

Relaties tussen rioleringsoverstorten en effluentlozingen

1. Inleiding

In 1972 heeft de Commissie Riolering en Waterverontreiniging van de afdeling Gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs haar werkzaamheden afgesloten met een rapport getiteld 'Riolering en Waterverontreiniging' [1]. Hoewel de Commissie er in is geslaagd diverse achtergronden met betrekking tot de betekenis van de overstortingsfrequentie te verhelderen was het, mede door gebrek aan goede meetgegevens, niet mogelijk deze inzichten verder uit te diepen.



DR. IR. P. J. HUISWAARD
Raadgevend Ingenieur ONRI
van het Adviesbureau
Bongaerts, Kuyper en Huiswaard

In de onderhavige publikatie is een beknopte samenvatting gegeven van de huidige Nederlandse inzichten met betrekking tot de verontreiniging door rioleringsoverstorten, aangevuld met enige buitenlandse ervaringen. Uitgaande van het z.g. bakmodel voor een rioleringsstelsel is verder nader ingegaan op de BOD-verontreiniging door overstorten, het verband tussen deze verontreiniging en de overstortingsfrequentie én op kostenaspecten samenhangende met de optimalisering van een rioolwatersysteem. In het kort is voorts de eventuele behandeling van overstortend rioolwater besproken. Deze vooral theoretische benadering van de mogelijke verontreiniging door overstorten benadrukt de noodzaak om de problematiek door meting in de praktijk nader te onderzoeken. In deze publikatie is zoveel mogelijk de lijst van woorden en begrippen als genoemd in het rapport van de Commissie Riolering en Waterverontreiniging aangehouden.

2. De verontreiniging door overstorten

2.1. Nederlandse ontwikkelingen

Eggink en Hulshof [2] hebben benaderende berekeningen uitgevoerd betreffende de overstortende hoeveelheid BOD* uit een gemengd rioleringsstelsel. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten van een RIZA-onderzoek om de hoeveelheid BOD per etmaal die bij droog weer als slib in de riolering achterblijft te kwantificeren. Uitgegaan wordt van een gemiddelde waarde aan bij droog weer achtergebleven BOD in de riolering per I.E. van 0,1 I.E. per dag.

* BOD in de tekst staat voor BOD₅²⁰.

Uitgangspunten voor de berekeningen zijn voorts volledige menging in de riolering, een constante concentratie van de BOD van het overstortwater gedurende de overstorting en een droogweer periode van 10 dagen.

Enige conclusies:

— De overstortende hoeveelheid BOD is bij dezelfde overstortingsfrequentie, maar met verschillende combinaties van Pok (overcapaciteit) en B (berging), ongeveer gelijk.

— Bij elke combinatie van Pok en B komen extreme BOD overstortingen voor van dezelfde orde van grootte (tot 40 - 50 kg BOD per 1.000 inwoners).

— De totaal per jaar geloosde hoeveelheid BOD vermindert met afnemende overstortingsfrequentie.

Het resultaat van de berekeningen kan niet door meting worden bevestigd. De publikatie wijst op de betrekkelijke waarde van overstortingsfrequentie als maatstaf, indien uitsluitend de zuurstofbehoefte maatgevend wordt geacht. De factor hygiëne is veelal een beter motief voor beperking van de overstortingsfrequentie, dan de geloosde BOD.

De Man [3] heeft, gebruik makend van gegevens uit een uitgebreid onderzoek van Gameson en Davidson te Northampton, een berekening opgesteld voor de geloosde hoeveelheid BOD en slib in het Worm-gebied, al dan niet met inschakeling van een bergingsbassin. Door hem wordt een slibgehalte in overstortwater te Nieuwenhagen vermeld van 12,5 ml/l.

Van den Herik [4] heeft beredeneerd hoeveel m² wateroppervlak per inwoner met het oog op de zuurstofhuishouding in verband met overstortlozingen noodzakelijk zou zijn. Hij komt daarbij op 4 m² bij een berging van 7 mm en een overcapaciteit van 0,7 mm/u.

Duin [5] heeft voor verschillende typen van rioleringsstelsels de geloosde BOD via de overstorten en effluent berekend. Hij neemt daarbij voor de overstorting uit een gemengd stelsel, een gemiddelde BOD-waarde aan van 150 tot 200 mg/l bij ca. 10 overstortingen per jaar. Verspreide metingen in Hamersveld leverden als BOD van het overstortwater van een beginoverstort (ver van gemaal) concentraties op van 80 tot 170 mg/l met een gemiddelde van 135 mg/l. Voor de jaarlijks geloosde BOD uit het gehele rioolwatersysteem (totaliteit van rioolstelsel en rioolwaterzuiveringsinstallatie) blijkt de zuiveringsgraad van de RWZ van grote invloed te zijn.

In Nederland wordt meestal uitgegaan van

de resultaten van buitenlandse onderzoeken inzake de verontreiniging van overstortwater. Feitelijke waarnemingen zijn nog maar weinig gepubliceerd. De benadering van Eggink-Hulshof, hoe betrekkelijk ook, geeft op dit moment nog het meeste inzicht in de problematiek. Bij het interpreteren van buitenlandse waarnemingen voor Nederlandse omstandigheden moet worden bedacht, dat in het vlakke land geheel andere omstandigheden in het rioolstelsel gelden dan in de over het algemeen meer hellende gebieden in het buitenland. Naast de vaak grotere snelheid door deze sterkere hellingen geldt, dat in het buitenland over het algemeen beduidend minder onderdrempelberging aanwezig is. Buitenlandse gegevens lenen zich dan ook niet zonder meer voor vergelijking met Nederlandse omstandigheden.

2.2. Enige buitenlandse ontwikkelingen

Uitgebreid onderzoek door Gameson en Davidson [6] in Groot-Brittannië, heeft een duidelijk overzicht gegeven in het verontreinigend vermogen van overstortwater in een hellend rioleringsgebied. Zo bleek dat de concentratie aan bezinkbare stof duidelijk hoger was in de r.w.a. dan in de d.w.a. Zowel de hoeveelheid BOD als bezinkbare stof waren tijdens regenafvoer hoger naar mate de tijdsduur vanaf de vorige regen groter was. Er was verder kennelijk sprake van een uitgesproken hogere BOD en bezinkbare stof concentratie, dan uit gewone verdunning zou volgen. Blijkbaar was bezinking bij droog weer binnen het systeem hiervoor verantwoordelijk. De jaarlijks via de overstorten geloosde BOD voor een systeem met een 'overflow-setting' van 6 d.w.f. zou vergelijkbaar zijn met de jaarlijkse lozing van BOD in het effluent van een zuiveringsinstallatie voor het desbetreffende gebied. De overeenkomstige jaarlijkse hoeveelheid bezinkbare stof is 3 maal zo groot als in het effluent. Onder de geschetste omstandigheden moest derhalve, ondanks het hellende karakter van het gebied, nog met een aanzienlijke jaarlijkse verontreiniging door overstorten rekening gehouden worden.

Krauth [7] heeft een uitgebreide studie verricht met betrekking tot de in een gemengd rioleringsstelsel te Stuttgart-Büsnau (31,7 ha, waarvan 11,9 ha verhard) aanwezige verontreiniging. Krauth heeft o.a. de verontreiniging van het regenwater bepaald, waarbij wordt geconcludeerd dat deze in dit geval geen rol zou spelen. Zijn studie omvat vele interessante gegevens omtrent samenstelling d.w.a. en verontreiniging door overstorten. Overigens komen de conclusies van Krauth op veel punten overeen met die van Gameson en Davidson.

In de VS wordt veel onderzoek verricht naar vervuiling van overstortlozingen en naar maatregelen om deze vervuiling te voorkomen of te verminderen. Zo publiceerden De Filippi en Shih [8] interessante gegevens inzake de samenstelling van rioolwater tijdens regenafvoer in een aantal gemengde en gescheiden stelsels. Aangevoerd wordt o.a. dat in gescheiden stelsels grote piekconcentraties aan bijv. bezinkbare stof kunnen voorkomen. Geconcludeerd wordt dat veel verontreiniging in korte tijd het gevolg kan zijn van luchtverontreiniging. In alle gevallen werd een 'first flush' met hoge vuilconcentratie geconstateerd waarvan de grootte mede afhankelijk bleek van de lengte van de droogweeperperiode.

Field en Struzeski geven in een artikel inzake de problematiek in de VS [9] het volgende overzicht van de karakteristieken van overstortwater.

TABEL I - Characteristics of Combined Sewer Overflows.

Characteristics	Range of Values
BOD ₅ (mg/l)	30 — 600
TSS (mg/l)	20 — 1.700
TS (mg/l)	150 — 2.300
Volatile TS (mg/l)	15 — 820
pH	4,9 — 8,7
Settleable solids (mg/l)	2 — 1.550
Organic N (mg/l)	1,5 — 33,1
Soluble PO ₄ (mg/l)	0,1 — 12,5
Total coliforms (no./100 ml)	20.000 — 90 x 10 ⁶
Fecal coliforms (no./100 ml)	20.000 — 17 x 10 ⁶
Fecal streptococci (no./100 ml)	20.000 — 2 x 10 ⁶

Field noemt overstorten de 'inbuilt deficiencies of combined sewers' [10].

3. Verontreiniging rioolwatersysteem beschouwd volgens bakmodel

3.1. Algemeen

De beschouwingen van Eggink-Hulshof vormen het uitgangspunt van de volgende modelmatige behandeling van de verontreiniging van een rioolwatersysteem volgens het zgn. bakmodel. Onder verontreiniging van het rioolwatersysteem zal hier worden verstaan de totale verontreiniging door lozing van het effluent van de zuiveringsinstallatie en door overstorting. In het model wordt de riolering gezien als één bak zonder hydraulische niveaunderschillen of horizontale stromingen. Ondanks het grote verschil ten opzichte van de werkelijkheid is het model geschikt voor benaderende berekeningen. Overigens is het in beginsel mogelijk het rioolstelsel te zien als een combinatie van meerdere bakken. In dat geval is i.h.a. computerverwerking noodzakelijk.

Zoals nog nader wordt uiteengezet is de gevolgde berekeningswijze enigszins verschillend van de opzet van Eggink-Hulshof.

Voorts is ingegaan op de kosten van het totale rioolwatersysteem.

3.2. Opzet van de berekening.

Uitgangssituatie van de berekening is het rioolstelsel gezien als een grote mengbak. Het systeem wordt belast met uitsluitend huishoudelijk afvalwater, straatvuil en regenwater. In eerste instantie wordt aangenomen dat de samenstelling in de bak steeds homogeen is en de regen lineair. In tabel II is een overzicht opgenomen van de in de formules gebruikte nomenclatuur.

TABEL II - Nomenclatuur formules.

D	DWA-aanvoer	m ³ /uur
Q	Totaal van D en Pok	m ³ /uur
C	Concentratie in mengbak	mg/l
C ₁	BOD v. d. DWA	mg/l
C ₂	BOD regenwater	mg/l
t	Tijd	uur
t ¹	Tijd tussen aanvang regen en tijdstip vulling 30 % B	uur
t ¹ ₀	Tijdstip bij vulling 30 % B	uur
t ¹¹	Tijd vanaf 30 % vulling B	uur
t ¹¹ _{OV}	Tijdstip vulling B vanaf 30 % vulling	uur
t ¹¹¹	Tijd vanaf aanvang overstorting	uur
V	Vulling in mengbak	m ³
B	Vulling in mengbak gelijk aan totale nuttige berging	m ³
R	Regenhoeveelheid	m ³ /uur

In het algemeen geldt:

Invoer in Bak = Afvoer + Opslag of mathematisch:

$$DC_1 dt + RC_2 dt = QC dt + dV.C + VdC$$

Ten behoeve van de oplossing van deze differentiaalvergelijking worden de volgende vooronderstellingen gedaan:

— Het regenwater bevat geen BOD.

Terwille van de algemene oplossing is de BOD-concentratie van het regenwater C₂ toch in de formule verwerkt.

— In de riolering blijft bij droog weer per dag achter 0,1 i.e./i.e. aan BOD; de periode tussen twee regens die het slib in de riolering opwoelen en afvoeren is gesteld op 10 dagen.

— Het straatvuil wordt in de riolering gespoeld vanaf het begin van de regen totdat de nuttige berging van het riool voor gemiddeld 30 % is gevuld. De BOD van het straatvuil wordt voor de periode van 10 dagen gesteld op 10 g BOD per i.e.

— Het straatvuil wordt in de riolering gespoeld vanaf het begin van de regen totdat de nuttige berging van het riool voor gemiddeld 30 % is gevuld. De BOD van het straatvuil wordt voor de periode van 10 dagen gesteld op 10 g BOD per i.e.

— Het in de riolering bezonken slib wordt pas opgewoeld bij 30 % vulling van de nuttige berging. Op dat moment vindt onmiddellijk volledige menging plaats.

— Het verharde oppervlak per i.e. bedraagt 35 m², de berekening wordt opgesteld voor een gebied met 1000 inwoners. Aangenomen is een BOD-belasting van 54 gr. per i.e., gelijkmatig verdeeld over de dag.

— Het BOD-zuiveringsrendement van de zuiveringsinstallatie bedraagt 90 %.

Omtrent deze uitgangspunten wordt het volgende opgemerkt:

— Vooral in industriegebieden moet zeker met BOD in het regenwater rekening worden gehouden. In Stuttgart - Büsnau (weinig industriële luchtverontreiniging) bleek volgens Krauth de BOD van het regenwater echter te verwaarlozen.

— De hoeveelheid BOD per dag aan bezonken slibstoffen is gebaseerd op het RIZA-onderzoek.

— De BOD van het straatvuil wordt, op grond van diverse buitenlandse gegevens [11], gesteld op 10 g per i.e.

— Uitgangspunt voor de keuze van 30 % vulling voor opwoeling en afvoer van slibstoffen is vooral het optreden van voldoende schuifspanning bij de bodem van het riool [1]. De invloed van de factor tijd is hier verwaarloosd. Omtrent de juistheid van dit uitgangspunt is weinig bekend.

— Het uitgangspunt inzake een BOD-zuiveringsrendement van 90 % is aanvaardbaar, zelfs aan de lage kant, mits de slibbelasting aanzienlijk kleiner blijft dan 0,5 kg BOD/kg d.s. dag. In een meer verfijnde berekening zou ook met andere factoren, zoals verblijftijd en temperatuur, rekening moeten worden gehouden.

— In de berekeningen is geen rekening gehouden met berging op straat en verdamping. Eventuele waarden hiervoor kunnen echter eenvoudig in de berekening worden verwerkt.

— Door vulling van het stelsel en overstorting kunnen richtingsveranderingen in het stelsel optreden. De oorspronkelijk naar het gemaal gerichte stroming wordt dan tevens gericht naar de overstort(en), waardoor belangrijke hydraulische wijzigingen kunnen ontstaan.

Uit de berekeningsopzet blijkt dat de volgende drie fasen kunnen worden onderscheiden.

Fase 1. Vulling riolering tot 30 % B.

Het straatvuil spoelt in het riool.

Als $t = t_0^1$ geldt:

$$C = \frac{54 + 10 + t_0^1 (DC_1 + RC_2) 10^{-3}}{0,3 B}$$

De hoeveelheid BOD onttrokken door de RWZ en de reeds in de riolering aanwezige

BOD zijn in deze benaderende berekening verwaarloosd. Verder geldt dat $C_2 = 0$.

Fase 2. Vulling V riolering van 30 tot 100 % B.

Slib woelt plotseling op.

Hiervoor geldt

$$dV = (R + D - Q) dt''$$

of

$$V = 0,3 B + (R + D - Q) t''$$

De oplossing van de d.v. wordt (zie onder aan de pagina).

Fase 3. Stelsel stort over.

In de basisvergelijking wordt $dV = 0$.

Voorts geldt dat de beginconcentratie in fase 3 gelijk is aan de eindconcentratie in fase 2. De algemene oplossing van de d.v. wordt:

$$C = \alpha \cdot e^{-\frac{R+D}{B} t'''} + \frac{RC_2 + DC_1}{R+D}$$

Voor $t''' = 0$ geldt dat $C = Ct''_{ov}$

Hiervuit volgt:

$$\alpha = Ct''_{ov} \frac{R+D}{RC_2 + DC_1}$$

De overstortende hoeveelheid bedraagt:

$$(R + D - Q) \int_0^{t'''} C dt$$

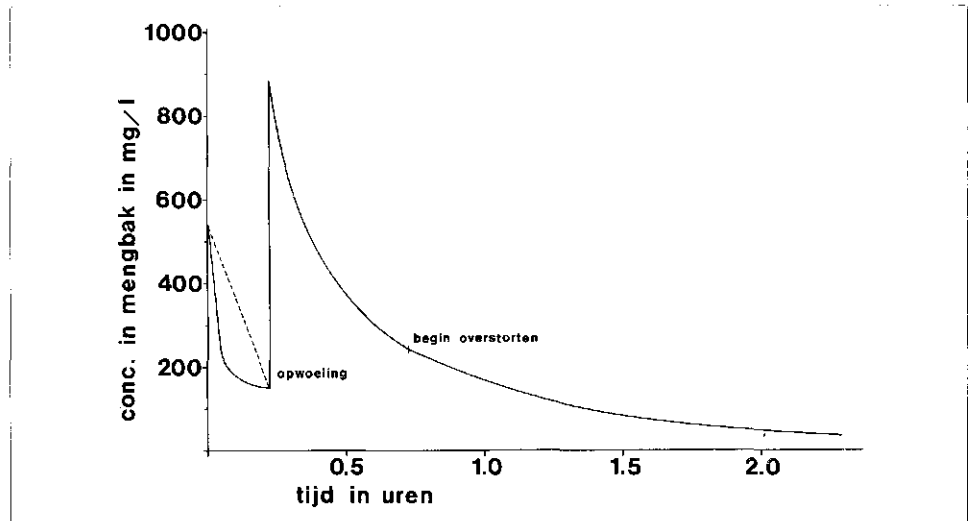
3.3. Resultaat berekeningen.

In afb. 1 is in het verloop van de BOD in de mengbak aangegeven als functie van de tijd bij het als voorbeeld genomen geval met $B = 7 \text{ mm}$, $Pok = 0,7 \text{ mm/u}$ en een regenintensiteit $i = 27,5 \text{ l/s/ha}$ (10 mm/u). Aangenomen is een begin d.w.a. vulling in het stelsel van 2 % van de statische berging. De eerder vermelde drie fasen zijn duidelijk te onderscheiden, te weten:

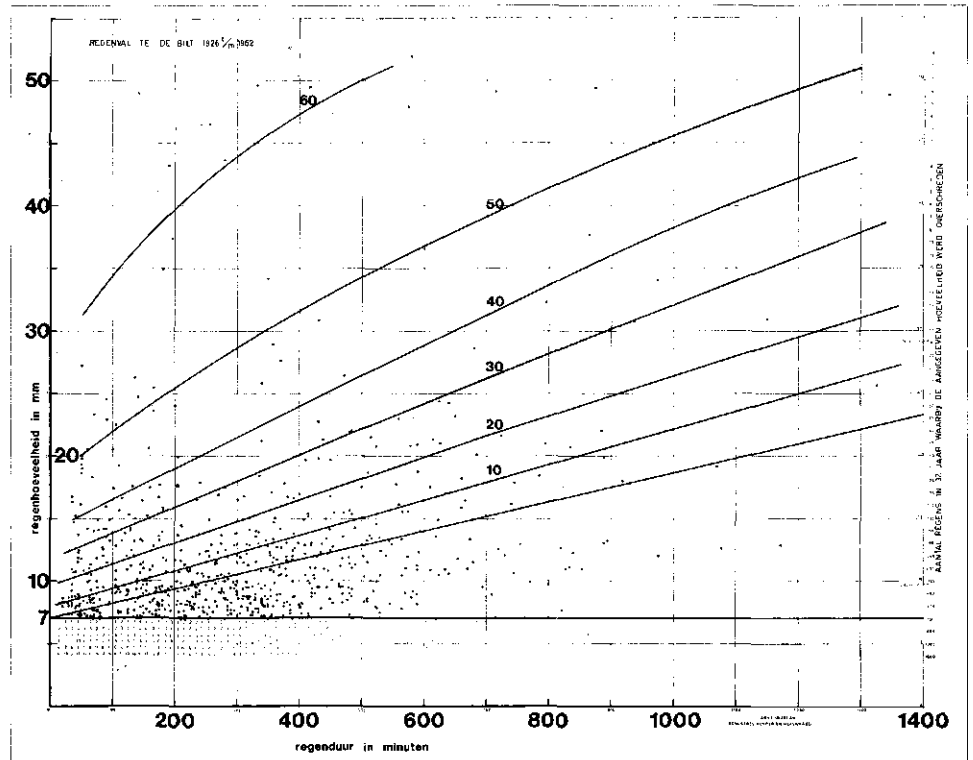
Fase 1: concentratieverloop van 540 mg/l tot 151 mg/l.

Fase 2: concentratieverloop vanaf opwoeling tot overstorten van resp. 886 mg/l tot 244 mg/l.

244 mg/l.



Afb. 1 - Concentratie BOD in relatie tot de tijd. $B = 7 \text{ mm}$, $Pok = 0,7 \text{ mm/uur}$, regenintensiteit $27,5 \text{ l/sec/ha}$.



Afb. 2 - ISO - BOD-lijnen exclusief straatvuil. $B = 7 \text{ mm}$, $Pok = 0,7 \text{ mm/uur}$.

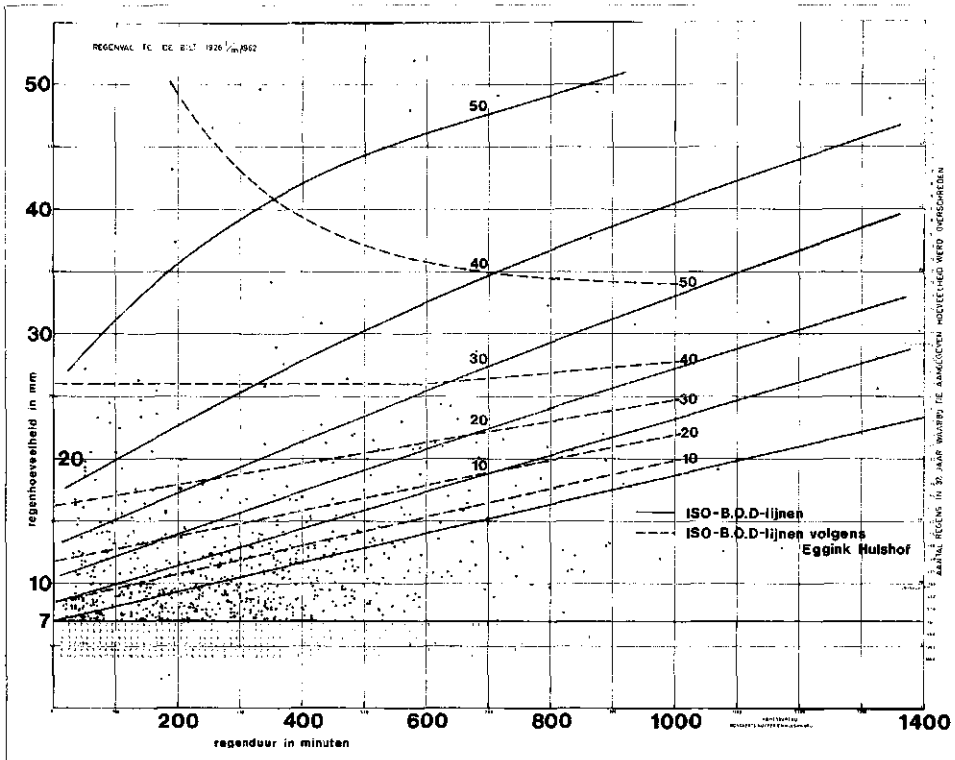
Fase 3: concentratieverloop vanaf overstorten van 244 mg/l tot 6,4 mg/l (verdunding).

Het hier berekende verloop vertoont over-

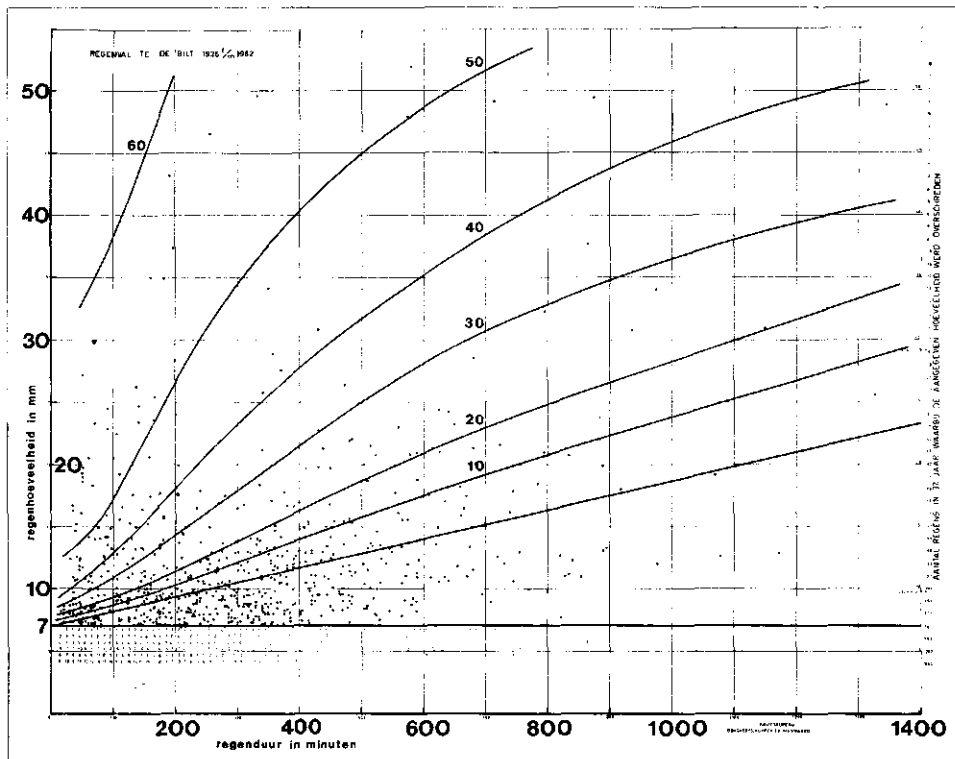
eenkomst met incidenteel bekende waarnemingen.

Aanvankelijk wordt de relatief hoge concentratie van de d.w.a., ondanks aanvoer

$$C = \frac{1}{R+D} \left\{ \frac{Ct''_o (R+D) - (RC_2 + DC_1)}{R+D} \right\} \left\{ \frac{R+D}{R+D-\alpha} + \frac{RC_2 + DC_1}{R+D} \right\} \text{ waarin } C_2 = 0$$



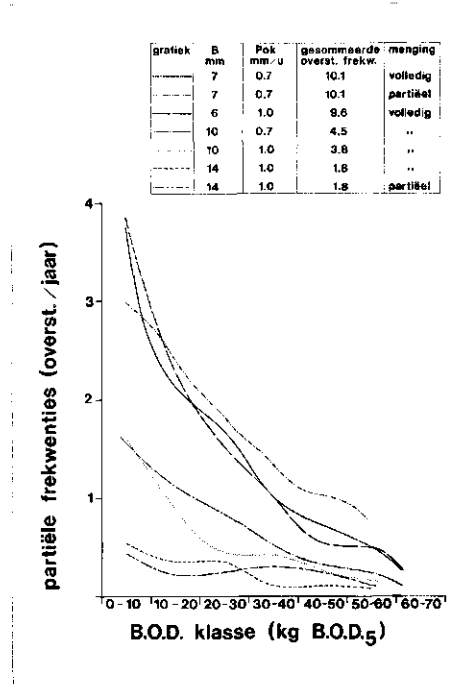
Afb. 3 - ISO - BOD-lijnen inclusief straatvuil. $B = 7 \text{ mm}$, $Pok = 0,7 \text{ mm/uur}$.



Afb. 4 - ISO - BOD-lijnen inclusief straatvuil, bij partiële menging ($0,3 B$). $B = 7 \text{ mm}$, $Pok = 0,7 \text{ mm/uur}$.

van straatvuil, verminderd door verdunning. Na opwoeling van slib treedt een plotse concentratieverhoging van de BOD op, gevolgd door een concentratievermindering door verdunning. Tijdens het overstorten daalt de concentratie verder door

verdunning met regenwater. In afb. 2 is de berekende ISO-BOD-lijn, de invloed van het straatvuil niet meege-rekend, uitgezet. De resultaten zijn vergeleken met overeenkomstige waarden volgens Eggink-Hulshof, die van een constante



Afb. 5 - Partiële overstortingsfrequentie per jaar in relatie tot overstortende hoeveelheid BOD inclusief straatvuil in $\text{kg}/1000 \text{ inw}$.

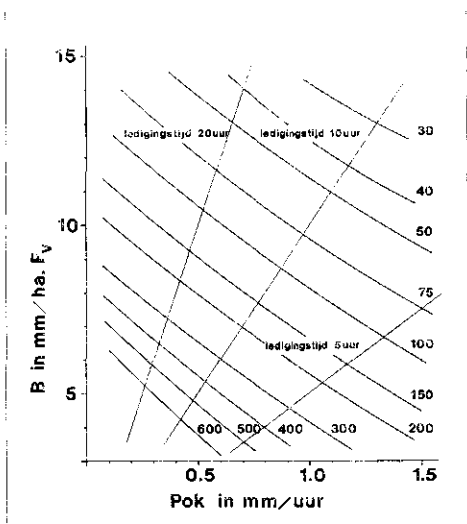
concentratie tijdens het overstorten uitgingen. Uit de resultaten blijkt dat, vooral bij de buien van langere duur, de berekende waarden lager zijn dan volgens Eggink-Hulshof.

De in afb. 3 gegeven ISO-BOD lijnen zijn inclusief straatvuil.

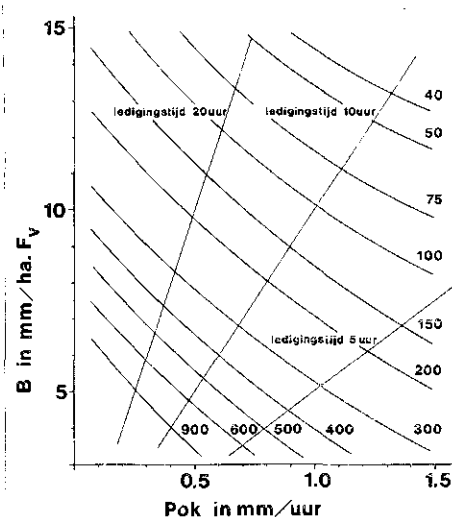
Om de invloed van niet homogene menging over het gehele gebied enigermate te kunnen onderkennen zijn in afb. 4, ISO-BOD lijnen afgebeeld (met straatvuil) er van uitgaande dat het gebied waarin homogene menging optreedt is beperkt tot het benedengebied met een veronderstelde inhoud van 30 % van de totale statische berging (zgn. partiële menging). Een indicatie wordt hiermee gegeven van de BOD-lozing door een eind-overstort (nabij het gemaal), als de totale BOD in het gebied nabij de rioleringsoverstort zou zijn geconcentreerd. In werkelijkheid speelt ook de looptijd binnen het stelsel naar dit laaggelegen gebied een belangrijke rol.

Vergelijking van de afb. 3 en 4 leert dat de lozing via een eindoverstort volgens het uitgangspunt van 'partiële menging' een aanzienlijk hogere verontreiniging kan veroorzaken dan bij homogene menging over de gehele inhoud.

De invloed van een zgn. beginoverstort is hier niet aangegeven. In het meest gunstige geval zou dan sprake kunnen zijn van volledige d.w.a.-verdunning, ervan uitgaande dat straatvuil en slib inmiddels naar het benedengebied zijn gespoeld. In afb. 5 zijn de partiële overstortings-



Afb. 6 - Gemiddelde jaarlijks geloosde hoeveelheid overstortende BOD in kg/1000 inw.



Afb. 7 - Gemiddelde jaarlijks geloosde hoeveelheid BOD tijdens overstorting inclusief effluent RWZ in kg/1000 inw. bij partiële menging (0,3 B).

frequenties weergegeven per jaar in relatie tot de overstortende BOD, inclusief straatvuil. Uit deze gegevens blijkt duidelijk de ongunstige invloed van 'partiële menging'. De conclusie Eggink-Hulshof dat de overstortingsfrequentie bepalend is voor de verdeling van de partiële overstortfrequentie per jaar, wordt hier bevestigd. De gemiddelde jaarlijkse BOD-lozingen onder verschillende omstandigheden zijn in afb. 6 en 7 weergegeven.

In afb. 7 is ook opgenomen de invloed van de RWZ bij 90 % zuiveringsrendement. Uit de afbeeldingen blijkt o.a. de vermindering van jaarlijks geloosde BOD bij toeneming van berging en/of overcapaciteit. Een zeer grote extra berging is nodig om de overstortende hoeveelheid BOD drastisch te verminderen.

De totale jaarlijkse BOD-lozing van een zuiveringsinstallatie bedraagt bij 90 % zuiveringsrendement per 1000 i.e., ca. 2000 kg. Bij de vaak gebruikelijke combinatie B en Pok van 7 mm en 0,7 mm/u is de gemiddeld jaarlijks geloosde BOD via de overstort 200 kg ofwel 10 % van de jaarlijkse effluentlozing. Dit percentage kan voor de omstandigheden als in de grafieken uitgebeeld variëren van 30 % tot 1,5 %. Het zou interessant zijn deze waarden te vergelijken met de resultaten van Gameson en van Krauth. Dit blijkt echter niet goed mogelijk te zijn daar in beide gevallen nagenoeg geen berging aanwezig is. Volstaan wordt dan ook met te wijzen op het door Gameson [6] genoemde overeenkomstige percentage van 100 bij 6 d.w.f. zuivering.

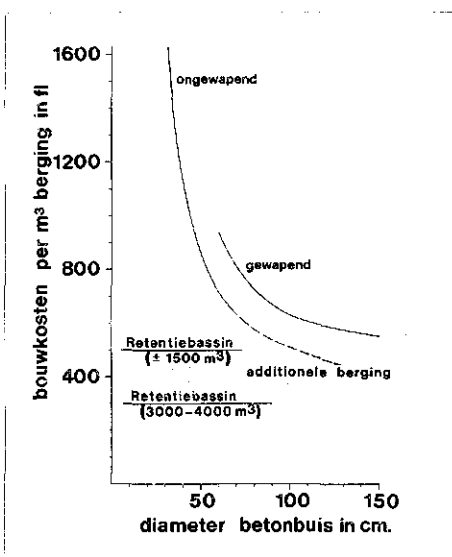
Krauth [7] noemt o.a. voor een gebied van 4000 inwoners en $F_v = 30 \text{ m}^2/\text{i.e.}$, bij een berging via een retentie bassin van $186,5 \text{ m}^3$ ($B = 1,5 \text{ min}$), zonder doorvoer naar de

RWZ, een geloosde hoeveelheid BOD van 2632 kg per jaar of 658 kg/1000 i.e./jr. Qua orde van grootte lijken de resultaten van Gameson en Krauth vergelijkbaar te zijn met de in deze publicatie berekende waarden.

Bij de beoordeling van de verontreiniging door overstorten moet in het algemeen vooral de BOD-lozing per gebeurtenis in de beschouwing worden betrokken. De dagelijkse BOD-lozing van de zuiveringsinstallatie bedraagt per 1000 i.e. bij 90 % zuivering, 5,4 kg. Uit de ISO-BOD lijnen in de stippengrafiek volgt dat deze hoeveelheid per overstortgebeurtenis, afhankelijk van regenintensiteit, regenduur, berging en overcapaciteit, al gauw wordt geëvenaard, zelfs tot het tienvoudige wordt overschreden. Ook dient te worden bedacht dat de BOD-belasting van de zuiveringsinstallatie toeneemt en bijv. kan worden verdubbeld, als gevolg waarvan bij gelijkblijvend rendement 100 % meer effluent-BOD wordt geloosd.

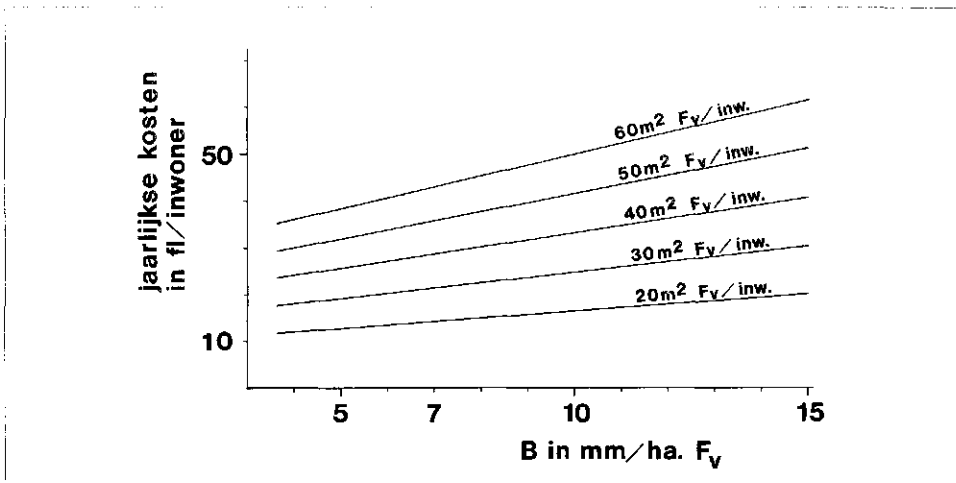
Gezien de hoogte van de berekende BOD bij overstorting kan worden gesteld dat de overstortingsproblematiek grote zorg vereist. Ook in het buitenland is dit feit onderkend. De uitgaven in de VS voor onderzoek op dit gebied, waarvoor in 1972 reeds voor $\$ 80 \times 10^6$ werd uitgetrokken, spreken boekdelen. Geraamd is dat in de VS aan de bestrijding van waterverontreiniging door overstorten in de komende jaren 30 miljard dollar (1973 dollars) dient te worden besteed [10].

Omstrent de bouwkosten van berging in riolering zijn in afb. 8 nadere gegevens verstrekt. Deze kosten omvatten in hoofdzaak buiskosten, bronnering, grondwerk, leggen, huisaansluitingen en directiekosten. Uit deze afbeelding blijkt dat de bouwkosten van rioleringsberging over het algemeen gelijk of hoger zijn, dan van een



Afb. 8 - Bouwkosten riolering per m³ als functie van de diameter.

Afb. 9 - Jaarlijkse kosten riolering in relatie tot berging bij verschillende waarden verhard oppervlak per inwoner.



bassin met dezelfde inhoud. Het kan uit het oogpunt van kosten voordelig zijn additionele berging te realiseren door vergroting van de buisdiameter. Een indicatie van de jaarlijkse kosten voor berging blijkt uit afb. 9.

Deze kosten, prijspeil 1975, zijn bepaald uitgaande van 8 % rente, berekening van rente en afschrijving op annuïteitsbasis bij een afschrijvingstermijn van 40 jaar en 0,6 % exploitatiekosten. De invloed van grotere bebouwingsdichtheid komt hierin goed tot uiting.

De jaarlijkse kosten van een aantal afvalwaterzuiveringsinstallaties van verschillende grootte zijn weergegeven in afb. 10 waarin speciaal het effect van extra overcapaciteit de aandacht vraagt. Voor de samenstelling van deze afbeelding is o.m. uitgegaan van jaarlijkse kostengegevens van Heijn [12] aangepast aan het eerder genoemde rentepercentage en aan het prijspeil 1975. Daarnaast zijn ook de kosten van de variabele hydraulische belasting bij diverse overcapaciteiten in deze afbeelding verwerkt. Naast de spreiding bij een gegeven Pok blijken de jaarlijkse kosten ca. f 10,— per i.e. te kunnen variëren bij gemiddelde jaarlijkse zuiveringskosten van f 20,— à f 30,— per i.e.

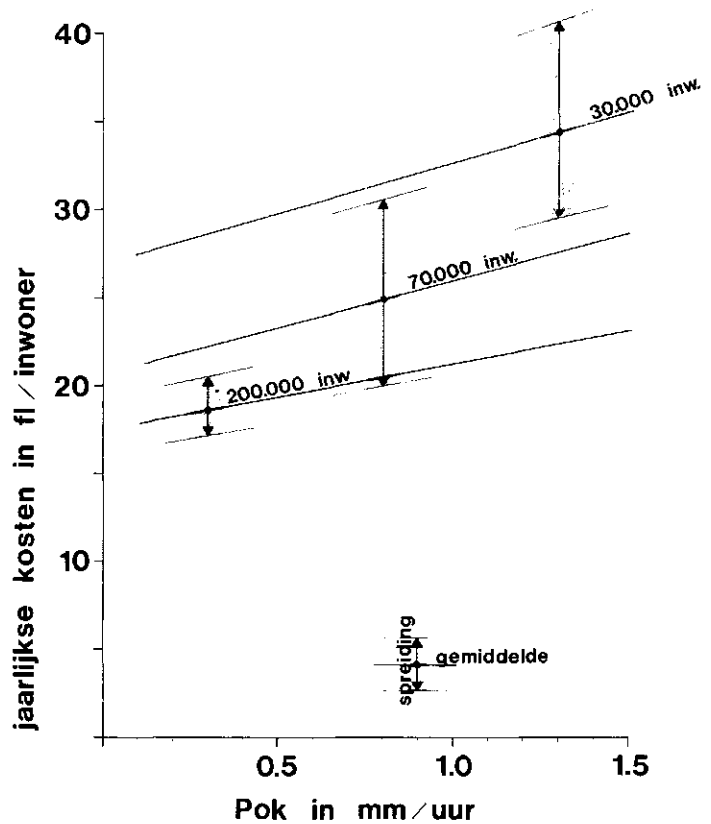
Voor een goede beoordeling van de financiële consequenties van eventuele maatregelen is het van belang ook het onderling verband tussen overstortingsfrequentie, jaarlijkse BOD-lozing en kosten van het gehele systeem te weten.

In afb. 11 is dit weergegeven voor een gebied met 30.000 inwoners, gebaseerd op de eerdergenoemde uitgangspunten.

Het blijkt dat de lijnen van BOD, overstortingsfrequenties en kosten nagenoeg parallel lopen. Hieruit zou kunnen volgen dat qua jaarlijkse kosten geen voorkeur hoeft te bestaan voor berging of overcapaciteit. Voorts wordt bevestigd dat de overstortingsfrequentie een redelijk goede maat is voor de gemiddelde totale jaarlijkse BOD-lozing. In afb. 12 zijn voor een ledigingstijd van 10 uur, BOD-belasting en overstortingsfrequentie weergegeven in relatie tot jaarlijkse kosten bij een gebied van 10.000 inwoners. In dit geval zouden jaarlijkse kosten van een t.o.v. BOD nagenoeg 'absoluut' stelsel f 70,— per i.e. bedragen of f 16,— meer dan bij een stelsel met een jaarlijkse overstortingsfrequentie van 10. Het is duidelijk dat de marginale kosten voor het tegenhouden van de BOD bij lagere BOD-belastingen relatief zeer hoog worden.

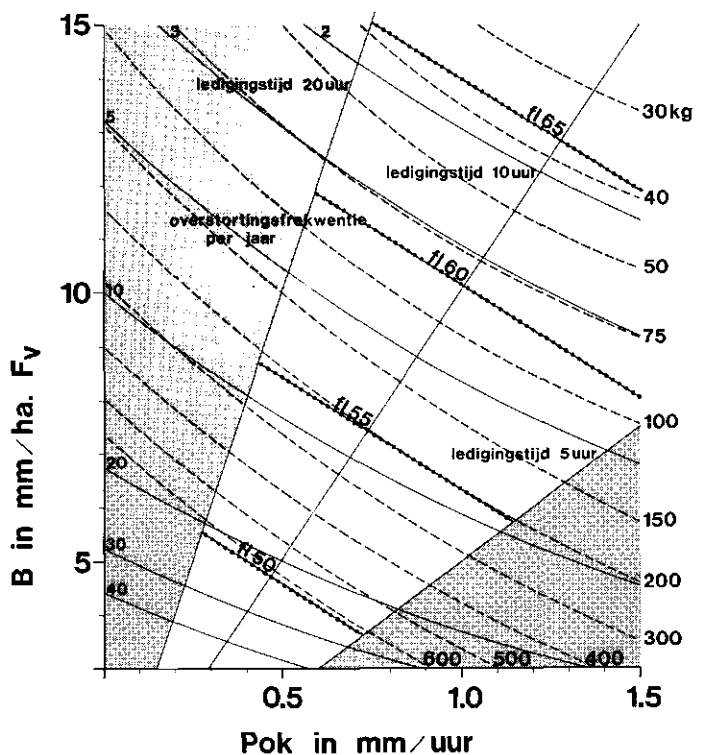
3.4. Nadere kanttekeningen

1. Het is voor de beoordeling van de invloed van een overstort op het opper-



Afb. 10 - Jaarlijkse kosten van een RWZ in relatie tot overcapaciteit.

Afb. 11 - Lijnen van gelijke jaarlijkse kosten per inwoner, overstortingsfrequentie en jaarlijkse BOD-belasting in kg/1000 inw. inclusief effluent tijdens overstorting in relatie tot berging en overcapaciteit (30.000 i.e.).



Afb. 12 - Relatie tussen BOD-belasting, overstortingsfrequentie en ledigingstijd bij een gebied van 10.000 inwoners.

vlaktewater niet zonder meer juist, slechts de totale BOD-belasting te bezien. Overstortingen vinden vaak plaats op relatief kleine watergangen, in tegenstelling tot effluentlozingen welke meestal op groter ontvangend water plaatsvinden. Gezien het karakter als geconcentreerde stootlozing van een overstorting komt dit onjuist voor. Overstortpunten dienen zeer zorgvuldig te worden gekozen, met voorkeur voor ruim ontvangend water.

2. In afb. 1 is uitgegaan van volledig homogene menging over het hele rioleringsstelsel. Voor de berekening van de overstortende BOD wordt de volledige BOD in het gehele stelsel in rekening gebracht. Indien een gedeelte van de BOD wordt afgezonderd in een aparte ruimte zonder overstort, waarin na vulling geen aanvoer meer wordt toegelaten, dan zal ook minder BOD kunnen overstorten.

Berekend wordt in het geval van afb. 1 dat overgestort wordt 47 kg BOD. Indien bijv. van de 7 mm berging, 3 mm in de vorm van een afzonderlijk retentie bassin (geen overstort) aanwezig is, stort slechts 32 kg BOD over, waardoor een reductie van ruim 30 % wordt bereikt. Hieruit blijkt dat het soms, door een zo voordelig mogelijke indeling van nuttige berging in het systeem, mogelijk is de overstortende hoeveelheid BOD te reduceren.

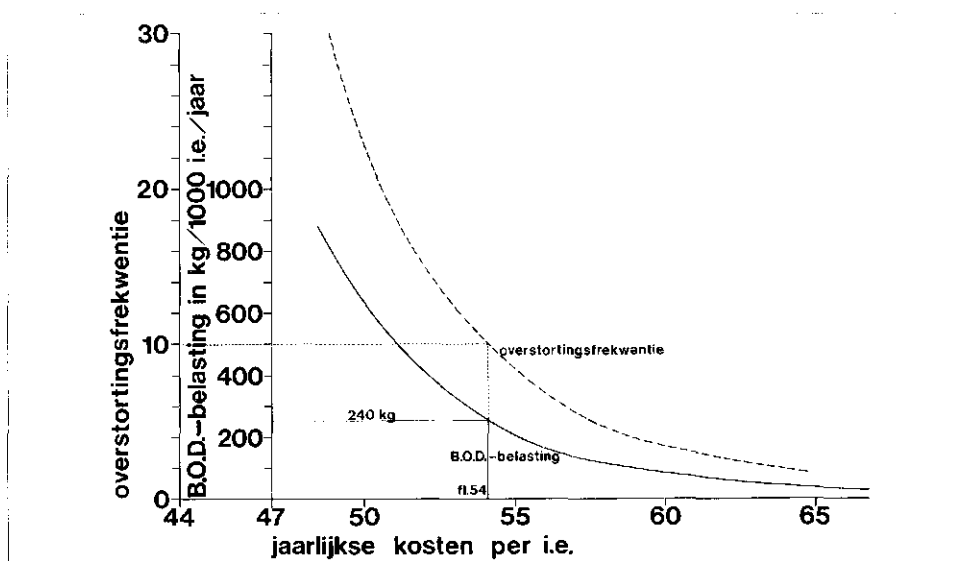
3. Een reductie zou ook kunnen worden bereikt indien in het retentie bassin de eerste 'vuil-golf' (first-flush) zou kunnen worden opgevangen. De inhoud van het bassin zou dan tenminste gelijk moeten zijn aan de totale afvoer gedurende de looptijd van het stelsel van een regen met voldoende spoel-effect, verminderd met de totale doorvoer in deze tijd.

In het algemeen kan moeilijk aan deze eis worden voldaan, tenzij het gebied in kleine gebieden kan worden verdeeld, elk met een eigen retentie bassin.

4. Bij alle berekeningen is uitgegaan van 90 % rendement van de zuiveringsinstallaties. Deze waarde is zeker haalbaar als de slibbelasting niet groter is dan 0,5 kg BOD/kg d.s. De verblijftijd in de actiefslibinstallatie mag dan niet te laag, bijv. kleiner dan 1 uur, worden.

Door de extra, bijv. dubbele, aanvoer van BOD en een reductie van de slibconcentratie in de actiefslibinstallatie door overcapaciteit bij regen, zal de slibbelasting zeker beïnvloed worden. Omtrent de consequenties van de variaties van deze belasting in korte tijd bestaan echter weinig gegevens.

Met betrekking tot de RWZ wordt voorts opgemerkt dat in verband met de tijdelijk hoge BOD-aanvoer tijdens regenaanvoer



Afb. 12 - Jaarlijkse BOD-belasting tijdens overstorting en overstortingsfrequentie in relatie tot jaarlijkse kosten rioolwatersysteem inclusief RWZ (30.000 i.e.) bij ledigingstijd van 10 uur.

(zie fase 2, afb. 1) voldoende zuurstoftoevoervermogen op de RWZ beschikbaar moet zijn.

5. Ook bij de opzet van het totale rioolwatersysteem moet, om overlapping en aanrotting te voorkomen, de ledigingstijd zo kort mogelijk worden gehouden.

6. Het voordeel van de bovengenoemde opzet is vooral gelegen in een zekere identificatie van enige maatgevende factoren zoals berging, overcapaciteit, regenintensiteit, d.w.a., slib-, regen-, straatverontreiniging enz. Zonder twijfel dienen de uitgangspunten, voor een goed inzicht, te worden getoetst aan de werkelijkheid.

Nader onderzoek is o.a. vereist naar de bezinking in riolering, aan- en afvoerhydrograaf, opwoeling, invloed op oppervlaktewater en invloed op zuiveringsrendement RWZ. Uiteraard moet naast de BOD ook aandacht worden besteed aan aspecten als P, N, bacteriën enz. Kwantitatieve en kwalitatieve meting van influent en effluent van de RWZ tijdens regenaanvoer, zal wellicht reeds een redelijke beoordeling van de problematiek mogelijk maken.

4. Behandeling van overstortwater

In het voorgaande is steeds uitgegaan van de lozing van onbehandeld overstortwater. In onderstaande wordt nader ingegaan op de behandeling van overstortwater.

4.1. Mechanische zuivering

Mechanische behandeling van overstortwater met behulp van roosters en bezink-tanks is ook in Nederland reeds eerder toegepast. Volgens het onderzoek van Gameson zou het, door bezinking van slibstoffen, mogelijk zijn 50 % van de BOD

in overstortwater terug te houden. Voor Nederlandse omstandigheden zijn mij hierover geen exacte gegevens bekend. Een probleem bij het ontwerpen van bezinkbassins voor overstortwater uit de riolering is, dat de inloop- en uitloophydrograaf van het rioleringsstelsel bekend moet zijn.

Steele [13] heeft de toepassing van bezinkbergingstanks in Coventry beschreven. Hij vermeldt, dat bij een verblijftijd van 20 à 40 min. de resultaten aanvaardbaar zijn, evenwel zonder waarden te noemen. In de literatuur wordt ook wel een verblijftijd van 10 minuten vermeld.

Krauth [7] vermeldt dat bezinking van overstortwater goed mogelijk is, doch ontraadt de toepassing, daar de kwaliteit van het ingevoerde water volgens zijn mening beter is dan het tegelijkertijd overstortende — bezonken — water. In de VS wordt uitgebreid onderzoek verricht naar meer geavanceerde behandelingsmethoden van overstortwater. Een groot probleem bij de behandeling van overstortwater is de grote variatie in samenstelling en de grote hoeveelheid die in kort tijdsbestek behandeld moet worden. Biologische behandeling van overstortwater is weliswaar in studie ten behoeve van 'polishing' van gezuiverd overstortwater, doch is minder geschikt voor algemene toepassing. Het onderzoek richt zich dan ook meestal op fysisch-chemische behandeling. Een aantal methoden en studies zijn in het onderstaande beknopt behandeld.

4.2. Microscreening

'Microscreening' is reeds toegepast voor 'polishing' van effluent van een zuiveringsinstallatie. Hierbij wordt een oppervlaktebelasting van ca. 25 m³/m²/h als maximum

aangehouden. Volgens proeven op model-schaal van het US Environmental Protection Agency (EPA) [9], zou bij de behandeling van overstortwater met een belasting van 86 tot 110 m³/m²/u, een verwijdering van zwevende stof tot 99 % mogelijk zijn. Een, in vergelijking met normale omstandigheden, tijdelijke overbelasting van de 'microscreen' wordt niet onoverkomelijk geacht.

4.3. Hoog belaste filters

Met speciale hoogbelaste filters zou volgens de EPA [9] bij filterbelastingen tot 80 m³/m². u een verwijdering van 70 % aan zwevende stoffen kunnen worden gerealiseerd (belasting conventionele filters tot 12 m³/m²/u). Door toevoeging van chemicaliën, zoals polyelectrolyten en aluminiumsulfaat, zou een BOD-verwijdering tot 80 % en een verwijdering van zwevende stof tot 90 % mogelijk zijn.

4.4. Flotatie

Proeven op modelschaal in Milwaukee [9] waarbij met behulp van fijnverdeelde lucht de zwevende stoffen worden opgedreven, resulteerden in een zwevende stof afscheiding tot 85 %.

4.5. Overstortconstructie Type 'Wervel' (Vortex Overflow of Swirl)

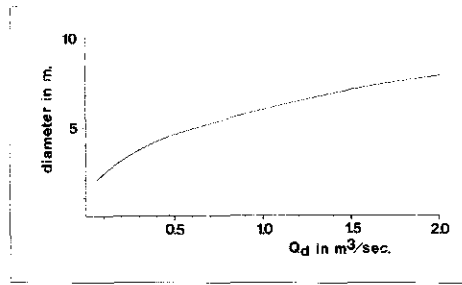
Over de zogenaamde Vortex overflow wordt door Smisson [14] gerapporteerd. In deze overstortconstructie wordt afscheiding van vaste stof gerealiseerd door rotatie in plaats van door bezinking. De slibstoffen worden onder in de bak ingevoerd en afgetapt. Lichte stoffen worden door duikschotten tegengehouden. Het van deeltjes ontdane water stort in de tank over. Field [10] beschrijft een verdere vertijning van dit systeem.

Door uitgebreide proeven op modelschaal onder verantwoordelijkheid van de EPA zijn inmiddels ontwerpnormen tot stand gekomen. Field is bij proeven uitgegaan van de samenstelling van de slibstoffen volgens tabel III.

In afb. 13 is de gewenste diameter van de werveloverstortconstructie uitgezet als functie van aanvoer. Voor de maatgevende regenintensiteit wordt wel uitgegaan van een periodiciteit p van 1/3 of 1/5.

Het scheidingsrendement bij de ontwerp-hydraulische belasting zou voor zand met deeltjesgrootte 0,35 mm (s.g. 2,65), alsmede voor bezinkbare stof met deeltjesgrootte 1 mm (s.g. 1,2) ca. 90 % bedragen. Kleinere delen worden ook afgescheiden, doch in mindere mate.

In afb. 14 is een ontworpen overstortconstructie type wervel volgens de ontwerp-



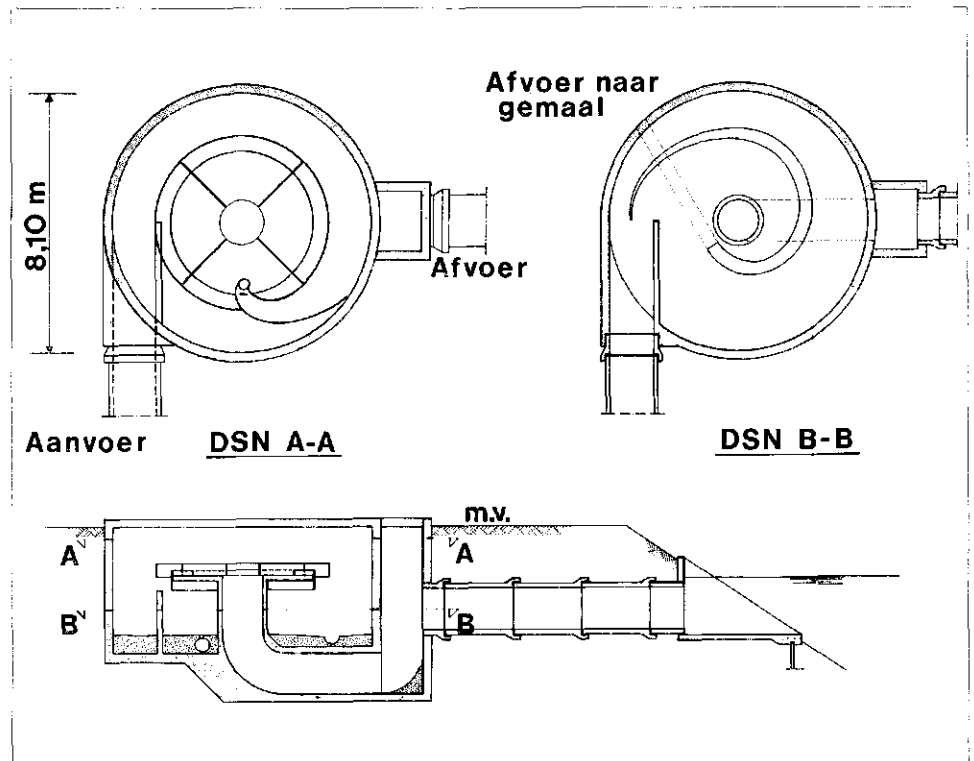
Afb. 13 - Diameter overstort type 'Wervel' in relatie tot aanvoer.

gegevens van Field weergegeven voor een Nederlands rioleringsstelsel.

De bak is ontworpen voor een regenintensiteit van 60 l/s/ha en heeft een inhoud van 85 m³. De verblijftijd is ca. 45 sec. De kosten van deze overstortput bedragen naar schatting f 70.000,—. In deze kosten zijn begrepen voorzieningen voor het

Afb. 14 - Rioleringsoverstort type 'Wervel'.

Ontwerpnormen: Regenintens. 60 l/sec.
10.000 inwoners
Verh. opp. 35 m²/inw.



schoonspuiten van de put na afloop van de overstorting.

Het behoeft geen betoog dat deze kosten slechts een fractie zijn van die van een bassin waarin een gelijke scheiding door bezinking moet worden gerealiseerd, hoewel hoger dan van een gewone overstortput (f 40.000,—). Deze ontwikkeling kan dan ook voor de Nederlandse rioleringsstechniek van uitermate groot belang zijn.

De overstortconstructie volgens het type wervel is vooral geschikt als eindoverstort. De afgescheiden stoffen kunnen dan direct door het gemaal worden verpompt naar de zuiveringsinstallatie.

4.6. Overige behandelingsmethoden

In de literatuur wordt melding gemaakt van onderzoeken naar behandelingsmethoden met actieve kool, filtratie, chlorering, polymerdosering, chemische

TABEL III - Specific Gravity, Size and Concentration of Suspended Solids in Combined Wastewater.

Material	Specific Gravity	Concentration mg/l	Particle (mm)	Particle Size Distribution				
				(upper line - size mm) (lower line - % by weight)				
Settleable solids excluding grit	1,2	200 - 1500	0,2 - 5	0,2	0,5	1,0	2,5	5,0
				10	10	15	25	40
				0,2	0,5	1,0	1,5	2,0
Grit	2,65	200 - 360	0,2 - 2	10	10	15	25	40
				5	10	15	20	25
				10	10	20	20	40
Flotable	0,0 - 0,998	10 - 80	5,25	10	10	20	20	40

oxydatie, hoog belaste oxydatiebedden, roterende biologische schijven enz.

Deze onderzoeken verkeren nog in een beginstadium, resultaten zijn nauwelijks beschikbaar.

4.7. Preventieve maatregelen

In Amerika wordt bij uitgestrekte rioleringsstelsels een regeling van de afvoer toegepast, compleet met computer-controle waardoor de beschikbare inhoud van de riolering zo goed mogelijk wordt benut om overstorten te voorkomen. Wellicht ook voor Nederland interessant zijn de hiervoor in de riolering toegepaste opblaasbare rubberstuwen [15]. Van belang is ook het schoonvegen van de straten. Het op deze wijze verwijderen van straatvuil zou niet alleen goedkoper zijn dan verwijdering door het rioleringsstelsel, doch is vooral van belang als middel om vervuiling door overstorten als gevolg van dit straatvuil te voorkomen. Waar mogelijk kan ook het rioolstelsel door spoeling schoongehouden worden. Het effect van spoelen mag echter niet worden overschat. Om de vereiste sleepkracht te realiseren is niet slechts voldoende verhang nodig, doch ook voldoende vulling van het riool gedurende betrekkelijk lange tijd.

5. Samenvatting en conclusies

1. Het stellen van eisen aan overstortlozingen wordt bemoeilijkt door onvoldoende inzicht in de factoren welke de verontreiniging van het oppervlaktewater samenhangend met overstorten van het rioleringsstelsel beïnvloeden. Uitsluitel kan slechts worden verkregen door gedegen onderzoek. Volgens benaderende berekeningen kan de verontreiniging per overstortgebeurtenis aanzienlijk hoger zijn dan van de lozing van het effluent van een zuiveringsinstallatie bij d.w.a. De gemiddelde jaarlijkse verontreiniging is minder dan de jaarlijkse effluentlozing, afhankelijk van de geïnstalleerde berging en overcapaciteit.

2. Uitgaande van een aanvaardbare ledigingstijd en een bepaalde toegestane belasting van het oppervlaktewater, is er op grond van economische overwegingen, volgens de in dit artikel toegelichte berekeningen, een zekere graad van vrijheid aanwezig om te kiezen tussen berging of overcapaciteit. De ledigingstijd dient daarbij zeker de 10 à 15 uur niet te boven te gaan in verband met anaërobie en potentiële verontreiniging bij overlapping van regens.

3. Volgens sterke indicatie verdient het ter beperking van de BOD-belasting van het oppervlaktewater aanbeveling, voor zover

de hydraulische dimensionering van de riolering dit toelaat, een groot gedeelte van de benodigde nuttige berging te installeren in retentiebasins (zonder overstort).

4. Behandeling van overstortwater is tot dusver in Nederland beperkt tot bezinking in bassins. Met de toepassing van bergingsbezinktanks met overstort moet de nodige voorzichtigheid worden betracht, daar de lozing relatief zeer verontreinigd kan zijn. Meer geavanceerde methoden, waaronder chemische, biologische en andere fysieke behandelingsmethoden, zijn in het buitenland en vooral in de VS in studie. Eventuele toepassing van deze methoden in Nederland is, afgezien van de resultaten van deze studie, mede afhankelijk van een beter inzicht in de aard en mate van vervuiling door overbelasting van het rioleringsstelsel met regenwater. Een interessante ontwikkeling kan zijn de overstortconstructie volgens het type 'wervel', welke relatief weinig investeringen vereist en een grote scheiding van slibstoffen uit overstortwater mogelijk zou maken.

Literatuur

1. Commissie Riolering en Watervernieuwing, Rapport 5 H₂O (1972) no's 10 en 12.
2. Eggink, H. J. en Hulshof, J. E., *Het verontreinigend vermogen van overstortend rioolwater in relatie tot de overstortingsfrequentie*, 1 H₂O (1968) no. 8, blz. 166-171.
3. Man, A. de, *Berging contra overcapaciteit*, 6 H₂O (1973) no. 6 blz. 129-136.
4. Van den Herik, A. G. *Rioolstelsels in relatie tot behandeling van afvalwater*, 6 H₂O (1973) no. 21, blz. 551-559.
5. Duin, J. F., *BZV-lozing door een rioolwaterstelsel*, 6 H₂O (1973) no. 10, blz. 236-243.
6. Gameson, A. J. L. en Davidson, R. N., *Storm water investigations at Northampton*, Journal of the Institute of Sewage Purification (1963), blz. 105-130.
7. Krauth, K., *Der Abfluss und die Verschmutzung des Abflusses in Mischkanalisation bei Regen*, Dissertatie Universiteit Stuttgart (1971).
8. De Filippi, A. en Shih, C. S., *Characteristics of separated storm and combined sewer flows*, (43) Journal Water Pollution Control Federation (1971), blz. 2033-2058.
9. Field, R. en Struzeski, E. J., *Management and control of combined sewer overflows*, (44) Journal Water Pollution Control Federation (1972), blz. 1393-1415.
10. Field, R., *Design of a combined sewer overflow regulator/concentrator*, (46) Journal Water Pollution Control Federation (1974), blz. 1722-1741.
11. Otto, H., *Der Einfluss von Misch- und Trennkanaalisation auf den Vorfluter*, 5 H₂O (1972) blz. 460-472.
12. Heyn, J. P., *Kosten van zuiveringstechnische werken*, 7 H₂O (1974), blz. 534-535.
13. Steele, B. D., *The treatment of storm sewage*, Symposium on storm sewage, Institution of Civil Engineers (1967), blz. 23-27.
14. Smisson, B., *Design, construction and performance of vortex overflows*, Symposium on

storm sewage, Institution of Civil Engineering (1967), blz. 99-110.

15. Pew, K. A., Callery, R. L., Brandstetter, A. and Anderson, J. J. *Data acquisition and combined sewer controls in Cleveland*, 46 Journal Water Pollution Control Federation (1973), blz. 2276-2289.

16. Warren, J. en Bewtra, J. K., *A model to study the effects of time variable pollutant loads on stream quality*, 8 Water Research (1974), blz. 1057-1061.

