

Vuiluitworpreducerende voorzieningen en afvoerregulerende middelen in rioolstelsels

Samenvatting van voordracht gehouden voor de NVA op 7 november 1984.

1. Inleiding

Om de vuiluitworp uit rioolstelsels op het ontvangende water te verminderen worden veelal randvoorzieningen gemaakt. In het kader van het Nationaal Onderzoek Riolerings en Waterkwaliteit (NORW), een samenwerkingsverband tussen het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) en de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA), is een onderzoek verricht naar de stand van zaken in het buitenland met betrekking tot deze vuiluitworpreducerende voorzieningen in rioolstelsels.



I.R. J. G. A. COPPES
Raadgevend Ingenieursbureau
Witteveen + Bos, Deventer

Het doel van dit onderzoek was om te komen tot een selectie van een aantal veelbelovende voorzieningen, geschikt voor toepassing in de Nederlandse rioleringsituatie. Het onderzoek heeft zich gericht op die voorzieningen, die gesitueerd zijn *tussen* het rioolstelsel en het ontvangende water, en die tot doel hebben de hoeveelheid geloosd of overstortend water te verminderen en/of te behandelen. Omdat randvoorzieningen als vijvers, lagunes en biezenvelden buiten het rioolstelsel liggen, zijn deze buiten de studie gehouden.

Daarentegen is in het onderzoek wel enige aandacht besteed aan afvoerregulering. Het betreft hier maatregelen die *in* het rioolstelsel worden getroffen en die ook leiden tot reductie van de vuiluitworp uit rioolstelsels. Afvoerregulering is een systeem waarbij stroming in een rioolstelsel zodanig wordt gestuurd, dat overstortingen in hoeveelheid, frequentie van voorkomen en plaats van optreden, kunnen worden beïnvloed. Hoewel deze benadering wezenlijk anders is dan de aanpak van de overstortproblematiek via overstortvoorzieningen, is het resultaat hetzelfde, namelijk reductie van de vuiluitworp uit rioolstelsels.

Deze publikatie is een samenvatting van de belangrijkste onderzoeksresultaten [NWRW, 1984].

2. Vuiluitworpreducerende voorzieningen in het buitenland

In de literatuur over vuiluitworpreducerende voorzieningen wordt veelal onderscheid gemaakt tussen enerzijds fysische behandelingssystemen en anderzijds fysisch-chemische en biologische behandelingssystemen. De literatuur over fysische behandelingssystemen komt voornamelijk uit de

Verenigde Staten en Europa. Bij de fysische behandelingssystemen worden, door gebruik te maken van de zwaartekracht, de bezinkbare delen van het rioolwater geconcentreerd. Daarbij wordt het concentraat zoveel mogelijk afgevoerd naar de rwzi, terwijl het relatief schone water overstort. Met betrekking tot de fysisch-chemische en biologische behandelingssystemen zijn de meeste gegevens afkomstig uit de Amerikaanse literatuur. Achtergrond hiervan is dat de gemengde rioleringsystemen in de Verenigde Staten geringe berging en afvoercapaciteit bezitten, waardoor zeer vaak overstortingen optreden (50-200 keer per jaar), zelfs bij afvoerpieken onder droogweercondities. Door de veel grotere volume en frequentie van overstortingen is toepassing van relatief complexe systemen, die verregaande zuivering beogen, eerder verantwoord dan in Nederland. In het onderzoek zijn de volgende vuiluitworpreducerende voorzieningen onderzocht:

a. Fysische systemen

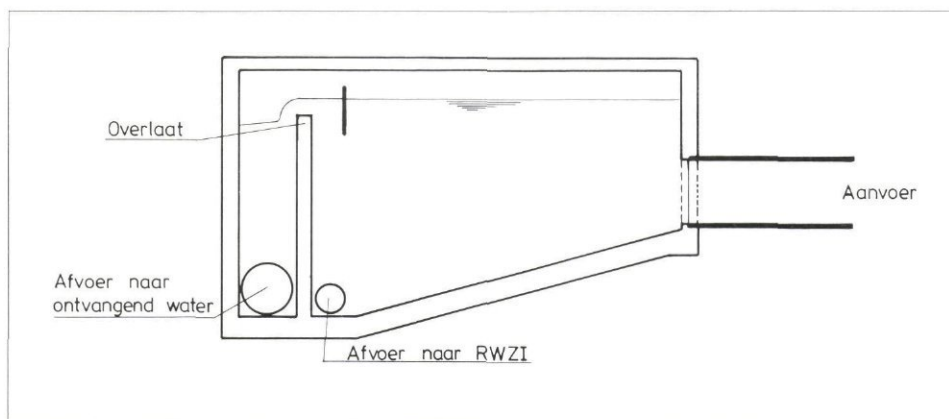
- conventionele overstortput;
- verbeterde (geoptimaliseerde) overstortput, een voorziening waarbij door middel van de vormgeving van de put is getracht de vuilscheidende werking te vergroten.

Drie typen zijn nader onderzocht, namelijk

- de stilling pond (afb. 1), de double sided weir en de shaft overflow (afb. 2);
- bergbezinkbassin (afb. 3), waarbij twee typen te onderscheiden zijn, namelijk het vangbekken en het doorloopbekken;
- werveloverstort (afb. 4), een ronde overstortput met cirkelvormige overstortrand in het hart van de put en een afvoeropening voor het bezonken materiaal, dat zich door de centrifugale werking van het ronddraaiende water nabij het midden van de putbodem concentreert;
- teacup separator (afb. 5), een ronde overstortput met trechtervormige bodem waar het bezonken materiaal wordt verzameld en een centrale verticale afvoerbuis voor het overstortwater;
- helical bend (afb. 6), een geleidelijk verwijdend open afvoerkanaal met een hellende bodem en een overstort aan de buitenzijde;
- zeven/filters, waarbij vast opgestelde danwel om een verticale of horizontale as (afb. 7) roterende typen onderscheiden kunnen worden.

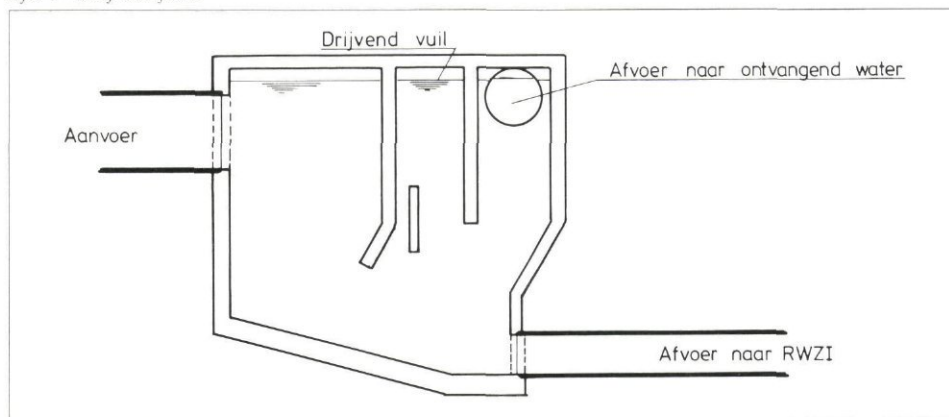
b. Fysisch-chemische en biologische systemen

- flotatie
- flocculatie/coagulatie
- actief-kooladsorptie
- desinfectie



Afb. 1 - Verbeterde overstortput van het type stilling pond.

Afb. 2 - Shaft overflow.



- contactstabilisatie
- bioschijven
- oxydatiebedden

Het vuilscheidend vermogen van de fysisch-chemische en biologische systemen berust op dezelfde principes als bekend uit de afvalwaterzuiveringstechniek.

De geschiktheid van een bepaalde vuiluitworpreducerende voorziening is aan een aantal selectiecriteria getoetst, waarbij de evaluatie is gepresenteerd in matrixvorm (afb. 8). Er blijkt in de meeste gevallen geen absoluut toetsingscriterium te zijn. De criteria wegen bovendien niet allemaal

even zwaar. De onderlinge afweging heeft dus slechts een vergelijkende waarde.

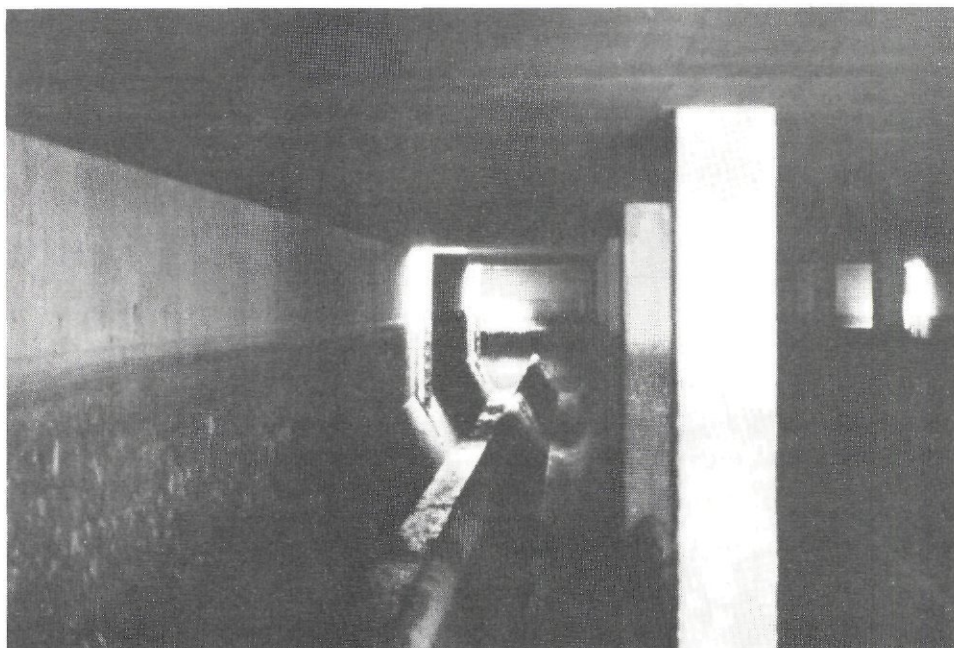
3. Belangrijke conclusies van het onderzoek

Op grond van de onderlinge afweging van de verschillende vuiluitworpreducerende voorzieningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor de Nederlandse situatie komen de fysisch-chemische en biologische behandelingssystemen niet in aanmerking. Belangrijkste bezwaren zijn de grote gevoeligheid, het hoge energieverbruik en de hoge (stichtings- en onderhouds)kosten.

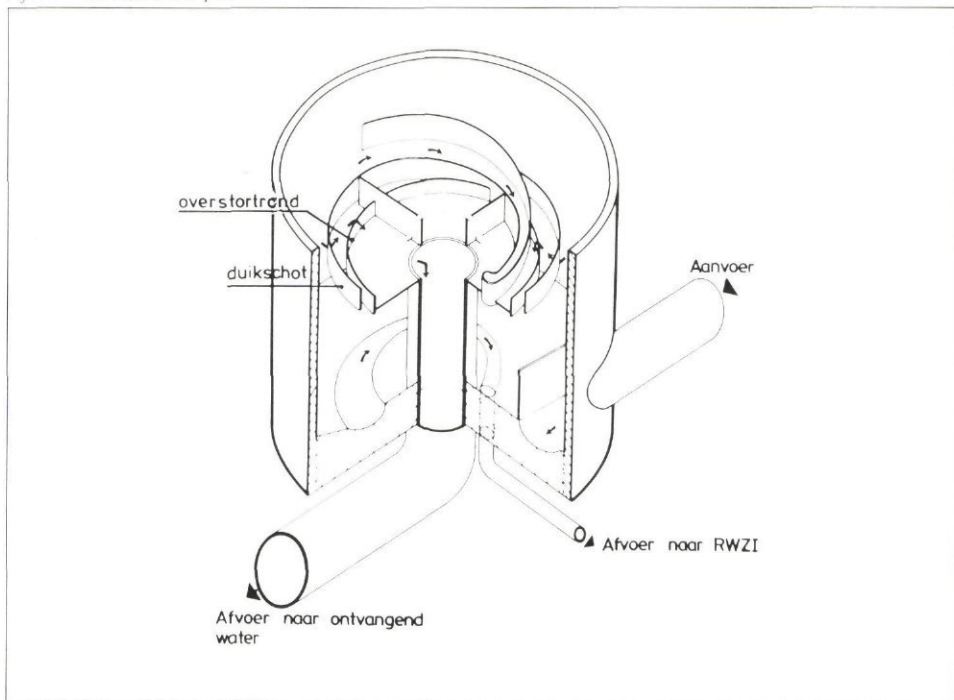
Mede gelet op de relatief lage overstortfrequentie in Nederland zijn deze systemen niet geschikt. Voor het efficiënt functioneren is immers een veel frequenter aanvoer van water nodig, zoals inderdaad in de Verenigde Staten het geval is.

- Beperking van de overstortbelasting, zowel in kwantiteit als kwaliteit, kan voor een belangrijk deel bereikt worden door een meer optimaal gebruik te maken van bestaande berging in het stelsel of door vergroting van de berging buiten het stelsel. In die zin lijkt het bergbezinkbassin (veel toegepast in Duitsland en Oostenrijk) een geschikte vuiluitworpreducerende voorziening voor de Nederlandse situatie. Nuancering naar de omstandigheden waaronder het bergbezinkbassin optimaal functioneert is echter wel nodig. Omdat het bergbezinkbassin doorgaans nogal duur is, lijkt nader onderzoek naar goedkopere uitvoeringen zeer zinvol. In dit verband is de Flow Balancing Method (afb. 9) vermeldenswaard. In het ontvangende water wordt een bepaald gedeelte door middel van plastic schermen afgescheiden, dat dan functioneert als bergbezinkbassin. Berging van het overstortwater berust op het principe van verdringing van het ontvangende water. Een overzicht van de in de literatuur vermelde verwijderingsrendementen van bergbezinkbassins is weergegeven in tabel I.
- Van de andere fysische behandelingssystemen komt de werveloverstort als beste naar voren. Belangrijkste reden zijn de eenvoud, reactiesnelheid en het vuilscheidend vermogen in relatie tot de kosten. In diverse landen (Verenigde Staten, Frankrijk, Noorwegen, Japan) is met de werveloverstort geëxperimenteerd, terwijl ook op praktisch schaal, deze voorziening al



Afb. 3 - Bergbezinkbassin.

Afb. 4 - Werveloverstortput.



TABEL I - Verwijderingsrendementen van bergbezinkbassins.

Auteur	Verwijderingsrendement
Field (1980) (1,2 m ³ /m ² · h belasting)	25-40% BZV 55% zwevende stof
Field en Fan (1981)	15-84% BZV 15-70% zwevende stof
Finnemore en Lynard (1982)	54 (26-68)% BZV 73(45-93)% zwevende stof
Field en Turketaub (1981) (gescheiden stelsel)	30% BZV/34% CZV 50% zwevende stof 8-39% zware metalen 22% t-P 7% o-P 12% olie en vetten
Friedland et al (1970)	35% CZV 50% zwevende stof 10% t-N
Lynard (1981)	20-60% zwevende stof 30-90% bezinkbare stoffen 38% t-N 35% (14-50) t-P 7% o-P
Pitt (1977)	45% zwevende stof

meerdere malen is toegepast. Het vuilverwijderend vermogen van de werveloverstort is zowel in laboratoriumexperimenten onderzocht [Field, 1974; Kuribayashi, 1980] als aan de hand van praktijkproeven [Field et al, 1977; Lygren, 1980]. Verwijderingspercentages, die op grond van de laboratoriumexperimenten zijn voorspeld voor het ontwerpdebiet, zijn weergegeven in tabel II.

– Hoewel minder effectief wat betreft de vuilscheidende werking, lijkt tenslotte ook de verbeterde overstortput geschikt voor nader onderzoek. Er zijn vele varianten waarmee,

TABEL II – Verwijderingspercentages werveloverstort.

Soort deeltjes	Deeltjesgrootte (mm)	Soortelijk gewicht	% verwijdering
drijvende stoffen	5–50	0,90–0,96	65– 80
grind en zand	> 0,3	2,65	90–100
	0,2–0,3	2,65	75
	0,1–0,2	2,65	40
	> 1	1,2	80–100
bezinkbaar organisch materiaal	> 1	1,2	30
	0,5–1,0	1,2	30
	0,3–0,5	1,2	20

met name in Groot Brittannië, geëxperimenteerd wordt. Hier zijn eenvoud, geringe ruimtegebruik en lage kosten de belangrijkste voordelen.

4. Kosten-effectiviteit en nader onderzoek

Van de drie meest belovende vuiluitworp-reducerende voorzieningen (verbeterde overstortput, bergbezinkbassin en werveloverstort) is getracht de kosten-effectiviteit te bepalen. Hiertoe zijn indicatieve kosten-effectiviteitsberekeningen uitgevoerd voor een rioleringsgebied van 1.000 i.e. met een pompovercapaciteit van 0,7 mm/uur per ha verhard oppervlak (F_v) en een berging in het stelsel en op straat van resp. 7 en 1 mm per ha F_v .

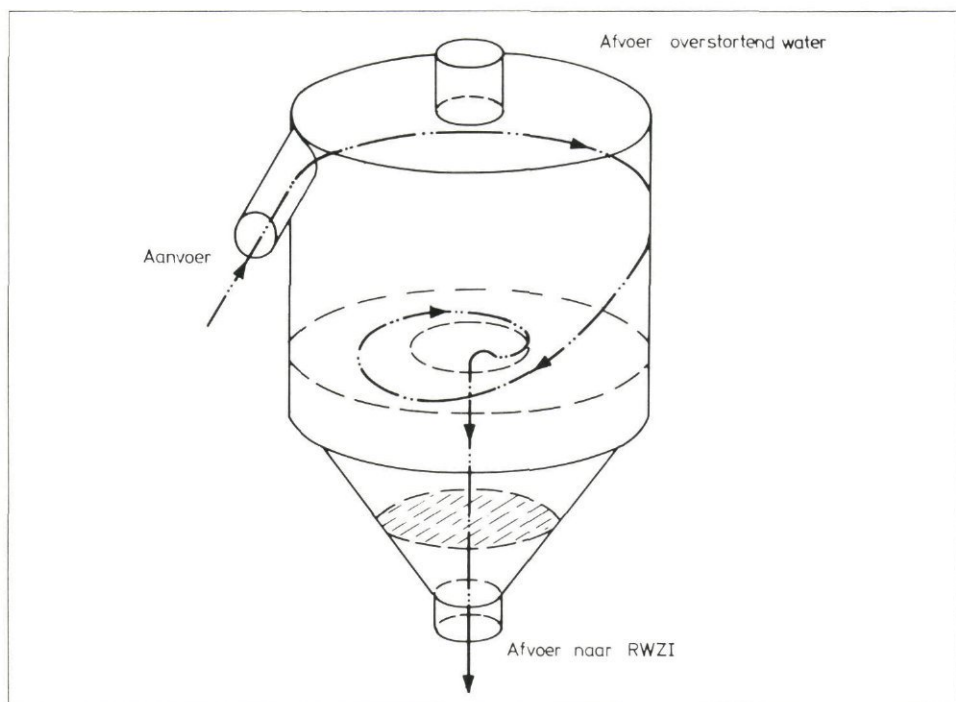
De kosten-effectiviteit van de verbeterde overstortput, uitgedrukt in guldens per kg verwijderde BZV per jaar is becijferd op 325–725, terwijl dit voor de werveloverstort varieert tussen 200–300, aannemende dat het gemiddelde verwijderingsrendement 50% bedraagt. De kosten-effectiviteit van een bergbezinkbassin, ligt in tussen 830 en 1.150 gulden per kg BZV verwijdering per jaar (uitgaande van een gemiddeld rendement van 50%; hierbij is rekening gehouden met het extra vuilafvangend vermogen, dat toe te schrijven is aan de bergingscapaciteit).

Deze kosten-effectiviteitsberekeningen zijn gebaseerd op gemiddelde verwijderingsrendementen (soms alleen nog maar bepaald op laboratoriumschaal) en een gemiddelde samenstelling van het rioolwater. Grote onbekende blijkt inderdaad vaak nog de samenstelling van het aangeboden rioolwater te zijn (als functie van de plaats van de overstort in het stelsel alsmede van het type rioleringsgebied). De genoemde waarden zijn daarom slechts indicatief en verdienen door praktijkonderzoek nadere onderbouwing.

In het kader van het Nationaal Onderzoek Riolerings en Waterkwaliteit worden dan ook bergbezinkbassins in Amersfoort en Kerkrade op praktijkschaal onderzocht en is onlangs een onderzoek naar de werking van een werveloverstort in Goes (afb. 10) gestart. De Werkgroep is tenslotte recentelijk begonnen de toepasbaarheid van de verbeterde overstortputten nader te onderzoeken.

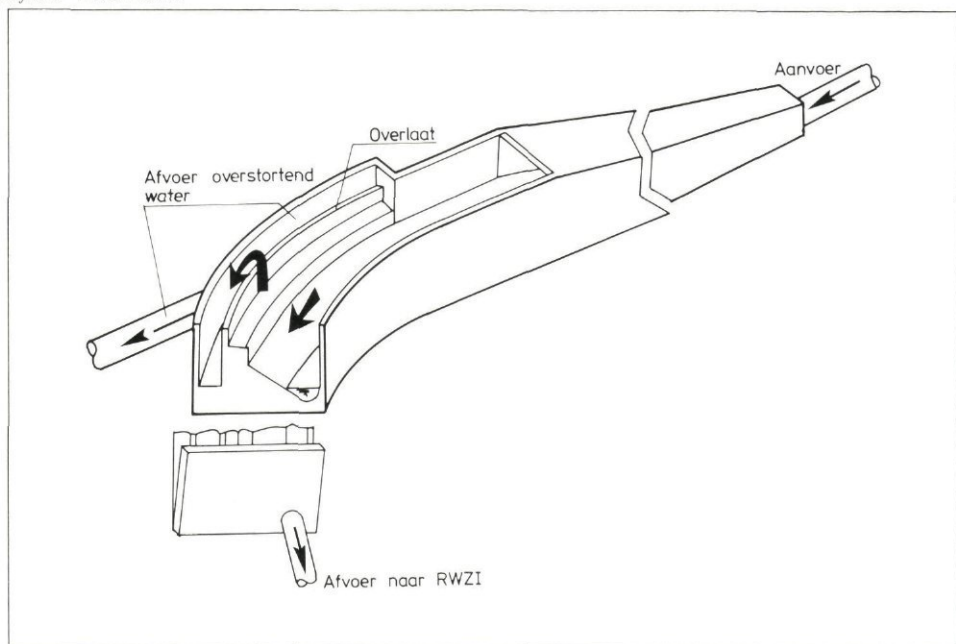
5. Afvoerregulering

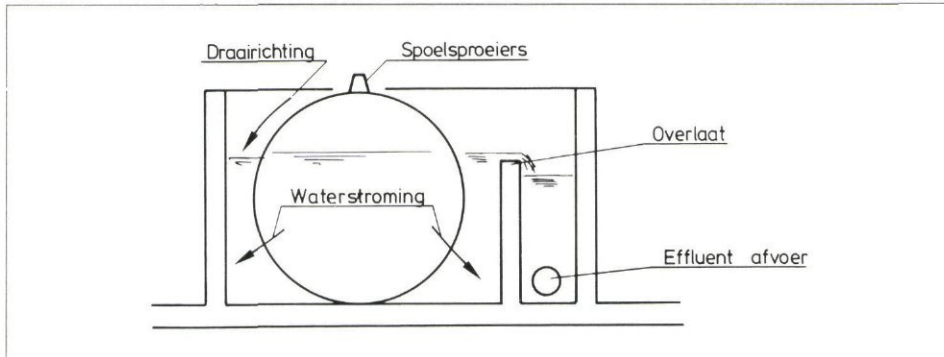
In de loop van het onderzoek kwam steeds naar voren dat reductie van de vuiluitworp uit rioolstelsels door middel van randvoorzieningen zeker niet de enige oplossing is. Ter illustratie is in afb. 11 dat deel van de hydrologische kringloop weergegeven dat



Afb. 5 - Teacup separator.

Afb. 6 - Helical bend.





Afb. 7 - Roterende zeef met horizontale as.

- Opblaasbare stuwen
- Stein Scrup (Steinschroef)
- Selecteur d'engouffrement (rioolinvoerregelaar)
- Kleppen en afsluiters, handbediend of computergestuurd
- Berg- en doorspoelmodules

De eerste drie afvoerregulerende middelen berusten op hetzelfde principe. Het betreft hier een voorziening, waarin een spiraalstroming wordt opgewekt met het doel een bepaalde (constante) afvoer van regen- of rioolwater te bewerkstelligen, bij variërende aanvoer (afb. 12).

Afvoerregulering kan één voorziening betreffen (bijvoorbeeld open of dicht draaien van een bepaalde klep), het kan echter ook een geheel rioolstelsel omvatten. In de Verenigde Staten zijn gevallen bekend waarbij tijdens een bui alle gegevens met betrekking tot waterdieptes, stroomsnelheden en dergelijke in een rioolstelsel centraal worden verwerkt en waarbij dan door middel van afvoerregulerende middelen de waterstromen zo worden gestuurd dat overstortingen zoveel mogelijk worden beperkt. Gebruik van een computer is hierbij onontbeerlijk [Field, 1982].

De combinatie van afvoerregulering met het streven naar beperking van de overstortingen kan leiden tot verhoging van de overlastfrequentie 'bovenstrooms'. Er zal meer

voor het vakgebied van de riolering van belang is. (De arcering is een maat voor de verontreiniging van het water). In het gehele proces van neerslag – infiltratie – berging – afvoer bieden ingrepen op andere plaatsen dan alleen aan het einde ook mogelijkheden om de vuiluitwerp te beperken. Ingrepen in het bergings- en afvoerproces in rioolstelsels behoren tot de afvoerregulering. Afvoerregulering streeft naar een optimale benutting van de beschikbare berging in een rioolstelsel en daarbuiten, zodat overstortgebeurtenissen zoveel mogelijk beperkt kunnen blijven en daardoor de vuiluitwerp gereduceerd kan worden. Bij automatische afvoerregulering gaat het om voorzieningen, geïnstalleerd in het rioolstelsel of stroom-

gebied, die zonder tussenkomst van personen een bepaald debiet regelen. Bij bediening op afstand wordt gebruik gemaakt van telecommunicatiemiddelen en computer. Het onderscheid tussen statische en dynamische afvoerregulering is gelegen in de flexibiliteit en aanpassingsvermogen aan in de tijd veranderende aanvoer. Dynamische afvoerregulering heeft deze mogelijkheid, bij de statische middelen ontbreekt deze. Hieronder is een overzicht van de geïnventariseerde afvoerregulerende middelen gegeven.

- Hydrobrake (waterrem)
- Wirbeldrossel (wervelventiel)
- Vortex chamber (vortexkamer)
- Fluidic regulator (stroomregelaar)

Afb. 8 - Evaluatiematrix.

Overstort/behandelingsystemen	Toetsingscriteria																			
	1.	1.1.	1.2.	1.3.	1.4.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	7.1.	7.2.	7.3.	8.	9.	10.	11.	11.1.	11.2.
	Vuilscheidend vermogen organische stof	nutriënten	hygiënisch	microverontreinigingen	Gevoeligheid	Reaktiesnelheid	Bedrijfszekerheid	Energiegebruik	Ruimtegebruik	Algemene inpasbaarheid RWZI	beneden	boven	Hinder	Onderhoud/beheer	Ontwikkeling/ervaring	Kosten	stichtingskosten	exploitatiekosten		
1. Konventionele overstortput	--	--	--	--	++	+	0	++	++	+	+	0	0	+	++	+	+			
2. Verbeterde overstortput	0	-	-	-	++	+	0	++	++	+	+	0	0	+	0	+	+			
3. Bergbezinkbassin*)	+	0	0	0	+	++	++	+	-/-	+	-	-	+/-	-	++	-/-	0			
4. Werveloverstort	+	0	0	0	+	++	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	+	0		
5. Teacup separator	+	0	0	0	+	++	+	+	+	0	0	-	0	0	-	0	0			
6. Helical bend	+	0	0	0	+	++	+	+	+	0	0	-	0	0	-	-	0			
7. Zeven/filters	+	0	0	0	+	++	+	0	+	+	0	-	-	-	0	-	-			
8. Flotatie	++	+	+	0	-	++	+	-	--	-	--	--	--	-	--	-	--			
9. Flokkulatie/koagulatie	++	++	+	+	-	++	-	-	--	-	--	--	--	-	--	+	--			
10. Aktief kool adsorptie	++	+	0	++	-	++	+	-	-	-	--	--	--	-	--	+	--			
11. Desinfektie	--	--	++	--	--	++	-	-	--	-	--	--	--	-	--	++	--			
12. Kontaktstabilisatie	++	+	+	0	--	-	-	--	--	-	--	--	--	-	--	0	--			
13. Bioschijven	++	+	+	0	--	-	-	-	-	-	--	--	--	-	--	0	--			
14. Oxydatiebedden	++	+	+	0	--	-	-	-	-	-	--	--	--	-	--	+	--			

++ zeer goed/zeer positief *) (overdekt/open)
 + goed/positief
 0 indifferent
 - slecht/negatief
 -- zeer slecht/zeer negatief

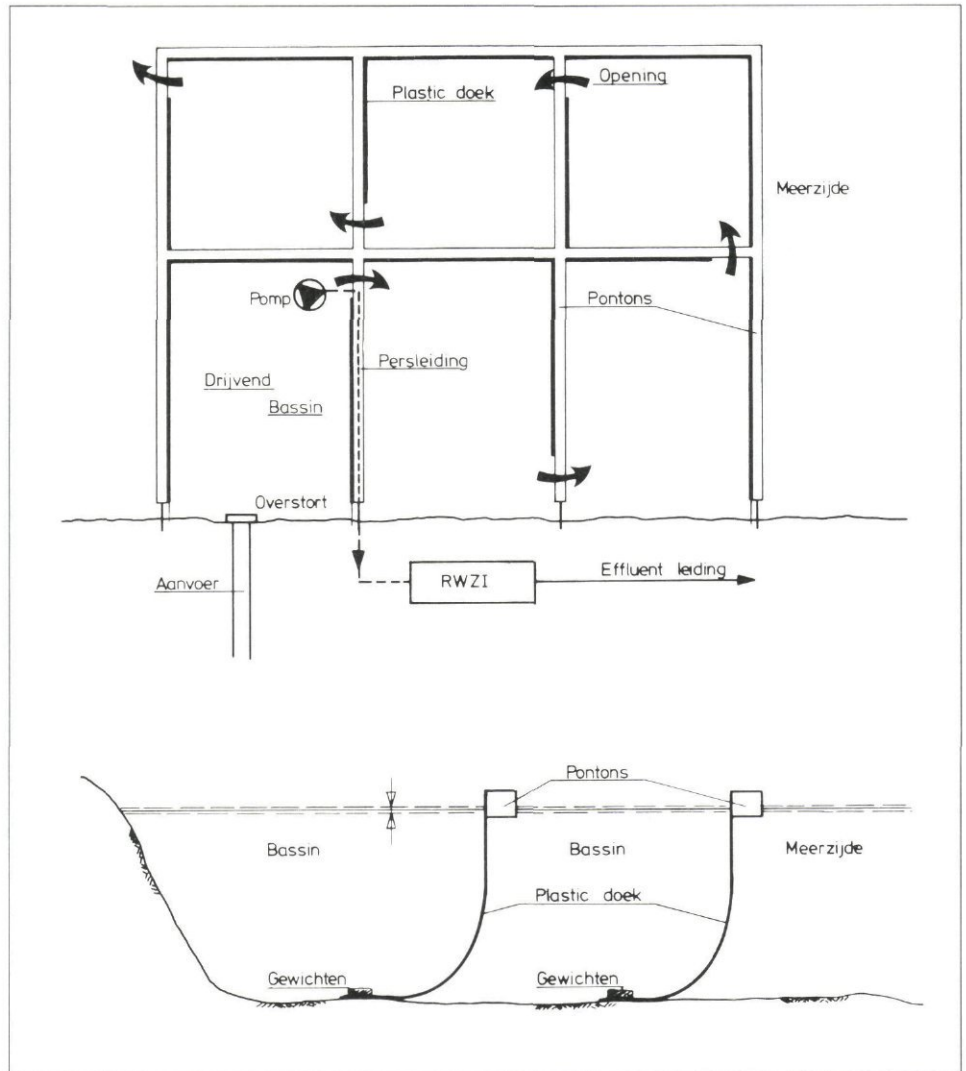
regenwater geborgen moeten worden buiten het stelsel of meer perioden van (relatief schoon) water op straat geaccepteerd moeten worden. Een zekere verandering in benadering wordt geconstateerd. Waar men tot nog toe probeerde zoveel mogelijk het *uit* het rioelstelsel tredende water (en daarmee de verontreiniging) te beheersen, krijgt nu ook de beheersing van het rioel *intredende* waterhoeveelheden meer aandacht. Immers, indien regenaanvoer zodanig kan worden gereguleerd dat in de begintijd van de bui al het water nog (zonder aanleiding te geven van overstorten) naar de rwzi kan worden getransporteerd, is daarmee ook het grootste deel van de vuillast naar de rwzi gebracht. Dit heeft wel als consequentie dat de regenwateraanvoer meer in de tijd gespreid dient te worden, of zelfs een gedeelte af/omgeleid moet worden. In de literatuur zijn onder meer de volgende middelen daarvoor tegengekomen:

- toepassing van retentiebassins en ondiepe reservoirs;
- berging op straat, bijvoorbeeld tussen verkeersdrempels;
- berging op daken;
- toepassing van permeabele verharde oppervlakken, met name voor parkeerplaatsen;
- infiltratie in de ondergrond, direct of indirect, (bijvoorbeeld door toepassing van trottoirlose wegen of ontkoppeling van dakafvoer);
- aangepaste stedenbouwkundige inrichting, gericht op reductie van regenwaterafvoer via riolen.

6. Samenvatting en conclusies

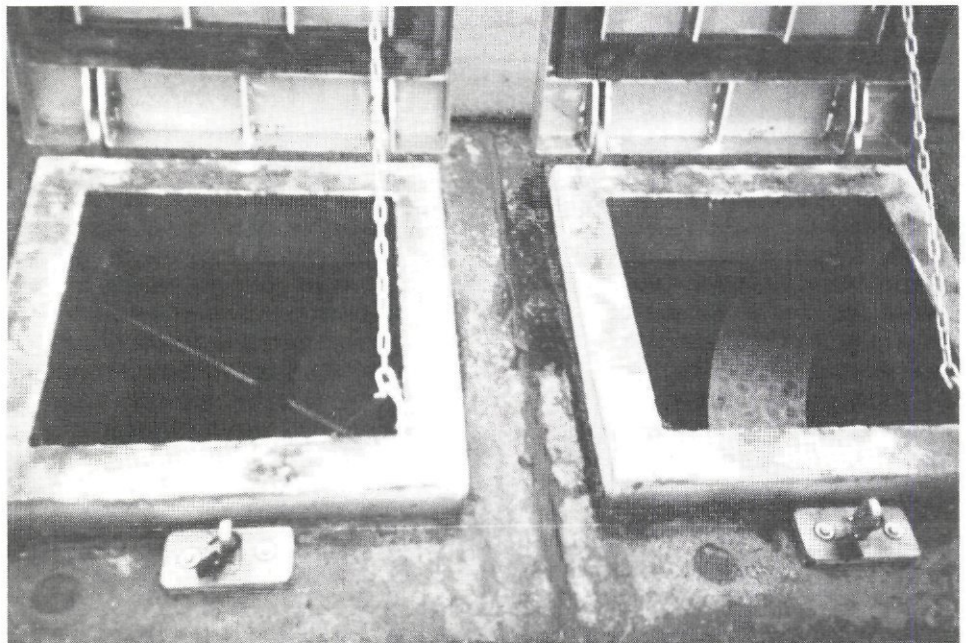
Beperking van de oppervlaktewaterbelasting door vuiluitworp uit rioelstelsels kan bereikt worden door toepassing van randvoorzieningen. In Nederland komen daarvoor eigenlijk alleen voorzieningen in aanmerking die gebaseerd zijn op fysische vuilscheidingsmethoden, met name bepaalde verbeterde (geoptimaliseerde) overstortputten, de werveloverstort en het bergbezinkbassin. Daarvoor Nederlandse omstandigheden nog weinig praktijkervaringen zijn opgedaan met deze vuiluitworpreducerende voorzieningen, wordt in het kader van het Nationaal Onderzoek Riolerings en Waterkwaliteit nader onderzoek aan bergbezinkbassins en een werveloverstort gedaan.

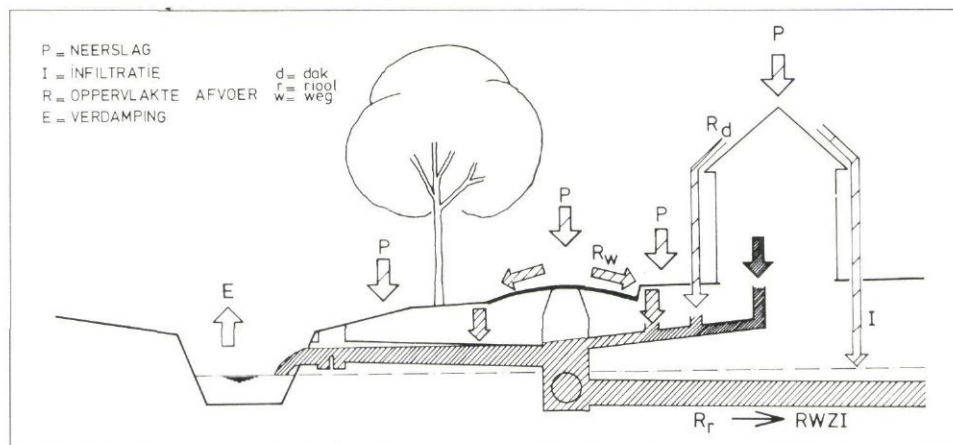
Naast toepassing van vuiluitworpreducerende voorzieningen lijkt de aanpak van de overstortproblematiek op andere plaatsen dan alleen bij de overstorten ook goede mogelijkheden te bieden. Essentieel hierbij is, dat door ingrepen in een vroeger stadium en op plaatsen meer bovenstrooms in het stelsel ook aanzienlijke vuiluitworpreductie verkregen kan worden. Het gaat hierbij om



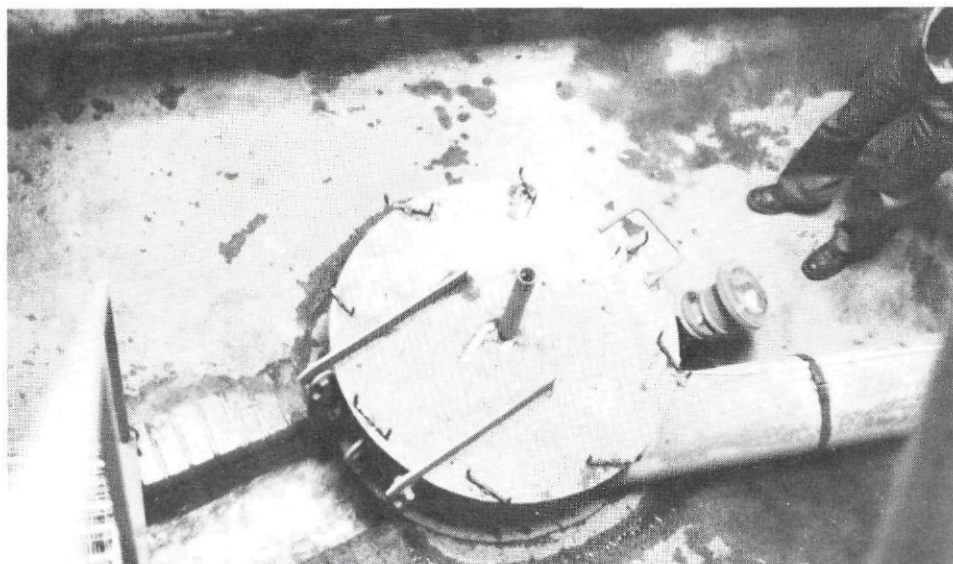
Afb. 9 - Flow balancing method.

Afb. 10 - Werveloverstort te Goes.





Afb. 11 - Deel hydrologische kringloop (kwalitatief).



Afb. 12 - Hydrobrake.

afvoerregulerende middelen die ervoor zorgen dat de bergings- en afvoercapaciteit van een rioolstelsel optimaal wordt benut, zodat zo weinig mogelijk beroep gedaan hoeft te worden op de nooduitlaat (de overstort), en aldus een optimalisatie naar vuiluitworp verkregen kan worden. Afsluitend wordt er dan ook voor gepleit rioolstelselontwerpen meer *hydrologisch* te bezien, en dus veel meer alle mogelijkheden in het gehele neerslag-infiltratie-bergings-afvoerproces te benutten, die kunnen leiden tot reductie van de vuiluitworp uit rioolstelsels. Rioolwaterzuiveringen, maar ook vuiluitworp-reducerende voorzieningen zijn eigenlijk meer curatieve middelen, nadat het kwaad al geschied is (namelijk vervuiling van het regenwater).

Aanpak van de oppervlaktewater-verontreiniging kan al beginnen bij het vallen van de regenbui. Het regenwater moet zo weinig mogelijk de kans gegeven worden om vervuild te raken, aangezien dit in een latere fase weer vraagt om zuivering.

Literatuur

- Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit. *Randvoorzieningen aan rioolstelsels, rapport nr. 3.1*. Staatsuitgeverij, Den Haag, juni 1984.
- Field, R. (1980). *EPA research in urban stormwater pollution control*. Journal of the Hydraulics Division ASCE (1980) No. HY5, p. 819.
- Field, R. and Fan, C. Y. (1981). *Industrial reuse of urban stormwater*. Journal of the Environmental Engineering Division ASCE (1981) No. EE1, 9, 171.
- Finnemore, E. J. and Lynard, W. G. (1982). *Management and control technology for urban stormwater pollution*. Journal Water Pollution Control Federation (1982) No. 7, p. 1099.
- Field, R. and Turkeltaub, R. (1981). *Urban runoff receiving water impacts: program overview*. Journal of the Environmental Engineering Division ASCE (1981) No. EE1, p. 83.
- Friedland, A. O., Shea, T. G. and Ludwig, H. F. (1970). *Quantity and quality relationships for combined sewer overflows*. Advances in Water Pollution Research. Proc. 5th Intern. Conference, 1970.
- Lynard, W. G. and Field, R. (1981). *Phosphorus in stormwater: sources and treatability*. In: Phosphorus Management Strategies for Lakes, 1981.
- Pitt, R. and Field, R. (1977). *Water-quality effects from urban runoff*. Journal American Waterworks Association (1977) August, p. 431.
- Field, R. (1974). *Design of a combined sewer overflow regulator/concentrator*. Journal Water Pollution Control Federation (1974) No. 7, p. 1722.

- Kuribayashi, M. and Nakamura, E. (1980). *Challenging combined sewer problems in Japan*. Journal Water Pollution Control Federation (1980) No. 5, p. 890.
- Field, R. I., Moffa, P. E. and MacArthur, D. A. (1977)2. *Treatability determinations for a prototype swirl combined sewer overflow regulator/solid-separator*. Progress in Water Technology (1977) No. 6, p. 81.
- Lygren, E. (1980). *Hvirveloverløp. Avskilling av sedimenterbart materiale og flytestoffer i overløpsvann*. Oslo, Norsk Institut for vannforskning, 1980.



Modelling for water supply planning

• End of page 163

- Operations Research in Agriculture and Water Resources*, Ed. by D. Yaron and C. Tapiero, North Holland.
- Brinkmann, F. J. J. 'Drinkwaterkwaliteit als plannings-criterium'. In preparation.
- Bruyn, P. J. de. 'Een simulatiemodel, hulpmiddel bij planvorming'. H₂O 17 (1984) 264.
- Jong, J. J. de. 'Case-Study: modeltoepassing bij de Drinkwaterleiding Rotterdam'. In preparation.
- Kop, J. H. 'Systematisering en modelgebruik bij het Tweede Tienjarenplan van de VEWIN'. H₂O 17 (1984) 541.
- Lvovsky, M. (1984). *Statistical-Analytical Methods for Analysis of Water Resources Systems* (in Hebrew). M.Sc. Thesis, Faculty of Civil Engineering, Technion - Israel Institute of Technology.
- Meyers, S. and Shamir, U. (1982). 'Optimal Annual Operation of a Water Supply and Distribution System'. Advances in Water Resources, Vol. 5, pp. 240-247.
- Saphir, Y. N. (April 1983). 'Optimization of Water Distribution Systems' (in Hebrew). M.Sc. Thesis, Faculty of Industrial Engineering and Management, Technion - Israel Institute of Technology, 159 p.
- Saphir, Y. N., Shamir, U. and Avriel, M. (1984). 'An improved method for optimization of water distribution systems'. In preparation.
- Schwarz, J. (1983). 'Use of Mathematical Programming in the Management and Development of Israel's Water Resources'. Tahal Consulting Engineers Ltd., Israel, 11 p.
- Shamir, U. (1979). 'Optimization in Water Distribution Systems Engineering'. *Mathematical Programming, Study 11: Engineering Optimization*, ed. by M. Avriel and R. Dembo, North-Holland, pp. 65-84.
- Shamir, U. (1980). 'Applications of Operations Research in Israel's Water Sector'. European Journal of Operations Research, vol. 5, pp. 332-345.
- Shamir, U. (June 1981). 'Real-Time Control of Water Supply systems'. Proceedings of the International Symposium on Real-time Operation of Hydrosystems, ed. by T. E. Unny and E. A. McBean, University of Waterloo, Canada, pp. 550-562.
- Shamir, U. (1983). 'Experiences in Multiobjective Planning and Management of Water Resources Systems'. Hydrological Sciences Journal, Vol. 28, No. 1, pp. 77-92.
- Shamir, U. and Howard, C. D. D. (July 1981). 'Water Supply Reliability Theory'. Journal of the American Water Works Association, Vol. 73, No. 7, pp. 379-384.
- Tangena, B. H. 'Leveringszekerheid als plannings-criterium'. In preparation.



Nieuwe vice-voorzitter RIWA

Tot vice-voorzitter belast met Maaszaken, van de Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven RIWA is benoemd prof. ir. P. L. Knoppert, directeur van de NV Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch. De heer Knoppert volgt in deze RIWA-functie de heer ir. H. Bosch op, die gebruik gemaakt heeft van de VUT-regeling.