

Riolering en waterverontreiniging

Opmerkingen naar aanleiding van het rapport uitgebracht door de „Commissie Riolering en Waterverontreiniging van de Afdeling voor Gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs” *)

1. Inleiding

In het rapport van de „Commissie Riolering en Waterverontreiniging”, dat werd gepubliceerd in het tijdschrift H_2O , de nummers 10 en 12 respectievelijk van 11 mei en 8 juni 1972 [1], wordt in een aantal paragrafen aandacht besteed aan onderwerpen die verband houden met gemengde rioolstelsels.

De hoofdopzet van de commissie was een nader inzicht te krijgen in de betekenis van de zogenaamde frequentietheorie die al meer dan 15 jaar een belangrijke rol speelt bij het ontwerpen van rioolstelsels.

Tot omstreeks 1955 stelde men in Nederland ten aanzien van de werking van overstorten de eis dat het wegstromende afvalwater in een bepaalde mate verdund moest zijn door regenwater.

Dit betekende dat verdund rioolwater tot een hoeveelheid van enkele malen de droogweerafvoer — b.v. 3-5 d.w.a. — door het rioolstelsel afgevoerd moest worden naar een geëmal, rioolwaterzuiveringsinrichting of punt van lozing en dat het meerdere via overstorten mocht worden geloosd op het ontvangende water.

Dit of verwante uitgangspunten worden in het buitenland algemeen gehanteerd.

Het denkbeeld, dat de frequentie van overstorten een beter criterium bij de beoordeling van rioleringsplannen en rioolstelsels is dan de zogenaamde verdunning of de duur van overstorten, is de laatste jaren in ons land algemeen aanvaard.

Intussen is langzamerhand ook de belangstelling voor de Nederlandse methodiek in het buitenland ontwaakt, gelet op enige publicaties van vooral Duitse auteurs [2, 3, 4, 5]. Bepijking van de frequentie van overstorten heeft echter vooral tot doel het ontvangende water in mindere mate te belasten met slijb en met alle verontreinigingen en organismen die daarin aanwezig zijn. Dit slijb zet zich bij droog weer op tal van plaatsen in het rioolstelsel af, doch wordt bij grote afvoer opgewoeld en vloeit met het verdunde rioolwater via de overstorten weg.

Het grondbeginsel van de berekeningsmethodiek is dat een rioolstelsel gevuld moet zijn voordat afvoer van verdund afvalwater en slijb naar het oppervlaktewater optreedt.

De berekeningsmethode geeft geen exacte beschrijving van de feitelijke omstandigheden. Zij is bedoeld om een vergelijkingsbasis te verkrijgen voor de beoordeling van rioleringsprojecten en rioolstelsels, waarbij de frequentie van overstorten de maatstaf is.

De belangrijkste conclusie van het rapport is feitelijk dat de verrichte studies het inzicht in de relatieve betekenis van de geschetste methodiek hebben verdiept.

Naast een uitvoerige beschrijving van de berekeningsmethodiek en beschouwingen daarover worden in het rapport ook enkele originele onderwerpen behandeld zoals:

- een elegante benaderingsberekening van de bovendrempelbergijng (dynamische bergijng) als onderdeel van het waterbergend vermogen van een rioolstelsel;

- het probleem van afzettingen in rioolbuizen waaruit blijkt dat de schuifspanning (sleepspanning) langs de natte omtrek van de buis een beter criterium is om de vraag te kunnen beantwoorden of afzettingen al dan niet zullen plaatsvinden dan de gemiddelde snelheid van het rioolwater;
- een interessante poging de belasting van het oppervlaktewater door overstortwater uit gemengde rioolstelsels in relatie tot de overstortingsfrequentie langs theoretische weg te benaderen [6].

Mede omdat sinds de afsluiting van de werkzaamheden van de commissie alweer geruime tijd is verstreken, zullen in het volgende i.v.m. recent ontwikkelde gedachten enige persoonlijke opvattingen worden gegeven.

Deze hebben niet zo zeer betrekking op de inhoud van het rapport van de commissie als wel op de problematiek van de inzameling van afvalwater en de belasting van het oppervlaktewater.

De behandeling van afvalwater heeft de laatste 100 jaar een ononderbroken — zij het niet geëindigde — ontwikkeling doorgemaakt.

Anders is het met de inzameling van afvalwater: de rioolstelsels.

Na een aanvankelijk zeer levendige ontwikkelingsperiode ontstond er een lang durende stagnatie. Deze stagnatie begon reeds voor de eerste wereldoorlog en pas na de tweede wereldoorlog nam zowel de technische als wetenschappelijke belangstelling voor dit hoogst interessante vakgebied weer toe.

In de afgelopen decennia kwamen wel tal van nieuwe materialen ter beschikking en werden uitvoeringsmethoden ontwikkeld waarbij door het gebruik van mechanische werktuigen de mankracht nodig bij de uitvoering van rioleringswerken tot een minimum kon worden beperkt. Deze ontwikkelingen kwamen de kwaliteit van de uitgevoerde werken veelal ten goede. Op wetenschappelijk gebied zijn er nog tal van vraagstukken. De oorzaak van het in het oog lopende verschil in kennis en inzicht bij de behandeling en bij de inzameling van afvalwater moet zijn, dat wat het laatste betreft vele complexe factoren, die dikwijls elkaar wederzijds beïnvloeden, een rol spelen en dat er een grote spreiding is in de variaties.

De behandeling van afvalwater behoort in hoge mate tot het terrein van de natuurwetenschappen waarbij in teamwork ingenieurs, fysici, chemici, biologen en bacteriologen samenwerken met als zeer belangrijke informatiebronnen het laboratoriumonderzoek en het experimenteel onderzoek in proefinstallaties en in de praktijk. De inzameling van afvalwater is als zuiver technisch-fysisch probleem kennelijk een werkgebied voor een helaas te gering aantal gespecialiseerde ingenieurs. Juist daarom is het zo gewenst dat kennis en ervaring m.b.t. problematiek van rioolstelsels en de toepassing daarvan wordt ingebracht en gebundeld in commissies zoals de „Commissie Riolering en Waterverontreiniging”.

2. Belasting van het oppervlaktewater

Het oppervlaktewater wordt niet alleen belast door afvalwater van huishoudelijke- en industriële herkomst doch ook door afvalstoffen van andere aard.

Men kan onderscheiden belasting door:

*) Voordracht gehouden op 24 augustus 1972 in het instituutsgebouw van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs voor de Afdeling voor Gezondheidstechniek en de Nederlandse Vereniging voor Afvalwaterzuivering.

- het effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen;
- het uit gemengde rioolstelsels via overstorten wegvloeiende afvalwater en slib. Deze vorm van belasting zal van tijd tot tijd voorkomen en vaak met hoge piekbelastingen;
- de afvoer van min of meer vervuilde neerslag bij het gescheiden rioolstelsel die bij elke neerslag van enige betekenis zal optreden;
- het afvalwater van de vrij talrijke nog niet adequaat gerioleerde gebieden, die in steden vrij omvangrijk kunnen zijn en van nog niet gerioleerde kleine kernen op het platteland;
- koeiwater;
- het „ongrijpbare” afvalwater van verspreid staande woningen, bedrijven, boerderijen en stallen alsmede van woonschepen, vracht- en recreatievaartuigen, „tweede woningen” in de vorm van tenten of caravans of onderkomens op volkstuinten en sportveldencomplexen;
- de organische en anorganische stoffen van velerlei herkomst zoals vuilnis, bladeren, gestorven hogere en lagere organismen, bestrijdingsmiddelen, stof en nutriënten, afkomstig van andere bronnen dan afvalwater.

In dit artikel zal voornamelijk aandacht geschonken worden aan het onder b en c gestelde.

Het grote belang van verdieping van kennis en inzicht terzake blijkt alleen al uit het feit dat in de komende jaren enorme bedragen moeten worden geïnvesteerd in de aanleg en verbetering van rioolstelsels. De bedragen zijn hoger dan die welke gemoeid zijn met de bouw van de nodige rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Aangenomen mag worden dat rond 70 % van het afvalwater in Nederland door rioolstelsels wordt afgevoerd [7]. Dit percentage is in West-Duitsland rond 80 %, in Engeland en Wales meer dan 90 %, doch in Frankrijk waar 15 miljoen mensen wonen in gemeenten met minder dan 500 inwoners, nog geen 40 % [8]. In Amerika is het aansluitingspercentage ongeveer even hoog als in ons land [34].

Indien men in ons land eind 1985 het afvalwater van 90 % van de bevolking door rioolstelsels wil afvoeren, alsmede vrijwel al het industriële afvalwater en de nodige verbeteringen van de bestaande rioolstelsels wil realiseren, moeten daarvoor bedragen geïnvesteerd worden die kunnen variëren van $f\ 3.000,- \times 10^6$ tot $f\ 4.500,- \times 10^6$.

Het laagste bedrag is gebaseerd op gemengde rioolstelsels met overstortingsfrequentie van 10 maal per jaar en het hoogste bedrag respectievelijk op gescheiden rioolstelsels of verbeterde gemengde rioolstelsels [7].

Men kan de belasting van het oppervlaktewater door effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen en door ongrijpbare lozingen bij benadering kwantificeren [7].

In 1985 kan de restverontreiniging t.g.v. oxydatief-biologische rioolwaterzuiveringsinrichtingen tot $1,7 \times 10^6$ i.e. (90 à 95 % BOD-reductie) worden teruggebracht en bij BOD-verwijdering van 95 % en meer tot minder dan 1×10^6 i.e. *) Een afnemende van betekenis van een aantal van $2,2 \times 10^6$ i.e. aan „ongrijpbare” lozingen lijkt niet te verwachten.

In dit getal zijn begrepen ca. 1×10^6 bewoners van verspreide bebouwing, buiten het verband van dorp of gehucht gelegen [9].

Dit zijn in belangrijke mate mensen die met de landbouw verbonden zijn. Het afvalwater van de veenkoloniale industrieën is niet begrepen in de vermelde getallen.

Het lijkt onmogelijk de belasting van het oppervlaktewater door overstortwater uit gemengde rioolstelsels te kwantificeren.

Enig inzicht in de betekenis van het verontreinigend vermogen van de afgevoerde neerslag kan daarentegen wel worden verkregen.

In het volgende wordt aan beide onderwerpen aandacht geschonken.

*) Steeds is met BOD bedoeld BOD₂₀.

TABEL I - Verontreiniging van overstortwater uit gemengd rioolstelsel volgens [16].

		min.	max.
BOD	(mg/l)	30	600
zwevende + opgeloste stof	(mg/l)	150	2.300
organisch deel	(mg/l)	15	820
zwevende stof	(mg/l)	20	1.700
bezinkbare stof	(ml/l)	2	1.550
pH		4,9	8,7
organische N	(mg/l)	1,5	33,1
NH ₃ -N	(mg/l)	0,1	12,5
oplosbare PO ₄	(mg/l)	0,1	6,2
totaal aantal coliformen	per 100 ml	2×10^4	90×10^6
aantal faecale coliformen	per 100 ml	2×10^4	17×10^6
aantal faecale streptococci	per 100 ml	2×10^4	2×10^6

3. Overstortwater van gemengde rioolstelsels

De commissie had zich onder meer tot doel gesteld inzicht te verkrijgen in de concentratie van een aantal parameters dat de geaardheid van overstortwater van gemengde rioolstelsels kenschetst. Globaal onderzoek met eenvoudige monsteringsapparatuur werd verricht bij regenoverstorten in Amsterdam, Enschede, Hamersveld, Lieshout en Limmen. In Vijfhuizen daarentegen werd, zoals in het rapport is beschreven, omvangrijke apparatuur opgesteld. De resultaten waren teleurstellend en de variaties in de gevonden grootheden bleken zeer groot te zijn; zo varieerden b.v. de BOD-waarden van 30 - 600 mg/l.

In de literatuur over dergelijk onderzoek komt men eveneens zeer uiteenlopende getallen tegen. Dikwijls was het onderzoek beperkt van opzet en werden er slechts steekproeven verricht zoals op de eerste vijf genoemde plaatsen. Uitvoerig was echter het onderzoek van Davidson [10], Gameson en Davidson [11, 12], Weibel et al [13], Wilkinson [14], Dunbar [15] en Krauth [3]. Een indruk van de verontreiniging van overstortwater uit gemengde rioolstelsels geeft tabel I samengesteld door Field en Struzeski uit Amerikaanse en Engelse gegevens [16].

Indien afvalwater uitsluitend verdund zou zijn door neerslag, kan de concentratie van elke verontreiniging die daarin voorkomt theoretisch worden berekend uit:

$$CQ = C_a q + C_r (Q - q) \quad (1)$$

Hierin is:

C = de concentratie van een verontreiniging aanwezig in het verdunde afvalwater;

C_a = de concentratie van een verontreiniging aanwezig in het onverdunde afvalwater (DWA);

C_r = de concentratie van een verontreiniging aanwezig in de neerslag;

Q = de hoeveelheid verdund afvalwater (\times DWA);

q = de hoeveelheid onverdund afvalwater (DWA).

Uit (1) volgt:

$$C = C_a - (C_a - C_r) \frac{Q - q}{Q} \quad (2)$$

waarin voor $(Q - q)/Q$ geschreven kan worden $(x - 1)/x$.

Het is duidelijk dat wanneer de hoeveelheid neerslag de droogweerafvoer in hoge mate overtreft, dus $(x - 1)/x$ de waarde 1 nadert, de concentratie C vrijwel gelijk zal zijn aan C_r .

In de formule is niet opgenomen de zeer variabele en vaak dominerende verontreiniging van het slib dat zich in het rioolstelsel bevindt.

De uiteenlopende waarden van de getallen zoals b.v. de

BOD-getallen in de verhouding minimum staat tot maximum als 1 : 20, behoeven ons niet te verbazen omdat zij het gevolg zijn van de invloed van een complex aantal factoren en de variaties die daarin optreden.

De samenstelling van het overstortwater hangt immers af van:

- de hoeveelheid en de hoedanigheid van de aanwezige DWA; de waarden van C_a en q variëren in hoge mate;
- de hoeveelheid en de aard van het slib dat zich in het rioolstelsel bevindt, die mede afhankelijk zijn van de duur van de periode van droogweer voorafgaande aan de overstorting [12];
- de verontreiniging van de neerslag C_T die ondermeer afhankelijk is van de duur en de intensiteit van de neerslag en eveneens van de voorafgaande periode van droogweer.

De vraag rijst of het wel mogelijk is uit onderzoeken in de praktijk algemeen geldende conclusies te trekken als zo vele van situatie en omstandigheden afhankelijke en in tijd variabele factoren een rol spelen.

Zo men echter al van een bepaalde situatie de verlangde gegevens heeft verkregen, dan is de volgende vraag — de vraag waar het feitelijk om gaat — hoe het oppervlaktewater in die bepaalde situatie steeds zal reageren op het ontvangen van overstortwater. Gesteld dat men dit voor een bepaalde situatie zou weten, dan weet men overigens nog geenszins hoe in andere situaties, op andere plaatsen en onder andere omstandigheden, het ontvangende water zich zal gedragen. Zoals de aard van het overstortwater, is immers ook het gedrag van het oppervlaktewater van vele variabele grootheden van fysische, chemische, biologische en bacteriologische aard afhankelijk die bovendien ten dele elkaar wederzijds beïnvloeden.

4. Neerslag

Neerslag die van bebouwd oppervlak wordt afgevoerd is door allerlei oorzaken verontreinigd. Vooral in bebouwde en industrie gebieden is een belangrijke bron van verontreiniging stof dat voor ca. 75 % uit anorganisch en ca. 25 % uit organisch materiaal bestaat [17].

Andere oorzaken van verontreiniging zijn luchtverontreiniging, uitwerpselen van dieren, bladeren, roet, slijtageproducten van het wegdek en van banden van auto's, verbrandingsproducten afkomstig van het gemotoriseerd verkeer, alsmede verloren olie en benzine.

De gemiddelde hoeveelheid zwevende stof die voorkomt in neerslag, afgevoerd van stedelijke gebieden, is 200 - 350 mg/l [33].

Verontreiniging door olie kan ook wel veroorzaakt worden door autobezitters die vaak te goeder trouw afgewerkte olie in trottoirkolken deponeren. Velen vragen zich immers niet af hoe de lozing van afvalstoffen geschiedt, laat staan wat de consequenties daarvan zijn. Incidentele verontreiniging met wellicht ernstige gevolgen kan ontstaan bij calamiteiten die kunnen optreden bij het wegtransport van meer of minder gevaarlijke stoffen.

Als het gemengde rioolstelsel is toegepast, belast de verontreinigde neerslag het oppervlaktewater indien er overstortingen plaatsvinden. Bij het gescheiden stelsel is de belasting veel frequenter, namelijk steeds indien er neerslag van enige betekenis optreedt. Neerslag met zeer geringe intensiteit zal geen afvoer tot gevolg hebben omdat zij geabsorbeerd wordt aan het oppervlak, in oneffenheden daarvan blijft staan en verdamp. Daar hevige neerslag weinig voorkomt, zal belasting van het oppervlaktewater bij het gescheiden stelsel vooral optreden bij vele regens met matige intensiteit.

Uit publicaties van Weibel et al [13], Wilkinson [14], Dunbar [15] en Kurzweil [18] blijkt, dat in het afgevoerde regenwater van stedelijke gebieden de hoeveelheid zwevende en opgeloste stof bijzonder hoog kan zijn en dat het BOD-getal kan oplopen tot 200 à 250 mg/l en zelfs meer.

Deze maximum waarden zullen uiteraard niet voortdurend

TABEL II - Verontreiniging van neerslag van stedelijke gebieden volgens [16].

		min.	max.
BOD	(mg/l)	1	>700
COD	(mg/l)	5	3.100
zwevende + opgeloste stof	(mg/l)	450	14.600
organisch deel	(mg/l)	12	1.600
zwevende stof	(mg/l)	2	11.300
bezinkbare stof	(ml/l)	0,5	5.400
organische N	(mg/l)	0,1	16
NH ₃ - N	(mg/l)	0,1	2,5
oplosbare PO ₄	(mg/l)	0,1	10
totaal PO ₄	(mg/l)	0,1	125
chloride	(mg/l)	2	25.000 *)
olie	(mg/l)	0	110
fenolen	(mg/l)	0	0,2
lood	(mg/l)	0	1,9
totaal aantal coliformen	per 100 ml	200	146 x 10 ⁶
aantal faecale coliformen	per 100 ml	55	112 x 10 ⁶
aantal faecale streptococci	per 100 ml	200	1,2 x 10 ⁶

*) Gladheidsbestrijding.

tijdens de afvoer voorkomen want afhankelijk van tal van factoren zoals duur en intensiteit van de neerslag, de tijdsduur van de periode van droog weer voorafgaande aan de neerslag, de locale situatie en de mate waarin het verhard oppervlak wordt vervuild c.q. wordt schoongehouden, zal — als de neerslag het oppervlak a.h.w. schoongespoeld heeft — de verontreiniging van het afgevoerde regenwater dalen.

Tabel II geeft voor Amerikaanse en Engelse omstandigheden een indruk van de vervuiling van neerslag gevallen in stedelijke gebieden [16]. De gemiddelde BOD-waarde van wegvloeiende neerslag is volgens respectievelijk Amerikaanse [20], Engelse [19], Duitse, Oostenrijkse, Russische en Zuid-Afrikaanse onderzoeken [33], 10 - 30 mg/l; in West-Duitsland bestaat de indruk dat een gemiddelde waarde van 15 - 20 mg/l reëel is [17].

De af te voeren neerslag kan men kenschetsen als zeer verdund afvalwater, vooral verontreinigd door anorganische stoffen tenzij ten gevolge van clandestiene aansluitingen bij het gescheiden rioolstelsel beduidende hoeveelheden afvalwater in de regenwaterriolen terecht komen.

Het is mogelijk de hoeveelheid neerslag, die jaarlijks gemiddeld van bebouwd gebied moet worden afgevoerd, enigszins te kwantificeren.

De hoeveelheid neerslag was te De Bilt van 1938 t/m 1948 — dat is de periode die de oorspronkelijke stippengrafiek van Kuipers omvat — gemiddeld rond 780 mm per jaar. Gesteld dat gemiddeld 30 % van de neerslag door allerlei oorzaken niet tot afvloeiing komt, dan is de afvoer van 1 ha verhard oppervlak per jaar $0,7 \times 0,78 \times 1 \times 10^4 \text{ m}^3$, d.w.z. rond 5500 m^3 .

Dit betekent dat van 1 ha bebouwd door 100 à 125 mensen en een verhardingspercentage van 40 % jaarlijks ca. 2200 m^3 neerslag moest worden afgevoerd en $4500 \text{ à } 5000 \text{ m}^3$ afvalwater.

Volgens gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek was in ons land op 1 januari 1972 de oppervlakte van:

woongebieden (bebouwde kommen)	200.000 ha
industrieterreinen (> 1 ha)	25.500 ha
verharde wegen (inclusief berm tot 6 m breedte)	55.800 ha
spoor- en tramwegen	6.500 ha
vliegvelden	7.000 ha
recreatieterreinen	
(> 1 ha, exclusief parken en plantsoenen)	6.700 ha
sportvelden	4.300 ha
Aangenomen is dat het verharde oppervlak is:	
woongebieden	80.000 ha
industrieterreinen	20.000 ha
verharde wegen	25.000 ha
overige oppervlakken	5.000 ha

Totaal 130.000 ha

Uitgaande van een totaal verhard oppervlak van 130.000 ha wordt daarvan jaarlijks gemiddeld afgevoerd een hoeveelheid neerslag die in de orde van grootte $700 \times 10^6 \text{ m}^3$ is.

In 1970 werd door de waterleidingbedrijven ruim $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ water aan de bevolking geleverd en nagenoeg $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ aan de industrie. Aan proceswater werd door de Nederlandse industrie vermoedelijk rond $700 \times 10^6 \text{ m}^3$ water gewonnen.

Globaal is derhalve de gebruikte hoeveelheid water per jaar ruim twee maal zo groot als de van verhard oppervlak afgevoerde hoeveelheid neerslag.

Aannemende dat al het gebruikte water in afvalwater verandert en uitgaande van 25×10^8 i.e. [7] à 54 g BOD , exclusief het afvalwater van de veenkoloniale industrieën, zou de gemiddelde concentratie van het afvalwater ca. 330 mg BOD/l zijn.

Tijdens perioden van droog weer zal in werkelijkheid het BOD-getal van het afvalwater dat rioolwaterzuiveringsinrichtingen bereikt, lager zijn omdat een deel van het zuurstofbindende materiaal in riolen achterblijft [16, 22].

Ten gevolge van een goede oxydatief-biologische zuivering kan effluent worden verkregen met een BOD van $10-20 \text{ mg/l}$, d.w.z. dat dit water een zuurstofbindend vermogen heeft dat in orde van grootte overeenkomt met de eerder vermelde gemiddelde BOD-getallen van neerslag.

Müller [23] komt tot de conclusie dat wanneer al het huishoudelijke en industriële afvalwater in West-Duitsland oxydatief-biologisch zou worden behandeld met een BOD-reductie van 90% jaarlijks de restverontreiniging van het behandelde afvalwater in orde van grootte gelijk zou zijn aan die welke wordt veroorzaakt door neerslag.

De oppervlakte van West-Duitsland is ca. zeven maal zo groot als die van ons land terwijl het aantal inwoners rond $4,7$ maal zo groot is. Voor Nederland met een relatief grotere productie van afvalwater is de totale BOD-belasting door neerslag geringer dan die door gezuiverd afvalwater. Bij onderzoek verricht in de Verenigde Staten van Amerika te Durham N.C. bleek de jaarlijkse BOD-belasting door neerslag gelijk te zijn aan die van het oxydatief-biologisch gezuiverde afvalwater [24].

Hoewel men vanzelfsprekend aan de gegeven cijfers geen absolute waarde mag toekennen, geven zij niettemin wel indicaties.

De werkelijke betekenis van de verontreiniging door neerslag is echter veel significanter als men bedenkt dat de neerslag in de periode 1938-1948 voorkwam gedurende gemiddeld rond 510 uur per jaar of ca. 6% van de tijd.

Het verschil met de afvoer van effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen is dat de belasting van het ontvangende water door afvoer van neerslag door regenwaterriolen van het gescheiden rioolstelsel wel is waar gespreid, doch stootsgewijs geschiedt.

Bij het gescheiden stelsel zal dit veel frequenter plaatsvinden dan bij het gemengde stelsel, zij het dat de piekbelastingen bij het gemengde stelsel zwaarder kunnen zijn.

De totale hoeveelheid neerslag die door gemengde rioolstelsels via overstorten wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater is jaarlijks ruim 60 mm , als de frequentie van overstorten gemiddeld 10 maal per jaar is [25]; de hoeveelheid neerslag die door de regenwaterriolen van gescheiden rioolstelsels jaarlijks wordt afgevoerd is het tienvoudige daarvan. Naast het verschijnsel van stootbelasting is er nog een ander belangrijk verschil met de afvoer van effluent. Gewoonlijk zal overstortwater en regenwater worden geloosd in het woon- en werkmilieu, effluent echter daarbuiten. Voor de zuurstofhuishouding van het oppervlaktewater kunnen stootbelastingen bezwaarlijk of doorslaggevend zijn. Wanneer zulks niet het geval is, blijft intussen het feit bestaan dat vanuit milieuhygiënisch standpunt bezien elke afvoer van verontreinigd water dat behalve zuurstofbindend materiaal onder meer pathogene organismen, nutriënten, stoffen die zich in verontreinigde lucht bevinden, olie-resten, slijtage produkten van straatoppervlakken en auto-

banden, verbrandingsprodukten van motorvoertuigen enz. bevat, naar oppervlaktewater bezwaarlijk is. Bovendien wordt het oppervlaktewater belast door niet grijpbare lozingen van afvalwater en andere niet te voorkomen verontreinigende stoffen van allerlei aard.

5. De afvoer van verharde oppervlakken

In het rapport van de commissie wordt geconcludeerd dat het ramen van de overstortingsfrequentie m.b.v. de stippengrafiek ongewijzigd kan blijven geschieden, doch aanbevolen wordt de stippengrafiek te gebruiken waarin de regengegevens van De Bilt over de periode 1926-1962 zijn verwerkt. Aan de afvloeiingscoëfficiënten wordt vrij veel aandacht geschonken. De afvoer van niet verhard oppervlak zal kunnen worden verwaarloosd en zeker in vlak gelegen gebieden. De waarde van de afvloeiingscoëfficiënten van verharde gebieden wordt op 1 gesteld.

In afb. 1 is een neerslagkromme, $r(t)$, getekend en een afvoerkromme of inloop-hydrograaf, $q(t)$, die aangeeft welk deel van de neerslag in het rioolstelsel terechtkomt.

Van grote betekenis is dat niet slechts een deel van de neerslag in het rioolstelsel terechtkomt, doch ook dat dit vertraagd en vooral „vervormd” geschiedt. Daarenboven zal in het rioolstelsel de inloop-hydrograaf „vervormd” worden. Met deze complexe verschijnselen wordt zoals blijkt geen rekening gehouden.

Het zal een zekere tijd T_0 duren voordat de eerste druppels neerslag in het rioolstelsel komen. Gegevens daaromtrent vindt men in het rapport van de commissie.

Vooraf bij hevige neerslag en zeker in hellende gebieden zal deze tijd tot slechts enkele minuten beperkt blijven, hetgeen inhoudt dat deze vertraging op zich geen wezenlijke invloed zal hebben op de overstortingsfrequentie.

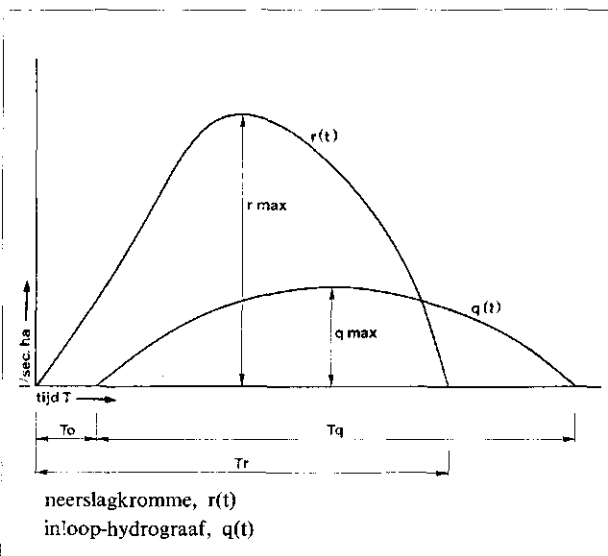
Na het einde van de bui, op het tijdstip T_p , zal de afvoer die zich uitstrekt over een tijd T_q , naar het rioolstelsel nog enige tijd doorgaan.

In het rapport van de commissie wordt in feite verondersteld dat alle neerslag gevallen op verhard oppervlak wordt afgevoerd en bovendien dat geen vertraging en vervorming optreedt, d.w.z. dat de inloop-hydrograaf samenvalt met de neerslagkromme. Bij deze veronderstelling is ook

$$q_{\max} = r_{\max}$$

De vraag is of het wel juist is de waarde van de afvloeiingscoëfficiënt voor verhard oppervlak op 1 te stellen en of niet naast de in het rapport besproken factoren, die de overstortingsfrequentie kunnen doen toe- of afnemen, belang-

Afb. 1.



rijke factoren, die de overstortingsfrequentie doen dalen zijn onderschat.

Indien neerslag op een droog oppervlak valt, zal dit aanvankelijk worden bevochtigd en verzadigd met water (interception), tenzij kort daarvoor neerslag optrad.

Noemt men deze fase de bevochtigingsfase en definiëert men de neerslag in mm regenhoogte die gedurende deze fase valt als bevochtigingsverlies, dan zal gedurende de bevochtigingsfase geen neerslag wegvloeien.

Op grond van literatuurgegevens kan men aannemen dat het bevochtigingsverlies voor verharde oppervlakken gesteld kan worden op 0,2 - 0,5 mm [26].

De bevochtigingstijd is bij neerslag met een intensiteit van 60 l/sec. per ha ca. 0,5 à 1,5 minuut.

Na de bevochtigingsfase volgt de fase waarin neerslag in ongelijkheden van het oppervlak wordt geborgen (depression storage).

Afhankelijk van de aard van het oppervlak zullen de oneffenheden die daarin voorkomen in diepte variëren en verschillen. Naarmate de helling van het oppervlak toeneemt zal minder neerslag in de oneffenheden geborgen worden. Duitse gegevens [26] werden verkregen door metingen aan proefopstellingen met een oppervlakte van enkele vierkante meters. Volgens deze gegevens varieert voor vlakke en vrijwel niet hellende oppervlakken de in oneffenheden geborgen neerslag van 0,22 mm (glad asfalt) tot 1 mm (klein plaveisel, waarvan de voegen gevuld zijn met cement).

In werkelijkheid zal de berging op verhard oppervlak belangrijk groter zijn omdat er plassen ontstaan, hetgeen niet het geval is bij proefinstellingen met een zeer geringe oppervlakte.

De Manual of Practice No. 9 van de Amerikaanse Water Pollution Control Federation [27] stelt, dat de berging op matig hellend verhard oppervlak in bebouwde gebieden 1,3 mm is.

Tholin en Keifer [28] vonden voor verharde oppervlakken een berging van 1,5 mm bij oneffenheden die variëren in diepte, doch niet dieper waren dan 3 mm.

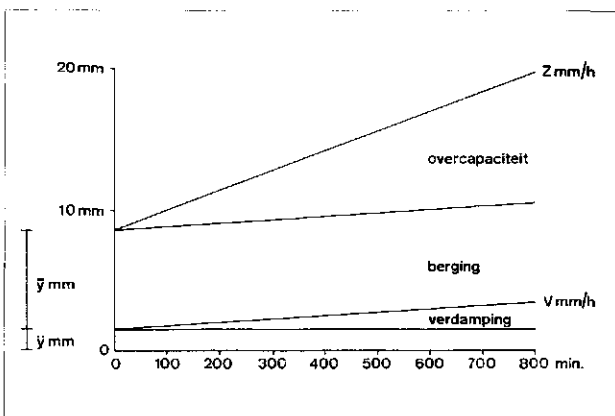
Afhankelijk van de aard van het verharde oppervlak, de vorming van plassen daarop, de berging in straat- en dakgoten en op platte daken is aannemelijk dat meer dan 1 mm van de gevallen neerslag gewoonlijk niet tot afvloeiing komt. Normaliter kan deze waarde op 1,5 mm en in extreme gevallen op 2,5 mm worden gesteld.

De neerslag die geborgen wordt en het bevochtigingsverlies kan men in de stippengrafiek aangeven door een horizontale lijn op zekere afstand boven de X-as gelegen.

Stel dat de beide verliezen tezamen ij mm regenhoogte zijn, dan ligt bedoelde horizontale lijn op ij mm boven de X-as (afb. 2). Neerslag met een regenhoogte van ij mm en minder zal geen afvoer leveren.

Vervolgens dient aandacht te worden geschonken aan de invloed van verdamping (evaporation) tijdens de neerslag,

Afb. 2.



TABEL III - Normale verdampingscijfers in mm berekend volgens de theorie van Penman

maand	Den Helder	Naaldwijk
januari	11	6
februari	22	18
maart	43	42
april	78	81
mei	111	113
juni	129	133
juli	126	127
augustus	110	107
september	77	71
oktober	43	34
november	19	13
december	10	5
jaarsom	779	750

waarvan de waarde overigens van zeer vele factoren, zoals de temperatuur, de luchtbeweging en het verzadigingsdeficit van de lucht, afhankelijk is.

Anders dan bij hevige regenbuien is vooral de verdamping die optreedt bij langdurige neerslag met betrekkelijk geringe intensiteit van betekenis.

Als men veronderstelt dat de verdamping tijdens de neerslag constant v mm/h is en men deze waarde uitzet in de stippengrafiek boven de op ij mm boven de X-as getekende horizontale lijn, dan ontstaat er een driehoek waarbinnen buien gelegen zijn die geen afvoer geven.

De hoeveelheden neerslag die verdampen kan men in afb. 2 aflezen door het verschil in ordinaten te nemen van de hellende lijn en de horizontale lijn gelegen op ij mm boven de X-as.

De berging in het rioolstelsel, stel y mm, en de overcapaciteit van z mm/h zijn eveneens in afb. 2 getekend.

Door Pecher [5, 26, 29] werd, op grond van bewerking van gegevens uit de literatuur en metingen door hem verricht in de omgeving van München, gevonden dat de verdamping tijdens neerslag met geringe intensiteit bij de aldaar voorkomende klimatologische omstandigheden 1,4 l/sec per ha zou zijn, of 0,5 mm/h.

Gegevens betreffende verdamping tijdens neerslag van water dat zich op het verharde oppervlak bevindt zijn voor zover schrijver bekend in ons land niet beschikbaar.

De verdampingscijfers voor open water kunnen worden berekend. In tabel III zijn de normale verdampingscijfers, d.w.z. de gemiddelde cijfers voor open water vermeld voor Den Helder en Naaldwijk, berekend volgens de theorie van Penman. De verschillen in deze cijfers zijn binnen ons land overigens gering.

Voordat enige conclusies van overigens betrekkelijke waarde worden getrokken, zij vermeld dat uit metingen is gebleken dat tijdens regen uit een open wateroppervlak een sterke verdamping kan optreden, die niet in overeenstemming is met de beschikbare (geringe) stralingsenergie.

De oorzaak hiervan is het transport van de in het water aanwezige warmte naar het oppervlak dat door regen wordt afgekoeld. Hierdoor blijft aan het oppervlak een dampspanningsgradiënt bestaan.

Als geen latente warmte aanwezig is en de temperatuur van het water en de lucht gelijk zijn, zal tijdens regen geen verdamping optreden. Dit zal 's nachts of 's winters het geval kunnen zijn [30].

Uit de maandcijfers, weergegeven in tabel III, volgt dat op warme zomerdagen een etmaalcijfer van b.v. 7 mm, dat is gemiddeld 0,3 mm/h wel denkbaar is. Gezien de variatie van de zonnestraling en dus ook van de temperatuur gedurende het etmaal is de verdamping overdag groter dan 's nachts. Dit betekent dat een uurscijfer van 2 mm 's zomers overdag niet onwaarschijnlijk is.

TABEL IV

bevochtigingsverlies en berging op verhard oppervlak in mm	overstortingsfrequentie gemiddeld per jaar		
	verdamping 0 mm/h	verdamping 0,1 mm/h	verdamping 0,2 mm/h
0	10		
0,5	9	8	7
1	7,5	7	6
1,5	6,5	6	5,5
2	6	5	5
2,5	5	4,5	4,5

berging 7 mm
overcapaciteit 0,7 mm/h

Als men het verschijnsel verdamping tijdens neerslag in de stippengrafiek wil verwerken dient men niet van extreme doch van gemiddelde verdampingscijfers uit te gaan. Het gaat immers niet zozeer om de korte buien met grote intensiteit, waarbij de verdampingsverliezen zelfs 's zomers door de korte duur slechts gering zijn, zowel absoluut als t.o.v. de hoeveelheid neerslag, doch om de langere buien die in ons land het gehele jaar door zowel overdag als 's nachts kunnen optreden.

Uitgaande van de jaarsommen is de gemiddelde verdamping van open water ca. 0,1 mm/h.

Verharde oppervlakken hebben een andere warmtehuishouding dan open water. Vaak zullen zij warmer zijn, d.w.z. dat er meer calorieën beschikbaar zijn voor verdamping.

Daartegenover staat dat tijdens neerslag de vochtigheid van de lucht groter zal zijn dan bij droog weer, hetgeen remmend werkt op de verdamping.

Concluderend lijkt een gemiddelde jaarlijkse verdamping van neerslag gevallen op verhard oppervlak van 0,1 mm/h niet onwaarschijnlijk.

Gedurende de zomermaanden zou deze waarde 0,2 mm/h kunnen zijn.

Een verdamping van 0,5 mm/h, door Pecher genoemd, moet een extreme hoeveelheid zijn.

In tabel IV zijn de m.b.v. de stippengrafiek berekende overstortingsfrequenties vermeld voor verschillende waarden van bevochtigingsverliezen en berging op het verharde oppervlak en van verdampingsverliezen voor een rioolstelsel met een berging van 7 mm en een overcapaciteit van 0,7 mm/h. Wat zijn de consequenties van het in rekening brengen van de onderscheiden verliezen?

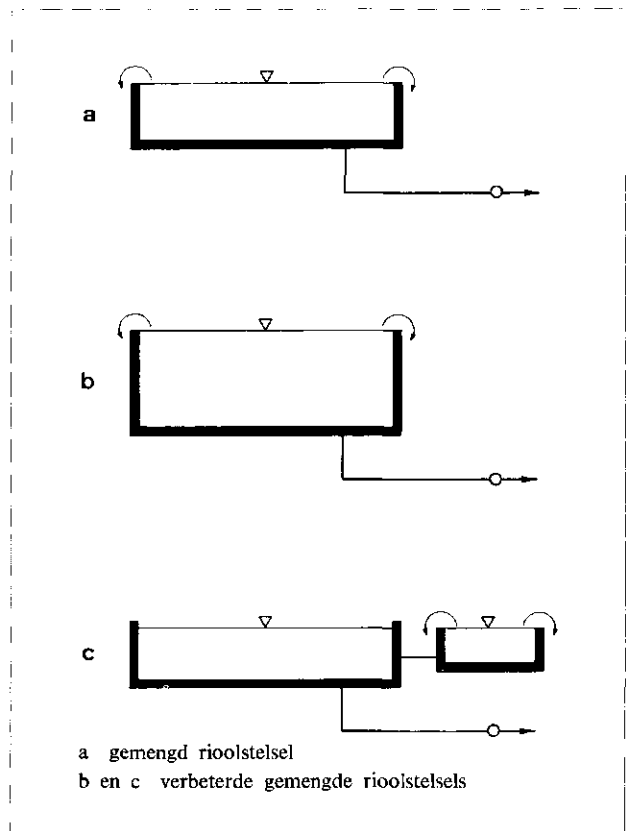
Gesteld dat de „berging” buiten het rioolstelsel 1,5 mm is en er geen verdamping optreedt, dan is de overstortingsfrequentie gemiddeld 6,5 per jaar. Onder dezelfde omstandigheden, doch met een verdamping van 0,1 - 0,2 mm/h, zou de overstortingsfrequentie gemiddeld 6 maal per jaar zijn.

Daar dikwijls bevochtigingsverlies optreedt, berging buiten het rioolstelsel aanwezig zal zijn en 's zomers verdamping tijdens de neerslag zal voorkomen, lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat voor dit geval (berging 7 mm, overcapaciteit 0,7 mm/h) — de methodiek beschreven in het rapport volgende — de overstortingsfrequentie niet gemiddeld 10

TABEL V

bevochtigingsverlies en berging op verhard oppervlak in mm	overstortingsfrequentie gemiddeld per jaar		
	verdamping 0 mm/h	verdamping 0,1 mm/h	verdamping 0,2 mm/h
0	25		
0,5	20	18	16
1	18	16	14
1,5	15	14	12
2	13	12	11
2,5	11	10	9

berging 4 mm
overcapaciteit 0,7 mm/h



Afb. 3.

maal per jaar zal zijn, doch gemiddeld ongeveer 6 maal per jaar. Indien een rioolstelsel een berging heeft van 4 mm en een overcapaciteit van 0,7 mm/h is dienovereenkomstig, zoals uit tabel V blijkt, de overstortingsfrequentie niet gemiddeld 25 maal per jaar, doch gemiddeld 13 à 14 maal per jaar.

Het in rekening brengen van berging buiten het rioolstelsel geeft een significant verschil, terwijl de betekenis van verdampingsverliezen met een orde van grootte van 0,1 - 0,2 mm/h veel minder is.

Er werd van uitgegaan dat de verdamping tijdens elke voorkomende neerslag constant zou zijn en dezelfde waarde zou hebben. Dit is vanzelfsprekend niet het geval. Ook het bevochtigingsverlies en de berging in oneffenheden van het verhard oppervlak zullen kunnen variëren.

6. Verbeterde gemengde en gescheiden rioolstelsels

Onder een verbeterd gemengd rioolstelsel wordt verstaan een rioolstelsel met een zeer geringe overstortingsfrequentie van, om de gedachte te bepalen, slechts een of enkele keren per jaar.

Dit houdt in dat dan het oppervlaktewater niet slechts minder frequent wordt belast met zuurstofbindende stoffen, doch hetgeen zeker zo belangrijk is, minder vaak met in hygiënische zin onbetrouwbaar afvalwater en andere voor het milieu schadelijke stoffen.

Men zal derhalve de berging, die in de afb. 3 en 4 is voorgesteld door een bak, moeten vergroten en zonodig de overcapaciteit moeten aanpassen (afb. 3b).

Vergroting van de bergingscapaciteit zal gewoonlijk en bij voorkeur moeten geschieden door de bouw van bergingsreservoirs (afb. 3c).

Men kan onderscheiden bergingsreservoirs zonder en met afvoer naar het oppervlaktewater (afb. 5).

Bij het eerste type (afb. 5a) zal tijdens neerslag de afvoer van het reservoir met een geringere capaciteit dan de afvoer naar het reservoir geschieden of m.a.w. de afvoer via

een afvoerleiding of een gemaal vindt vertraagd plaats, d.w.z. $Q_1 > Q_2$.

Bij het tweede type bergingsreservoir (afb. 5b) zal afvoer naar het oppervlaktewater optreden zodra het reservoir gevuld is. Wanneer zulks het geval is, is $Q_1 = Q_3$.

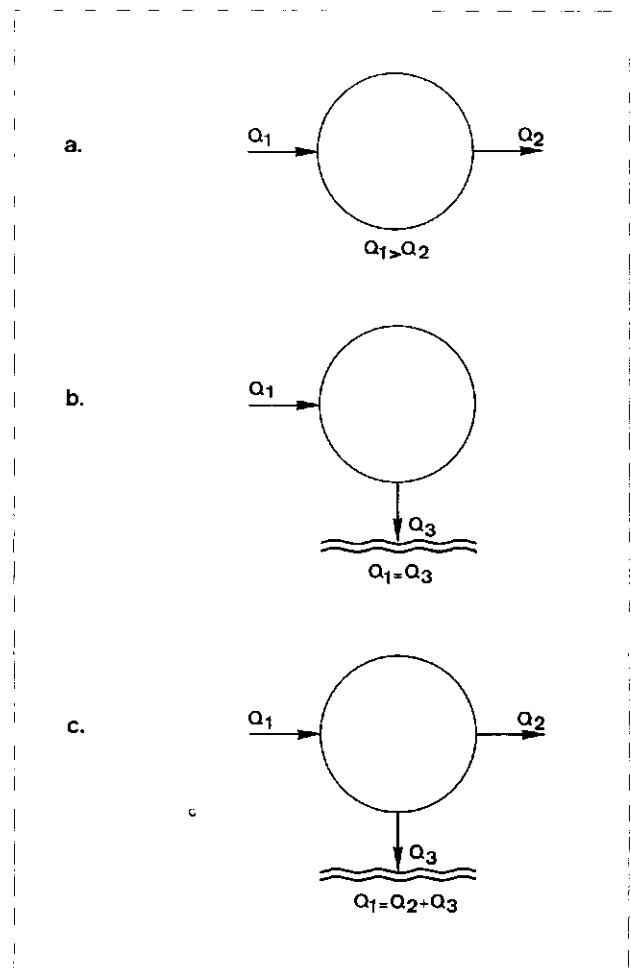
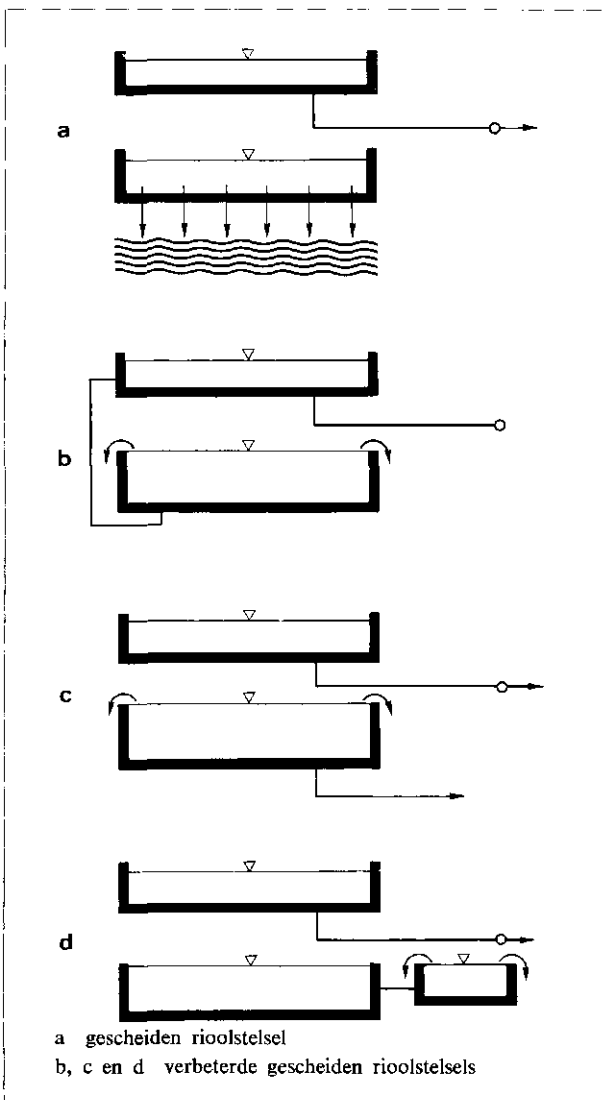
Een combinatie van beide gevallen geeft afb. 5c, waarbij èn overstorten èn gereduceerde afvoer plaatsvindt. Na de vulling van het reservoir is $Q_1 = Q_2 + Q_3$.

Het prinsipeschema van deze combinatie is aangegeven in de afb. 6a en 7. Daar de bergingsreservoirs fungeren als bezinkingstanks, zal het uit deze tanks overstortende water in meer of mindere mate ontdaan zijn van bezinkbare stoffen. Een belangrijk voordeel daarvan is dat het oppervlaktewater minder belast wordt dan wanneer het rioolwater met slib rechtstreeks via overstorten wordt geloosd.

Het is niet onmogelijk dat door de toepassing van bergingsreservoirs de hoeveelheid zuurstofbindend materiaal aanwezig in het rioolwater en het slib tot de helft wordt gereduceerd [11]. De oplossing van afb. 3c is dan ook te prefereren boven die van afb. 3b.

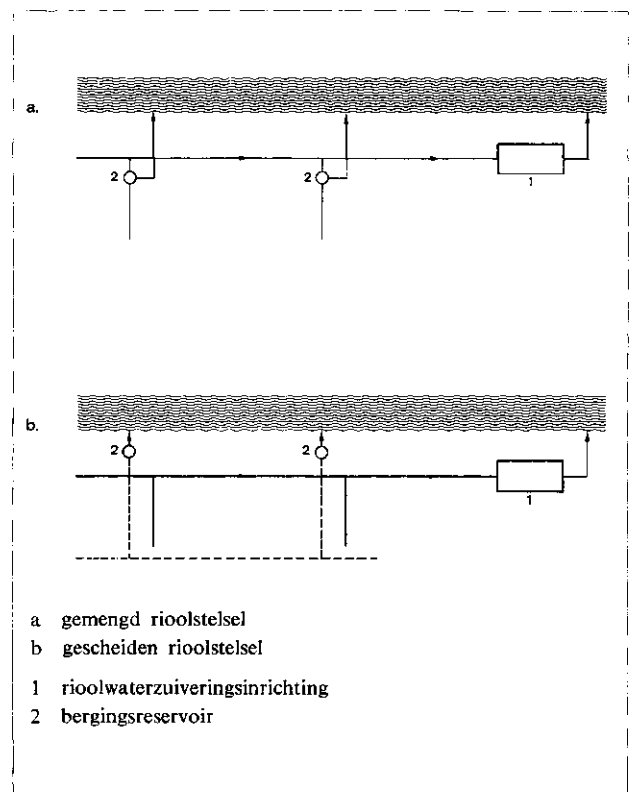
Onder een verbeterd gescheiden stelsel wordt verstaan een rioolstelsel waarbij de neerslag slechts met een beperkte frequentie door de regenwaterriolen naar het oppervlaktewater wordt afgevoerd. Dit houdt in dat bij het verbeterde gescheiden stelsel normaliter de neerslag in de regenwaterriolen moet worden opgevangen. In de afb. 4b en 4c is aangeduid hoe, afhankelijk van de omstandigheden, de neer-

Afb. 4.



Afb. 5 - Bergingsreservoirs.

Afb. 6.



slag kan worden afgevoerd. Bij een dergelijk verbeterd gescheiden stelsel zullen de kwalijke gevolgen van valse aansluitingen in hoge mate zijn geëlimineerd.

Mogelijke calamiteiten, zoals die kunnen optreden bij wegtransporten van schadelijke of gevaarlijke stoffen, zullen ook bij het verbeterde gescheiden rioolstelsel althans het oppervlaktewater zelden schaden.

Afbeelding 4c en afbeelding 6b geeft een oplossing aan waarin bezinkingsreservoirs zijn toegepast. De neerslag die door de regenwaterriolen wordt afgevoerd wordt aan een bezinkingsproces onderworpen voordat het wordt geloosd. Een verbeterd gemengd stelsel zal wellicht 50 % meer kosten dan een niet verbeterd gemengd stelsel. De kosten van een verbeterd gescheiden stelsel zijn aanzienlijk hoger.

Behalve van verbeterde rioolstelsels kan men ook nog spreken van absolute of semi-absolute rioolstelsels. Hiermede worden bedoeld rioolstelsels waaruit nooit of slechts hoogst zelden verdund afvalwater of neerslag naar het oppervlaktewater ontwijkt.

Zonder daar verder op in te gaan zij nog vermeld dat ter verbetering van de kwaliteit van water uit rioolstelsels van welk type dan ook, dat wegvloeiend naar oppervlaktewater nog verschillende behandelingen denkbaar zijn, waarvan slechts genoemd wordt de toepassing van micro-zeven [16, 31].

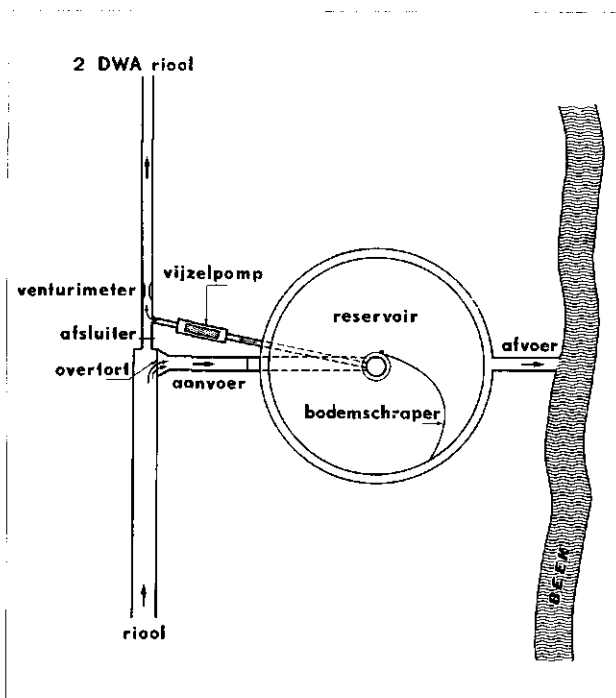
Conclusies

- Het in rekening brengen van bevochtigingsverliezen en berging op het verhard oppervlak heeft een beduidende invloed op de in het rapport van de „Commissie Riolering en Waterverontreiniging” aanbevolen berekeningsmethodiek ter bepaling van de gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie m.b.v. de stippengrafiek.
- De stelling dat een gescheiden rioolstelsel de uiterste consequentie is van een gemengd rioolstelsel met een overstortingsfrequentie 0 is onjuist [25], evenals de stelling dat de risico's van het overstorten van gemengde rioolstelsels niet bestaan bij gescheiden rioolstelsels [32].
- Als men niet onmiddellijk tot de aanleg van een verbeterd rioolstelsel kan of wil overgaan, moeten in ons land gemengde en gescheiden rioolstelsels zodanig worden ontworpen dat zij door additionele maatregelen kunnen worden veranderd in verbeterde stelsels.
- Aan het effluent van rioolwaterzuiveringsinrichtingen dienen strenge eisen te worden gesteld en tevens moet de belasting van het oppervlaktewater door wegvloeiend rioolwater en slib (gemengd stelsel) of door regenwater (gescheiden stelsel) bij neerslag aanzienlijk worden gereduceerd.
- Voortgaand commissoriaal overleg m.b.t. de problematiek van rioolstelsels en de toepassing daarvan is noodzakelijk om redenen van financiële en milieuhygiënische aard.

De schrijver is veel dank verschuldigd aan prof. dr. ir. J. C. van Dam, dr.-ing. H. J. Pöpel en dr. ir. D. W. Scholte Ubijng voor door hen verstrekte gegevens of gemaakte opmerkingen.

Literatuur

1. Rapport van de commissie Riolering en Waterverontreiniging van de afdeling voor gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut voor Ingenieurs. 5 H₂O (1972) nr. 10, blz. 199-214 en 5 H₂O (1972) nr. 12, blz. 240-260.
2. Emde, W. v. d. und Hoffmann, S. Untersuchungen an Regenüberläufen eines grossstädtischen Kanalnetzes. Gas- und Wasserfach - Wasser/Abwasser, 110 (1969) nr. 12, blz. 321-325.
3. Krauth, K. Der Abfluss und die Verschmutzung des Abflusses in Mischwasserkanalisationen bei Regen. Diss. Stuttgart, 1971.
4. Brunner, P. G. Verfahren zur Bemessung von Regenüberlaufbecken. Gas- und Wasserfach - Wasser/Abwasser 112 (1971) nr. 7, blz. 354-359.
5. Pecher, R. Einfluss von Geländeneigung, Verdunstung und Speicherung auf den Regenwasserabfluss in Kanalnetzen. Gas- und Wasserfach - Wasser/Abwasser 112 (1971) nr. 11, blz. 582-586.



Afb. 7 - Principeschema bergingsreservoir.

6. Eggink, H. J. en Hulshof, J. E. Het verontreinigend vermogen van overstortend rioolwater in relatie tot de overstortingsfrequentie. 1 H₂O (1968) nr. 8, blz. 166-171.
7. Koot, A. C. J. Het kostelijke Nederlandse afvalwater. 5 H₂O (1972) nr. 13, blz. 268-273.
8. Gas- und Wasserfach - Wasser/Abwasser 113 (1972) nr. 3, blz. 138-142.
9. Tweede nota over Ruimtelijke Ordening in Nederland. Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage, 1966.
10. Davidson, R. N. Field studies on the flow and composition of storm sewage. Water Pollution Research Laboratory.
11. Gameson, A. L. N. and Davidson, R. N. Storm-water investigations at Northampton. Journal of the Institute of Sewage Purification (1963) nr. 2, blz. 105-130.
12. Davidson, R. N. and Gameson, A. L. H. Field studies on the flow and composition of storm sewage. In: Symposium on storm sewage overflows, Institution of Civil Engineers, London, 1967.
13. Weibel, S. R., Weidner, R. B., Christianson, A. G. and Anderson, R. J. Characterization, treatment and disposal of urban stormwater. Third International Conference on Water Pollution, Munich, Paper nr. 15.
14. Wilkinson, R. The quality of rainfall run-off water from a housing estate. Journal of the Institution of Public Health Engineers 55 (1956) April, blz. 70-78.
15. Dunbar, D. D. Pollution control measures of stormwaters and combined sewer overflows. Journal Water Pollution Control Federation 38 (1966) nr. 1.
16. Field, R. and Struzeski, E. J. Management and control of combined sewer overflows. Journal Water Pollution Control Federation 44 (1972) nr. 7, blz. 1303-1415.
17. Brunner, P. G. Belastung der Gewässer durch künstliche Ableitung von Niederschlägen. Belastung durch Abwasser der Trennkanaalisation. Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung E.V. (1971) nr. 25, blz. 75-96.
18. Kurzweil, E. Die Verschmutzung des abfließenden Regenwassers im Bereich Städtischer Siedlungen. Gesundheitsingenieur 85 (1969) nr. 6, blz. 178-181.
19. Lumb, C. The storm sewage pollution problem. Journal Institute of Sewage Purification (1969) blz. 168.
20. Weibel, S. R., Anderson, R. J. and Woodward, R. L. Urban land run-off as a factor in stream pollution. Journal Water Pollution Control Federation 36 (1964) blz. 914-924.
21. Watkins, L. H. Research on surface-water drainage. Proceedings of the Institute of Civil Engineers (1963).
22. Onderzoek naar het verontreinigend vermogen van huishoudelijk afvalwater. Mededeling nr. 5 van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater, 1968.

23. Müller, W. J. *Der Beitrag der Regenabflüsse zur Verunreinigung der Gewässer*. Gas- und Wasserfach - Wasser/Abwasser 112 (1971) nr. 1, blz. 15-17.
24. Bryan, E. H. *Quality of stormwater drainage from urban land*. Draft paper presented at the 7th American Water Resources Conference, Washington, D. C. (October 28, 1971).
25. Koot, A. C. J. *Beschouwingen over gemengde en gescheiden rioolstelsels*. Publieke Werken 38 (1970) nr. 5, blz. 199-208.
26. Pecher, R. *Der Abflussbeiwert und seine Abhängigkeit von der Regendauer*. Berichte aus dem Institut für Wasserwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen. T. H. München, 1969, nr. 2.
27. W.P.C.F. *Manual of Practice No. 9*. Washington, D.C., 1967.
28. Tholin, A. L. and Keifer, C. J. *The hydrology of urban runoff*. Trans. Am. Soc. Civil Engrs., 1960 (125), blz. 1308-1379.
29. Pecher, R. *Neue Untersuchungsergebnisse über den Abflussbeiwert*. 1 Europäisches Abwassersymposium, München, 1969, blz. 75-94.
30. Bloemen, G. W. *Een apparaat voor het registreren van de verdamping van een vrij wateroppervlak*. Cultuurtechnisch Tijdschrift 12 (1972) nr. 1, blz. 10-20.
31. Lee, J. A., Chia Shun Shih and De Filippi, J. A. *Filtering combined sewer overflows*. Journal Water Pollution Control Federation 44 (1972) nr. 7, blz. 1317-1333.
32. *Rapport inzake een studie van de kwaliteit van het water in de randmeren langs Flevoland*. Werkgroep coördinatie kwaliteitsonderzoek randmeren, 's-Gravenhage, 1972.
33. Otto, H. *Der Einfluss von Misch- und Trennkanaalisation auf den Vorfluter*. 5 H₂O (1972) nr. 20, blz. 462-474.
34. Canham, R. A. *Ueberwachung der Wasserverunreinigung in Amerika - einst und jetzt*. Gas- und Wasserfach - Wasser/Abwasser 113 (1972) nr. 8, blz. 347-351.

Opmerkingen van dr. ir. D. W. Scholte Ubing

Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Delft

Tijdens de discussie na de voordracht van prof. Koot maakte ik enkele opmerkingen.

Gaarne heb ik aan het verzoek van prof. Koot voldaan om nu, naar aanleiding van de publicatie van zijn voordracht, deze opmerkingen nader uit te werken.

a. De kennis omtrent rioolwateroverstorten in gemengde stelsels.

Uit de onderzoeken is gebleken dat het vooralsnog helaas moeilijk is zowel kwalitatief als kwantitatief een juist beeld te krijgen van „het overstorten” van rioolwater uit gemengde rioolstelsels. De onderzoeksresultaten worden als teleurstellend omschreven. De vraag kan dan gesteld worden of het wel juist is oplossingen te hanteren, o.a. uitmondend in een aantal keren overstorten per tijdseenheid, waarop achteraf geen of nagenoeg geen controle mogelijk is of waarover geen of nagenoeg geen kwantitatieve en kwalitatieve praktijkinformatie is te verkrijgen.

Termeer omdat de „dosis-werking” relatie m.b.t. het oppervlaktewater (in het algemeen) nog bijzonder onduidelijk is, moeten m.i. daarom de bestaande theorieën en kennis welke aan het ontwerpen en aanleggen van gemengde rioolstelsels ten grondslag liggen, met de grootst mogelijke voorzichtigheid worden gehanteerd. Dit klemt nog sterker omdat juist rioleringsen uiterst belangrijke technische maatregelen zijn in gebieden (en ten heehoeve van gebieden) waarvan de kwaliteit nauwkeurig dient te worden beheerst (zie c).

b. De kennis omtrent de kwaliteit van overtollig water van verharde oppervlakken.

De kennis omtrent de kwaliteit van verzameld overtollig water van verharde oppervlakken is nog summier, maar begint zich wel uit te breiden. I.v.m. het ontwerpen en aanleggen van gescheiden rioolstelsels met „regenwater”-afvoeren op oppervlaktewater (zie eveneens c) wil ik, in het algemeen ook, de aandacht vestigen op de invloed van luchtverontreiniging.

Grote hoeveelheden materie van zeer verschillende aard uit de huishoudelijke, industriële, verkeers en agrarische sectoren worden naar de atmosfeer afgevoerd. De relatie tussen de stofemissie naar de atmosfeer en de kwaliteit van het water- en bodemmilieu, welke relatie ontstaat door neerslag, uitwassen en uitregenen van materie uit de atmosfeer, is binnen de vakgebieden van de water- en bodemverontreiniging, ook in Nederland, echter nog weinig of nauwelijks bestudeerd. Dat deze relatie bestaat en van grote betekenis kan zijn, moge blijken uit recent materiebalans onderzoek aan het Lake Michigan (USA). De verontreiniging van het meerwater met diverse elementen, o.a. zware metalen, zou onder de daar heersende omstandigheden voor rond 50 % veroorzaakt zijn door materie - transport via de atmosfeer (lucht-

verontreiniging) en voor 50 % door toestomend verontreinigd oppervlaktewater.

De stoffen die goed met regen worden uitgewassen zijn NO, SO₃, HF, HCL, H₂S, CS₂, benzopyreen, roet, stof en vliegas. Vooral het neerslaan en uitwassen van vaste en stofvormige materie kan borg staan voor een aanvoer naar het water- en bodemmilieu van vrijwel alle elementen. (De verdeling over het aardoppervlak via de atmosfeer van Hg moet ook als zeer belangrijk worden aangemerkt). Het is evenwel bijzonder moeilijk met de huidige kennis over de interne emissies van alle stoffen, de transporten en de verdeling van die stoffen in de atmosfeer en de processen die daar optreden, nauwkeurige berekeningen op te zetten over neerslag, uitwassen en uitregenen naar het aardoppervlak inclusief de oppervlaktewateren en de verharde oppervlakken.

Dat de ontvangst van stoffen uit de atmosfeer ook in Nederland belangrijk kan zijn moge o.a. blijken uit het Pb-transport met stedelijk afvalwater (gemengde en gescheiden riolering). Een minimum schatting van de uit de lucht op verharde oppervlakken in woon- en werkcentra neergeslagen hoeveelheden lood (t.g.v. luchtverontreiniging door gemotoriseerd verkeer) kan verkregen worden uit de gemiddelde Pb-gehalten van het surplusslib van zuiveringsinrichtingen voor stedelijk afvalwater zonder industriële invloed (ca. 500 ppm van de droge stof) en de gemiddelde slibproductie per inwoner per jaar (9 à 10 kg droge stof).

Een transport met overtollig water van gerioleerde verharde oppervlakken wordt dan gevonden van $13,2 \times 10^6 \times 9,5 \times 500$ mg Pb/jaar = 63.000 kg Pb/jaar of ca. 3,5 % van de totale interne loodemissie van alle benzinemotoren in Nederland (zijnde ca. $1,8 \times 10^6$ kg Pb/jaar).

Met de „run-off” van alle niet gerioleerde wegen zal uiteraard veel meer naar het water- en bodemmilieu worden afgevoerd. Gelijk verdeeld over Nederland betekent een volledige terugkeer (zonder export i.v.m. de emissie in de onderste luchtlagen) naar het aardoppervlak van $1,8 \times 10^6$ kg Pb/jaar een inbreng van gemiddeld ca. 50 mg Pb/m² water en bodem per jaar. Plaatselijk en regionaal zal deze inbreng in werkelijkheid veel groter of veel kleiner zijn. Voor de intern geproduceerde hoeveelheden stof, roet en vliegas mag wellicht worden aangenomen dat ca. 100 % tot neerslag komt op het Nederlands areaal water en bodem. Gelijk verdeeld over 37.000 km² komt dat dan overeen met een inbreng van gemiddeld rond 100 kg materiaal/ha of rond 10 g/m² water en bodem per jaar.

Mede op grond van het vorenstaande moet luchtverontreiniging m.i. als een potentieel belangrijke bron van water- en bodemvervuiling worden gezien. Vooral in woon- en werkcentra zal de kwaliteit van het „afvalwater” van verharde oppervlakken door luchtverontreiniging worden beïnvloed.

c. *De verzameling van afvalwater in zich wijzigende woon- en werkgemeenschappen.*

Waren de gerioleerde of de te rioleren gebieden in het verleden voornamelijk „slaap-arbeids” gemeenschappen, tegenwoordig worden aan de rioleringsgebieden terecht veel ruimere betekenissen toegekend. De functies van de woon- en woon/werkcentra zijn of worden duidelijk verruimd. Aan de vele nieuwe uitbreidingen van steden en dorpen is reeds te zien dat de stedenbouwkundigen een veel intensiever gebruik van de leefruimte voor ogen staat: mogelijkheden voor vrije-tijds-besteding in de open lucht, contacten met het buitenmilieu, inclusief het oppervlaktewater. Bestaande open wateren worden in uitbreidingen gehandhaafd en/of worden gecreëerd. De bevolking zelf heeft om diverse redenen daar ook grote behoefte aan en maakt van de bestaande of nieuwe mogelijkheden meer en meer gebruik: vissen, zitten aan water, spelevaren etc. Het is, of moet worden, leven en wonen in de meest ruime betekenis van deze woorden. Voor dergelijke woon- en werkruimten geldt, veel duidelijker

dan vroeger, dat de kwaliteit van dat leefmilieu, inclusief van het buitenmilieu daarin, bijzonder goed moet worden beheerd en beheerd. In dat kader passen m.i. geen „lekkages” van rioolstelsels, lozingen van afvalwater in oppervlaktewateren binnen die leefruimten en dus contacten van de leefruimte met afvalwaters.

Mijn ervaring heeft geleerd dat regenwateroverstorten van gemengde rioolstelsels, nagenoeg onafhankelijk van het aantal keren of van de intensiteit van overstorten, het oppervlaktewater binnen woon- en werkgemeenschappen vaak ernstig aantasten en, tegen welke achtergrond dan ook, m.i. onaanvaardbaar maken voor ander gebruik.

Bij het ontwerpen, aanleggen of verbeteren van rioleringen dienen de bovenstaande overwegingen primair te staan. Welke oplossing uiteindelijk moet worden gekozen opdat geen afvalwater in het woonmilieu vrij komt, is een technisch vraagstuk. Het rioleringsprobleem als geheel mag echter zeker niet alleen uit een puur technisch oogpunt worden benaderd.