

SUMMARY

Relation of sewerage computations to rainfalls of short duration

In addition to existing rainfall duration frequency curves by Reinhold and Braak, new r.d.f. curves for extreme values $m(t_x)$ as well as for complete duration series (viz. Levert), have been made on basis of five-minute analyses of rainfall data at De Bilt, Holland. Reference is made to the analogy between reservoir computations and computations of sewer networks. Retention on flat roofs and streets causes a distortion between actual rainfall and inlet hydrograph of sewer. Distortion between inlet hydrograph and outlet hydrograph of sewers is small in flat areas and strong in sloping areas.

Overflow frequency is commonly determined with Kuiper's rain-shower graph (1660 rainshowers > 4 mm, 1936-1962 period). More accurate results are obtained by computers using five-minute analyses.

It is found that in the summer months more than half of the average annual overflows occur.

Regen en rioleringsvraagstukken *)

1. Inleiding

De organisatoren van deze dag zochten een consument van regencijfers om u een inzicht in het consumentenstandpunt te geven. Het zou dan vooral moeten gaan over regencijfers die betrekking hebben op korte regenduren. Als iemand die met rioleringsvraagstukken te maken heeft, heb ik, zoals u later wel zal blijken, in hoofdzaak belangstelling voor korte regens.

Behalve rioleringsmensen, zijn er ook andere gebruikers van korte regenbuien. U zult mij echter alleen over het gebruik van regencijfers voor rioleringen horen spreken.

Om deze inleiding de nodige ondergrond te geven, hebben wij de beschikking gekregen over de bewerkingen van vijf minuten tijdvakken, waarover dr. Levert ons al gesproken heeft. Het zou prettig zijn indien wij in staat waren dit zeer uitvoerige materiaal om te werken in de voor rioleringsberekeningen meest geschikte vorm. Nu u van dr. Levert een overzicht heeft gekregen wat er allemaal beschikbaar is, zult u het ons niet euvel duiden, dat we daarin niet zijn geslaagd. Ik zal daarom moeten volstaan met het verkennen van de mogelijkheden die het nieuwe materiaal ons geeft, zonder echter ook daarin volledig te kunnen zijn. Ik vestig er uw aandacht op, dat u verschillende van de aangeronde punten zult kunnen terugvinden in mijn voordracht op uw 18e technische bijeenkomst van 11 december 1962, welke voordracht was getiteld: „Problemen van waterafvoer in stedelijke gebieden”.

Wellicht ten overvloede wil ik u nog wijzen op de werkgroep „Riolering en waterverontreiniging” van de afdeling Gezondheidstechniek van het Kon. Instituut voor Ingenieurs, onder voorzitter-

schap van ir. Zijlstra van het RIZA en ook op de werkgroep „Afvloeiingsfactoren van stedelijke gebieden” van de afdeling cultuurtechniek van het KIVI en de studiegroep voor cultuurtechniek van het Kon. Genootschap voor Landbouwwetenschappen, onder voorzitterschap van ir. Koot van Publieke Werken Amsterdam.

Deze werkgroepen houden zich met problemen bezig, die nauw verband houden met het huidige onderwerp. Veel van wat ik zeggen zal is gestoeld op ervaringen en werk dat in deze werkgroepen is gedaan.

Als uitgangspunt zou ik de vragen willen nemen, die van rioleringszijde zijn gesteld in de werkgroep „regenwaarnemingen TNO” en die in tabel 1 op blz. 5 van publicatie 25-A van het KNMI zijn vermeld. Het zijn vragen over frequenties van zeer grote regenintensiteiten, naar bewerkingen volgens Reinhold en andere bewerkingen die leiden tot inzicht in hoeveelheid, duur en kans, naar standaardregens en maatgevende regens en naar de uitgebreidheid van zware regens, dus naar het gebiedsgrootheidseffect.

In het algemeen kan worden gesteld, dat de meeste van de vroeger gestelde vragen met behulp van de thans beschikbaar zijnde of beschikbaar komende gegevens vermoedelijk zullen kunnen worden beantwoord. Een uitzondering hierop vormt de invloed van het gebiedsgrootheidseffect op hevige kort durende regenval. Als ik goed ben ingelicht, neemt het KNMI zelf dit standpunt in, dat de consumenten zelf dit onderzoek zullen moeten verrichten.

Aan de hand van in rioolnetten optredende bergings- en stromingsverschijnselen en van veel gebruikte en misschien nog te ontwikkelen berekeningsmethoden, zal getracht worden na te gaan of nu werkelijk alle vragen van rioleringsdeskundigen beantwoord kunnen worden. Hierbij zal blijken, dat dit niet

altijd het geval is. Vaak zal blijken, dat dit mede te wijten is aan het tekort aan kennis van de hydraulische stromingsverschijnselen in de rioolnetten.

Er zal onderscheid worden gemaakt tussen de stroming in de rioolnetten en de verschijnselen die optreden bij het uit-treden van water uit de netten, dus op de grens van riolering en ontvangend water. Verder zal worden ingegaan op wat er gebeurt van het moment dat het regenwater het verhard oppervlak raakt, tot het tijdstip dat het in het riool zelf vloeit.

Om te beginnen zou ik uw aandacht willen vragen voor de vorm waarin de rioolkundigen doorgaans de verschillende regengegevens graag zien gegoten.

2. De meest gebruikte vorm van weergave van regencijfers

De tot nog toe het meest door de rioleringskundige gebruikte vorm van weergave van regencijfers zijn de theoretische rengenkrommen en de buiengrafiek van Kuipers.

Deze weergaven zullen wij achtereenvolgens beschouwen zonder nog op het gebruik diep in te gaan.

Theoretische rengenkrommen

Theoretische rengenkrommen zijn krommen die ontstaan door regenvallen met een bepaalde periodiciteit (of herhalings-tijd) uit te zetten als functie van de duur. Men noemt deze krommen ook wel berekeningsregens. Deze krommen zijn dus geen werkelijk waargenomen regens, maar omhullenden van mogelijke werkelijke gevallen regens met zekere herhalings-tijd. In fig. 1 is daarvan een voorbeeld gegeven.

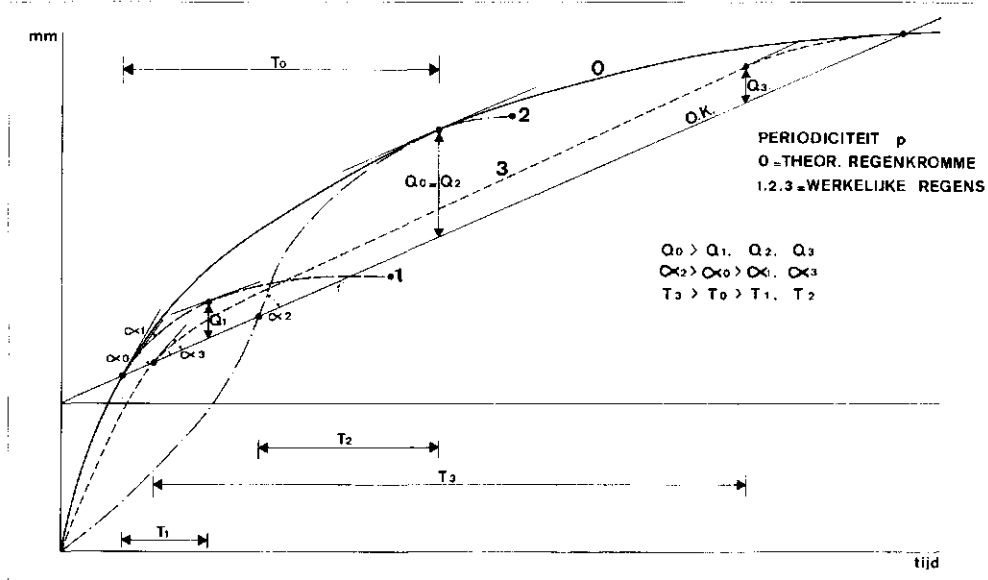
Voorbeelden van theoretische rengenkrommen zijn krommen van Reinhold en die van Braak.

Reinholdse krommen

Deze ontstaan door naar sterkte en duur geselecteerde buien in de grondvorm te

*) Lezing gehouden op 2e regendag (9-2-'67) georganiseerd door commissie hydrologisch onderzoek TNO.

Fig. 1



brengen, waarbij de delen met de grootste intensiteit voorop worden gezet en daarna de delen met aflopende intensiteit (fig. 2). Elke „sterke” bui wordt zo behandeld en de periodiciteit wordt door aftellen bepaald. Opeenvolgende buien worden niet in rekening gebracht. De theoretische Reinholdse regenkurven die zodoende door constructie zijn ontstaan, voldoen aan de formule:

$$i_{P,T} = i_{1,15} \frac{38}{T+9} (p^{1/4} - 0,369) \text{ in l/sec.ha}$$

i = gemiddelde regenintensiteit in l/sec.ha

T = regenduur in minuten

P = herhalingstijd in jaren (periodiciteit)

$i_{1,15}$ = i met $p = 1$ jaar en $T = 15$ minuten

(Zie Publieke Werken 10 p. 145-147, 1941 en Technische Vraagbaak deel W, p. 415-416, 1951).

De hoeveelheid neerslag die in T minuten met periodiciteit p valt is:

$$h_{P,T} = 0,006 \cdot i_{P,T} \cdot T \text{ in mm}$$

We zien hier, dat het hele regengeburen in enkele formules is vastgelegd. In deze formules speelt het cijfer $i_{1,15}$ een allesoverheersende rol. Als dit cijfer bekend is, ligt het gebeuren voor alle herhalingstijden en alle regenduren vast.

De aanhangers van de Reinholdtheorie hebben derhalve zeer grote belangstelling voor het magische getal $i_{1,15}$. Door Oostwoud Wijdenes is het gesteld op 90 l/sec.ha, of 32,5 mm/h.

Aan de hand van de bewerkingen van de regencijfers van De Bilt moet het mogelijk zijn de $i_{1,15}$ te vinden en misschien ook meer aan de Nederlandse omstandigheden aangepaste coëfficiënten in de Reinholdse formule. Dit cijfer is thans nog niet bekend.

Het aantrekkelijke van de formule van Reinhold is:

a. dat het hele regengeburen door 1 cijfer ($i_{1,15}$) wordt vastgelegd;

b. dat wiskundige bewerkingen zeer eenvoudig zijn, waarbij men dan echter te gemakkelijk vergeet, dat de benadering van Reinhold alleen geldt voor korte regenduren.

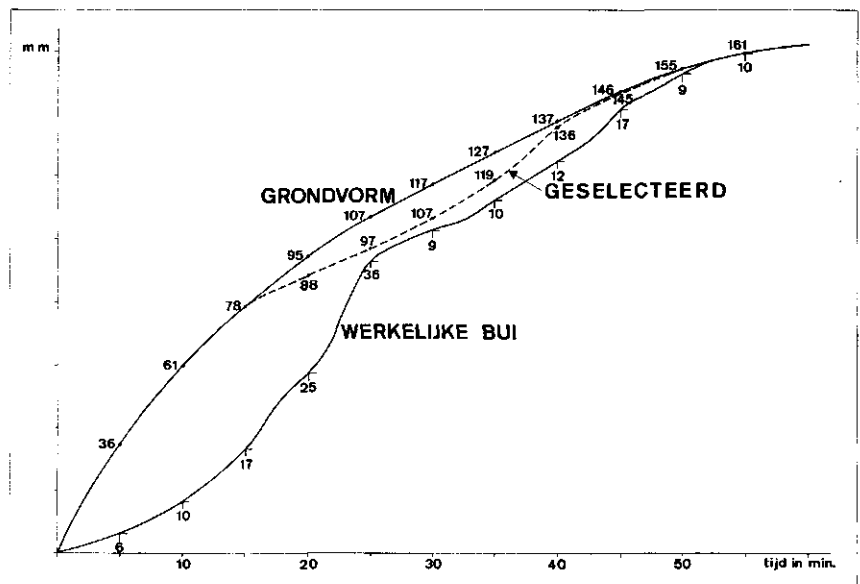
Ik wil u er volledigheidshalve op wijzen, dat de gemiddelde intensiteit een rol speelt bij de berekening van de rioolnetten waar gewerkt wordt met concentratietijd.

Krommen volgens Braak

Deze zijn gepubliceerd in Med. en Verh. van KNMI no. 34a van 1933. Zij zijn gebaseerd op buien in geheel Nederland (zie Med. en Verh. KNMI no. 62, 1954,

p. 135 e.v.). Voor de langere perioden zijn wel opeenvolgende buien in rekening gebracht. De wijze waarop de gemiddelde herhalingstijd is bepaald, is verschillend voor regens van verschillende duur. Voor de duur tot 60 minuten nam Braak de aaneensluitende meest intensieve delen van volledige regens. Uit fig. 2 blijkt het verschil tussen de grondvorm (intensieve delen losgeknipt en naar voren geschoven) en de vorm waarbij het meest intensieve deel aaneengesloten is, maar ook naar voren geschoven. Voor kortere tijden zal Braak in principe iets lagere waarden moeten vinden dan Reinhold, maar de afwijkingen zullen niet groot zijn. Voor regenduren van 1 uur tot 1 dag werden gedeelten van regens, gehele regens en opeenvolgende regens gebruikt. Voor regenduren van 1 dag of meer werden dagsommen gebruikt.

Fig. 2



Voor langere perioden dan 1 uur geven de Braakse krommen hogere waarden dan de Reinholdse krommen die dan horizontaal gaan lopen. De Braakse krommen sluiten zich dus beter bij de werkelijkheid aan.

Zij worden vaak gebruikt om na te gaan hoeveel water totaal uit een rioolnet stroomt.

Wanneer we van de krommen van Reinhold en Braak afstappen en nagaan wat de bewerkingen van de 5 minutenanalyse van De Bilt opleveren, dan blijkt, dat er 2 nieuwe theoretische regen-krommen kunnen worden samengesteld, nl.:

1. De extreme waarden, bekend als $M(tx)$. Hier wordt van de bui alleen het regenrijkste deel, de maxima gebruikt. De regenduren tot 660 minuten zijn bekeken. Opvolgende buien zijn vanwege de definitie van de $M(tx)$ niet beschouwd.

De krommen zullen moeten lijken op die van Reinhold, behalve dan dat Reinhold de grondvorm nam, terwijl hier het meest intensieve deel is geselecteerd. Om deze reden kunnen we dus verwachten, dat de Reinholdse krommen iets hoger liggen.

2. De „complete duration series” $H(t)$.

Behalve de $H(t)$ behoren ook de $H(m)$ (uurvakanalyse) en de k -daagse regenvallen tot de complete duration series. In de fijne regenanalyse zijn van alle 5 minuten intervallen tot 90 minuten de regenvallen $H(t)$ gebruikt, of het nu regent of niet (vandaar het woord „complete”). Voor regenduren langer dan 5 minuten, is steeds het meest intensieve deel geselecteerd en kan men beter spreken van $n \times 5$ minuten regenvallen, waarbij n resp. de waarden 1, 2, 3, 6, 9, 12 en 18 krijgt. Voor langere duren dan 90 minuten moet men terecht bij de uit de grove analyse verkregen $H(m)$ regenvallen van de uurvakanalyse tot duren van 36 uur. Tenslotte moet gebruik gemaakt worden voor nog langere tijden van k -daagse regenvallen. De op deze wijze te verkrijgen krommen zullen het meest de door Braak bepaalde regen-krommen benaderen. Deze volledige lijnen zijn, voor zover ons bekend, nog niet geconstrueerd.

In fig. 3 zijn de lijnen $H(t)$ en $M(tx)$ voor duren tot 60 minuten voor herhalings-tijden 1 en 10 jaar tezamen met de krommen van Braak en Reinhold weergegeven.

We zien uit deze krommen het volgende: Voor de periodiciteit $p = 1$ jaar ligt Braak aanmerkelijk hoger dan Reinhold, terwijl de $M(tx)$ direct boven de Reinholdkromme is gelegen en deze zeer dicht nadert. De $H(t)$ volgt Reinhold ook zeer goed aan de onderzijde.

Voor de periodiciteit $p = 10$ jaar zijn de verschillen tussen Braak en Reinhold gering. De $H(t)$ volgt Braak en ligt er juist terwijl $M(tx)$ daarentegen geeft een sterke afwijking met Braak te zien.

Dit kan misschien als volgt worden ver-

klaard: In de 12-jarige waarnemingsperiode zijn 3 buien voorgekomen met een uitzonderlijk hoge regenval, nl. 3 juli '52, 13 juni '53 en 15 aug. '53. De regenval van bui 1 was maatgevend voor een duur van 5 min., bui 3 voor 10 min. en 15 min., bui 1 voor 20 min., bui 2 voor 25 t/m 200 min. en vanaf 210 tot 635 min. was de regenhoeveelheid van bui 1 weer maatgevend.

Deze buien drukken dus voor $p = 10$ (en voor de maximale waarden moet men eigenlijk zeggen $p = 12$) een bijzonder zwaar stempel op de getekende $M(tx)$ -lijn.

Het is dus gevaarlijk om uit waarnemingen over 12 jaar conclusies te trekken over een periodiciteit van 10 jaar.

Bij de bewerkingen is ons wel gebleken, dat we hier een terrein vol voetangels en klemmen betreden en dat over deze materie nog niet het laatste woord is

gesproken, dat u dan ook van mij niet mag verwachten.

Buiengrafiek van Kuipers

Een overzichtelijke manier om regenbuien weer te geven, is toegepast in de buiengrafiek van Kuipers. In principe worden van ononderbroken buien de duur en de totale neerslag uitgezet.

In een tijd-regenval-diagram verschijnt de bui dan als 1 punt (fig. 4). Tot voor kort werd de grafiek met de regencijfers van De Bilt over de jaren 1938-1948 (11 jaar) gebruikt. Thans is ook een grafiek met de gegevens over de jaren 36 t/m 62 (37 jaar) vervaardigd door ir. De Vries in het kader van de werkzaamheden van de werkgroep Riolering en Waterverontreiniging. Genomen zijn de buien, groter dan 4 mm. Uitgezet zijn 1660 punten (gemiddeld 45 p.j.). Het prettige van deze grafiek is, dat alle gebeurtenis-

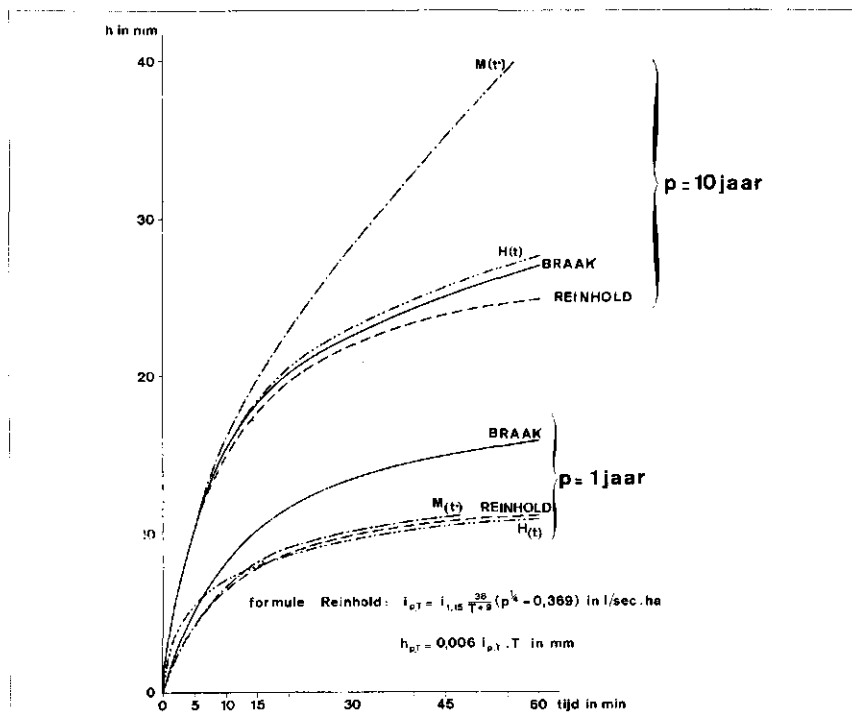
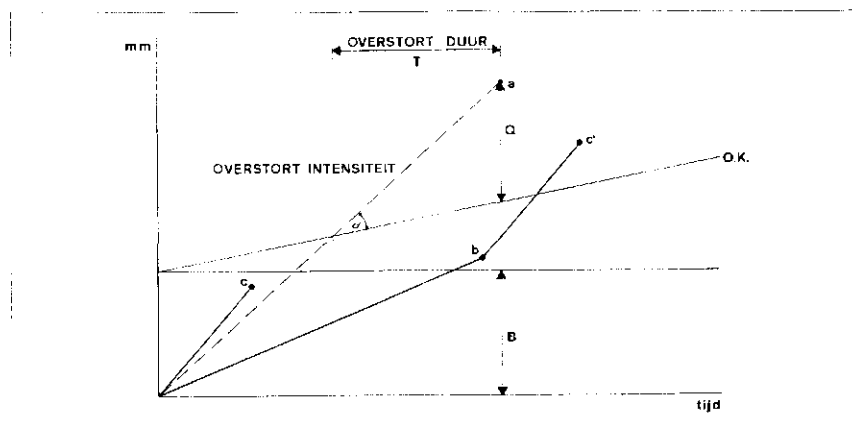


Fig. 3

Fig. 4



sen zijn vermeld. Zonder dat statische bewerkingen hebben plaats gevonden, wordt een overzicht van het geheel verkregen. Zo kan men een goed inzicht krijgen, bijv. in de overstortfrequentie. Van elke bui zijn het begin- en eindpunt aangegeven. Over het verloop is echter niets aangegeven. Waar twee punten bekend zijn, ligt het voor de hand daarvoor een rechte lijn te trekken. Zo is men tot de rechtlijnige regenbui gekomen, die zich gemakkelijk laat bewerken. Dat aan deze benadering grote bezwaren zijn verbonden, zullen wij naderhand zien.

De gegevens over de buien zijn op ponskaarten vastgelegd, zodat zij zich voor computerbewerking lenen. Deze bewerking is door ir. Böttger en Van den Herik verricht. Wij komen daarop later terug.

Werkelijke regenval

De theoretische regenbogen en ook de Kuipers grafiek zijn bewerkingen van regencijfers. De vijf minuten analyse geeft ons echter de mogelijkheid de werkelijke regenval — dus niet een bewerking — in rekening te brengen.

De werkelijke regenval werd immers in de vijf minuten analyse uiteengehaald en op ponskaarten vastgelegd. Deze zijn nu voor computerbewerking zeer geschikt.

We kunnen wat dit betreft de invloed van het computertijdperk ook weer duidelijk waarnemen. Het hele streven was vroeger immers om een zeer groot aantal regengegevens in enkele tabellen en grafieken vast te leggen, zodat het geheel zo overzichtelijk mogelijk tot de consument komt. Door de computertechniek wordt het nu echter mogelijk alle regengegevens door een voor een bepaald probleem opgesteld rekenschema te voeren, waardoor het hele gebeuren met de werkelijk waargenomen regenval kan worden doorgekend.

3. Berging en afvoer

Wanneer we nu het oog richten op rioleringsberekeningen, dan kan men stellen, dat alle berekeningen voor rioolstelsels een samenspel zijn tussen berging en afvoer.

Ik zou met u willen ingaan op de analogie die er bestaat tussen een rioolstelsel en een rivier die door een dal stroomt (zie fig. 5). Om de afvoerpieken van de rivier te verkleinen is het dal ingericht als retentie reservoir. Er is een dam gedacht waarin zich een aflaat van vaste afmetingen bevindt, die dus niet bijgeregeld kan worden. Zoals bij elk reservoir, is hier een spillway bij de dam gedacht. In de rivier is een basis-afvoer die we droogafvoer zullen noemen. Deze passeert door de aflaat en speelt verder niet meer mee.

In het diagram is een regenval in mm aangegeven, welke tot uiting komt in een afvoergolf $m^3/sec.$ in de rivier, de inloop hydrograaf van het reservoir.

Gewezen wordt op het verschil tussen regenval en inloop hydrograaf.

Ik zou nu drie gevallen willen bezien, nl. het geval dat de aflaat van kleine afmetingen is, het geval dat de aflaat relatief grote dimensies heeft en het geval dat er geen berging is.

1. Kleine aflaat

Wij zullen later zien, dat dit geval analogieën heeft met de gemengde riolerings in een vlak gebied.

Door de inloop hydrograaf wordt het reservoir gevuld, de afvoer door de aflaat neemt wat toe. Op een bepaald moment is het reservoir vol en moet de spillway in werking treden. De rivier benedenstrooms moet dan de volledige inloop hydrograaf verwerken. Met andere woorden: de uitloop hydrograaf van het reservoirstelsel is nu identiek met de inloop hydrograaf. Dezelfde intensiteit in $m^3/sec.$ treedt op.

2. Grote aflaat

Het zal blijken, dat hier analogieën bestaan met regen- of gemengde riolen in hellende gebieden.

De aflaat is zo groot gedacht, dat het reservoir pas vol is als de top van de inloop hydrograaf al heeft plaats gevonden.

De uitloop hydrograaf van het reservoir is geheel anders dan de inloop hydrograaf, die, zoals wij zagen, heel anders is dan de regenval. Het maximum van de uitloop hydrograaf is lager dan van

de inloop. De toppen van regen, inloop en uitloop zijn in de tijd verschoven en zijn telkens gereduceerd.

3. Geen berging

Dit geval heeft analogie met een regenriool in een vlak gebied, welk riool onder het peil van het ontvangend water ligt en dus geheel gevuld is met water. In feite is hier geen reservoir en de uitloop hydrograaf is geheel gelijk aan de inloop hydrograaf. Er treden geen reducties of vervormingen op, behalve dan die van regenval tot inloop hydrograaf.

De beschreven verschijnselen zijn zo eenvoudig, dat iedere rivier hydroloog ze als lagere school kennis beschouwt. Toch hebben de rioleringsrekenaars er zich niet altijd even goed rekenschap van gegeven.

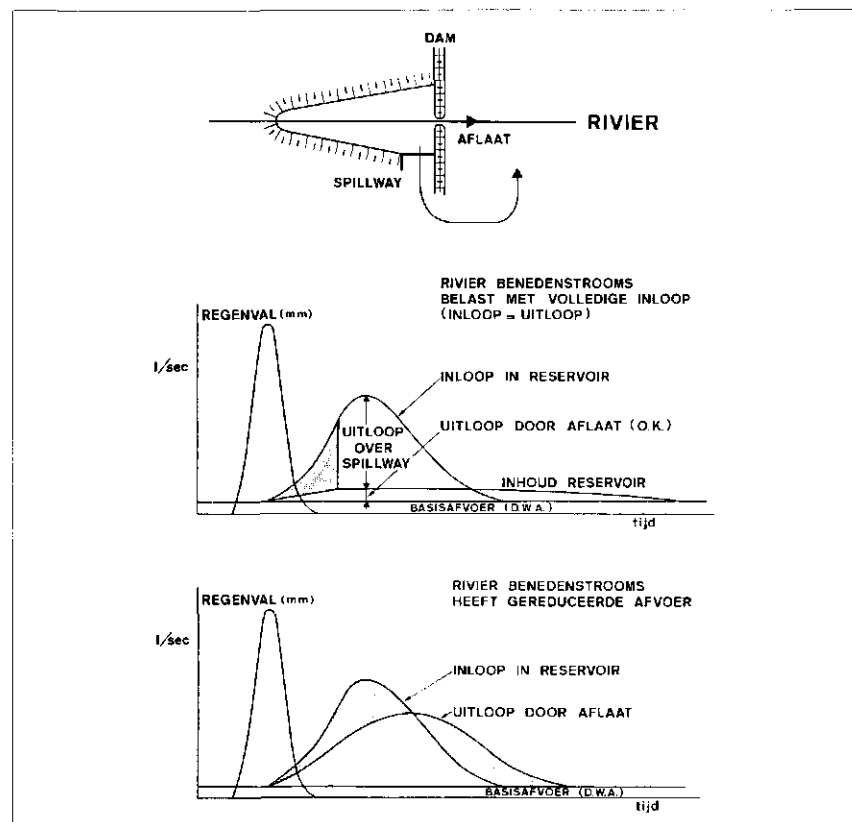
4. Vervorming van regenval tot inloop hydrograaf

Vaak wordt bij rioleringsberekeningen aangenomen, dat de regen die op de verharde daken en straten valt, zonder meer naar het riool vloeit.

Op het probleem van de verdamping dat zich daarbij voordoet, zal in het volgende niet nader worden ingegaan. Uit de aard der zaak geeft verdamping een reductie van de afvoer.

De afvloeiingscoëfficiënt wordt doorgaans op 1 gesteld. Uit recente onderzoeken van het Engelse Road Research Laboratory is gebleken, dat deze coëfficiënt geen constante is, maar sterk

Fig. 5



varieert, wel in de orde van grootte van 0,6 tot 1,4 met een gemiddelde van 0,8. Eenvoudigheidshalve zullen we op dit probleem niet verder ingaan en ons bepalen tot de vervormingen die in de afvoer optreden.

Wanneer men de afvoerpijpen van grote platte daken wil berekenen, gaat men vaak uit van grote regenintensiteiten die wel eens in de orde van grootte van 150 - 250 l/sec.ha liggen. Dit gebeurt om vooral maar snel het regenwater van het dak af te krijgen. Eigenlijk is dat jammer, want de platte daken worden wel berekend op „nuttige” sneeuw- en personenlasten van 50 - 100 kg/m² wat overeenkomt met een schijf water van 5 - 10 cm. Men kon hier dus rustig een schijf water van dergelijke dikten kunnen laten ontstaan en zodoende gebruik maken van de bergende en dus afvoerverminderende eigenschappen van platte daken.

In fig. 6 is voor een bepaalde situatie op een plat dak een berekening opgezet. Voordat de regenpijp behoorlijk afvoert, moet er eerst een schijf water op het dak staan. De bovenrand van de regenpijp fungeert als overlaat met brede kruin. Op dit platte dak is een regenbui losgelaten, die de vorm heeft van de theoretische regenkromme van Braak met een herhalingsstijd van 50 jaar. Het blijkt, dat na circa 10 minuten in dit voorbeeld de regenval en de uitloop gelijk zijn. Er is dan 15 mm op het dak geborgen. De uitloopintensiteit is veel kleiner dan de maximum inloopintensiteit van de regenbui. Op platte daken is dus een zeer effectieve berging aanwezig.

Ook het geval van een schuin dak is bezien. Het blijkt, dat na enkele minuten de berging in de dakgoot zodanig is, dat de regenpijp de maximale inloop kan volgen. Er is dan nog altijd 2 mm over het hele oppervlak in de goot geborgen. Op grond van deze globale berekeningen mogen we rustig aannemen, dat ook de berging op straten waar de straatkolken de rol van regenpijp vervullen, niet onaanzienlijk is. Misschien wel in de orde van grootte van 1 cm.

In de literatuur vindt men voor berging op straten en daken wel cijfers die variëren in de orde van grootte van 3 - 15 mm. Door deze bergingen wordt de regen hydrograaf aanzienlijk vervormd tot inloop hydrograaf van de riolering. In ieder geval zullen korte, grote regenintensiteiten in de inloop hydrograaf geheel niet merkbaar zijn.

Het zou zeer gewenst zijn, indien de rioleringsdeskundigen zich een beter inzicht verschaffen in de vervorming van regenval tot inloop hydrograaf inclusief de vraagstukken van verdamping, afvloeiingscoëfficiënt en — last but not least — in het gebiedsgrootte-effect van korte, intense, regenbuien.

5. Berekenen van rioolnetten

Het belangrijkste vraagstuk waarmee de riolenman geconfronteerd wordt, is de

dimensionering van het net. In het navolgende zullen we ons daarmee in de eerste plaats bezighouden. Wij zullen echter ook aanlopen tegen de vraag wat er uit het riool loopt. Daarop zal naderhand nog worden ingegaan. Naar analogie van de reservoir in de rivier zullen worden behandeld het gemengde stelsel en het regenriool in vlak gebied, alsmede het rioelstelsel in hellend gebied. Een gemengde riolering transporteert zowel de droogweerafvoer (dwa) als regenwater. Het regenriool transporteert alleen regenwater.

5.1. Gemengd stelsel in vlak gebied

Wij zullen een gemengde riolering in een vlak gebied definiëren als een riolering die geheel ligt onder de overstortdrempels (zie fig. 7). De dwa zullen we bij regen verwaarlozen, daar deze meestal slechts in de orde van 1 à 2 % van de regentoevoer ligt. In de regel wordt de riolering bemalen met een pompkapaciteit die ligt in de orde van 3 x dwa. Van deze 3 x dwa is dus 2 x dwa beschikbaar voor regenval. Deze voor regenval beschikbare pompkapaciteit wordt overcapaciteit genoemd. Derhalve is

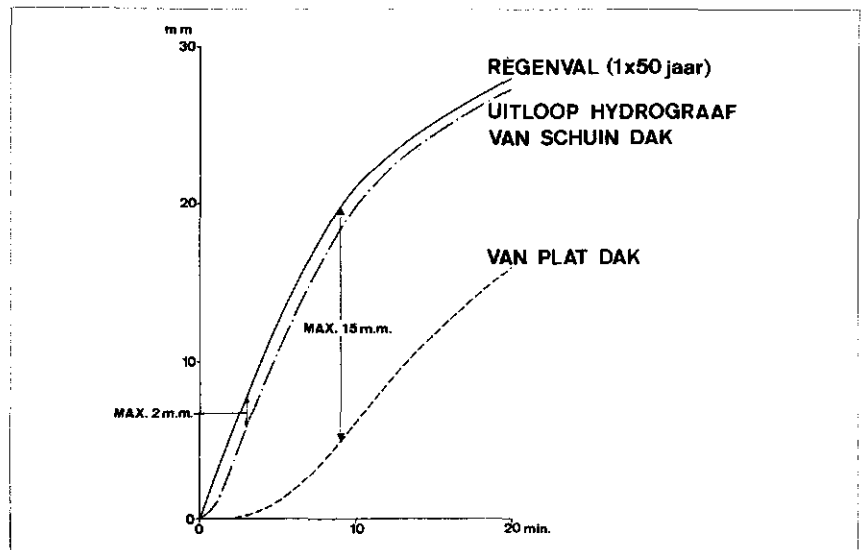
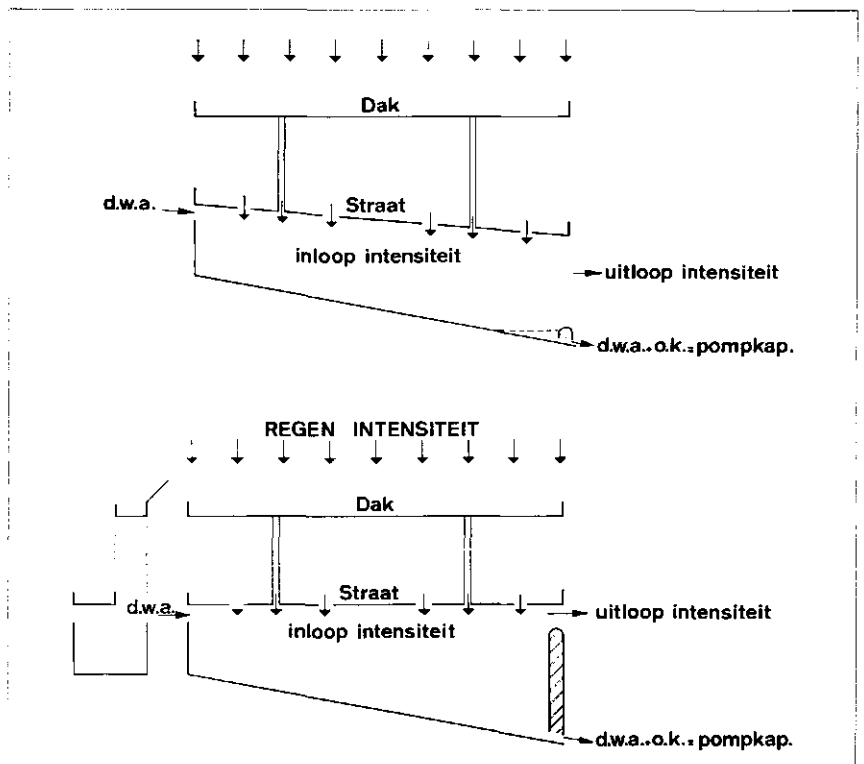


Fig. 6

Fig. 7



$P(\text{pompkapaciteit}) = dwa + \text{overkapaciteit}$
 De overkapaciteit is vaak in de orde van 0,7 mm/h.

De regenbui valt op de daken en straten en stroomt in het riool af. De vorm van de bui wordt hierdoor veranderd zoals we hebben gezien. Het riool zelf wordt door de inloop hydrograaf belast.

In het vlakke gebied kunnen we de riolering beschouwen als een bak waarvan de overstortdrempel de rand is. De berging in de bak is vrij aanzienlijk; vaak in de orde van 7 mm over het verharde oppervlak.

De pompen zijn zodanig afgesteld, dat zij aanstonds — van het begin van de bui af — de riolering bemalen. Voor regenval is beschikbaar de overkapaciteit.

Laten we aannemen, dat de bak na t uur begint over te lopen. In deze tijd is een hoeveelheid regen, gelijk aan de berging van het riool, geborgen, terwijl de pompen een hoeveelheid water van $t \times \text{overkapaciteit}$ hebben weggepompt. Overstorten treedt dus pas op als een hoeveelheid regen is ingelopen (inloop hydrograaf) van berging + $t \times \text{overkapaciteit}$.

Wat de berekening betreft, zijn er dus 2 fasen:

- a. riolering is *niet* gevuld;
- b. riolering is *wel* gevuld.

Zolang het riool *niet* gevuld is, treedt geen of nauwelijks stroming op. Afgezien van de pompcapaciteit zou er geen stroming zijn als de berging gelijkmatig over het verharde oppervlak verdeeld was. Daar de grootste berging in de buurt van de overstort ligt, zal er een geringe stroming zijn, gericht op de overstortdrempel. De verhanglijn in het riool zal dus vrij horizontaal omhoog komen, tot deze de overstortdrempel snijdt.

We komen dan in de fase dat de riolering

ring *wel* geheel gevuld is. Immers, per definitie werd gesteld, dat de riolering geheel onder de overstortdrempel ligt. Dan treedt, wat ik zou willen noemen de waterleidingsituatie op. Wanneer in een waterleidingnet niet gepompt wordt, moet elke druppel die ergens uit een kraan komt, uit het watertorenreservoir worden aangevuld. Bij de riolering zal alleen dan water in het riool kunnen stromen, indien op het zelfde moment een gelijke hoeveelheid het riool verlaat bij de overstort. Dit is zo, omdat in ons rekenmodel geen berging meer aanwezig is.

In werkelijkheid is er nog wel berging, nl. in de controleputten en in de huis- en straatkolkaansluitingen.

Afgezien daarvan heeft de uitloop hydrograaf dezelfde intensiteit (raaklijn-helling) als de inloop hydrograaf. Hier zien we de overeenkomst met het rivierreservoir met geringe afloatcapaciteit van fig. 5.

Om de ingelopen waterhoeveelheden te kunnen afvoeren, zal zich in de riolering een waterverhanglijn instellen. Deze is, uitgaande van de overstortdrempel, te berekenen als de buisprofielen vaststaan. Omgekeerd kan men zo de buisprofielen vaststellen en daar ging het om. De hydraulische berekening is eenvoudig. Er is een stationaire toestand. Bergingsveranderingen behoeven niet in rekening te worden gebracht.

De eis wordt gesteld, dat bij de berekeningsinloop hydrograaf de waterverhanglijn onder het straatniveau moet blijven. In fig. 8 is een en ander grafisch weergegeven.

Getekend zijn een willekeurige regenbui, de geschatte inloop hydrograaf en de overkapaciteitslijn: (statische riolberging + overkapaciteit \times tijd). Het verschil tussen regenbui en inloop hydrograaf is „normaal” geborgen op daken en straten.

Waar de overkapaciteitslijn de inloop hydrograaf snijdt, begint de overstorting en

begint het riool te stromen. Hier begint de uitloop hydrograaf.

Het is noodzakelijk hier nog even op het begrip uitloop hydrograaf in te gaan. Dit woord is afkomstig van reservoiranalyses. Als het hier wordt gebruikt zal het in twee betekenissen voorkomen:

a. Als uitloop uit het riool vlak vóór de overstortdrempel, dus vlak vóór het ogenblik dat het gesplitst wordt in verpompt water en overstort water. Het is de som van beide. In deze zin wordt het gebruikt als het gaat om berekening van netten, dus om de buiscapaciteit. In fig. 8 is de intensiteit aangeduid met β .

b. Als uitloop over de overstortdrempel als de overkapaciteit is afgetrokken van de sub a bedoelde hoeveelheid. In deze zin wordt het gebruikt als het gaat om overstortende waterhoeveelheden. In fig. 8 gaat het dan om de factor $\beta - o.k.$

We zien in fig. 8, dat de riolering, om de geschetste regenbui te kunnen verwerken, tenminste een capaciteit moet hebben van β , de maximum intensiteit van de uitloop hydrograaf. De intensiteit van inloop- en uitloop-hydrograaf zijn gelijk, daar de riolering geheel gevuld is (waterleidingsituatie).

Waar de inloop hydrograaf eenzijdig aan de overkapaciteitslijn gaat lopen, houdt de overstorting op.

We weten nu van de overstorting de overstortduur, de overgestorte hoeveelheid en de overstortintensiteit $\beta - o.k.$ Hierop komen we later terug.

Indien wij aannemen, dat een riolering berekend is op een bepaalde inloop intensiteit (β), dan zullen we nagaan wat er gebeurt als een regenval optreedt, die zwaarder is. Het is nl. van belang te weten of er dan grote calamiteiten optreden. Dit zal nl. de keuze van de berekeningsintensiteit beïnvloeden.

We passen nu dus toe de *toetsing aan de zwaardere bui*. Dit is in fig. 9 geschied.

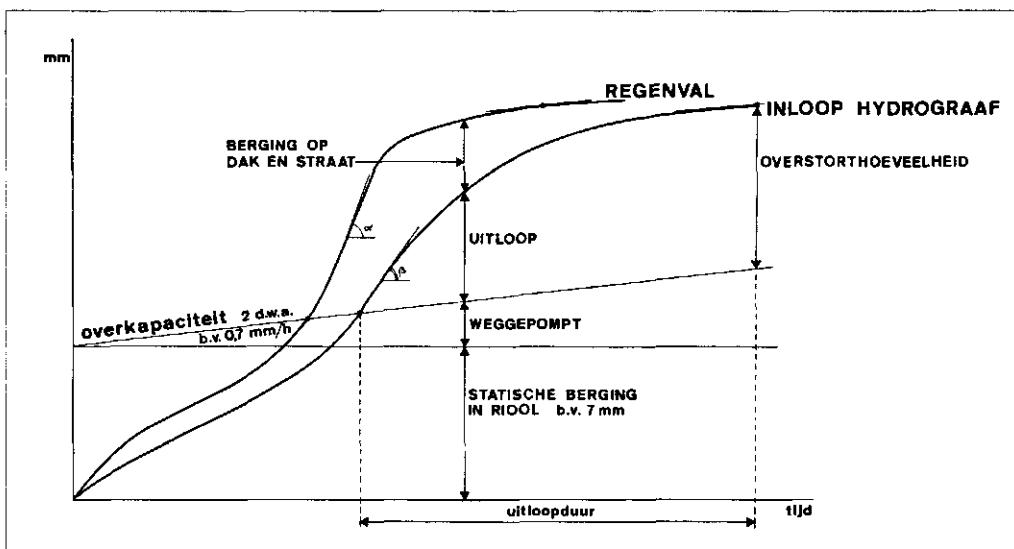


Fig. 8

Indien, nadat de overstorting is begonnen, de inloop hydrograaf steiler wordt dan de intensiteit die het riool kan verwerken, zal de riolering de toeloop niet bij kunnen houden.

Er zal dus water moeten worden geborgen. Dit zal niet op de daken kunnen gebeuren maar alleen op de straten. Daar treedt een *noodberging* op, die boven de „normale” berging voorkomt, die reeds werd besproken.

Deze noodberging en ook de tijd gedurende welke deze voorkomt, is in de figuur af te lezen. Hierdoor kan *wateroverlast ontstaan*. In een vlak gebied zal deze noodberging plaats vinden tussen de trottoirbanden en de kruin van de weg. Hier is een zeer aanzienlijke berging aanwezig. Doordat het gebied horizontaal is, zal dit water niet in beweging komen en derhalve op lager gelegen punten geen geaccumuleerde overlast opleveren.

Een noodberging van geringe omvang en gedurende niet te lange tijd zal in vele gevallen in vlakke gebieden toegelaten kunnen worden. Hierdoor zal dus inderdaad de keuze van de berekeningsintensiteit kunnen worden beïnvloed.

Wanneer we nu de berekeningsintensiteit willen kiezen, dan zal de rioleringskunde antwoord moeten geven op de volgende vragen:

1. Hoe wordt de regenbui tot inloop hydrograaf vervormd?
2. Gedurende welke tijd is welke noodberging op straat nog verantwoord?

Om de eerste vraag te ontlopen zal men graag de inloop hydrograaf gelijkstellen aan de regenval. De tweede vraag is een vraag naar frequentie, die zeer individueel zal worden benaderd.

Om zijn keus te kunnen maken zou de rioolkundige van de regenkundigen graag antwoord krijgen op de volgende vragen:

1. Is er een inzicht in de spreiding van regen over bepaalde oppervlakken? (Gebiedsgrootte effect dus; dit wordt hier verder buiten geschouwing gelaten).
2. Is er een algemeen inzicht in de morfologie van de buien of is er misschien een berekeningsregenbui of standaardregenbui met bepaalde periodiciteit te geven?
3. Wat is de intensiteit van buien *nadat* een bepaalde hoeveelheid regen is gevallen die zonder meer in het riool kan worden geborgen, bijv. 7 à 10 mm?
4. Wanneer komt er weer een bui als het riool nog geheel gevuld, althans niet geheel geleidigd is, m.a.w. hoe zit het met de overlappingsen?

Over de morfologie van de buien is een studie gemaakt. Of hieruit echter een berekeningsregenbui of standaardregenbui met bepaalde herhalingsstijd zal resulteren, is twijfelachtig.

Voorzover mij bekend, is op de beide

laatste vragen geen antwoord aanwezig. Zo dit al gegeven zou kunnen worden, zal dit vermoedelijk zo zijn ingebed in waarschijnlijkheids- en frekwentiebeschouwingen, dat het de vraag is of hieruit een duidelijk inzicht zal resulteren voor het specifieke rioleringsaspect. Mijn indruk is, dat het betrekkelijk eenvoudige rekenmodel het in deze mogelijk maakt terug te vallen op de werkelijke regenval die vastligt in de ponskaarten van de vijf minuten analyse.

Een gedachtengang zou hierbij de volgende kunnen zijn.

Uitgangspunt kan zijn een rioolnet met bepaalde berging en overcapaciteit, welke bepaald worden door de eisen van de waterbeheerder zoals we nog zullen zien.

De ontwerper zal voor zichzelf moeten vaststellen gedurende welke *tijd* hij een noodberging van water op straat accepteert ofwel een bepaalde *hoeveelheid* water op straat toelaatbaar acht met een door hem te kiezen *herhalingsstijd*.

Met een computer (of met de hand) kan men nu op de werkelijke waargenomen serie regenbuien het rioolnet met zekere berging, overcapaciteit en afvoerkapaciteit loslaten, als in principe in fig. 9 is aangegeven. Door de afvoerkapaciteit te variëren, kan men uiteindelijk die afvoerkapaciteit bepalen, die voldoet aan de eis van de toelaatbare noodberging op straat met bepaalde herhalingsstijd.

Het zou hierbij erg aangenaam zijn, indien men kans zag de omvorming van regen tot inloop hydrograaf in rekening te brengen. De vraag is wie de energie en de kosten voor een dergelijke benadering op zich zal willen nemen, welke

overigens zeker tot economische rioolstelsels zal leiden.

Er is ook nog een andere mogelijkheid om tot de keuze van de maatgevende afvoer intensiteit te komen, nl. door uit te gaan van een standaardregenbui van bepaalde herhalingsstijd. Blijkbaar is het erg moeilijk, zo niet principieel onmogelijk, om een dergelijke kromme te produceren. Het is dan erg verleidelijk om de theoretische regen-kromme tot standaardregenbui te promoveren.

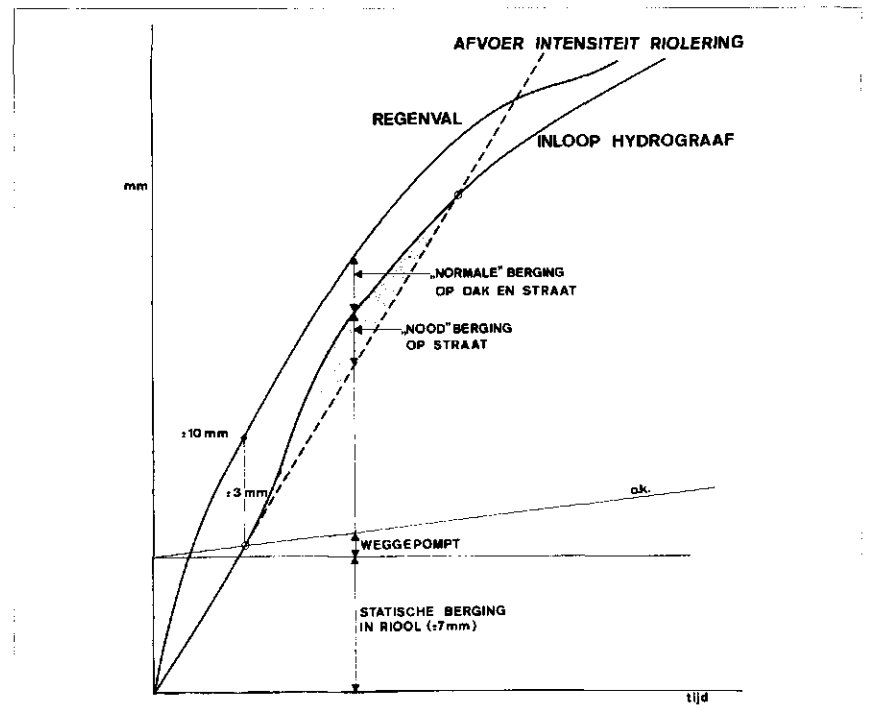
In fig. 9 moet men dan de inloop hydrograaf vervangen door de theoretische regen-kromme met de gewenste herhalingsstijd. De gestippelde lijn moet dan een zodanige helling krijgen, dat hij voldoet aan de eisen aangaande toelaatbare noodberging op straat. Dat is dan de maatgevende intensiteit waarmee men het rioolstelsel kan dimensioneren. Zo mogelijk ware rekening te houden met de omvorming van regenval tot inloop hydrograaf.

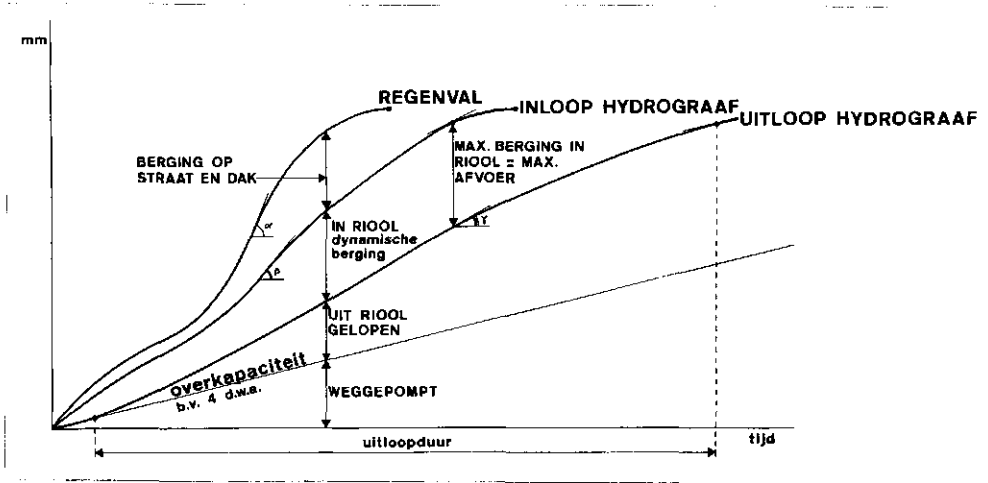
Tot slot moge ik de aandacht er op vestigen, dat alle geschetste betrekkelijk eenvoudige werkwijzen alleen mogelijk zijn, doordat we hier beschikken over een *eenvoudig rekenmodel*, nl. de bak die eerst leeg is en die na gevuld te zijn de dan optredende inloop moet kunnen verwerken. De bak bestaat op dat moment uit gevulde riolen waarin geen retentievervalselen meer optreden.

5.2. Regenriolering in vlak gebied

Hieronder zal ik verstaan een regenriool, dat op open water loost en geheel onder het waterniveau ligt en derhalve geheel gevuld is. Een dergelijke riolering loost op open water en wordt niet bemalen.

Fig. 9





Zij is dan te beschouwen als een bijzonder geval van een rioolstelsel in een vlak gebied, nl. waarbij de berging en de overcapaciteit beide nul zijn. De voorgaande beschouwingen zijn dan geheel van toepassing. Het is te verwachten, dat door het wegvallen van de berging het stelsel op een grotere intensiteit moet worden berekend om te voldoen aan dezelfde eisen betreffende noodberging op straat.

5.3. Riolering in hellend gebied

Onder een hellend gebied wil ik verstaan een gebied waarvan de riolering praktisch geheel boven de overstortdrempel ligt (zie fig. 7). In een dergelijk gebied stelt men de pompkapaciteit van gemengde stelsels doorgaans hoger vast dan in een vlak gebied en wel op rond 5 x dwa. De voor regenval beschikbare pompkapaciteit (overcapaciteit) is dan 4 x dwa, bijv. 1,4 mm/h.

Zodra de uitloop hydrograaf stijgt boven deze intensiteit, treedt water uit de riolering.

Een regenriolering in hellend gebied wordt niet bemalen en is dus op te vatten als een bijzonder geval van een gemengd stelsel, nl. met een overcapaciteit = 0.

In het volgende zal alleen van gemengde stelsels sprake zijn. Als voorbeeld is fig. 10 getekend.

Het water tussen de regenval en de inloop hydrograaf wordt normaal op daken en straten geborgen.

De overcapaciteitslijn (t x overcapaciteit) loopt vrijwel door de oorsprong. In werkelijkheid raakt hij aan de uitloop hydrograaf. Het water tussen de inloop en uitloop hydrograaf is in het riool geborgen.

Zolang de maximale helling γ van de uitloop hydrograaf kleiner is dan de capaciteit van het rioolstelsel, schiet de riolering niet te kort.

Waar de uitloop hydrograaf weer evenwijdig is aan de overcapaciteit houdt de uitstroming op.

We kunnen weer aflezen de overstort-

duur, de overgestorte hoeveelheid en de overstortintensiteit (γ - o.k.).

De uitloop hydrograaf en de inloop hydrograaf zijn in het geheel niet gelijkwaardig. Dit vindt zijn oorzaak in het dynamisch gebruik van de berging in het riool. Wat dit betreft, is het riool te vergelijken met de berging in het rivierreservoir met grote aflaatcapaciteit van fig. 5. We zagen, dat in een dergelijk reservoir een aanzienlijke reductie van de afvoerpieken kan optreden.

Voordat wordt overgegaan tot de keuze van de afvoerintensiteit, waarop het stelsel wordt berekend, zal eerst nog de toetsing aan de zwaardere bui plaats vinden.

Hiertoe is fig. 11 gegeven.

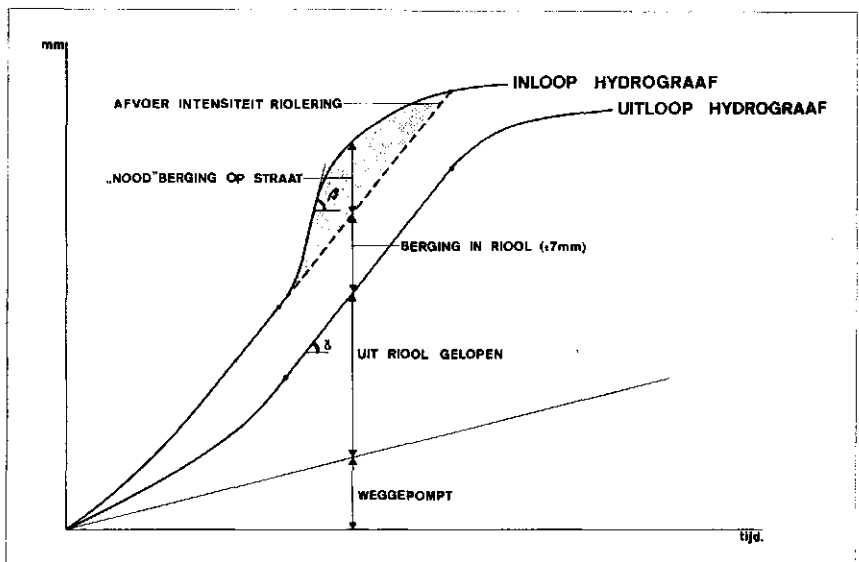
Op het moment dat het riool gevuld is en dus de berging geheel is benut, heeft het de maximum afvoerintensiteit γ . Heeft de inloop hydrograaf op dat moment een grotere intensiteit, dan moet water op de straten worden geborgen (noodberging). In een hellend gebied is dat een vervelende situatie, daar dit

water langs de hellende straten naar beneden stroomt en geaccumuleerde overlast geeft. Dit aspect zal verhogend werken bij de keuze van de maatgevende intensiteit voor de riolering in hellend gebied.

De berekening van een dergelijk net is veel ingewikkelder dan van een geheel gevuld net in een vlak gebied. In een hellend gebied moet zowel met de verandering in berging als met de stroming van het water worden gerekend. Een niet stationaire situatie derhalve. Een eenvoudig rekenmodel waarin dat gebeurt, kennen wij eigenlijk niet. Theoretisch is het denkbaar, dat wanneer men op alle plaatsen van een bepaald net de inloop hydrograaf kent, de uitloop hydrograaf te berekenen is. Dan moet een volledige floodrouting worden verricht. Met inschakeling van een rekentuig is dit denkbaar. Voorzover mij bekend, is dat nooit gebeurd.

Hoe vindt de berekening thans plaats? In Nederland zijn twee nogal gebruike-

Fig. 11



lijke methoden in zwang, die ik hier zou willen noemen. Het zijn (zie fig. 12):

- a. berekening met vertragsplan;
- b. berekening met concentratietijd.

a. Berekening met vertragsplan

De gang van de berekening is als volgt: Van de theoretische regenkrommen (fig. 3) kiest men er een van een bepaalde periodiciteit, bijv. $p = 1$ (herhalings-tijd 1 jaar). Men kiest dan een bepaalde regenduur t (bijv. 15 minuten). Op de lijn leest men de bijbehorende regenval h_t af. De gemiddelde intensiteit $i = h_t : t$. Deze wordt uitgedrukt in l/sec.ha. Voor elke rioolstreng wordt dan een parallellogram getekend in een tijd (horizontaal) afvoer (verticaal) diagram (fig. 12). De horizontale lengte = t de regenduur. De hoogte van het parallellogram is Ai_t , waarin A het op de beschouwde rioolstreng aangesloten oppervlak is. De basishoek van het parallellogram wordt bepaald door t_{cl} de concentratietijd of doorstroomtijd van de beschouwde rioolstreng.

$$t_{cl} = \frac{l}{v}$$

stroomsnelheid in streng bij gevuld riool
lengte rioolstreng

Zo kan men voor elke streng een diagram tekenen, welke aan elkaar geregen worden. Om in enig punt de maximale afvoer te vinden snijdt men de verzameling van parallellogrammen met een verticaal en zoekt de grootste lengte op door verschuiving van de verticaal. Deze hele bewerking herhaalt men voor dezelfde periodiciteit met wisselende regenduur t . Hierover zijn bepaalde methoden ontwikkeld.

b. Berekening met concentratietijd

Op een bepaald punt a van het net wordt de afvoer als volgt bepaald: Berekend wordt voor dat punt de concentratietijd t_{ca} . Daarvoor neemt men de tijd die de waterdruppel er over doet om van het verst verwijderde punt van het stroomgebied van a in A te komen. Deze tijd is $l : v$, waarin men voor v de stroomsnelheid neemt; l is de afstand van A tot het verst verwijderde punt van het stroomgebied van A . Uit de theoretische regenkromme van te kiezen periodiciteit bepaalt men voor deze t_{ca} de gemiddelde intensiteit $i_{t_{ca}}$. De afvoer op dat punt is dan $Aa \times i_{t_{ca}}$. Aa is het via punt a afwaterende verharde oppervlak.

Dit doet men voor alle punten en vindt zo overal de afvoer. Het is duidelijk, dat de maatgevende regenintensiteit stroomafwaarts afneemt, daar de concentratie steeds toeneemt.

Tegen beide methoden zijn bedenkingen te maken, o.m.:

- a. De berging in het riool is niet in rekening gebracht.

b. De concentratie is als looptijd berekend, terwijl men eigenlijk de voortplantingssnelheid van afvoerveranderingen had moeten berekenen, derhalve de voortplantingssnelheden van translatiegolven. Deze snelheden liggen hoger en zeker als de buis vol is. Dan is deze snelheid nl. vrijwel oneindig groot, daar dan de waterleidingsituatie optreedt. Hogere snelheden geven kortere concentratietijden en derhalve hogere berekeningsintensiteiten.

c. Als een zwaardere bui wordt gezien en de riolen gevuld raken, kan het riool in het hellende gebied de momentele aanvoer bij stukken na niet afvoeren, waardoor het riool dan zeer ernstig te kort schiet. Bovendien is er dan het bezwaar, dat het water langs de wegen vloeit en geaccumuleerde overlast geeft.

Het is duidelijk, dat beide berekeningsmethoden een vrije waterspiegel vragen en zeker niet voor rioleringen in vlak gebied mogen worden toegepast, die gevuld zijn voor ze hard gaan stromen. Zoals reeds gezegd, is er geen eenvoudig rekenmodel zoals bij de vlakke gebieden bestaat en het is daarom niet doenlijk om voor hellende gebieden terug te vallen op de oorspronkelijke regenval die vastligt in de ponskaarten van de vijf

minuten analyses om daaruit de berekeningsintensiteiten af te leiden. Dit zou alleen kunnen als men via de rekentuingen komt tot een overzichtelijk floodrouting programma.

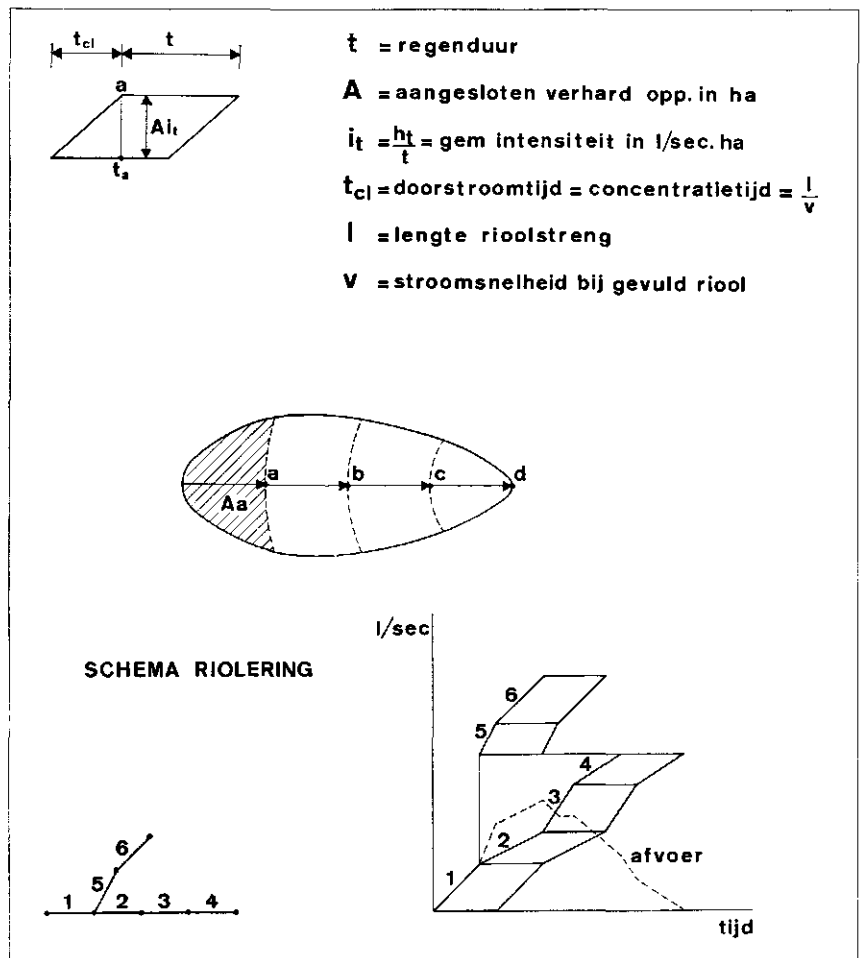
Voor weinig uitgestrekte gebieden met korte werkelijke concentratietijden van $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ uur valt men daarom vaak eenvoudigheidshalve terug op de berekeningsmethode die voor de riolering in vlakke gebieden is gebruikt.

De consequentie van een en ander is, dat — hoewel in feite een gunstige bergingssituatie aanwezig is — men in plaats van lagere berekeningsintensiteiten toch hogere kiest in hellende gebieden, uit vrees voor wateroverlast.

De onzekerheid in deze is het gevolg van het tekort schieten van de riooldeskundigen wat de berekening betreft.

Wat de vragen van regendeskundigen betreft, mag ik verwijzen naar wat bij vlakke gebieden is gezegd. Het vraagstuk van de overlapping zal hier minder spreken, omdat de riolering snel leegloopt. De morfologie is hier van belang en vooral ook weer het optreden van grotere intensiteiten in de regenbui, nadat een zekere hoeveelheid is gevallen en hier misschien nog wel verder in de bui (dus bijv. na 10-12 mm) dan in het vlakke gebied het geval was (fig. 11:

Fig. 12



berging van circa 7 mm wordt later in de bui volledig benut dan bij riool in vlak gebied).

Het gezegde over de rioleringen in hellende gebieden samenvattend, komen we tot het volgende.

Een eenvoudig rekenmodel waarbij de gunstige bergingssituatie in rekening wordt gebracht is er niet. In het buitenland ontwikkelde methoden waarbij wel met berging wordt rekening gehouden, heb ik niet in mijn beschouwingen betrokken. Dit zijn overigens nog vrij ingewikkelde modellen.

Daarom maakt men gebruik ofwel van de eenvoudige rekenmodellen voor vlakke gebieden ofwel van modellen waarin de concentratietijd een rol speelt.

In het eerste geval kan men dan teruggaan tot de werkelijke regenval als omschreven bij het vlakke gebied.

In beide gevallen maakt men dikwijls gebruik van de theoretische regenkrommen.

6. Uitloop uit rioolnetten op openbaar water

In het navolgende zullen wij ons hoofdzakelijk bezighouden met de vraagstukken die spelen bij gemengde rioleringen in vlakke gebieden. Wij zullen daarbij de vervorming van de regenval tot inloop hydrograaf verwaarlozen.

Indien deze problemen duidelijk voor ogen staan, kunnen de vragen voor hellende gebieden daaruit worden afgeleid, waarbij fig. 10 en 11 van dienst kunnen zijn.

De vragen die in de vlakke gebieden aan de orde komen, zijn o.m.:

1. hoe vaak zal water uit de riolering stromen? (*overstortfrequentie*)
2. in welk jaargetijde zullen de overstortingen plaats vinden?
3. zullen de overstortingen overdag of 's nachts optreden?
4. is de overstortfrequentie bij gelijke rioolnetten voor alle delen van het land gelijk?
5. welke is de grootste intensiteit bij het overstorten (α in $m^3/sec.$)?
6. hoeveel water zal in totaal overstorten (Q m^3)?
7. hoelang zal een overstorting duren (*overstortduur* T in min.)?

Uit deze vragen blijkt duidelijk, dat zij niet door de rioldeskundigen worden gesteld, maar aan hen. De vragenstellers zijn de waterbeheerders die ófwel beducht zijn voor vervuiling, ófwel beducht voor hoge, kortdurende belasting van hun waterafvoersysteem.

Het uitgangspunt bij de vervuilingsvraag is de omstandigheid, dat in droogweer perioden zich slib in het riool afzet, dat bij overstorting door de hoge snelheden in het riool wordt opgewoeld en dan uit-treedt met het overstortende water. Daarom acht men de overstortfrequentie een maat voor de vervuiling van het ontvangende water.

Om de overstortfrequentie te bepalen, is

steeds gebruik gemaakt van de stippen-grafiek van Kuipers.

Het standpunt van een regenbui is in deze grafiek aangegeven. Horizontaal de duur van de bui in minuten, verticaal de totale hoeveelheid in mm.

In fig. 4 zijn een drietal willekeurige punten gezet. Punt a zal tot overstorting aanleiding geven, de punten b en c niet. In deze gedachtingang speelt de vorm van de regenbui geen rol. Bij gebrek aan gegevens heeft men immers gemakshalve de vorm van de regenbui rechtlijnig gedacht. Doet men dit, dan is in fig. 4 onmiddellijk af te lezen de overstortduur T , de overstortende hoeveelheid Q en de overstortintensiteit α .

Tegen deze beschouwingwijze is een aantal bedenkingen gerezen, nl. dat geen rekening is gehouden met overlappings van buien en met de vorm van de buien zelf.

De invloed van de overlappings is in fig. 4 aangegeven.

Wanneer bui c met een hele korte onderbreking na b valt, dan worden beide buien afzonderlijk in de stippengrafiek aangegeven. In werkelijkheid zal echter punt c' worden bereikt en dan treedt wel overstorting op.

De invloed van de vorm van de bui is in fig. 13 geschetst. Het eindpunt van de bui valt onder de overkapaciteitslijn en bij een rechtlijnige bui (lijn c) treedt geen overstorting op.

Is het verloop van de bui volgens lijn 1 (bol), dan kan wel overstorting optreden. Ook als het verloop volgens lijn 2 (hol) plaats vindt, treedt overstorting op.

Aangegeven is hoe in beide gevallen de maximale overstortintensiteit α , de overstortduur T en de totaal overgestorte hoeveelheid Q kan worden bepaald. Het is duidelijk, dat het in rekening brengen van overlapping en vorm van buien de berekende overstortfrequentie moet verhogen.

In fig. 14 is aangegeven hoe men met gebruikmaking van gegevens van registrerende regenmeters de overstortfrequentie grafisch kan bepalen.

De beschouwing van het eerste deel van de bui wijkt niet af van wat in het voorgaande werd besproken.

Van de eerste bui, die in c eindigt, houdt de overstroming in b op, nl. daar waar een raaklijn evenwijdig aan de overkapaciteitslijn kan worden getrokken.

In punt d, waar de tweede bui begint, is het rioolstelsel voor een groot deel geleidigd en is weer berging beschikbaar. In punt e begint de tweede overstorting, enz.

Op een dergelijke wijze is door ir. Vermeulen van Gemeentewerken Den Haag een aantal pluviogrammen voor Den Haag bewerkt.

Het bleek hem, dat de overstortfrequentie circa 2 x groter was dan uit de benadering met de rechtlijnige afzonderlijke buien uit de stippengrafiek volgt. Dit verschil is aanzienlijk.

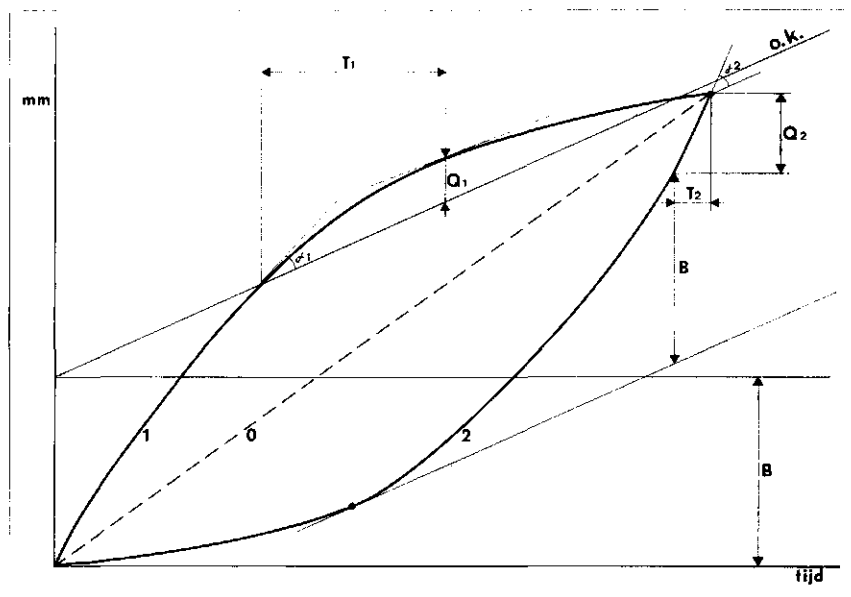
Men dient echter te bedenken, dat:

- a. een overstorting, direct volgend op een andere als in fig. 14 minder ernstig is, daar volgens het uitgangspunt van de vervuilingsgedachte het neergeslagen slijk reeds opgewoeld en gespuid is bij de eerste overstorting;
- b. dat de inloop hydrograaf gelijkgesteld is aan de regenval. Het in rekening brengen van berging op daken en straten zal zeker verlagend op de overstortfrequentie werken.

In het proefobject Vijfhuizen van de werkgroep Riolering en Waterverontreiniging worden de regenval en de uitlopende hoeveelheid geregistreerd, de overstortfrequentie derhalve ook.

Men zal zodoende alle invloeden vangen waarover vraagtekens zijn, o.m. het gebiedsgrootte effect, de invloed van de

Fig. 13



Wanneer we de cijfers voor maart nader bezien, dan blijkt van de 37 jaren 7 keer 1 overstorting plaats te vinden en 30 keer in het geheel geen overstorting.

Het grootste aantal overstortingen in augustus was 6 (1941). In 6 jaren trad geen overstorting op.

In de 4 maanden juni, juli, augustus en september traden gemiddeld 6 overstortingen op, bij een gemiddelde van 10 per jaar.

Juist in de maanden waarin de omstandigheden in het ontvangend water het moeilijkst zijn, treedt gemiddeld meer dan de helft van het aantal overstortingen op.

Over de jaren verdeeld, is in 5 jaren het gemiddelde van 10 overstortingen werkelijk opgetreden. In 2 jaren kwamen 4 overstortingen voor en in 1 jaar 18. Er blijkt dus een grote spreiding te zijn.

Met alle gebreken van dien, kan men uit de bewerkingen met de rechtlijnige buien al een heel goed inzicht verkrijgen; exacter inzicht is uit de werkelijke regencijfers te verkrijgen.

In het kader van de werkgroep Riolerings- en Waterverontreiniging heeft ir. De Vries van het Technisch Adviesbureau van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten dezelfde regenbuien ook bewerkt, echter niet met de computer, maar met de hand. Een en ander is neergelegd in een interne nota voor genoemde werkgroep.

Hij heeft voor de 37-jarige periode een berging-afvoer-frequentie-grafiek (ook wel Veldkamp-grafiek genoemd) samengesteld. Op de assen berging en overcapaciteit heeft hij lijnen van gelijke overstortfrequentie getrokken. Het tijdrovende tellen kan dan achterwege blijven. Behalve voor De Bilt, beschikte hij ook over buiencijfers voor de stations Zuid-Limburg, Vissingen, Den Helder en Eelde over de jaren '55-'62. Bij vergelijking met De Bilt blijken er dan wel markante verschillen op te treden.

Als vergelijking nam hij de overcapaciteit. De reden hiervan is, dat deze overcapaciteit van primair belang is voor de dimensionering van gemalen, zandvangen en bezinktanks van zuiveringsinstallatie.

Bij een veronderstelde berging van 7 mm in het rioolstelsel en een door de waterbeheerder geëiste overstortfrequentie van 10, zou men, uitgaande van de cijfers voor de jaren '55-'62, de volgende overcapaciteit moeten inbouwen:

Overcapaciteit:

De Bilt	0,66 mm/h of 100% van De Bilt
Z.-Limburg	0,69 mm/h of 105% van De Bilt
Vissingen	0,48 mm/h of 73% van De Bilt
Den Helder	0,54 mm/h of 82% van De Bilt
Eelde	0,57 mm/h of 86% van De Bilt

Het blijkt hieruit, dat er blijkbaar langs de kust een zone is waar men met lagere pompactiviteiten kan volstaan. De reden moet te zoeken zijn in geringere buienactiviteit.

Het zou aantrekkelijk zijn over meer buiengegevens over het land verspreid te kunnen beschikken om na te gaan of er een indeling in bepaalde zones mogelijk is. Liefst dan gegevens in de vorm van 5 minuten analyses die een meer exacte benadering mogelijk maken.

7. Nabeschouwing

In het bovenstaande is bij de dimensionering van rioolnetten en bij de problemen die optreden bij de uitloop van de rioleringen op openbaar water, ingegaan op de behoeften van regeninformatie, op de behoefte aan meer inzicht betreffende de toevloeiing naar de riolen en op de behoefte naar eenvoudige rekenmodellen betreffende de stroming in riolen.

Wat de regen betreft kom ik even terug op de vragen die indertijd in de Werkgroep Regenwaarnemingen TNO zijn gesteld. In mijn terminologie komen die neer op vragen naar de frequentie van intensiteiten, theoretische regenkrommen, standaard regen, gebiedsgrootte effect. De thans gepubliceerde en nog in bewerking zijnde publikaties van het KNMI kunnen vermoedelijk op verschillende van deze vragen een antwoord geven. Bij nader inzien blijft er nog een aantal vragen over, die ik niet meer zou willen herhalen. Wat deze vragen voor De Bilt betreft, verwacht ik, dat een nadere bewerking van de oorspronkelijke gegevens van de 5 minuten analyse voor een verhoogd inzicht wel nodig zal zijn.

Het lijkt mogelijk uit de gegevens theoretische regenkrommen te construeren en wel voor het hele jaar, maar ook voor de verschillende seizoenen, maanden en delen van dagen. De vraag is wie de financiën voor de nog nodige bewerkingen zal opbrengen.

Buiengegevens over meerdere stations ontbreken voorzover mij bekend nog en ook een inzicht in het gebiedsgrootte effect voor kortere regenduren.

De rioleringskundigen zullen echter in eigen boezem tastend ook nog de nodige studies moeten doen, waarvan ik wil noemen de afvloeiingscoëfficiënten voor verharde gebieden, de verdamping, de omvorming van regenval tot inloop hydrograaf, het vertragingseffect bij de loop door rioleringen (flood routing) en het vinden van eenvoudige rekenmodellen, met name voor de rioleringen in hellende gebieden.

Op een heel ander, maar toch wel aangrenzend terrein, blijven nog de vragen over de verontreiniging van water zowel door de lozingen van overstortwater uit gemengde stelsels als door de lozing van (verdacht) regenwater uit regenriolen.

Dat we er zijn, kan dus nog allerminst worden gezegd. In een snel vol-groeiend Nederland, waar de komende 30 jaren vele kilometers riolen moeten worden gelegd, zal de economie enerzijds en de hygiëne anderzijds met een groeiend inzicht zeer zijn gediend.