouwde 11 jaren (1938-1948) en of deze beide perioden weer representatief waren voor de 37 jaren die Böttger en v. d. Herik bewerkt hebben (1926-1962), werden de genoemde 12 jaren nogmaals bewerkt volgens de methode gebaseerd op de regengrafiek van Kuipers [10]. Per jaar werd het aantal overstorten en de totale overstorthoeveelheid voor een aantal combinaties van berging en regenpompovercapaciteit bepaald, met inachtneming van de volgende aannamen:

- regens met een totale neerslag kleiner dan 4 mm werden verwaarloosd;
- aan het begin van iedere regen werd de berging als zijnde leeg beschouwd;
- gedurende een regen werd de regenintensiteit als zijnde constant aangenomen;
- aan het einde van iedere regen werd een waterbalansberekening uitgevoerd.

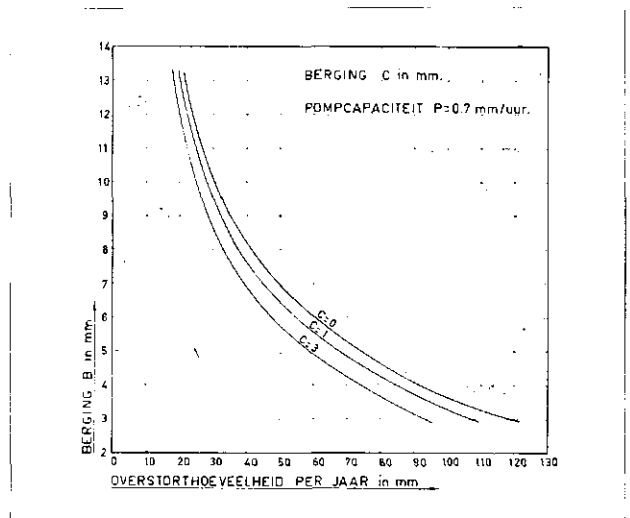
Als eindresultaat werd voor iedere combinatie het rekenkundig gemiddelde genomen van de 12 jaaruitkomsten.

Voor de combinatie Berging = 7.0 mm en Pompcapaciteit P = 0,7 mm/uur zijn in tabel IV de resultaten hiervan weergegeven. Ter vergelijking zijn ook de uitkomsten van Böttger en v. d. Herik voor zowel de totale periode van 37 jaar, als de daaruit gelichte 11 jaren die door Kuipers werden bewerkt en de 12 jaren die thans met de 5-minuten regenvalgegevens opnieuw zijn bewerkt [9], (tabel I), weergegeven in tabel IV.

Uit de resultaten van tabel IV kan men het volgende afleiden:

- Voor wat betreft de gemiddelde overstorthoeveelheid per jaar kan de periode van 11 jaar van Kuipers niet bepaald representatief genoemd worden t.o.v. de langere periode van 37 jaar. Blijkbaar is deze periode van 11 jaar toevallig gekenmerkt door hevige regens, die aanleiding gaven tot vrij grote jaarlijkse overstorthoeveelheden.

Afb. 10 - Invloed Berging C op de gemiddelde totale overstorthoeveelheid per jaar.



De periode van 12 jaar geeft, hoewel de extreem hoge resultaten van 1946 en 1947 hierin niet voorkwamen, qua spreiding om het gemiddelde een representatiever beeld t.o.v. de periode van 37 jaar.

Het gemiddelde is echter wat aan de lage kant.

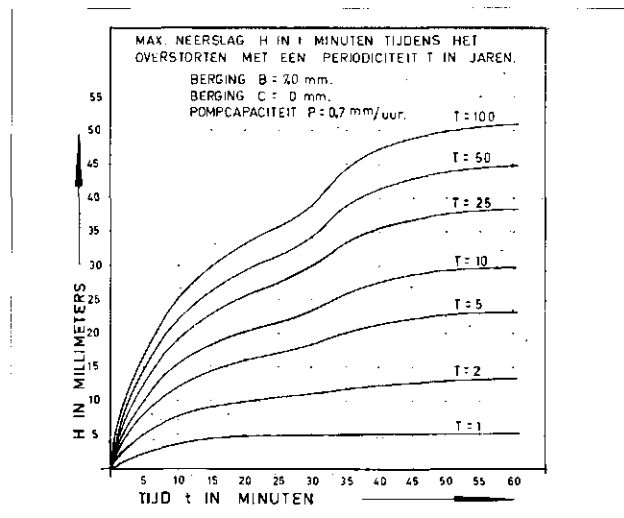
- Het geringe verschil in de uitkomsten voor de jaarlijkse overstorthoeveelheden van de 12 jaren van Böttger en v. d. Herik met als basis de 37 jaar-regengegevens en deze zelfde 12 jaren met als basis de 5-minuten regengegevens, is verklaarbaar uit het verschil in samenstelling van deze basisgegevens en verwaarloosbaar.
- Voor wat betreft het gemiddeld aantal overstorten per jaar kunnen zowel de 11 jaar van Kuipers als de 12 jaar met als basis de 37 jaar regengegevens, voldoende representatief genoemd worden voor de langere periode van 37 jaar.
- Er is een duidelijk verschil te constateren tussen de uitkomsten voor het jaarlijks aantal overstorten van de 12 jaren met als basis de 37 jaar-regengegevens en deze zelfde 12 jaren met als basis de 5-minuten regengegevens, terwijl ook de gemiddelden een duidelijk verschil vertonen.

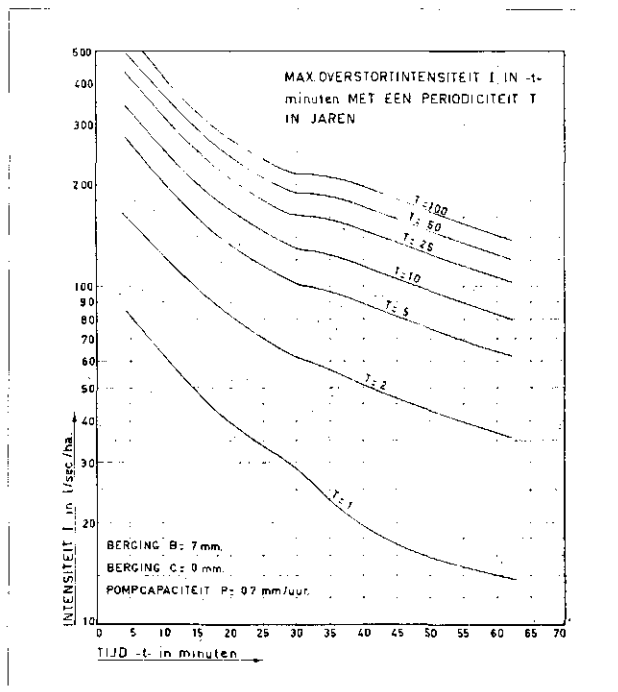
Een verklaring hiervoor is de zeer fijne verdeling die is verkregen door de 5-minuten regengegevens, daar ieder droog vakje van 5 minuten automatisch het einde betekende van een regen. Op deze wijze bleken er in de beschouwde 12 jaren in totaal 6603 regens te zijn opgetreden waarvan slechts 457 regens (7 %) een neerslag hadden groter of gelijk dan 4 mm.

Op basis van de 37 jaar-regengegevens leverden dezelfde 12 jaar in totaal 516 regens op die een neerslag hadden groter dan 4 mm. Blijkbaar waren in deze 12 jaren van Böttger en v. d. Herik meerdere kleinere regens met een neerslag kleiner dan 4 mm samengevoegd tot één regen die wel aanleiding kon geven tot een overstort, hoe gering ook qua hoeveelheid.

Bovenstaande heeft er ongetwijfeld toe geleid dat het aantal

Afb. 11 - Te verwachten maximale neerslag tijdens het overstorten gedurende perioden van 5-60 minuten.





Afb. 12 - Te verwachten maximale overstortintensiteit of regenintensiteit tijdens het overstorten, gedurende perioden van 5-60 minuten.

overstorten per jaar en daardoor ook het gemiddelde voor de 12 jaren op basis van de 5-minuten regengegevens dan lager is geworden voor de overeenkomstige jaren van Böttger en v. d. Herik.

Als eindconclusie kan gesteld worden dat de thans beschouwde 12 jaren voldoende representatief geacht kunnen worden in vergelijking tot de langere periode van 37 jaar, al zal de gemiddelde overstorthoeveelheid per jaar wat aan de lage kant zijn.

### Overstortintensiteiten

Indien er een overstort plaats zal vinden, is het van belang om te weten met welke intensiteiten dit dan gepaard kan gaan, dit in verband met de grootte van de afvoer naar de overlatten, de dimensionering van de overlattenconstructies en de afvoersloten vanaf de overlatten.

Daartoe werd met behulp van de overstortberekenningsmethode met de 5-minuten tijdvakjes voor een aantal combinaties Berging B, Berging C in samenhang met de Verdamping V en de Pompcapaciteit P, per jaar de maximale neerslag bepaald tijdens het overstorten gedurende tijdsperiode van 5-60 minuten.

Op deze wijze werden per combinatie B, C en P en per tijdsperiode 12 jaarmaxima gevonden, die vervolgens met behulp van de methode Gumbel statistisch bewerkt werden.

Het resultaat van deze bewerkingen is voor de combinatie B = 7,0 mm, C = 0 mm en P = 0,7 mm/uur grafisch weergegeven in afb. 11 (in mm) en afb. 12 (in l/sec./ha), voor verschillende Periodiciteiten T.

Duidelijkheidshalve dient vermeld te worden dat genoemde tijdsperiodes t, onafhankelijk zijn van het begintijdstip van een overstort en dat zij betrekking hebben op de, qua neerslag, meest intensieve gedeelten van overstortperioden.

Vergelijking van de resultaten van afb. 11 met die van afb. 1, waarbij B = C = P = 0, leidt tot de conclusie dat de te verwachten max. overstorthoeveelheid bij kleine tijdsperiodes en lage periodiciteiten (T = klein) lager is dan de te verwachten maximale neerslaghoeveelheid gedurende de overeenkomstige tijdsperiodes en periodiciteiten.

Des te langer de beschouwde tijdsperiode en des te hoger de periodiciteit, des te meer komen de resultaten van afb. 1 en afb. 11 overeen, met andere woorden, des te minder is de verlagende invloed van B, C en P. Uit de resultaten bleek verder dat de invloed van de Berging B verreweg de grootste was van de 3 factoren B, C en P.

### Nabeschuiving

Door de verwerking van de 5-minuten regengegevens is nu een beter inzicht verkregen in het verloop van de regenintensiteit met de tijdsduur en de frequentie daarvan, evenals van de te verwachten neerslaghoeveelheden.

Het aantal overstorten, alsmede de overstorthoeveelheden, konden nu meer exact worden bepaald, doordat bij de bepaling van de beschikbare bergingen „B” en „C” rekening kon worden gehouden met het respectievelijk leeggepompte deel van de berging B (berging in riool) en de verdampte berging C (berging op straat).

Gebleken is dat de vele kleine hoeveelheden neerslag tussen de grotere regenbuien het aantal overstorten per jaar en daardoor ook het gemiddelde daarvan, sterk hebben beïnvloed.

Bij de bepaling van de maatgevende regenintensiteit bij rioolstelsels in vlakke gebieden, zogenaamde geheel gevulde rioolstelsels, kan nu rekening worden gehouden met de berging op straat en berging in het rioolstelsel zelf en met de beschikbare regenpompovertcapaciteit. Door toename van berging en pompcapaciteit zal de maatgevende intensiteit, vooral van belang voor de dimensionering van de overlatten en de bepaling van de piezometrische verhanglijn, afnemen. Zoals reeds eerder in dit artikel is gesteld, konden alle nu reeds uitgevoerde berekeningen en resultaten in dit kader niet worden gepubliceerd. Tevens zullen er nog meerdere berekeningen met de beschikbare gegevens worden uitgevoerd, waarvan de resultaten wellicht aanleiding kunnen geven tot verdere publikaties.

### Literatuur

1. KNMI De Bilt, *Detailanalyse van Pluviogrammen A*, 1968.
2. Gumbel, E. J., *Statistics of Extremes*, Columbia Univ. Press, New York, 1958.
3. Levert, C., *Toepassing van de Theorie der Extreme Waarden op vraagstukken uit de praktijk*, Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek, Cursus Statistiek 1966-1967.
4. Braak, C., *Het klimaat van Nederland*, A. Neerslag, Med. en Verh. KNMI, no. 34-a.
5. Oostwoud Wijdenes, J. M. J. W., *De Specifieke Regenintensiteit voor Nederland*, Publieke Werken, no. 11, 1941.
6. Levert, C., *Regens een statistische studie*, Med. en Verh. KNMI, no. 62, 1954.
7. Reinholt, F., *Gesundheits Ingenieur*, no. 16 en 17, 1941.
8. Levert, C., *Frequentie van k-daagse neerslagkrommen op Nederlandse Stations*, KNMI 1963.
9. Böttger, W. O. J. en van den Herik, A. G., *Overstortfrequentie*, Water 50, 1966.
10. Ribbius, F. J., *Waterverontreiniging door regenoverstorten*, Publieke Werken 19 (december 1951).