

# De overstortingsfrequentie in gemengde rioolstelsels

## 1. Inleiding

Het is niet economisch verantwoord een gemengd rioolstelsel zó te ontwerpen, dat, zelfs in het geval van een uitzonderlijk zware neerslag (herhalings-tijd 1, 2, ... 5 jaar), alle water (afvalwater en regenwater) naar de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) gevoerd wordt: het aanvoerriool zou een zeer grote diameter moeten hebben en de rwzi zou sterk overgedimensioneerd moeten worden. Bovendien zou de bedrijfsvoering van de rwzi zeer moeilijk worden. Daarom worden op regelmatige plaatsen overstorten



DR. IR. J. BERLAMONT \*  
KU Leuven

IR. G. VAN LANGENHOVE \*\*  
KU Leuven

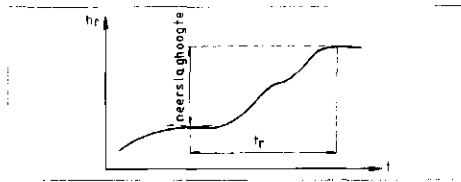
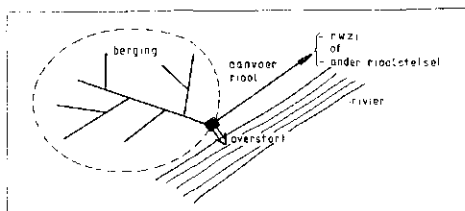
voorzien. Bij hevige neerslag wordt het gedeelte van het, met afvalwater vermengde, regenwater dat niet via de aanvoering naar de rwzi kan gebracht worden, via de overstorten geloosd op het oppervlaktewater. (In vlakke gebieden komt het voor dat een overstortbemaling moet voorzien worden.)

Het is vanzelfsprekend dat het aanvoerriool de maximale afvoer bij droog weer (DWA) moet kunnen afvoeren zodat overstorting van afvalwater bij droog weer vermeden wordt. Het afvoerend vermogen van het aanvoerriool moet dus *minstens* 2 à 4 maal de gemiddelde afvoer bij droog weer bedragen. Deze afvoer kan onder vrij verval of via een gemaal gebeuren.

\* Dr. Ir. J. Berlamont (1946), is sinds 1974 docent hydraulica, waterloop- en waterbouwkunde in de afdeling Bouwkunde van de Katholieke Universiteit te Leuven, Laboratorium voor Hydraulica.

\*\* Ir. G. van Langenhove (1953) is sinds 1976 als assistent en sinds 1979 als aspirant van het NFWO werkzaam in het Laboratorium voor Hydraulica van de KU Leuven.

Afb. 1 - Principe-schets van een gemengd rioolstelsel.



Afb. 2 - Pluviogram.

Vaak voorziet men enige overcapaciteit voor het aanvoerriool (en dus van de rwzi) om het regenwater bij het begin van de bui naar de rwzi te kunnen voeren.

Men overweegt immers:

- dat het eerst afstromende regenwater de daken, straten en greppels spoelt, en dus geladen is met afvalstoffen (faecaliën van vogels, dieren; neerslag van fabrieken, auto's; straatvuil . . .);
- dat het eerst afstromende regenwater de afvalstoffen die in een voorgaande 'droge' periode in gemengde rioolstelsels afgezet werden, losmaakt en meespoelt.

In Vlaanderen en Nederland bedraagt de overcapaciteit gewoonlijk 2 à 4 maal de maximale afvoer bij droog weer ( $q_d$ ). Bij hevige neerslag, wordt dus:

- een gedeelte van de neerslag via het aanvoerriool naar de rwzi afgevoerd ( $q_p$ ),
- een gedeelte tijdelijk geborgen in het rioolstelsel (berging B) en, na het einde van de bui, via het aanvoerriool naar de rwzi gevoerd,
- het overige deel via de overstort(en) op het oppervlaktewater geloosd.

Omdat het overstortwater uiteraard met afvalwater gemengd is, wordt de overstortingsfrequentie beperkt (b.v. tot 7 à 10 maal per jaar), om de vervuiling van het oppervlaktewater binnen aanvaardbare perken te houden. Daartoe wordt de berging voldoende groot gekozen. Het verband tussen de berging, de overstortingsfrequentie en de overcapaciteit wordt gegeven door de frequentiegrafiek (grafiek van Kuipers of Veldkamp) (afb. 4).

Omdat de berging na een zekere tijd opnieuw beschikbaar moet zijn om een nieuwe bui te kunnen opvangen, en om afzetting en rotting van slib in de riolen te vermijden, wordt de 'ledigingstijd', benaderend berekend als  $T_l = B/q_p$ , kleiner gekozen dan 10 à 15 uur. De waarde van de ledigingstijd beïnvloedt in sterke mate de grootte en de bedrijfsvoering van de rwzi. In deze bijdrage wordt gepoogd, rekening houdend met de opeenvolging van, en de tussentijden tussen de buien, de overstortingsfrequentie en de ledigingstijd te bepalen. Er wordt verder nagegaan welk nut deze parameters als dimensioneringsgrondslag kunnen hebben, rekening houdend met de kwaliteitseisen die aan het oppervlaktewater gesteld worden.

## 2. De overstortingsfrequentie volgens Kuipers

Het aantal keren per jaar dat de overstorten in werking treden is functie van de neerslag, de duur van de buien, de beschikbare berging in het rioolstelsel en de overcapaciteit.

Uitgaande van pluviografische gegevens voor De Bilt, stelde Kuipers (Ref. 5 en 8) zijn zogenaamde 'stippengrafiek' op. Elke (belangrijke) bui wordt voorgesteld door een stip in een grafiek die in ordinaat de totale neerslaghoogte  $h_r$  van de bui aangeeft en in abscis de regenduur  $t_r$  (afb. 3).

De duur en de neerslaghoogte van de bui worden afgelezen op het pluviogram tussen de twee tijdstippen waarop

$$\frac{dh_r}{dt} = 0 \text{ (afb. 2).}$$

Ook bij een korte onderbreking in één bui (vanuit meteorologisch standpunt) worden dus 2 verschillende (kleinere) buien gedefinieerd. De neerslaghoogte  $h_b$  die in de berging B kan geborgen worden, wordt gegeven door:

$$h_b = \frac{B}{10 \sum \alpha_i A_{bi}}$$

met B: de berging ( $m^3$ )

$h_b$ : de berging, uitgedrukt in neerslaghoogte (mm)

$A_{bi}$ : het gedeelte van het rioleringsgebied met afvloeiingscoëfficiënt  $\alpha_i$  (ha)

$A = \sum \alpha_i A_{bi}$  het afvoerend oppervlak in ha.

Kiest men voor de afvloeiingscoëfficiënt

$\alpha = 1$  voor het verhard oppervlak  $A_v$

$\alpha = 0$  voor het onverhard oppervlak  $A_o$

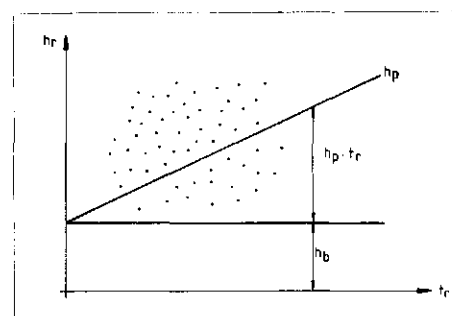
dan is

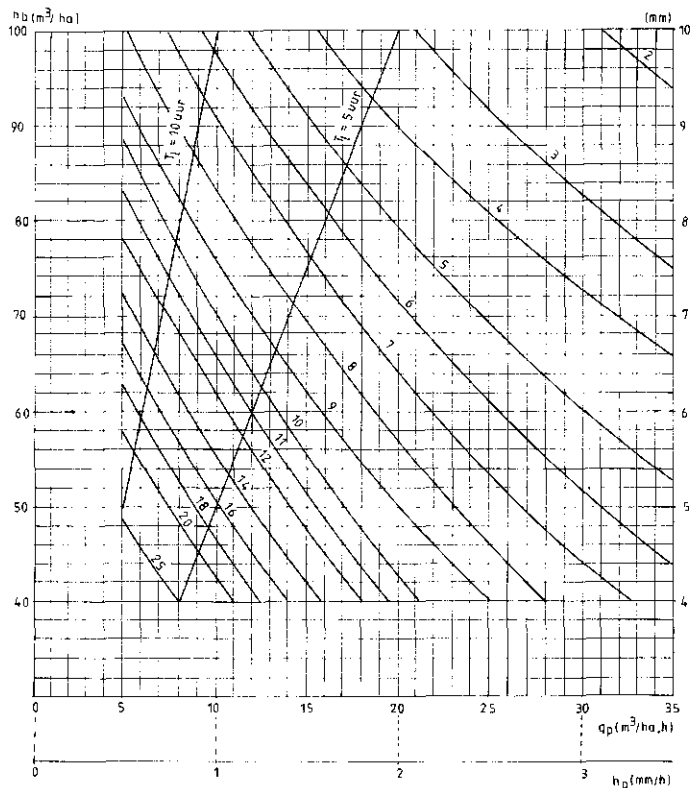
$$h_b = \frac{B}{10 A_v}$$

In de stippengrafiek zullen alle buien voor gesteld door een punt gelegen onder

$$h_b = \frac{B}{10 A_v} \text{ geen aanleiding geven tot overstorting, zelfs indien alleen } q_d \text{ wordt}$$

Afb. 3 - Stippengrafiek.





afb. 4 - Overstortingsfrequentiegrafiek volgens Kuipers (Ukkel).

afgevoerd naar de rwzi (overcapaciteit  $q_p = 0$ ) (afb. 3).  
 Indien de overcapaciteit  $q_p$  ( $m^3/h$ ) verschillend is van 0 kan men dit beschouwen alsof de berging met zoveel  $m^3$  vergroot wordt als er gedurende de bui afgevoerd wordt naar de rwzi. De overcapaciteit  $q_p$  ( $m^3/h$ ) kan dus ook uitgedrukt worden als een eerslaghoogte per tijdseenheid  $h_p$  ( $mm/h$ ).  

$$q_p = \frac{q_p}{10 A_v} \text{ (of } \frac{q_p}{10 \sum A_{bi} \alpha_i}$$
  
 Als  $q_p = 10 m^3/h$  wordt in één uur een oeverveelheid regenwater afgevoerd die overeenstemt met een neerslaghoogte van 1 mm p 1 ha ( $10^4 m^2$ ).  
 In een stippengrafiek kan men de rechte  $q_p + h_p t_r$  tekenen die voor elke regenduur  $t_r$  aangeeft, hoeveel mm neerslag in het rioolstelsel geborgen kan worden ( $h_b$ ), of voor het rioolstelsel kan worden afgevoerd ( $h_p t_r$ ) (afb. 3).  
 Alle buien die voorgesteld worden door een punt onder die rechte zullen geen aanleiding geven tot overstorting. De buien voorgesteld door punten erboven daarenboven wel.  
 Voor elke waarde van  $h_b$  en  $h_p$  kan men het aantal stippen tellen dat boven de rechte  $q_p + h_p t_r$  gelegen is. Dit geeft het aantal buien aan die, gedurende de lengte van de aarnemingsperiode, aanleiding gaven tot overstorting, met andere woorden: de over-

stortingsfrequentie  $f_0$  (gemiddeld aantal overstortingen per jaar).  
 In de grafiek ( $h_b, h_p$ ) kan men dan door interpolatie lijnen  $f_0 = cte$  tekenen (afb. 4).  

$$\text{Vermits } T_1 = \frac{B}{q_p} = \frac{h_b}{h_p}$$
 is  $T_1$  de richtingscoëfficiënt van de rechte die de oorsprong verbindt met het voorstellende punt ( $h_b, h_p, f_0$ ).  
 Door Kuipers werd een dergelijke grafiek opgesteld uitgaande van de regenwaarnemingen te Ukkel voor de periode 1958 - 1968 (afb. 4).  
 Het is zonder meer duidelijk dat zowel de manier waarop het diagram van Kuipers opgesteld is, als het gebruik ervan bij het ontwerp van gemengde rioolstelsels gedeeltelijk conventioneel is. Men kan het resultaat beter niet interpreteren als een fysische waarde (metingen in situ wijzen trouwens op een groot verschil (Ref. 3 en 4), maar wel als een norm om verschillende systemen met elkaar te vergelijken (Ref. 5).  
 Zowel de definitie van  $h_r$  en  $t_r$  voor één bui als de hypothese dat het net leeg is bij het begin van een bui, beïnvloeden in sterke mate het resultaat. Beschouw bijvoorbeeld een net met:  
 $h_b = 5 \text{ mm}$   
 $h_p = 0.5 \text{ mm/h}$   
 $h_r = 6 \text{ mm}$   
 $t_r = 1 \text{ uur}$

Is er geen pauze in de bui, dan vindt men overstorting.  
 Zou er echter wel een korte pauze optreden, dan vindt Kuipers twee kleinere 'reken'-buien, die elk afzonderlijk geen aanleiding geven tot overstorting, terwijl men inziet dat er in werkelijkheid wel degelijk overstorting zal optreden. Bij het begin van de tweede 'bui' is het net immers grotendeels gevuld, en tijdens de korte onderbreking van de neerslag, kan het net niet zijn leeggelopen of -gepompt.  
 Door Delnoy en Van Thienen (Ref. 2) werd voor de periode 1967 - 1975, een overstortingsfrequentiegrafiek opgesteld. Gedeeltelijk om praktische en gedeeltelijk om theoretische redenen werden de buien geselecteerd op basis van vooraf gekozen regenduren. Zoals blijkt uit de tabel, zijn de resultaten niet alleen sterk verschillend van die van Kuipers, maar verlopen de curven  $f_0 = cte$  veel vlakker dan bij Kuipers. Dit toont duidelijk het effect aan van de definitie van 'één bui'.

TABEL I.

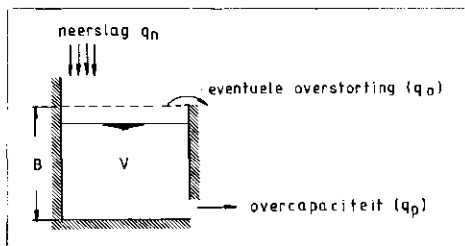
$h_b$ (mm)	$q_p$ (mm/h)	$f_0$ (1/a)	
		Kuipers	Delnoy- Van Thienen
5	0.5	23	8
5	4.0	5	4
10	0.5	8	3
10	4.0	2	2

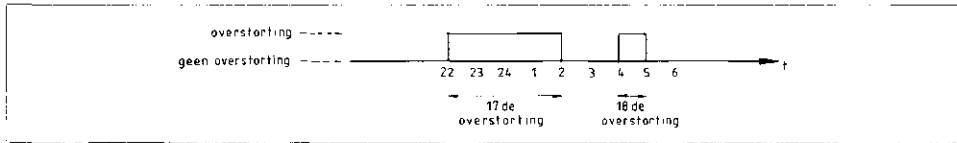
De aanname dat het net leeg is bij het begin van een bui, wordt gedeeltelijk gerechtvaardigd door het feit dat de ledigingstijd beperkt wordt tot 10 à 15 uur. Afgezien van het feit dat de frequentie van regenbuien groter kan zijn dan 1 per 10 uur, kan dit leiden tot tegenstrijdige besluiten: Vermits de ledigingstijd, vereenvoudigd, berekend wordt als

$$T_1 = \frac{B}{q_p}$$

ziet men immers in dat  $T_1$  alleen beperkt kan worden door de berging te verkleinen, wat de overstortingsfrequentie doet toenemen! De overcapaciteit zal men liefst niet verhogen omdat dit een overdimensionering van het aanvoerriool, (de pompinstallatie) en de rwzi met zich zou meebrengen.

afb. 5 - Het bakmodel.





Afb. 6.

**3. Het bakmodel: Bepaling van de overstortingsfrequentie**

Een rioelstelsel (berging B, overcapaciteit  $q_p$ ) wordt beschouwd als een bak met maximale inhoud B waarin de uurgemiddelde neerslag ( $q_n$ ), die voorkwam te Ukkel in de periode 1967 - 1976 (Ref. 6), toegevoerd wordt. Aan de bak wordt (indien dit mogelijk is) het debiet  $q_p$  onttrokken. De bak is voorzien van een 'overstort' (overstortdebiet  $q_o$ ) (afb. 5).

Voor dit bakmodel werd de continuïteitsvergelijking

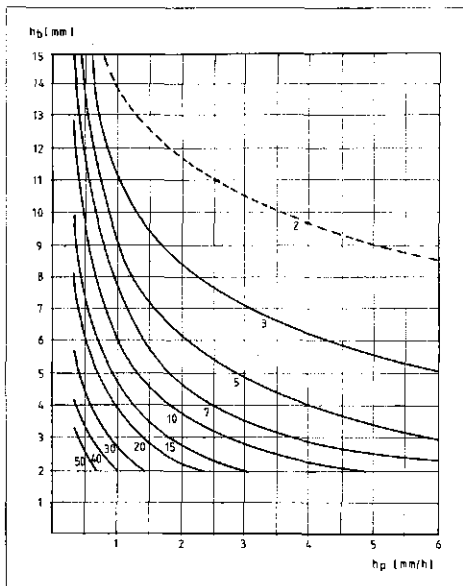
$$\frac{\Delta V}{\Delta t} + q_p + q_o - q_n = 0 \text{ met } 0 \leq V \leq B$$

voor de opgegeven simulatieperiode geïntegreerd met  $\Delta t = 1$  uur. Op 1-1-1967 werd een 'koude start' genomen ( $V = 0$ ). Vermits er tijdens de eerste dagen van 1967 toch geen neerslag van betekenis viel, beïnvloedt deze beginvoorwaarde de resultaten niet.

Voor elk uur kan men uitmaken of er gedurende het voorbije uur overstorting geweest is (afb. 6).

Het volstaat het aantal aaneensluitende perioden met overstorting te tellen en te delen door de beschouwde simulatieperiode, om de overstortingsfrequentie  $f_o$  te vinden. Met een simulatieperiode van 10 jaar kan men een goed idee verkrijgen van ver-

Afb. 7 - Aantal dagen per jaar met overstorting in functie van de berging en de overcapaciteit volgens het bakmodel.

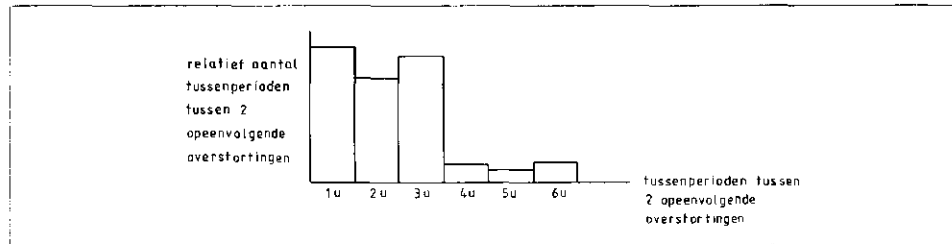


schijnselen die zich voordoen met een herhalingsstijd die 10 maal korter is (Ref. 7, p. 88). Met het beschouwde model wordt dus een vrij goede benadering gevonden voor overstortingsfrequenties van minstens één per jaar.

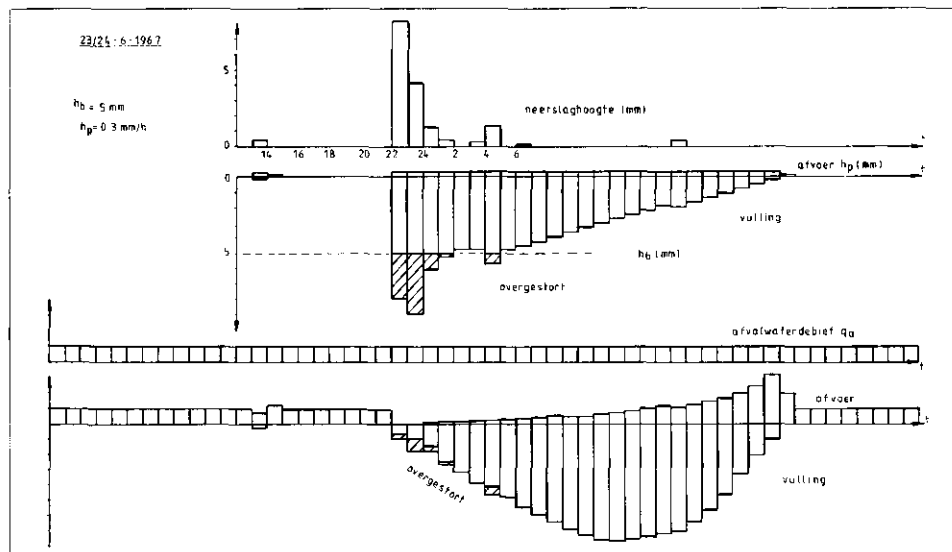
De simulatie werd doorgevoerd voor een reeks waarden van B ( $2 \leq h_b \leq 15$  mm) en  $q_p$  ( $0.3 \leq h_p \leq 6.0$  mm/h). In een ( $h_b, h_p$ )-diagram werden de overstortingsfrequentie-grafieken voorgesteld. In plaats van 'overstortingen' zijn hier echter 'dagen met overstorting' beschouwd (afb. 7).

A priori kan men immers niet stellen dat één langdurige overstorting de ontvangende waterloop meer of minder belast dan twee of meer relatief snel op elkaar volgende kortere overstortingen. Door een statistische studie van de tussenperiode tussen twee opeenvolgende overstortingen, zou men kunnen hopen een bovengrens te vinden voor wat als een verwaarloosbaar korte tussenperiode kan worden beschouwd. Indien het frequentiediagram er b.v. zou uitzien zoals in afb. 8, dan zou men twee

Afb. 8 - Fictief voorbeeld.

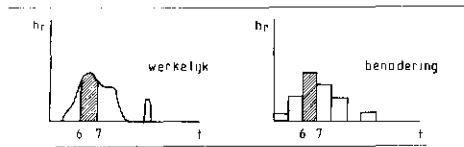


Afb. 9 - Voorbeeld van het verloop van de neerslag en de berging in functie van de tijd.



opeenvolgende overstortingen met een tussenperiode van minder dan 3 uur, kunnen beschouwen als één enkele overstorting. Zulke trend kon echter niet gevonden worden. Daarom werd het aantal 'dagen per jaar met overstorting' (onder eender welke vorm) geteld. Door deze werkwijze vermijdt men 'één overstorting' te moeten definiëren, en behoudt men toch een fysische interpretatie van de resultaten. In het voorbeeld van afb. 9 werden twee 'dagen met overstorting' geteld.

Doordat in het bakmodel met uurgemiddelde regenintensiteiten gerekend wordt, worden zeer korte (maar misschien hevige) buien niet als dusdanig ingerekend (afb. 10) en worden buien die toevallig beginnen en/of eindigen rond het half uur sterk uitgesmeerd. Hierdoor zou het model het aantal overstortingen onderschatten. Deze situatie komt vooral voor in rioelstelsels met een geringe berging en grote overcapaciteit. De resultaten van het model werden daarom gecorrigeerd door na te gaan of de dagelijkse maximale regenintensiteit betrokken op regenduren 10, 20, 30, 60 en 120 minuten (Ref. 6) geen aanleiding zoude gegeven hebben tot overstorting, in de veronderstelling dat  $V = 0$  bij het begin van die buien. Indien meer dan één van die buien aanleiding geeft tot overstorting en/of ook met de uurgemiddelde intensi-



Afb. 10 - Benadering van het pluviogram.

teiten overstorting gevonden werd, kan men niet uitmaken of het al dan niet dezelfde overstorting betreft. Doordat het aantal dagen met overstorting geteld wordt, wordt echter aan deze moeilijkheid voorbijgegaan. Met de beschreven correctie kan men hopen alle buien, met een duur langer dan 10 minuten te hebben ingerekend. Het is echter niet uitgesloten dat buien met een nog kortere duur aanleiding zouden geven tot bijkomende overstortingen volgens de vooropgestelde berekeningsmethode. Voor zulke korte buien is de voorgestelde quasi-statische benadering echter een te nadelige onderstelling omdat dan dynamische effecten (vertraging) ingerekend moeten worden. Dit laatste kan niet in het algemeen gebeuren, maar wel voor elk concreet rioleringsgebied afzonderlijk.

De in afb. 7 aangegeven frequenties zijn gemiddelde frequenties over de 10-jarige waarnemingsperiode. Het is niet zonder belang de spreiding rond deze gemiddelden te onderzoeken en dus de betrouwbaarheid of representativiteit van de gevonden

frequenties voor een willekeurig gekozen toekomstige periode te bepalen. Hierbij wordt verondersteld dat geen systematische fouten optreden ten gevolge van een eventuele systematische verandering van de weersgesteldheid op langere termijn. Er blijven dus enkel toevallige afwijkingen over ten gevolge van de veranderlijkheid van de neerslag van jaar tot jaar.

Onderstel (voor gegeven waarden van B en q<sub>p</sub>) dat het aantal dagen per jaar met overstorting (X) normaal verdeeld is, met gemiddelde waarde  $\mu_X$  en standaardafwijking  $\sigma_X$ . Uit de n waarnemingsjaren volgen de schattingen  $\bar{X}$  en s respectievelijk van  $\mu_X$  en  $\sigma_X$ :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}; \quad s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Gelet op het theorema van Bayes, kan men de werkelijke  $\mu_X$  beschouwen als een normaal verdeelde toevalsveranderlijke, met gemiddelde waarde  $\bar{X}$  en standaardafwijking

$$\frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \approx \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Vermits  $\sigma_X$  bepaald wordt door de natuurlijke variaties van X, kan enkel door het vergroten van het aantal waarnemingen n, een nauwkeuriger schatting bekomen worden.

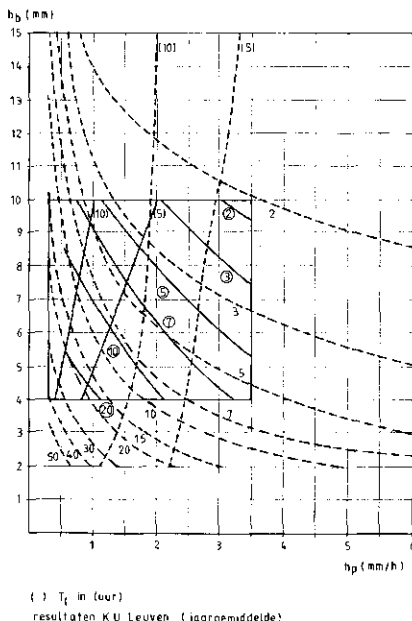
TABEL II.

Gemiddeld aantal dagen met overstorting per jaar	Benaderende deviatie op de gemiddelde waarde
3	0.49 (16 %)
5	0.76 (15 %)
10	1.42 (14 %)
20	2.17 (11 %)
50	3.53 (7 %)

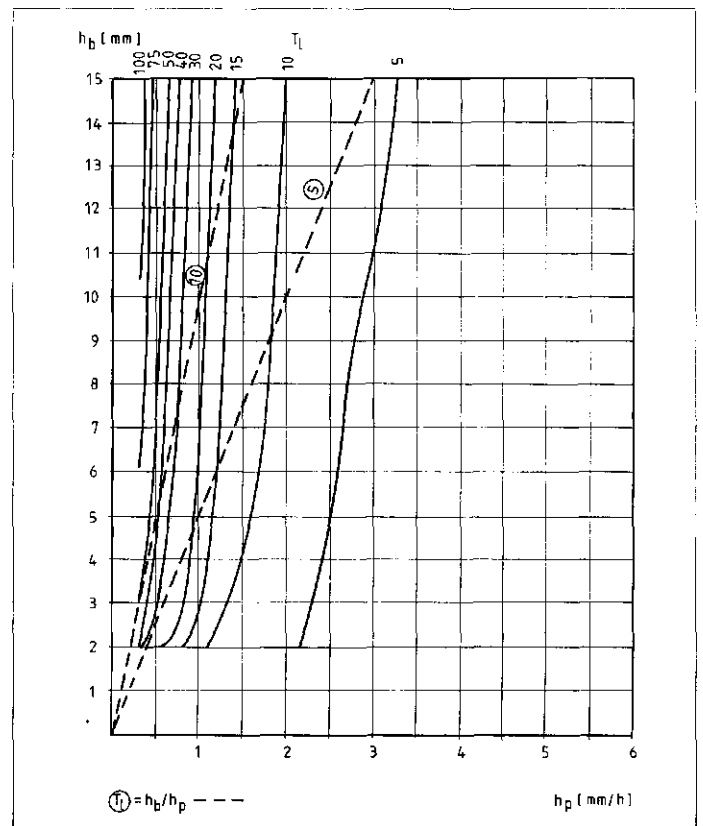
De onzekerheid in het gebied van de als norm gehanteerde overstortingsfrequentie (7 à 14 per jaar) is relatief groot (tabel II): Met een betrouwbaarheid van 95 % wordt, voor gegeven waarden van B en q<sub>p</sub>, het gemiddeld aantal dagen per jaar met overstorting gegeven door de overstortingsfrequenties, aangegeven in afb. 7, ± 30 %. Dit betekent bijvoorbeeld dat de kromme die overeenkomt met een gemiddelde overstortingsfrequentie 10/a moet geïnterpreteerd worden als: 'Voor deze waarden van B en q<sub>p</sub> zal het gemiddeld aantal dagen met overstorting per jaar, met een betrouwbaarheid van 95 %, begrepen zijn tussen 7 en 13'!

Deze belangrijke onzekerheid komt, afgezien van de beperkte waarnemingsperiode, hoofdzakelijk voort van de natuurlijke neerslagvariaties van jaar tot jaar. Voor de frequenties 5, 7 en 10 per jaar bedraagt de standaarddeviatie van deze frequenties

Afb. 11 - Vergelijking van de resultaten van Kuipers met de resultaten bekomen met behulp van het bakmodel (Ukkel).



Afb. 12 - Maximale ledigingstijd T<sub>i</sub> met een herhalingsstijd van 1 jaar, in functie van h<sub>b</sub> en h<sub>p</sub>.



nagenoeg 50 % van de waarde zelf! Een betere kennis van de gemiddelde waarde zou een zeer groot aantal waarnemingsjaren vereisen (400 jaar om slechts  $\pm 5\%$  afwijking te bekomen in het 95 % - betrouwbaarheidsinterval).

Zelfs met een betere (of zelfs exacte) kennis van deze gemiddelde waarden, zou een nauwkeurige voorspelling voor de overstortingsfrequentie in één bepaald jaar, niet mogelijk zijn. Voor de kromme (afb. 7) '10 dagen met overstorting per jaar' geldt: met een betrouwbaarheid van 95 % is het aantal dagen met overstorting in eender welk jaar begrepen tussen 2 en 25! (Voor de behandelde waarnemingsperiode, en voor die combinaties van B en  $q_p$  die aanleiding gaven tot gemiddeld 10 dagen per jaar met overstorting, was het (jaarlijks) kleinste en het grootste aantal dagen met overstorting resp. 4 en 23!)

#### 4. Vergelijking met de frequentiegrafiek van Kuipers

De twee overstortingsfrequentiegrafieken (afb. 4: Kuipers; afb. 7: bakmodel) zijn opgesteld uitgaande van twee verschillende maar ongeveer even lange waarnemingsperiodes (1958 - 1968 resp. 1967 - 1976). Vergelijkt men de twee grafieken, dan merkt men dat niet alleen toevallige verschillen optreden (veroorzaakt door de verschillende weersomstandigheden tijdens

de twee waarnemingsperiodes), die zouden resulteren in een kleine verschuiving van de curven, maar dat er ook meer systematische afwijkingen zijn (afb. 11).

Uit afb. 11 volgt dat de grafiek van Kuipers meestal een hogere overstortingsfrequentie oplevert dan het bakmodel, uitgenomen voor zeer kleine en zeer grote waarden van de overcapaciteit (resp. zeer grote en zeer kleine waarden van de berging). De verschillende resultaten worden verklaard door de verschillende basisonderstellingen:

1. Door het tellen van individuele overstortingen, waarbij opeenvolgende, korte overstortingen afzonderlijk geteld worden, vindt men hogere waarden dan door het tellen van globale overstortingen, b.v. dagen met overstorting (tenzij voor één overstorting overlappend op twee kalenderdagen).

2. Door rekening te houden met het niet leeg zijn van het rioolstelsel bij het begin van iedere bui vindt men integendeel meer overstortingen met het bakmodel. Dit is vooral uitgesproken bij kleine waarden van de overcapaciteit en (dus) grote waarden van de berging. Het is interessant op te merken dat het gebied met kleine  $q_p$  en grote B in de grafiek van Kuipers eigenlijk niet gebruikt wordt ten gevolge van de bijkomende eis  $T_1 < 10$  uur. Dit compenseert de fout veroorzaakt door het ten

onrechte leeg veronderstellen van het net vóór elke bui.

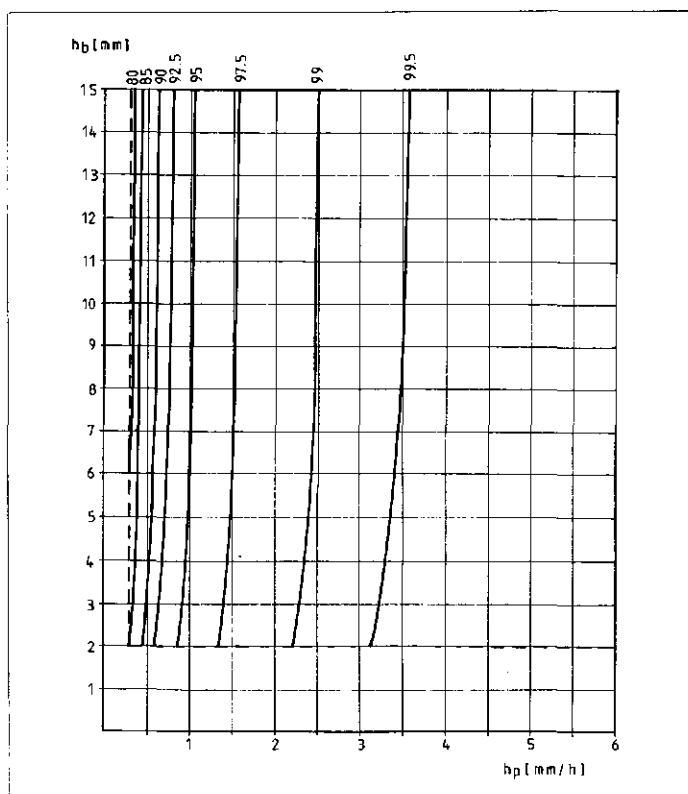
3. Door niet te werken met individuele buien, vindt men met het bakmodel ongunstiger combinaties intensiteit-duur terug. Dit geldt voor gewone overstortingen in het bakmodel met uurgemiddelde neerslag (b.v. zeer snel op elkaar volgende buien), maar vooral voor de 'bijkomende' overstortingen, omdat men het ongunstigste gedeelte uit een langere bui kan isoleren. Dit effect is des te belangrijker naarmate de berging kleiner, en de overcapaciteit groter wordt.

De tweede en derde beschouwing verklaren de afwijkingen links en rechts in afb. 11.

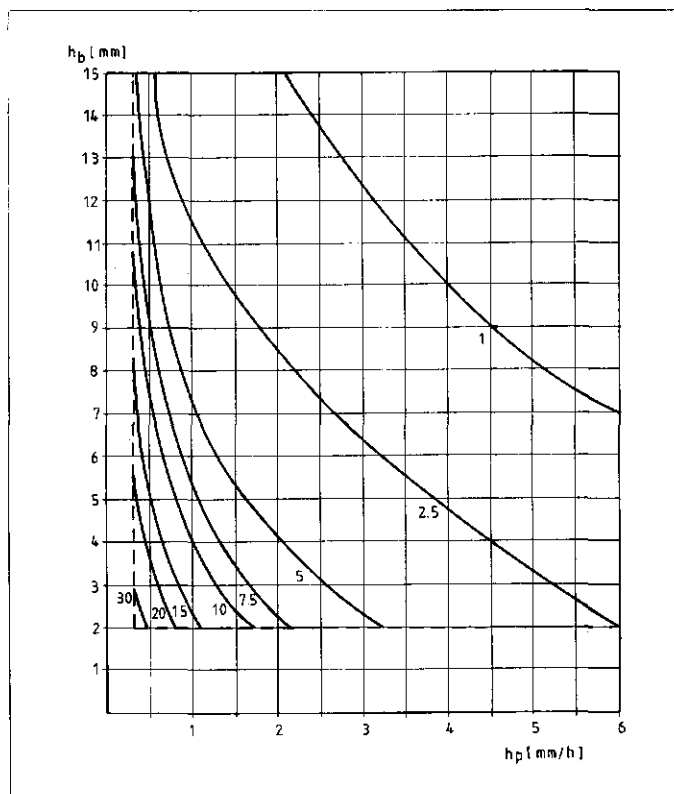
#### 5. De ledigingstijd

Met het bakmodel werd ook de maximale ledigingstijd  $T_1$  berekend. De ledigingstijd werd gedefinieerd als de periode tussen twee ogenblikken met vulling  $V = 0$ , dit is de aaneensluitende periode gedurende welke de overcapaciteit volledig benut wordt. De overstortingsduur is dus in de berekende ledigingstijd inbegrepen. In afb. 12 worden de maximale ledigingstijden met een herhalingstijd van 1 jaar voorgesteld als functie van  $h_b$  en  $h_p$ . De betrouwbaarheid van deze resultaten is veel beter dan van de hoger beschreven overstortingsfrequentie: de 95 % betrouwbaarheidsgrens is  $\pm 1.23$  uur voor een gemid-

Afb. 13 - Relatieve duur met vulling nul (in %) in functie van  $h_b$  en  $h_p$ .



Afb. 14 - Gemiddelde relatieve hoeveelheid overgestort regenwater in % van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in functie van  $h_b$  en  $h_p$ .



delde  $T_1 = 10$  uur (met een herhalings-tijd van 1 jaar). Om een bepaalde ledigingstijd te bekomen moet blijkbaar een grotere overcapaciteit voorzien worden dan vermoed aan de hand van

$$\Gamma_1 = \frac{h_b}{h_p}$$

(voor  $T_1 = 10$  uur: meer dan het dubbele voor  $b < 10$  mm !)

Deze laatste formule houdt immers geen rekening met het eventueel aanhouden van de neerslag tijdens het leeglopen. De werkelijke ledigingstijd kan dan ook veel groter zijn dan volgt uit de formule  $\Gamma_1 = B/q_p$ .

Zit afb. 12 blijkt dat de berging nagenoeg geen invloed heeft op de ledigingstijd: een beperking van de ledigingstijd is enkel realiseerbaar door de overcapaciteit te vergroten. De voorwaarde om  $T_1$  te beperken tot b.v. 10 uur zal dan ook vaak een veel strengere voorwaarde zijn dan de beperking aan de overstortingsfrequentie.

De 'relatieve' duur met vulling  $O'$  kan op dezelfde manier bestudeerd worden (afb. 13). Het is het gedeelte van de tijd dat het rioolstelsel geen retentie-functie heeft. Ook hier is de invloed van de berging zeer beperkt.

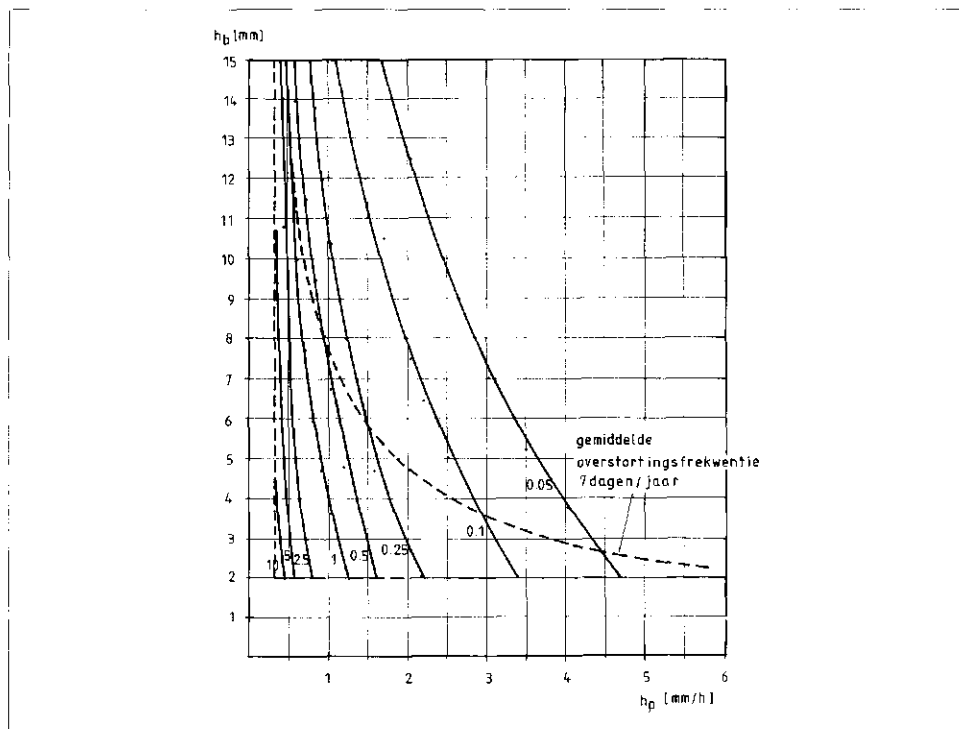
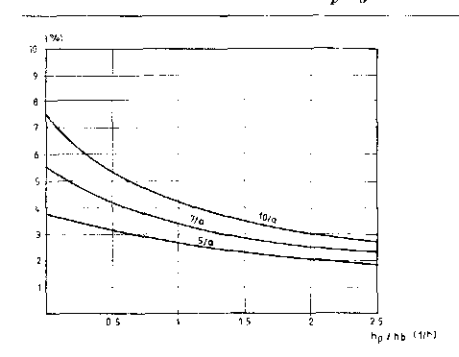
**Hoeveelheid overgestort regenwater**

ook de gemiddelde hoeveelheid overgestort verontreinigd regenwater, die een maat is voor de belasting van het oppervlaktewater, werd berekend in % van de totale jaarlijkse neerslaghoeveelheid (afb. 14). De overstorte hoeveelheden kunnen relatief grote variaties aannemen (5 % en meer).

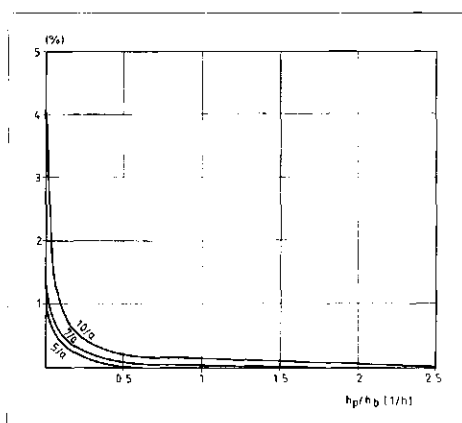
Uit blijkt dat de *relatieve* hoeveelheid overgestort regenwater nagenoeg onafhankelijk van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid (afb. 15). De onderlinge variaties ten opzichte van het gemiddelde zijn opnieuw aanzienlijk.

Voorbeeld gemiddeld 2.5 % overgestort: 5 % betrouwbaarheidsgrens  $\pm 0.7$  % (op jaarbasis),  $\infty$ ,

Afb. 15 - Gemiddelde relatieve hoeveelheden overgestort regenwater per jaar in % van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in functie van het aantal dagen met overstorting en  $h_p/h_b$ .



Afb. 16 - Relatieve hoeveelheid overgestort afvalwater in % van de totale hoeveelheid afvalwater in functie van  $h_b$  en  $h_p$ .



Afb. 17 - Gemiddelde relatieve hoeveelheden overgestort afvalwater per jaar in % van de totale jaarlijkse hoeveelheid afvalwater in functie van het aantal dagen per jaar met overstorting en  $h_p/h_b$ .

zodat op de curve 2.5 %, 95 % kans bestaat dat de overgestorte hoeveelheid regenwater (op jaarbasis) tussen 1.13 en 3.87 % bedraagt !

Uit afb. 15 volgt dat voor een bepaalde overstortingsfrequentie de relatieve hoeveelheid overgestort water daalt met de verhouding  $q_p/B$ . Bij lage overcapaciteiten is het overgestort volume per overstorting immers groot.

De hoeveelheden overgestort regenwater, aangegeven in afb. 14 en 15 zijn lichtjes onderschat omdat:

- de invloed van de 'bijkomende' overstortingen, bij deze berekening verwaarloosd werd, en

- de tijdbasis van 1 uur, soms te groot is.

In beide gevallen gaat het echter slechts om kleine volumes. Uit een en ander blijkt dat het vastleggen van de overstortingsfrequentie niet eenduidig de vervuiling van de waterloop bepaalt. Deze laatste wordt bepaald door de absolute *hoeveelheid overgestort water*, die bij gelijke overstortingsfrequentie, functie is van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid en  $q_p/B$  en de *concentratiepieken* tijdens de overstorting.

**7. Hoeveelheid overgestort afvalwater**

Men kan op eenvoudige wijze schatten wat de overgestorte hoeveelheden afvalwater zijn, als men de volgende onderstellingen aanneemt:

- een quasi-statisch model met een tijdbasis van één uur;
- een onmiddellijke, homogene menging (geen bezinking tijdens perioden van lage afvoer, noch erosie tijdens een hevige bui, van vroeger bezonken stoffen);
- een konstante afvoer bij droog weer;
- de afvoer bij droog weer is klein ten opzichte van de overcapaciteit, zodat de resultaten van het bakmodel ongewijzigd blijven (er is dan ook geen verschil tussen afvoer- en overcapaciteit).

De resultaten zijn voorgesteld in afb. 16 en 17. De deviatie bedraagt (in % van de jaarlijkse hoeveelheid afvalwater) 0.04 à 1.4 % voor een gemiddelde hoeveelheid overgestort afvalwater van 0.1 à 10 % van de totale jaarlijkse hoeveelheid afvalwater.

Uit de vergelijking van afb. 16 en 17 met afb. 11 volgt dat:

— de invloed van de berging, zeker voor kleine overcapaciteiten, veel geringer is, dan men zou vermoeden uitgaande van de overstortingsfrequentie. (Een overcapaciteit van 3 à 5 maal, de maximum afvoer bij droog weer, komt meestal overeen met 0,5 à 1 mm/h). Dit is omdat de vulling met vervuilende stoffen, (in de aangenomen veronderstellingen) nauwelijks beïnvloed wordt door de beschikbare berging, maar wel door de periode, gedurende dewelke er geen volledige afvoer kan gebeuren, en deze laatste bepaald wordt door de overcapaciteit.

— Bij gelijke overstortingsfrequentie de hoeveelheid overgestort afvalwater en dus de vervuiling van de rivier sterk verschillend kan zijn.

In het voorbeeld van afb. 9, ziet men dat de vulling met vervuilende stoffen vooral gebeurt wanneer er een lange, aaneensluitende periode voorkomt, gedurende dewelke de berging gedeeltelijk benut wordt.

De totale hoeveelheid overgestorte vervuilende stoffen hangt af van de relatieve hoeveelheid overgestort regenwater en de concentratie aan vervuilende stoffen op het ogenblik van de overstorting. Deze laatste hangt in sterke mate af van de voorgeschiedenis van de overstorting. Het is evenwel duidelijk dat deze resultaten vooral kwalitatief moeten worden geïnterpreteerd, en dat de absolute waarde van de cijfers wellicht minder betekenis heeft, voornamelijk omwille van de onderstelling van homogene menging.

## 8. Besluiten

1. De in deze studie gebruikte neerslaggegevens verschillen sterk van de geïsoleerde 'buien', zoals Kuipers ze definieerde. Het voordeel van het gebruik van de uurgemiddelde neerslaghoogte bestaat hierin dat rekening kan gehouden worden met de opvolging van de buien (grootte, tussentijden), zodat men op een realistische wijze rekening houdt met het niet noodzakelijk leeg zijn van het rioolstelsel bij het begin van een bui. De nadelen van het gebruik van de uurgemiddelde neerslaghoogte werden opgevangen door het toepassen van een correctie, gebruikmakend van de dagelijkse maximale intensiteiten.
2. De door Kuipers voorgestelde grafiek houdt slechts ten dele rekening met een aantal fenomenen. Het bakmodel laat toe fysieke meer verantwoorde waarden te vinden.
3. Er zijn grote variaties in het aantal overstortingen per jaar. Dit beperkt de nauwkeurigheid van de opgestelde curven,

maar ook de betrouwbaarheid van de voorspelling van de overstortingsfrequentie voor een bepaald jaar.

4. De benaderende berekening van de ledigingstijd (berging/overcapaciteit), onderschat de ledigingstijd in belangrijke mate, en veroorzaakt een overschatting van het belang van de berging. Een beperking van de ledigingstijd is praktisch uitsluitend realiseerbaar door een voldoende grote overcapaciteit te voorzien. De overcapaciteit die nodig is ter beperking van de ledigingstijd zal vaak groter zijn dan deze die vereist is om de overstortingsfrequentie te beperken.

5. De beperking van de ledigingstijd heeft tot gevolg dat het gedeelte uit de overstortingsfrequentiegrafiek van Kuipers, dat het meest beïnvloed wordt door de verkeerde veronderstelling dat het rioolstelsel leeg is bij het begin van iedere bui, in de praktijk niet gebruikt wordt.

6. Het volume overgestort regenwater is slechts gedeeltelijk evenredig met het aantal overstortingen; het is wel praktisch evenredig met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid.

7. De hoeveelheid overgestorte vervuilende stoffen, die bepalend zijn voor de vervuiling van het oppervlaktewater, is niet evenredig met het aantal overstortingen. Ter beperking van de hoeveelheid overgestort afvalwater moet de overcapaciteit groter gekozen worden. Een toename van de berging heeft daarentegen slechts een geringe invloed.

8. Beperking van de overstortingsfrequentie ter beveiliging van de waterlopen tegen vervuiling is een min of meer conventionele ontwerpmethod. Ze kan wel dienstig zijn om verschillende mogelijke ontwerpen van een rioolstelsel met elkaar te vergelijken, maar geeft slechts heel benaderend een idee van de werkelijke overstortingsfrequentie en de in werkelijkheid optredende vervuiling van het oppervlaktewater. Alleen al de basisonderstellingen (wat is één bui? één overstorting?) zijn vrij willekeurig, maar beïnvloeden toch in sterke mate het eindresultaat. Het gebruik van de grafiek van Kuipers, samen met de beperking van de ledigingstijd en de als norm gehanteerde overstortingsfrequenties (7 à 14 per jaar), vormen één geheel, waarvan de bruikbaarheid in de praktijk is gebleken. Bij het gebruik van de overstortingsfrequenties die volgen uit het bakmodel moeten misschien andere eisen gesteld worden aan de ledigingstijd of de gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie.

9. Indien men andere parameters dan de overstortingsfrequentie (b.v. de ledigingstijd of de hoeveelheden overgestort regen- of afvalwater) als maatgevend voor de vervuiling van de waterloop zou kiezen, blijkt dat de curven die overeenkomen met een gelijk aantal overstortingen, helemaal niet

dezelfde 'veiligheid' aangeven. Telkens vinden men dat een vergroting van de berging een veel kleinere invloed heeft dan de verhoging van de overcapaciteit. Verder wetenschappelijk onderzoek is onmisbaar om te komen tot een betrouwbaar criterium in verband met de werkelijke vervuiling van een waterloop veroorzaakt door de overstorten van een gemengd rioolstelsel.

## Referenties

- Ref. 1 - J. Berlamont, *Rioleringen*, ACCO, Leuven 1980.
- Ref. 2 - M. Delnoy & L. van Thienen, *Vergelijkende Studie van Rioleringsberekeningen*, afstudeerwerk KU Leuven, Leuven 1979.
- Ref. 3 - A. De Man, *Berging contra Overcapaciteit*, H<sub>2</sub>O (6) 1973 nr. 6.
- Ref. 4 - J. A. van den Berg, *Enige Aspecten van Afvoerhydrologie*, H<sub>2</sub>O (10) 1977 nr. 17.
- Ref. 5 - A. C. J. Koot, *Inzameling en transport van rioolwater*, 1977 Uitgeverij Waltman, Delft.
- Ref. 6 - Koninklijk Meteorologisch instituut van België, *Bijvoegsel aan het Hydrologisch Jaarboek van België, Uurlijkse Verdeling en Intensiteit van de Neerslag*, jaren 1967 tot 1976.
- Ref. 7 - C. Janssens & M. Sas, *Studie van de extreme getijwaterstanden op de Schelde*, afstudeerwerk KU Leuven, Leuven 1979.
- Ref. 8 - F. J. Ribbius, *Publieke werken II* (1951) 164.

