

# Rapport van de commissie riolering en waterverontreiniging van de afdeling voor gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs

## I. VOORWOORD

De gedachte tot de oprichting van een werkgroep die het probleem van de waterverontreiniging door overstorten uit rioolstelsels zou bestuderen is uit de praktijk gegroeid.

Het probleem vloeit voort uit de omstandigheid dat het in Nederland veelal gebruikelijk is het huishoudelijk en industrieel afvalwater tezamen met het regenwater af te voeren door één buizenstelsel. Dit zogenaamde gemengde stelsel brengt met zich mee de noodzaak tot het aanbrengen van rioleringsoverstorten omdat het nu eenmaal technisch niet mogelijk is de waterhoeveelheden die bij regenbuien met hoge intensiteiten tot afvloeiing komen volledig in het stelsel te bergen en naar een centraal punt af te voeren.

Rioolstelsels hebben ten doel de vloeibare afvalstoffen van inwoners en van in de gemeentelijke kern gevestigde industrieën af te voeren uit het woonmilieu naar een plaats waar geen direkt contact meer is tussen de mens en de afvalstoffen.

De aanleg van rioolstelsels is van oudsher een taak van de gemeenten.

Het beschermen van het ontvangende water tegen overbelasting door de lozing van vloeibare afvalstoffen zowel via rioleringsoverstorten als ter plaatse van het centrale lozingspunt is een taak van de waterbeheerder.

In onderling overleg worden de ter bescherming van het ontvangende water te nemen maatregelen vastgesteld. Voor wat betreft de lozing door rioleringsoverstorten leidt dit tot een compromis tussen de hoeveelheden die nog wel en die niet meer centraal zullen worden afgevoerd. Voorheen werd dit compromis gevonden met behulp van de zogenaamde verdunningstheorie.

Omstreeks de vijftiger jaren werd de gedachte ontwikkeld dat het gevaar voor het ontvangende water niet alleen schuilt in de door regenwater verdunde zogenaamde droogweerafvoer, maar vooral in de slijkstoffen die zich — ondanks alle voorzorgen van constructie en onderhoud — in de riolen plegen af te zetten en bij regen worden opgewoeld en meegevoerd. De veronderstelling ligt dan voor de hand dat het gevaar voor het ontvangende water vooral schuilt in ieder begin van overstorten. Als maatstaf voor de toelaatbaarheid van een rioleringsoverstort komt dan meer de frekwentie van overstorten in aanmerking dan de verdunning van het rioolvocht met regenwater of de duur van overstorten. In samenwerking met dr. ir. J. Kuipers werd bij het RIZA een eenvoudige grafische methode ontwikkeld om de frekwentie van overstorten te ramen. (Literatuur: F. J. Ribbius, Waterverontreiniging door regenoverstorten, Publieke Werken 1951).

Bij deze raming wordt uitgegaan van de volgende drie basisgegevens van het te rioleren gebied:

- het verharde oppervlak van daken en wegen dat afwatert op de riolering;
- de beschikbare bergingsruimte in de riolering;

- de beschikbare overcapaciteit van het pompgebied bij regen (overcapaciteit = totale pompcapaciteit — dwa).

Nadat een aantal jaren volgens deze zogenaamde frekwentietheorie was gewerkt werd een nadere verdieping van de hierbij gehanteerde uitgangspunten wenselijk geacht.

Dit leidde ertoe dat op 22 september 1962 door een groep van ingenieurs in dienst bij civieltechnische ingenieursbureaus, diensten van gemeentewerken, waterschappen en het RIZA een werkgroep „Riolering en Waterverontreiniging” in het leven werd geroepen. Uit de werkgroep formeerde zich een aantal subgroepen die ieder een bepaald aspect als studieobject kregen toegewezen. Teneinde aan de resultaten van de studie buiten de kring van leden van de werkgroep bekendheid te kunnen geven werd aansluiting gezocht bij het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. In 1965 werden de leden van de werkgroep benoemd tot lid van een door de Afdeling voor Gezondheidstechniek ingestelde Commissie voor Riolering en Waterverontreiniging.

Lid van de commissie zijn of zijn geweest de heren: ir. P. H. Bon, ir. W. O. J. Böttger, ir. H. J. van der Burg, dr. ir. H. J. Eggink, ir. H. A. Haitsma, ir. W. ten Heuvel, dr. ir. P. J. Huiswaard, ir. J. H. Jansen, ir. A. Jonker, ir. R. Karper, prof. ir. A. C. J. Koot, ir. J. S. Kuyper, ir. J. M. J. W. Oostwoud Wijdenes, ir. F. J. Ribbius, ir. G. J. Slijkhuis, ir. F. B. Veldkamp, ir. M. W. Vermeulen, ir. J. D. A. Wajer, ir. K. C. Zijlstra.

## II. PROBLEEMSTELLING EN AANPAK VAN DE STUDIE

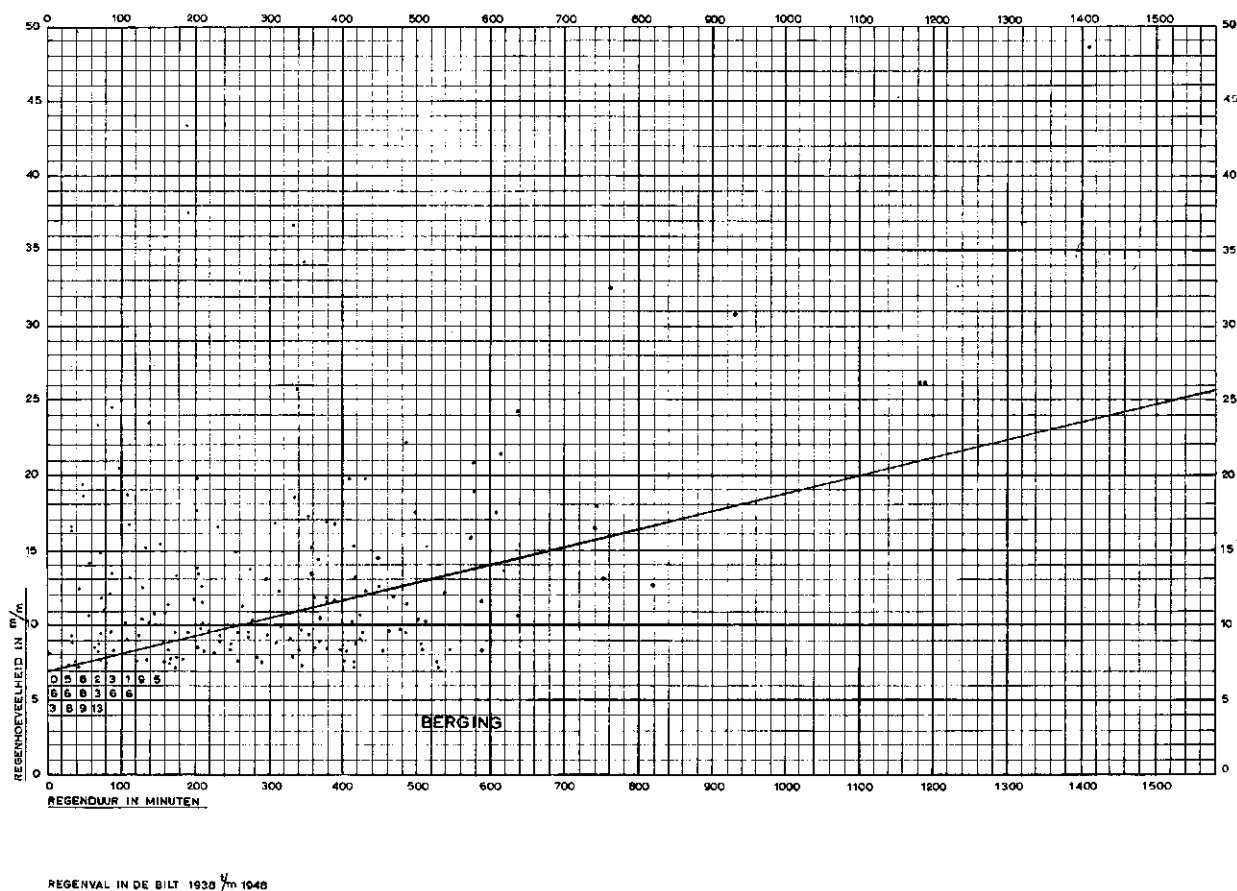
Voor de vaststelling van de overstortingsfrekwentie volgens de door dr. ir. J. Kuipers ontwikkelde grafische methode (in het vervolg korthedshalve kuipersgrafiek of stippengrafiek genoemd) moeten van het te rioleren gebied bekend zijn het verharde oppervlak, de berging en de overcapaciteit. Door de waarden van de berging en de overcapaciteit in de kuipersgrafiek te verwerken kan de overstortingsfrekwentie worden geschat.

Deze in afb. 1 opgenomen grafiek geeft voor een bepaald waarnemingsstation gedurende een zeker tijdvak van alle regens met een regenhoeveelheid groter dan een bepaald aantal mm het verband weer tussen de regenhoeveelheid in mm en de regenduur in minuten.

De grafiek heeft betrekking op regengegevens in De Bilt volgens pluviogrammen in de 11-jarige periode 1938-1948. Weergegeven zijn de regens met een hoeveelheid groter dan 4 mm.

De vraag rijst of de beschouwing van een langere periode dan bovengenoemde tot wezenlijk verschillende resultaten zou leiden.

Toepassing van de frekwentieschatting houdt een aantal veronderstellingen in. De voornaamste zijn:



Afb. 1 - Stippengrafiek.

- De intensiteit van de regen is konstant (zogenaamde rechtlijnige regenbui).
- De overcapaciteit van het pompgemaal komt direct bij de aanvang van de regen volledig in werking.
- De overcapaciteit is konstant.
- Het rioleringsstelsel is leeg bij de aanvang van de regen, met andere woorden de berging is volledig beschikbaar en wordt dus niet (gedeeltelijk) ingenomen door voorgaande regens (geen „overlapping”); de invloed van de dwa wordt verwaarloosd;
- De afvloeiingscoëfficiënt voor het verharde oppervlak is konstant en gelijk aan 1.
- De afvloeiingscoëfficiënt voor het niet verharde oppervlak is 0.

Een overstorting treedt op zodra de totale regenhoeveelheid de som van de berging en de door middel van de overcapaciteit verpompte hoeveelheid overtreft. Elk punt in de grafiek boven het getekende pomplijn, geeft een overstorting weer.

De gemiddelde jaarlijkse overstortingsfrequentie kan worden geschat door telling van deze punten en deling door het aantal jaren waarvan de regengegevens in de kuipersgrafiek zijn verwerkt.

In het in afb. 1 aangegeven geval bedraagt de overstortingsfrequentie per jaar gemiddeld 10 maal bij een berging van 7 mm en een overcapaciteit van 0,7 mm per uur.

De vraag kan worden gesteld in hoeverre de gemaakte vooronderstellingen met de werkelijkheid overeenstemmen.

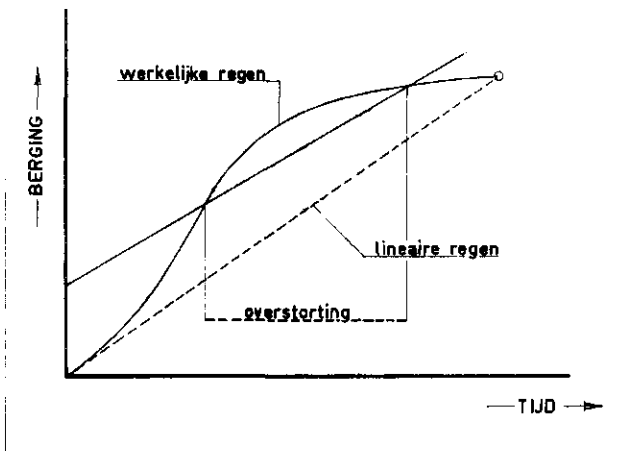
Daaromtrent kan het volgende worden opgemerkt.

*ad a.* De regenintensiteit is in het algemeen niet konstant.

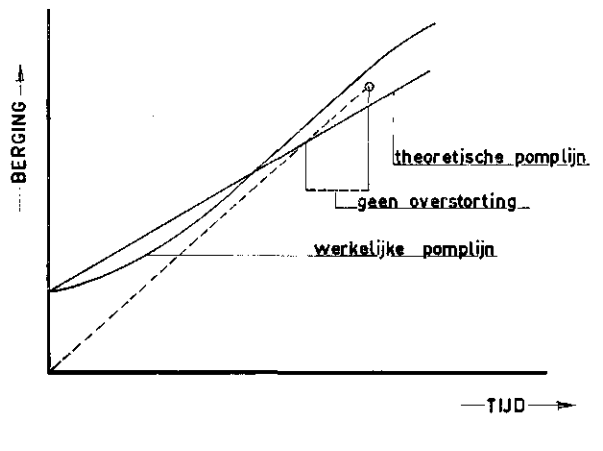
Indien men het werkelijke verloop van de regens zou uitzetten in de kuipersgrafiek blijkt dat een aantal regens de pomplijn tijdens de regenduur snijdt, hoewel dat bij aanname van een lineair verband niet het geval zou zijn geweest (zie afb. 2a). Deze regens komen derhalve tot overstorting, hoewel dit niet uit de stippengrafiek zou volgen. Daaruit blijkt dat de overstortingsfrequentie door dit niet lineaire verband er naar tendeert hoger te zijn dan volgens de methode Kuipers.

*ad b.* De overcapaciteit zal vaak niet direct volledig in werking treden (afb. 2b). Ook om deze reden zou de feitelijke overstortingsfrequentie naar een hogere waarde tenderen.

*ad c.* De overcapaciteit is niet konstant. Door stijging van de waterstand in de vuilwaterkelder kan de pompcapaciteit, behalve bij vijzels, wel met 20 à 25 % toenemen (afb. 2c). Voorts varieert de overcapaciteit met de, in het algemeen, sterk fluctuerende droogweerafvoer, hetgeen vooral voor de nachturen, ook resulteert in een verhoogde overcapaciteit (overcapaciteit is pompcapaciteit verminderd met droogweerafvoer). Het niet konstant zijn van de overcapaciteit tendeert derhalve naar een lagere overstortingsfrequentie.



Afb. 2a - Regenintensiteit niet konstant.



Afb. 2c - Overcapaciteit niet konstant.

ad d. Er treedt wel overlapping op. In vele gevallen is de neerslag van de voorgaande regen nog niet volledig uit de riolering afgevoerd, waardoor de berging niet geheel beschikbaar is. Dit leidt tot een hogere overstortingsfrequentie (afb. 2d).

ad e. De afvloeiingscoëfficiënt is evenmin konstant. Men denke bijvoorbeeld aan plasvorming op straat, verdamping, de afvoer van niet verharde oppervlakken enz.

Zo werd bij een uitgebreid onderzoek van het „Road Research Laboratory” een variatie in deze coëfficiënt gekonstateerd van 0,4 tot 1,3 met een gemiddelde waarde van 0,7 à 0,8. Afhankelijk van de omstandigheden (aard en toestand van het verhard en onverhard oppervlak en van het seizoen enz.) zal deze invloed resulteren in een hogere dan wel lagere overstortingsfrequentie. Op basis van Britse gegevens zou gemiddeld een lagere waarde van de overstortingsfrequentie kunnen worden verondersteld.

Uit het bovenstaande volgt dat de invloeden *a*, *b* en *d* tot een hogere, en die van *c* en *e* eerder tot een lagere overstortingsfrequentie aanleiding kunnen geven.

Omtrent de absolute grootte van deze invloeden is nog weinig bekend. Voorts is van belang te weten of de

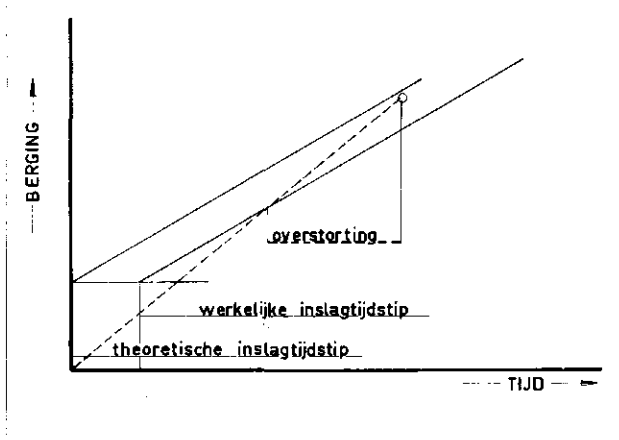
geschatte overstortingsfrequentie van jaar tot jaar zou kunnen verschillen van de gemiddelde waarde.

Ook rijst de vraag hoe de overstromingen over het jaar zijn verdeeld.

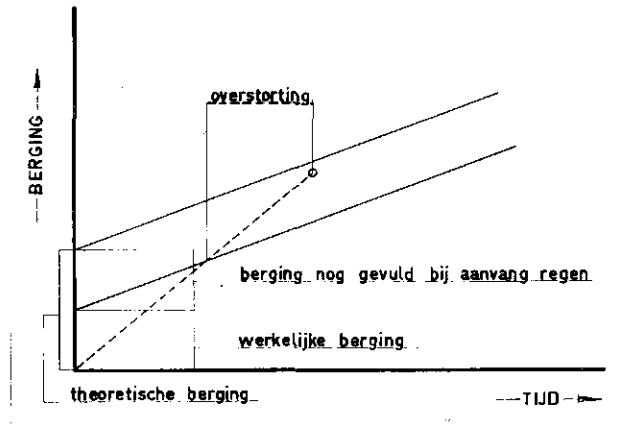
Bij het hanteren van de overstortingsfrequentie als maatstaf zou ook met deze factoren rekening moeten worden gehouden.

Uit het voorgaande blijkt dat de waarde verkregen met de tot dusver gebruikelijke schattingsmethode voor de overstortingsfrequentie diskutabel is. Het werd dan ook gewenst geacht een methode voor de bepaling van de overstortingsfrequentie te ontwikkelen die de werkelijkheid zo juist mogelijk benadert. Daarnaast zou afzonderlijk meer aandacht moeten worden besteed aan de invloed van overstromingen op de kwaliteit van het ontvangende water. Een aantal theoretische en praktische studies met het doel het inzicht inzake de bruikbaarheid en de beperkingen van de kuipersgrafiek bij het ontwerpen van gemengde rioleringsystemen te verdiepen zijn daartoe ter hand genomen. Eveneens is literatuuronderzoek verricht, met name Amerikaanse, Deense, Duitse en Engelse bronnen zijn bestudeerd, in het bijzonder voor zover deze de problematiek van de verontreiniging door regenoverstromen uit het gekombineerde rioleringsstelsel behandelen.

Afb. 2b - Overcapaciteit later in werking.



Afb. 2d - Overlapping.



Bij de aanvang van de studies bleek dat er in de rioleringsstechniek begrippen voorkomen waarvan de betekenis niet zonder meer voor een ieder eenduidig vast ligt. Een nadere omschrijving van deze begrippen was dus gewenst. Een lijst van woorden en begrippen aan de omschrijving waarvan de meeste behoefte werd gevoeld, is samengesteld.

Waar mogelijk werd de lijst aangevuld met symbolen om voor wat betreft de notatie tot een eenheid te geraken; voor symbolen betrekking hebbend op regen werd overleg gepleegd met het KNMI te De Bilt.

### III. RAPPORTERING VERRICHTE STUDIES \*)

In dit hoofdstuk worden de volgende onderwerpen behandeld:

1. Lijst van woorden en begrippen.
2. Literatuur.
3. Waarnemingen in rioolstelsels.
4. Het verontreinigend vermogen van huishoudelijk afvalwater.
5. Het proefobject Vijfhuizen.
6. Gegevens verhard oppervlak.
7. Afvloeiingscoëfficiënten.
8. Bovendrempelberging als onderdeel van het waterbergend vermogen.
9. Invloed van de variatie in de droog-weerafvoer gedurende de dag op de overcapaciteit en de overstortingsfrequentie.
10. Invloed van de opeenvolging en de morfologie van de regenbuien op de overstortingsfrequentie.
11. Invloed van de lengte van de regenwaarnemingsperiode en de variatie in neerslag op diverse waarnemingsstations op de overstortingsfrequentie.
12. Jaarlijkse verdeling en spreiding van overstortingen.
13. Afzetting in riolen en het voorkomen daarvan.
14. Het verontreinigend vermogen van overstortend rioolwater in relatie tot de overstortingsfrequentie.
15. Zuurstofhuishouding, hygiëne en overstortingsfrequentie.
16. De problemen bij het opstellen van een vergunning ten behoeve van de lozing van overstortwater afkomstig uit gemeentelijke rioleringen.

#### 1. Lijst van woorden en begrippen

	symbool
rioleringsgebied = gebied waarbinnen de afvoer van afvalwater en voorzover noodzakelijk — van neerslag geschiedt via een rioolstelsel.	
bemalingsgebied = gedeelte van een rioleringsgebied dat door één rioolgemaal wordt bemalen.	
gemengde riolering in vlak gebied = gemengd rioolstelsel dat geheel of vrijwel geheel (bijv. meer dan 90%) beneden de laagste overstortdrempel is gelegen.	
gemengde riolering in hellend gebied = gemengd rioolstelsel dat geheel of gedeeltelijk boven de laagste overstortdrempel is gelegen.	
totaal oppervlak = totale oppervlakte van het beschouwde riolerings- resp. bemalingsgebied.	Ft

\*) De studies werden in 1968 afgesloten, waarna de eindrapportering ter hand werd genomen.

		symbool
verhard oppervlak = oppervlakte waarvan, naar wordt aangenomen, de afvoer van de neerslag rechtstreeks naar het rioolstelsel geschiedt.		Fv
afvloeiingscoëfficiënt = verhouding van de hoeveelheid neerslag die door de riolering wordt afgevoerd en de hoeveelheid die op het verhard oppervlak is gevallen.		a
overstort (rioleringsoverstort) = kunstwerk door middel waarvan volgens vastgestelde normen bij neerslag rioolwater kan worden geloosd.		
overstorting = ononderbroken lozing uit een overstort.		
nooduitlaat = kunstwerk door middel waarvan in een noodsituatie rioolwater kan worden geloosd.		
eindoverstort = overstort die nabij het centrale afvoerpunt (het gemaal) is gelegen.		
beginoverstort = overstort die relatief ver van het centrale afvoerpunt is gelegen.		
overstortingsfrequentie = aantal overstortingen dat in een bepaalde periode plaats vindt.		
overstortingsduur = tijdsduur van een overstorting.		Tov
overstortingsdebiet = debiet tijdens een overstorting.		
overstortingshoeveelheid = totale geloosde hoeveelheid verdund rioolwater gedurende een overstorting.		Qov
regenhoeveelheid = hoeveelheid neerslag gedurende een bepaalde tijd.		
regenkromme = kromme die het verband weergeeft tussen de kumulatieve ononderbroken gevallen neerslag hoeveelheid en de tijd (in de meteorologie: het pluviogram).		
rechtlijnige regen = regen waarvan het verband tussen regenhoeveelheid en tijd $T_r$ recht-evenredig is.		
regenintensiteit = per tijdseenheid gevallen hoeveelheid neerslag ( $\text{mm}/\text{min.}$ , $\text{l}/\text{sek}/\text{ha}$ ).		i
regenduur = tijdsduur tussen begin en einde van een regen.		Tr
overlapping = het optreden van een regen op een zodanig tijdstip dat de neerslag van de voorgaande regen nog niet volledig is afgevoerd.		
droogweerafvoer (dwa) = toevoer naar de riolering bij droog weer ( $\text{m}^3/\text{u}$ , $\text{l}/\text{sek}$ ).		Qdwa
regenaafvoer (rwa) = afvoer uit een rioleringsgebied anders dan via overstorten.		
pompkapaciteit = capaciteit waarmee het rioolstelsel wordt bemalen. $P = Pok + Qdwa$ ( $\text{m}^3/\text{u}$ , $\text{l}/\text{sek}$ ) indien geen pomp aanwezig is wordt het begrip rwa gehanteerd (in geval van bemalen riool is pompkapaciteit = rwa).		P
overcapaciteit = regenwaterafvoer uit een rioleringsgebied, verminderd met de dwa van het beschouwde gebied, alsmede met de capaciteit van riolen of gemalen die op dit gebied lozen $Pok = P - Qdwa$ .		Pok
totale nuttige berging = de nuttige vulling van het rioolstelsel die bij regen net geen aanleiding geeft tot het in werking komen van de overstort.		B
onderdrempel berging (vroeger statische) = dat gedeelte van de totale nuttige berging dat zich beneden het niveau van de laagste overstortdrempel bevindt.		

	symbool
bovendrempel berging	= dat gedeelte van de totale nuttige berging dat zich boven het niveau van de laagste overstortdrempel bevindt.
ledigingstijd	= tijd nodig om met de overcapaciteit de hoeveelheid rioolwater gelijk aan de totale nuttige berging af te voeren (te verpompen).
verduunning	= verhouding van het totale debiet en de daarin aanwezige dwa.

## 2. Literatuur

Amerikaanse-, Deense-, Duitse en Engelse literatuurbronnen betrekking hebbende op de jaren 1954 t/m 1965 zijn bestudeerd voorzover deze betrekking hadden op de problematiek van de vervuiling door regenoverstorten uit het gekombineerde rioleringsstelsel. In het nu volgende wordt een beknopt overzicht gegeven van die resultaten welke van belang werden geoordeeld voor dit rapport.

### Amerika

In Amerika is intensief onderzoek gaande zowel naar de hygiënische aspecten als naar de beïnvloeding van de zuurstofhuishouding door overstortingen. Ook de lozing van het gescheiden stelsel wordt in het onderzoek betrokken. De bestaande opvangriolen van het gekombineerde rioleringsstelsel zijn gedimensioneerd op 1,5 à 5 x de gemiddelde dwa (de dwa bedraagt  $\pm 300$  l/inw/dag). Uit de onderzoeken blijkt dat de overstortingen vele malen groter zijn dan in ons land, voor Detroit wordt een cijfer genoemd van 89 x per jaar. Men geeft daarbij aan dat bij deze overstortingen ca. 3 % van de dwa ontsnapt qua volume en dat aan zwevende stof ca. 25 à 40 % van de jaarlijks geproduceerde hoeveelheid tot overstorting komt.

Voor nieuwe rioleringsstelsels wordt algemeen de voorkeur gegeven aan het gescheiden systeem. Bovendien wordt er naar gestreefd bij bestaande gemengde stelsels alsnog tot scheiding over te gaan. Hiermede zullen grote kosten gemoeid zijn, bedragen van 40.000 à 50.000 US-dollar per ha worden genoemd.

Waar volledige scheiding niet kan worden gerealiseerd wordt een gedeeltelijke scheiding van de riolering overwogen. Palmer geeft voor Detroit de mogelijkheden aan om berging te scheppen, waardoor de overstortingsfrequentie van 89 tot 5 x per jaar zou kunnen worden teruggebracht.

### Denemarken

In Denemarken wordt in plaats van met een overstortingsfrequentie met een verdunningsgraad gerekend. In het algemeen mag de overstort niet eerder in werking komen dan bij een verdunningsgraad van 4 à 12. Bij gering afschot in het rioleringsstelsel wordt een hoge verdunningsgraad als eis gesteld om te voorkomen dat bezonken slib tijdens stortbuien wordt los gewerkt en over de overstort verdwijnt.

De gedachte die aan deze verdunningsmaatstaf ten grondslag ligt, is dat regen en afvalwater volledig zijn gemengd en dat de leidingen zelfreinigend zijn.

Onderzoek van rioleringen met gering afschot en stroomsnelheden van 0,2 tot 2 m/sek voor de volle buis hebben echter geleerd dat veel bezinking en verstopping voorkomt.

Een afvalwatercommissie van de Deense Ingenieurs Vereniging houdt zich onder meer bezig met de vraag of het criterium van de verdunningsgraad wel juist is.

### West-Duitsland

Aldaar zijn in 1962 door de ATV voorlopige richtlijnen uitgegeven voor het ontwerpen van een overstort in een gemengd rioleringsstelsel.

Met behulp van deze richtlijnen kan een kritieke regenintensiteit worden bepaald waarbij de drempel van de overstort wordt bereikt. Deze intensiteit wordt afhankelijk gesteld van de dwa, de afvoer en de kwaliteit van het ontvangende water, neerslaggegevens in het zomerhalfjaar als mede van een beperkte bergingsgrootheid. De kritieke regenintensiteit varieert van 3 - 15 l/sek/ha. De achtergronden van deze Duitse richtlijnen worden helaas niet gegeven.

### Engeland

In Engeland wordt bij het stellen van voorwaarden van overstortwater algemeen uitgegaan van een minimaal vereiste verdunningsfaktor.

Over het algemeen mag de overstort niet in werking komen dan nadat een doorvoer naar de zuiveringsinstallatie van 6 x het gemiddelde dagelijkse uur droogweerafvoer ( $Q_{24}$ ) verzekerd is.

Van de op de zuiveringsinrichting aan te voeren hoeveelheid van 6 dwa wordt 3 dwa geborgen en het meerdere bezonken en vervolgens zonder meer geloosd. De regenwaterbassins dienen zo spoedig mogelijk te worden geledigd waarbij het afvalwater naar de zuiveringinrichting moet worden teruggevoerd.

De ervaring heeft inmiddels geleerd dat de gebruikelijke maatstaven onvoldoende waarborg vormen tegen waterverontreiniging.

Om dit bezwaar te ondervangen wordt veelal een oplossing gezocht in het toepassen van een hogere verdunningsfaktor. Ook worden op de zuiveringsinrichting vaak zogenaamde „blinde” regenwaterbassins geïnstalleerd welke geen lozingsmogelijkheid hebben. Er is tevens een streven merkbaar om zoveel mogelijk op een, eventueel gedeeltelijk, gescheiden rioleringsstelsel over te schakelen. Een commissie houdt zich bezig met de problematiek van de rioleringsoverstorten. In het kader van deze werkzaamheden zijn uitgebreide onderzoeken verricht te Northampton, Bradford en Brighouse. Uit deze onderzoeken zijn nog geen duidelijke aanbevelingen voortgekomen.

## 3. Waarnemingen in rioolstelsels

De studie had ten doel een indruk te verkrijgen van de samenstelling van het bij regenval overstortende water uit het gemengde rioolstelsel in relatie tot de kwaliteit van de droogweerafvoer.

Voorts zou worden gepoogd een betrekking te vinden tussen de overstortingsfrequentie en de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.

In een zestal plaatsen, te weten in Amsterdam, Enschede, Hamersveld, Lieshout, Limmen en Vijfhuizen is daartoe met eenvoudige middelen een bemonsteringsprogramma opgezet voor overstortwater en rioolwater.

Ten behoeve van de bemonstering van overstortend rioolwater werden drie monsterflessen op verschillende hoogte boven de overstortdrempel in de riolering geplaatst. Deze flessen waren van een zodanige inloop-

konstruktie voorzien dat nadat de fles was volgelopen geen uitwisseling met het omringende water zou kunnen plaats hebben. Door de flessen een verschillende hoogte te geven ten opzichte van de overstortdrempel werd gehoopt een monster van het overstortende water op verschillende tijdstippen te verkrijgen.

De tot op heden verkregen uitkomsten zijn weinig hoopgevend. De variaties in de gemeten grootheden, in het bijzonder van het overstortende water, blijken zeer groot te zijn (BOD \*) 30 - 600 mg/l).

Dit is ook niet verwonderlijk gezien het feit dat de samenstelling van het overstortwater onder andere afhangt van de lengte van de voorgaande droogweelperiode, van de duur en de intensiteit van de regenval en van de grootte van de dwa op het moment van de regenval. Ook de wijze van bemonstering van het overstortwater met de drie opvangflessen schenkt in de praktijk weinig bevrediging.

De poging een betrekking te vinden tussen de overstortingsfrequentie en de kwaliteit van het oppervlaktewater is in het geheel niet geslaagd, voornamelijk doordat het bijzonder moeilijk is gebleken een afgesloten gebied te vinden. Het is namelijk in de praktijk zeer moeilijk om de invloed van storingsbronnen of ten gevolge van afstroming van elders buiten te sluiten.

Gesteld mag worden dat het niet mogelijk is gebleken met *eenvoudige middelen* tot het in de aanhef gestelde doel te geraken.

#### 4. Het verontreinigd vermogen van huishoudelijk afvalwater

Gedurende de jaren 1965, 1966 en 1967 is een onderzoek ingesteld naar de aard en de hoeveelheid van de verontreinigende bestanddelen, die met het huishoudelijk afvalwater per inwoner per dag worden afgevoerd.

De metingen werden in vijf gemeenten met in hoofdzaak huishoudelijk afvalwater verricht. Deze gemeenten waren: Oegstgeest, Reeuwijk, 's-Gravenhage-Mariahoeve, Wedde en Leidschendam-N. De proportionele continue monsterneming geschiedde met een apparaat, dat gebruik maakt van het air-lift principe en dat door dr. ir. H. J. Eggink werd ontwikkeld. De wijze van waterhoeveelheidsmeting was niet in alle gevallen gelijk. In een enkel geval werd gebruik gemaakt van een bestaande watermeter, elders werd een meetschot met niveauregistratie toegepast. Eenmaal werd het debiet uit de vijzelcapaciteit en de draaiuren van de vijzel bepaald.

De metingen werden zowel in perioden van droog weer als tijdens regenperioden verricht. Gedurende de week-ends werd de bemonstering voortgezet.

Het verontreinigend vermogen werd berekend als grammen per inwoner per etmaal en is in de volgende parameters uitgedrukt:

- biochemisch zuurstofverbruik na 5 dagen in het donker bij een konstante temperatuur van 20 °C, van het afvalwater als zodanig, dus met inbegrip van de slijkstoffen; notatie BOD zod;
- biochemisch zuurstofverbruik na 5 dagen in het donker bij een constante temperatuur van 20 °C, van het afvalwater na 1 uur — in Oegstgeest 2 uur — bezinken in een imhoffglas; notatie BOD bez;

- chemisch zuurstofverbruik, gemeten als kaliumbichromaatverbruik, van het afvalwater als zodanig; notatie COD zod;
- chemisch zuurstofverbruik, gemeten als kaliumbichromaatverbruik na 1 uur — in Oegstgeest 2 uur — bezinken in een imhoffglas; notatie COD bez.;
- bezinkbare zwevende stof na 1 uur — in Oegstgeest 2 uur — bezinken in een imhoffglas en de gloeirest van de bezinkbare zwevende stof;
- niet bezinkbare zwevende stof en de gloeirest van de niet bezinkbare zwevende stof;
- opgeloste stof en de gloeirest van de opgeloste stof;
- totaal stikstof van het afvalwater als zodanig, bepaald volgens Kjeldahl;
- ammoniumiongehalte van het afvalwater als zodanig, uitgedrukt als g NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/i.dag.

Het bezinkingsproces in imhoffglazen werd steeds in het laboratorium uitgevoerd.

In de hiernavolgende tabel I staan de rekenkundige gemiddelden van het verontreinigend vermogen per gemeente vermeld.

Ten aanzien van de gevonden berekende waarden van het zuurstofverbruik is het volgende op te merken.

De wijze van bemonstering sluit de mogelijkheid tot biochemische activiteit in de vloeistof, gedurende de periode dat de vloeistof in het monsterverzamelvat bij het punt van monsterneming staat, niet uit. Bekend is uit de literatuur dat hierdoor een aanzienlijke verlaging van het zuurstofverbruik kan optreden; bij de BOD kan deze afneming wel 20 - 25 % bedragen.

De nauwkeurigheid van de getallen is verder afhankelijk

TABEL I - Het verontreinigend vermogen in grammen per inwoner per etmaal

	Oegstgeest	Reeuwijk	's-Gravenhage Mariahoeve	Wedde	Leidschendam „Noord”
BOD zod.	41	32	36	45	37
BOD bez.	29	24	26	32	30
COD zod.	110	78	73	136	99
COD bez.	80	57	57	96	80
Zwevende + opgeloste stof	—	198	186	251	243
organisch	—	92	87	115	111
anorganisch	—	106	99	136	132
Bezinkbare zwevende stof	—	16,2	11,4	36,7	11,4
organisch	—	11,0	8,7	24,8	8,6
anorganisch	—	5,2	2,7	11,9	2,8
Niet-bezinkbare zwevende stof	—	15,2	18,3	25,0	22,4
organisch	—	10,7	14,0	18,2	16,5
anorganisch	—	4,5	4,3	6,8	5,9
Opgeloste stof	—	166	156	189	209
organisch	—	70	64	72	86
anorganisch	—	96	92	117	123
Totaal stikstof	9,4	8,6	8,2	13,8	10,6
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	9,4	7,9	8,1	11,6	9,7
Aantal waarnemingen	39—44	30—35	34—35	31—45	62—65

\*) BOD in de tekst staat voor BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>.

van een groot aantal factoren, waarvan de invloed niet eenvoudig in cijfers is uit te drukken. Afwijkingen kunnen onder meer ontstaan door de bemonsteringsapparatuur, de debietmeting, de analysemethodiek, het aantal inwoners, het verlies van verontreiniging door het functioneren van rioleringsoverstorten, het extra verontreinigend vermogen door water van daken en straten en het jaargetijde, waarin de monsters werden genomen.

Uit de fluctuaties die zijn gemeten tijdens het onderzoek bij perioden met droog weer en regen is gebleken, dat in vlakke riolen gedurende droog weer veel slib tot afzetting komt, dat bij regenval in de riolen wordt opgewoeld en afgevoerd.

De resultaten van het onderzoek zijn nader in Mededeling no. 5, 1968 van het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater beschreven.

### 5. Het proefobject Vijfhuizen

De doelstelling van de studie in Vijfhuizen is als volgt te omschrijven:

- een toetsen van de stippengrafiek van dr. ir. Kuipers door het vergelijken van pluviogrammen met het in werking komen van overstorten (kontrolle van de frekwentie, de hoeveelheid overstortend water en de duur van de overstorting aan de hand van riooltechnische gegevens);
- het kwalitatief onderzoek van de overstorting door middel van automatische bemonstering (de graad van verontreiniging van het overstortende water als functie van de tijd van overstorten en de totale hoeveelheid slijk, die gedurende de overstortingsduur, via de overstort op het ontvangende water wordt afgevoerd);
- het opstellen van waterbalansen en zo mogelijk slijk- en BOD-balansen door middel van hoeveelhedenmeting, monsterneming in de riolen en de onder a. en b. verkregen gegevens;
- het nagaan van de invloed van het overstortende water op het ontvangende water door geregelde bemonstering van het ontvangende water (periodiek en na elke overstorting).

Om een dergelijk onderzoek te realiseren is in eerste instantie een niet te uitgebreid en overzichtelijk rioleringsobject noodzakelijk. Dit werd gevonden in Vijfhuizen, een kern van de gemeente Haarlemmermeer. Hierin bevindt zich een overstort, welke loost op een polder-sloot.

#### Het object Vijfhuizen

De van belang zijnde gegevens worden zoveel mogelijk van maand tot maand, indien nodig aangepast. Per 1 april 1968 zijn de gegevens als volgt: op de riolering aangesloten aantal inwoners 900; totale nuttige berging in het rioolstelsel 451 m<sup>3</sup>; capaciteit van de vijzel in het rioolgemeel 21 m<sup>3</sup>/h (door reductie van het toerental verlaagd tot deze waarde); verhard oppervlak 45.646,3 m<sup>2</sup>.

De gegevens van het verhard oppervlak zijn verkregen door meting in het terrein en kunnen als volgt worden gespecificeerd:

dakoppervlakte	17.042,50 m <sup>2</sup>
paden verhard met tegels	2.088,20 m <sup>2</sup>
paden verhard met grind	411,— m <sup>2</sup>
straatoppervlakte (klinkers)	16.330,20 m <sup>2</sup>
trottoiroppervlakte	9.774,40 m <sup>2</sup>
	<hr/>
	45.646,30 m <sup>2</sup>

De overstortingsfrekwentie van de overstort is bij een

$$\text{berging van } \frac{B}{10 F_v} = \frac{451}{10 \times 4,6} = 9,8 \text{ mm en een over-}$$

$$\text{capaciteit } \frac{\text{Pok} - \text{Qdwa}}{10 F_v} = \frac{21,0 - 9}{10 \times 4,6} = 0,28 \text{ mm/uur}$$

volgens de stippengrafiek gemiddeld 7 x per jaar.

De voor het onderzoek bij de overstort opgestelde apparatuur is aangegeven in afb. 3. Hiermede werd beoogd:

- het meten en registreren van de *hoeveelheden overstortwater*, die via de overstort op het polderwater worden geloosd;
- het meten en registreren van de *hoeveelheden neerslag*;
- het meten en analyseren van de totale *slijkhoeveelheden*, die via de overstort op het ontvangende water worden geloosd.

In Vijfhuizen valt bij overstorten te rekenen met een overstortingsdebiet van 0 - 200 l/sek.

Na ampele overweging werd het duidelijk, dat mede gezien het geringe beschikbare verval een open venturigoet het meest geschikt is voor het meten van een debiet van 0 - 200 l/sek. Geïnstalleerd werd een roestvrij stalen venturiprofiel met bijbehorend meet- en registratietoestel.

De registratie geschiedde op metaaldiagrampapier door middel van een vonkenboog.

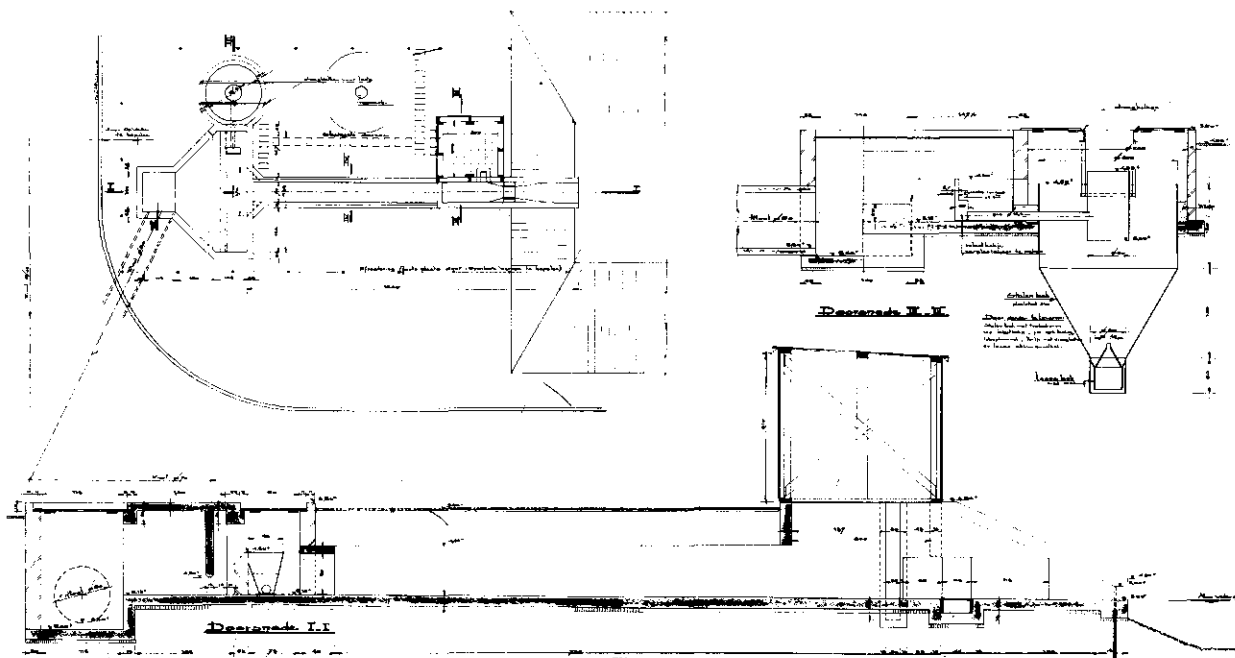
De trommel van het registratietoestel liep niet kontinu. Zodra het water in de overstortput tot aan de drempel was gestegen, werd de debietmeter door een signaal elektrisch in werking gesteld (niveau-elektrodenschakelinstallatie) en omgekeerd, wanneer het water weer tot beneden drempelpeil is gezakt, uitgeschakeld.

Zodoende was het mogelijk de trommel een grotere loopsnelheid te geven dan bij kontinuedrijf, hetgeen de nauwkeurigheid van de aflezing ten goede komt, terwijl wordt vermeden dat onnodig papier wordt gebruikt. Wel heeft deze werkwijze tot gevolg dat een aparte tijds-aanduiding bij het begin en bij het einde van iedere overstorting noodzakelijk is, teneinde het verband tussen de registratie van de debietmeter en de aanwijzing van de zelfregistrerende regenmeter te kunnen vinden. Voor dit doel werd de regenmeter uitgerust met een tweede schrijfstift.

Voor een nauwkeurige watermeting moet het water of het afvalwater rustig door de venturikeel kunnen stromen. Teneinde dit te bereiken werd een zo breed mogelijke overstortdrempel gekozen en de afvoergoot naar de venturikeel zo lang mogelijk gemaakt.

De overstorthoogte boven de drempel van de overstort bedraagt bij een debiet van 200 l/sek en de gekozen drempelbreedte van 4,35 m, ongeveer 8,5 cm.

De registratie-apparatuur van de debietmeter was te samen met de schakelapparatuur opgesteld in een houten keetje.



Afb. 3 - Overzicht meetapparatuur te Vijfhuizen.

De neerslag werd gemeten en geregistreerd met behulp van een zelfregistrerende regenmeter, type KNMI M 540 W met daguurwerk en verwarming. De meter was voorzien van een tweede schrijfstift ten behoeve van de tijdregistratie van de debietmeter. Zodra de eerdergenoemde elektrode in de overstortput in contact met de waterspiegel maakt, wordt deze stift bekrachtigd en de debietmeter in werking gesteld.

Door het bekrachtigen van de tweede schrijfstift wordt aldus het tijdstip van het inwerking komen van de debietregistratie vastgelegd.

Wanneer het contact met de elektrode in de overstortput door de dalende waterstand wordt verbroken, worden de tweede schrijfstift van de regenmeter en de debietregistratie uitgeschakeld. De regenmeter was, op een vlakke betonplaat, zoveel mogelijk overeenkomstig de richtlijnen van het KNMI opgesteld.

In verband met de beperkte beschikbare ruimte, moest enigszins van deze richtlijn worden afgeweken.

Een constructie was ontworpen om de hoeveelheden slijkstoffen, die met het overstortende water worden afgevoerd, te meten. Een evenredig gedeelte van het overstortende water wordt daartoe gescheiden en naar een bezinktank gevoerd.

De stalen bezinktank bestond uit een ronde bak, waarvan de bodem de vorm heeft van een afgeknotte kegel.

Onderaan de kegel bevindt zich een cilindervormige slijkbak. In deze slijkbak is een slijkbak opgehangen, die door middel van een drieblok opgehaald kan worden. De toevoer naar de tank vond plaats via een aan de overstort drempel opgehangen stalen vangbak, met toevoering tot in het centrum van de bezinktank, waar een instroomtrommel was aangebracht.

De tank was voorzien van een overstortrand; de afvoergoot had een afvoerleiding naar de venturigoet.

De bezinktank was zodanig gedimensioneerd, dat bij de maximale hoeveelheid overstortend water van 200 l/sek en een toevoer naar de tank van 2,62 l/sek de verblijftijd 30 min. bedraagt bij een oppervlaktebelasting van 3,0 m<sup>3</sup> per m<sup>2</sup> per uur. De tank had een inhoud van 4,7 m<sup>3</sup>. Als men de inhoud van de bezinktank niet te groot wil maken en de inlaatopening van de vangbak in verband met de nauwkeurigheid van de meting niet te smal, dan moet de drempel van de overstort een bepaalde breedte hebben. Bij een drempelbreedte van 4,35 m bedraagt de

$$\text{breedte van de inlaatopening van de vangbak} = \frac{2,62}{200} \times 435 = 5,7 \text{ cm.}$$

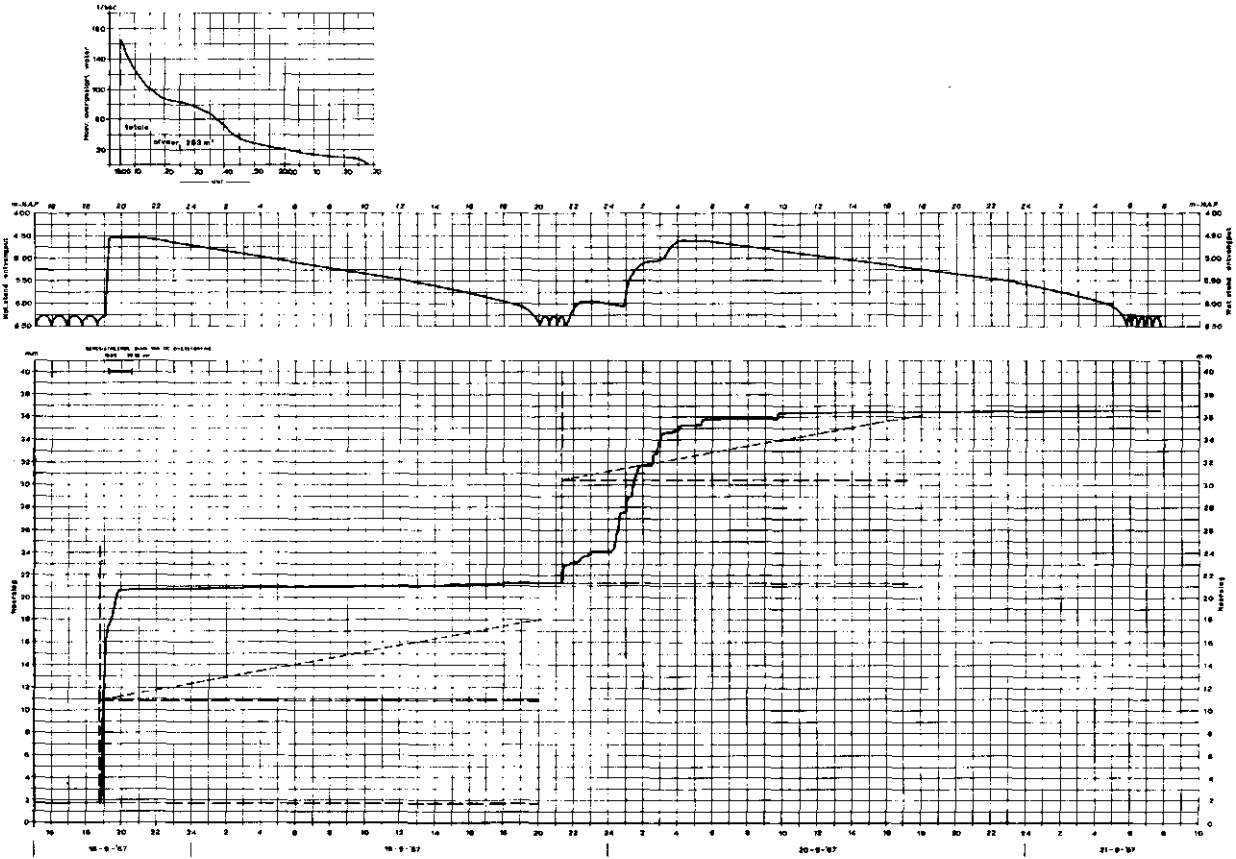
Omdat de meting van de hoeveelheden slijk volgens deze werkwijze alleen bij een gelijkmatige verdeling van het overstortende water over de overstortdrempel nauwkeurig is, werd bijzondere aandacht aan de afwerking van en de toestroming naar deze drempel besteed.

De dagelijkse controle en het onderhoud van de installatie te Vijfhuizen, zoals onder meer het verwisselen van de papierstroken van de pluviometer berustte bij Openbare Werken Haarlemmermeer.

Deze dienst droeg tevens zorg voor de maandelijkse revisieopgaven van rioleringsgegevens. Deze staten werden met de registratiestroken van de regenmeter en de debietmeter naar het RIZA gezonden. Het RIZA werd telefonisch op de hoogte gesteld wanneer een overstorting had plaatsgevonden en verzamelde en verwerkte de nodige gegevens.

De installatie kwam gereed in september 1965.





Afb. 4 - Voorbeeld van een overstortmeting te Vijfhuizen.

Afb. 5 - Percentage verhard oppervlak van het totaal oppervlak (b) in relatie tot het aantal inwoners per ha (a).

Nadien moesten nog technische en organisatorische vraagstukken worden opgelost, zodat kan worden gesteld dat de installatie definitief in bedrijf was sinds januari 1966.

Helaas moet worden gesteld dat het onderzoek niet die uitkomsten heeft gegeven die daarvan werden verwacht. Steeds opnieuw bleek er wel een aanwijsbare factor te zijn die een interpretatie van de meetgegevens zo niet onmogelijk dan toch wel zeer speculatief maakte. Ter illustratie is in afb. 4 een voorbeeld van zulk een overstortmeting gegeven.

**6. Gegevens verhard oppervlak**

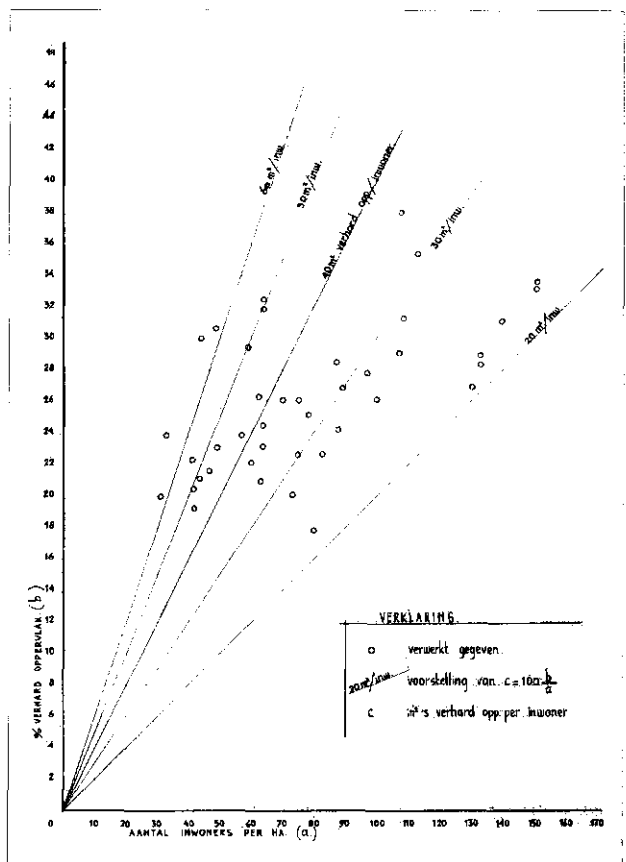
Bij het bepalen van de overstortingsfrequentie volgens de methode Kuipers wordt gebruik gemaakt van het begrip verhard oppervlak.

Onder verhard oppervlak wordt verstaan de oppervlakte waarvan, naar wordt aangenomen, de afvoer van de neerslag rechtstreeks naar het rioelstelsel geschiedt.

Voor een aantal rioleringsgebieden, kleinere gemeenten betreffende, is nagegaan het verhard oppervlak in verhouding tot het totaal oppervlak van het betreffende gebied en in verhouding tot het inwonertal.

Over de verwerkte gegevens kan het volgende worden opgemerkt:

- De gegevens over verhard oppervlak zijn ontleend aan gedetailleerde situatietekeningen van dorps- resp.



stadskernen en uitbreidingsplannen. Waar mogelijk is gebruik gemaakt van bekende gegevens over wegbreedten enz.

- Het inwonertal is in het algemeen gebaseerd op van de gemeenten ontvangen gegevens — veelal prognoses. Deze gegevens zijn weinig nauwkeurig.
- Industrierreinen zijn buiten beschouwing gelaten.

In de afbeeldingen 5 en 6 zijn de resultaten van de studie als volgt weergegeven.

Afbeelding 5: percentage verhard oppervlak van het totaal oppervlak in relatie tot het aantal inwoners per ha (totaal oppervlak).

Afbeelding 6: m<sup>2</sup>'s verhard oppervlak per inwoner in relatie tot aantal inwoners per ha (totaal oppervlak).

Voorts is op beide afbeeldingen ingetekend het verband

$$c = 100 \frac{b}{a}, \text{ waarin}$$

a = aantal inwoners per ha (totaal oppervlak);

b = % verhard oppervlak;

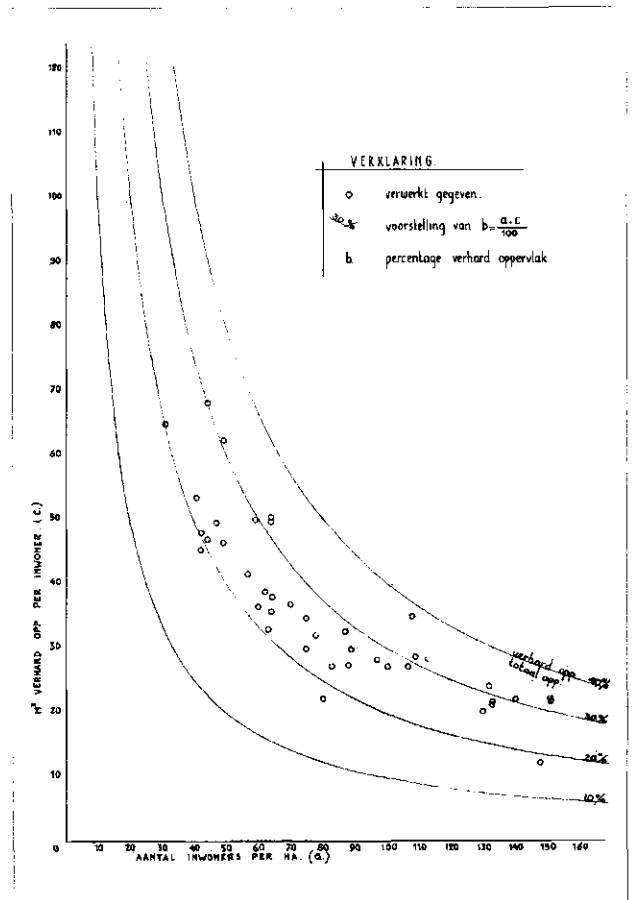
c = m<sup>2</sup>'s verhard oppervlak per inwoner.

De volgende konklusies en opmerkingen kunnen worden gemaakt:

1. De gevonden waarden voor het *percentage verhard oppervlak* ten opzichte van het totale oppervlak vertonen grote spreiding.
2. Bij de meeste gevallen ligt dit percentage tussen de 20 en 30 %.
3. Bij kernen van kleinere steden en uitbreidingen daarvan met etagebouw ligt dit percentage meer rond de 30 %.
4. Bij dorpskernen en uitbreidingen hiervan ligt dit percentage meer rond de 20 à 25 %.
5. Het aantal m<sup>2</sup> verhard oppervlak per inwoner loopt in de beschouwde gevallen zeer uiteen: van 20 m<sup>2</sup>/inwoner tot ruim 60 m<sup>2</sup>/inwoner.
6. Een duidelijk verband tussen het percentage verhard oppervlak (afb. 5) resp. het aantal m<sup>2</sup> per inwoner (afb. 6) en het aantal inwoners per ha kan niet worden aangetoond.
7. Industrierreinen en grote steden zijn niet beschouwd.
8. Bij het ontwerpen van een rioleringsplan kan niet worden uitgegaan van algemeen geldende normen ten aanzien van de grootte van het verhard oppervlak. Het verhard oppervlak zal moeten worden bepaald door: opmeten van bestaande toestand en/of metingen van gedetailleerde tekeningen. Indien aannamen ten behoeve van (nog niet gedetailleerde) structuurplannen moeten worden gemaakt is een zo nauwkeurig mogelijke analyse van de aard der te verwachten bebouwing nodig en kunnen konklusies slechts na beschouwing van vergelijkbare plannen worden getrokken.
9. De tendens bestaat dat het verhard oppervlak in de loop der tijden ten opzichte van het aanvankelijke stedebouwkundig ontwerp groter wordt.

### 7. Afvloeiingscoëfficiënten

Alle vraagstukken betreffende het verband tussen neerslag en riolering zijn samen te vatten in de vraag naar de grootte van de toevoer in elk punt van het rioolstelsel



Afb. 6 - M<sup>2</sup>'s verhard oppervlak per inwoner (c) in relatie tot aantal inwoners per ha (a).

op elk tijdstip. Veelal wordt hierbij de nadruk gelegd op de hoge regenintensiteiten omdat deze bepalend worden geacht voor de topafvoeren en het risico van onderlopen van straten.

Voor overstortingen zijn echter lage intensiteiten van evenveel belang. Ook de totaal gevallen hoeveelheid neerslag en de eventueel voorafgaande buien, alsmede de temperatuur en wind zijn van belang.

Neerslag heeft een ingewikkelde weg af te leggen vóór een riolering wordt bereikt. Op deze weg kan verdamping plaats hebben, ondiepten kunnen tot plassen worden gevuld, enz.

De verhouding van de hoeveelheid neerslag die door de riolering wordt afgevoerd en de hoeveelheid neerslag die is gevallen op verhard oppervlak, wordt de afvloeiingscoëfficiënt genoemd. Het zal duidelijk zijn dat deze grootheid geen konstante kan zijn en in de regel kleiner dan 1 (één) is. Indien het niet verharde oppervlak bijdraagt tot de afvoer kan de afvloeiingscoëfficiënt echter meer dan één bedragen.

De belangrijkste uitgangspunten bij studies omtrent afvloeiingscoëfficiënten worden verkregen uit waarnemingen met regenmeters en afvoermetingen aan riolen. Ook worden wel detailmetingen verricht zoals de stroming over straatoppervlakken en dergelijke. De interpretatie van één en ander is doorgaans niet eenvoudig. De werkwijzen die hiertoe in de literatuur beschreven worden, zijn in twee groepen in te delen, te weten:

- de *globale methoden*, waarbij de afvoer direkt uit de regenkromme wordt berekend;

TABEL II

oppervlak wegdek:	v. d. Akker	Koch	Demidow	WPCF M. 9 *)
asfalt	0,80—0,90	0,9	0,85—0,90	0,70—0,95
beton	—	—	—	0,80—0,95
klinker	0,40—0,70	0,6	0,80—0,85	0,70—0,85
klein-plaveisel	—	—	0,40—0,50	—
steenslag	0,30—0,50	0,35	—	—
grind	0,10—0,30	0,2	0,14—0,30	—
sintels:				
inrijwegen	—	—	—	0,75—0,85
voetpaden, daken	0,85—0,95	0,9	0,90—0,95	0,75—0,95
onverharde vlakken	—	—	0,10—0,30	—
plantsoen	0,05—0,15	—	0,05—0,25	—
park grasperk:				
zanderig	2 %	—	—	0,05—0,10
vlak	2—7 %	—	—	0,10—0,15
gem.	7 %	—	—	0,15—0,20
steil	—	—	—	—
zware grond	2 %	—	—	0,13—0,17
vlak	2—7 %	—	—	0,18—0,22
gem.	7 %	—	—	0,25—0,35
steil	0,00—0,10	0,05	—	—

\*) Toepasbaar voor buien met een periodiciteit van 5—10 jaar.

— de gedetailleerde analyse.

Het navolgende geeft een globaal overzicht van wat er op dit gebied in enige landen is verricht.

#### Globale methode

Een veel gebruikte rekenwijze voor het bepalen van de grootte van de afvoer is de zogenaamde rationele methode. Hierbij wordt de afvoer gelijk gesteld aan het produkt van de regenintensiteit, het afwaterend oppervlak en een zogenaamd afvloeiingscoëfficiënt. De grootte van deze coëfficiënt wordt afhankelijk van de aard van het oppervlak per onderdeel vastgesteld. In tabel II is een overzicht gegeven van een aantal waarden. In het algemeen worden de hogere cijfers voor sterk hellende terreinen en de lagere waarden voor vlakke terreinen aangehouden.

Het tijdsbestek waarin afvoer plaatsvindt, wordt niet volledig gedetailleerd bij de rationele methode.

De tijd, nodig voor de afvoer tot de straatkolken, wordt in WPCF Manual nr. 9 gesteld op 5 - 30 minuten, Imhoff geeft hiervoor aan 5 - 15 minuten.

De korte tijden zouden voor sterk hellende terreinen gelden. Van de Akker haalt nog aan Breitung en Eigenbrodt met 5 resp. 1 minuut.

In Nederland is vrijwel algemeen gebruikelijk de wegen en daken als geheel ondoorlatend te beschouwen en de daarbij behorende afvloeiingscoëfficiënten gelijk aan één te stellen.

De niet verharde terreinen worden geacht geen wezenlijke bijdrage tot de afvoer te leveren in het voor de berekening van belang zijnde tijdsverloop van een bui; deze afvloeiingscoëfficiënt is dan gelijk aan nul.

Ook de tijd die het water nodig heeft om het riool te bereiken wordt gelijk aan nul gesteld. Het afwaterend oppervlak wordt bij deze methode het verhard oppervlak. Een ander in vele handboeken beschreven systeem voor de berekening van de afvoer neemt de dichtheid van de bebouwing als maatstaf voor de grootte van de afvloeiingscoëfficiënt. Imhoff vermeldt deze gegevens welke aan Hütte zijn ontleend (tabel III).

In Engeland zijn door de Road Research Laboratory aan een 12-tal rioleringsobjekten metingen verricht omvattende 286 „storms”. Vergelijken werd de neerslag, gemeten met behulp van regenmeters en de afvoer van de riolen.

Hieruit zijn afvloeiingscoëfficiënten berekend t.o.v. het verhard oppervlak. De aard van het verhard oppervlak wordt helaas niet vermeld.

De resultaten, alsmede de frekwentie van het voorkomen van een afvloeiingscoëfficiënt, zijn in onderstaande tabel samengevat.

Door Gameson werden metingen verricht aan drie gebieden in Engeland gedurende een periode van 2 - 3 jaar. Als gemiddelde afvloeiingscoëfficiënt betrokken op het verhard oppervlak, werd gevonden 74 - 77 %. Gameson stelt een duidelijk verschil vast tussen zomer en winter, te weten 73 % in mei-oktober en 81 % in november-april. Indien een regen werd voorafgegaan door een droge periode van 24 h of langer, was de afvloeiingscoëfficiënt lager dan wanneer dit niet het geval was.

De invloed van de maximum intensiteit van regen op de afvloeiingscoëfficiënt is niet in alle gevallen duidelijk. Boven de 20 l/sek/ha gedurende 23 min. werd in twee gebieden een verlaging van de afvloeiingscoëfficiënt vastgesteld bij toenemende intensiteit, terwijl bij het derde gebied echter een aanmerkelijke verhoging werd gevonden.

#### Gedetailleerde analyse

Hierbij wordt elk onderdeel van de loop van het water aan een kritische beschouwing onderworpen.

Als eerste stap worden de verschillen tussen de in regenmeters geregistreerde neerslag en de op het oppervlak gevallen neerslag geanalyseerd.

Een gedeelte van de neerslag zal door eventueel aanwezige planten worden opgevangen. Volgens Manual no. 9 van de WPCF is deze hoeveelheid voor stedelijke riolering te verwaarlozen.

Het deel van de neerslag, dat door verdamping van het oppervlak verdwijnt, is volgens bovengenoemde publicatie van de WPCF eveneens niet van betekenis bij

TABEL III

aard van de bebouwing	afvoercoëfficiënt t.o.v. het totaalgebied
zeer dicht	0,7—0,9
gesloten	0,5—0,7
open	0,3—0,5
buitenvijken met veel tuinen	0,2—0,3
onbebouwd (sportterreinen)	0,1—0,2
parken	0,0—0,1

TABEL IV

afvloeiingscoëfficiënt	optreden in %
0,41—0,50	1,92
0,51—0,60	7,72
0,61—0,70	16,34
0,71—0,80	30,76
0,81—0,90	22,11
0,91—1,00	14,42
1,01—1,10	4,81
1,11—1,20	0,96
1,21—1,30	0,96
	100,00

riolering. De structuur van het oppervlak waarop de neerslag valt en dat nog als verhard oppervlak in aanmerking wordt genomen is echter van grote betekenis voor de hoeveelheid die zal worden vastgehouden.

Een gedeelte van de neerslag zal niet tot afvloeiing komen omdat oneffenheden in het verharde terrein oppervlak plassen doet ontstaan. Uit deze plassen zal het water door verdamping of door infiltratie verdwijnen. De afvoer zal ook niet direct de volle grootte bereiken; aanvankelijk zullen alleen de vlakken zonder oneffenheden het water laten afvloeien, daarna lopen de ondiepste plassen over, totdat tenslotte eventueel het gehele oppervlak tot de afvoer bijdraagt.

De toename van de afvoer is dus afhankelijk van de statistische verdeling van de oneffenheden. Volgens de „Chicago Method” (Manual no. 9 WPCF) komt bij vlakke topografie 6,35 mm neerslag op doorlatende terreinen en 1,59 mm op wegen en vlakke daken niet tot afvloeiing ten gevolge van plasvorming. Bij hellende terreinen is deze invloed klein. Ook Pieper vermeldt in zijn dissertatie een belangrijke invloed op de afvloeiing door plasvorming. Ondanks de zorgvuldige uitvoering van de door hem beproefde modellen trad bij geringe hellingen plasvorming op.

Het maximum hoogteverschil in het oppervlak van het door hem onderzochte model van kleinplaveisel (met specie voegen), bedroeg 6 mm. Geen onderscheid werd echter gemaakt tussen de hoeveelheid die door adhesie, verzakken, enz. aan de afvoer onttrokken wordt en de hoeveelheid die in plassen geborgen wordt.

In tabel V zijn vermeld de hoeveelheden in mm die volgens Pieper niet worden afgevoerd. Bij geringe helling zijn er plassen, bij grotere helling zijn de plassen leeg gelopen en is alleen adhesie, enz. van belang.

De stroming over het oppervlak naar straat- en dakgoten is van belang, omdat het water een bepaalde tijd nodig heeft om deze weg af te leggen en omdat een zekere berging optreedt.

Bij het begin van een bui zal eerst een laag van water op het oppervlak gevormd moeten worden. Pas als deze laag volledig is ontwikkeld, treedt de maximum afvoer op. Deze laag blijft in stand totdat de regen ophoudt, c.q. van karakter verandert.

Pieper heeft experimenteel de volgende eigenschappen van het stromen van een dunne waterlaag op verharde oppervlakken bepaald.

1. De stroming is, behoudens bij zeer gladde oppervlakken, zoals glas, turbulent.
2. Voor de stroming geldt niet de formule van Chezy. Voor het gebied tussen  $Re = 300$  en  $Re = 5000$  geldt:  $V = c \sin \alpha^{0,47} \cdot D^{0,87}$ .

Hierin is  $D$  de waterdiepte in m,  $\alpha$  de helling van het vlak,  $V$  de stroomsnelheid in m/sek en  $c$  een, van het oppervlak afhankelijke, konstante welke de volgende waarden kan hebben.

TABEL V

helling wegdek	0,01	0,05	0,09
kleinplaveisel	0,90	0,45	0,41
ruw cementbeton	0,74	0,55	0,55
asfalt met split	0,68	0,50	0,50
middel ruw cementbeton	0,43	0,35	0,35
glad asfalt	0,32	0,19	0,18

oppervlak	c
glad asfalt	381
middelruw cementbeton	334
ruw cementbeton	315
kleinplaveisel	315
asfalt met split	247

3. De stroming wordt niet beïnvloed door de druppels die op het water vallen.

Bij nadere uitwerking vindt Pieper voor de stationaire toestand bij een gelijkmatige verdeelde regen  $i$  in m/sek de volgende formule voor de waterdiepte  $D$  (in m) in een punt op een afstand  $s$  van de bovengrens van een afvoerend vlak:

$$D^{1,87} = \frac{s \cos \alpha}{c \sin \alpha^{0,47}} \cdot i$$

De tijdsduur die verloopt voordat de afvoer een konstante waarde bereikt, berekent Pieper door het opstellen en oplossen van een differentiaalvergelijking. De uitkomsten stemmen redelijk met de metingen overeen.

Bij een 8 m lang model was de afvoer aan het onder-eind na 100 sec. konstant. Bij hoge regenintensiteiten is de benodigde tijd korter dan bij lage intensiteiten.

Bij de „Chicago method” wordt uitgegaan van de formule van Izzard voor de bepaling van de gemiddelde  $D_g$  van de waterlaag op het oppervlak (WPCF Manual 9).

Van de regen blijft na aftrek van infiltratie, berging in plassen, enz. een hoeveelheid  $q$  inch/h over. De grootte van  $D_g$  in inches bedraagt dan:

$$D_g = 0,342 \left( \frac{0,0007 i + c'}{\text{tg } \alpha^{1/3}} \right) \cdot s^{1/3} \cdot q^{1/3}$$

$i$  is de regenintensiteit in inch/h,  $s$  de afstand waarover het water stroomt in feet,  $c'$  is de ruwheidscoëfficiënt volgens onderstaande tabel.

oppervlak	$c'$
doorlatende grond	0,06
doorlatende grond (dicht)	0,032
verhardingen	0,012
platte daken met steenslag	0,017

Een andere formule voor de gemiddelde dikte van de waterlaag  $D_g$  wordt door Horton gegeven. Evenals Izzard gaat Horton uit van de stationaire toestand.

$$D_g = \left( \frac{W}{1 + W} \right) \cdot \left( \frac{q}{K_s} \right)^{1/3}$$

Hierin is  $W$  een grootheid die afhankelijk is van de mate van turbulentie volgens onderstaande staat:

turbulent deel van de stroming in %	W
100	1,67
75	2
50	2,33
0 (laminair)	3

Als de stroom voor meer dan  $1/3$  turbulent is geldt:

$$K_s = \frac{1020 \sqrt{\text{tg } \alpha}}{3/4 (3,0 - W) c'' s}$$

Hierin is  $c''$  een ruwheidsfactor met een grootte orde van 0,05 voor begroeid terrein.

Inzake de stroming door de straatgoot vermeldt Manuel 9 van de WPCF slechts, dat de methode van „flood routing” toegepast kan worden.

Over de verdere stroming van het water door kolken en secundaire riolen wordt weinig vermeld ten opzichte van de gebruikelijke berekeningswijzen.

In het voorgaande is een globale indruk gegeven van hetgeen ten aanzien van afvoercoëfficiënten bekend is. Uit een aantal berekeningsgevallen welke hier niet vermeld zijn is gebleken, dat de Nederlandse benaderingswijze tot ongeveer dezelfde uitkomsten leidt als de methoden met gespecificeerde coëfficiënten.

### 8. Bovendrempelberging als onderdeel van het waterbergend vermogen.

Met de pompkapaciteit van het gemaal behoort het waterbergend vermogen van het rioleringsysteem tot de belangrijkste middelen ter beheersing van de overstortingsfrequentie. Voor deze berging kan niet onder alle omstandigheden de totale nuttige inhoud van de riolering worden genomen. In vlakke gebieden zal het grootste gedeelte van de rioleringsinhoud veelal beneden de laagste overstortdrempel zijn gelegen en derhalve aan de onderdrempelberging bijdragen. In hellende gebieden ligt een gedeelte van de inhoud van de riolering boven het niveau van de overstortdrempel. De vraag is in hoeverre de inhoud boven de overstortdrempel nuttige berging oplevert.

De bovendrempelberging kan in beginsel worden bepaald uit een waterbalans waarin de volgende grootheden een rol spelen:

pompkapaciteit, neerslag, afvoer uit en toevoer in het beschouwde gebied, afmetingen en hydraulische eigenschappen van het rioleringsgebied.

Om de meestal ingewikkelde vergelijkingen welke uit de

waterbalans volgen te kunnen oplossen, moeten een aantal vereenvoudigingen worden toegepast welke veelal het verloop van de regen met de tijd (lineair) en de vorm van de toevoerhydrograaf betreffen.

De betrouwbaarheid van het aldus verkregen resultaat kan echter, juist door deze vereenvoudiging, in twijfel worden getrokken.

Er bestaat behoefte aan een berekeningsmethode welke het probleem met voldoende zekerheid praktisch benadert, eventueel zonder de pretentie te hebben van uiterste nauwkeurigheid.

De ontwikkelde formule moet dan ook in dit licht worden bezien.

Voor de afleiding van de basisformule voor de bovendrempelberging is uitgegaan van het meest eenvoudige rioleringsstelsel, namelijk één buis.

De hellend gelegen buis wordt bemalen door een pompinstallatie met overcapaciteit  $P_{ok}$ .

In het riool is een overstort geprojecteerd, waarvan de drempel is gelegen op een peil  $Y = Y_{ov}$  (afb. 7).

Een bepaalde regen wordt in een tijd  $t_B$  in het riool opgenomen.

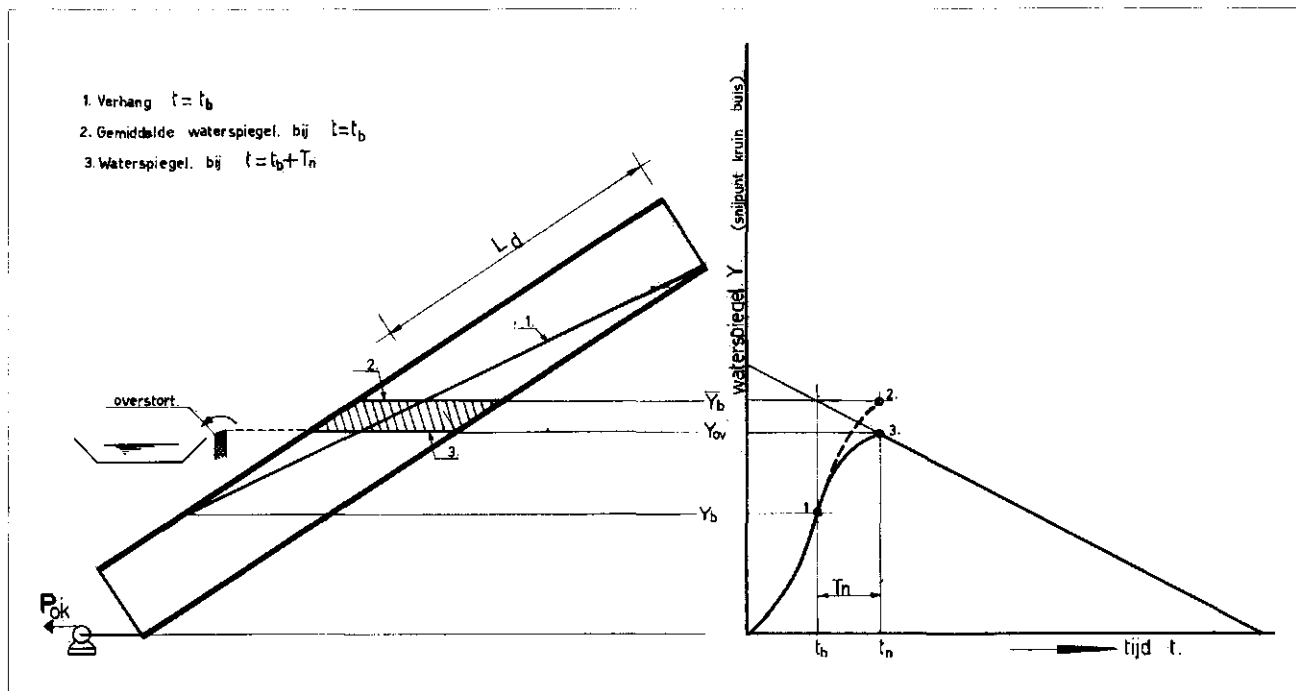
Op dat tijdstip is een waterspiegelverhang in de buis ontstaan (verhanglijn 1). Deze verhanglijn snijdt de kruin van de buis ter hoogte van  $Y_B$ .

Daar  $Y_B$  gelegen is beneden  $Y_{ov}$  werkt de overstort op tijdstip  $t_B$  niet.

Indien op dat moment de bemaling zou worden uitgeschakeld, zou de waterstand in de buis gaan stijgen en zich uiteindelijk instellen op een peil  $Y_B$  (verhanglijn 2). In het onderhavige geval is  $Y_B$  boven de overstortdrempel  $Y_{ov}$  getekend; er zou dus een overstorting plaatsvinden.

Het is nu denkbaar dat onder invloed van de pompkapaciteit de horizontale stand van de verhanglijn op

Afb. 7 - Principe berekening voor eenheidsbuis.



TABEL VI - Resultaten rekenvoorbeelden eenheidsbuis

helling riool	diameter riool Ø cm	totale lengte riool L m	lengte riool voor boven- drempelberg L <sub>D</sub> m	onder- drempelberg ODB mm	restinhoud *) R mm	bovendrempelberg %		overstortings- frequentie zonder BDB f (ODB) per jaar	overstortings- frequentie met BDB f (ODB + DBD) per jaar
						BDR mm	restinhoud BDB % van R		
1 : 200	50	1000	700	2,45	7,35	0,16	2,2	46	40
1 : 200	80	1000	700	2,55	19,60	0,11	0,5	15	15
1 : 200	50	2000	1700	1,23	8,57	0,38	4,5	86	68
1 : 200	80	2000	1700	2,78	22,37	0,27	1,2	38	33
1 : 200	50	5000	4700	0,49	9,31	1,05	11,3	180	67
1 : 200	80	5000	4700	1,11	24,04	0,75	3,1	93	57
1 : 500	50	1000	250	6,10	3,70	0,09	2,4	13	13
1 : 500	80	1000	250	13,85	11,30	0,06	0,5	0	0
1 : 500	50	2000	1250	3,05	6,75	0,44	6,5	33	29
1 : 500	80	2000	1250	6,92	18,23	0,32	1,7	11	10
1 : 500	50	5000	4250	1,22	8,58	1,50	17,5	87	38
1 : 500	80	5000	4250	2,77	22,38	1,07	4,8	38	26
1 : 1000	50	1000	0	9,8	0	0	0	6	6
1 : 1000	80	1000	0	25,15	0	0	0	0	0
1 : 1000	50	2000	500	6,13	3,67	0,25	6,8	13	12
1 : 1000	80	2000	500	13,82	11,53	0,18	1,6	0	0
1 : 1000	50	5000	3500	2,45	6,35	1,75	27,6	46	23
1 : 1000	80	5000	3500	5,53	19,62	1,23	6,3	15	11

\*) Restinhoud = totale inhoud riolering verminderd met inhoud onderdrempelberg.

Opmerkingen:

1. De  $v_n$  is bepaald met de benaderingsformule  $v_n = 0,7 v_{max} = (16,5 d + 4,1) \sqrt{I}$  met  $v_n$  uitgedrukt in m/s en  $D =$  buisdiameter in m;  $I =$  verhang.
2. De overstortingsfrequentie voor gevallen met  $ODB < 4$  mm is bepaald door middel van tabel 11 uit „Mededelingen en Verhandelingen” no. 62 van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

een niveau lager of gelijk aan  $Y_{ov}$  wordt bereikt, waardoor de overstorting wordt voorkomen.

Het is dan ook, als gevolg van het zich instellen van een verhang, in bepaalde gevallen mogelijk dat de gemiddelde vulling van het riool zich tot boven de overstortdrempel uitstrekt, zonder dat de overstort werkt.

In dit verschijnsel bevindt zich de sleutel tot de bovendrempelberg.

Wat gebeurt er namelijk na tijdstip  $t_B$ ?

De verhanglijn wordt dan op twee manieren beïnvloed.

1. Door een stijgende, nivellerende invloed, welke van kracht blijft tot de waterspiegel horizontaal is geworden.
2. Door een dalende invloed tengevolge van de pompwerking Pok.

Nu geldt als voorwaarde voor het *net* niet overstorten dat de horizontale stand juist wordt bereikt op het niveau van de overstortdrempel.

De gemiddelde horizontale waterstand is in een zekere tijd, in het vervolg in nivelleringstijd  $T_n$  genoemd, gedaald van  $Y_B$  tot  $Y_{ov}$  (waterspiegel 3). Daaruit volgt: *De inhoud van het riool tussen  $Y_B$  en  $Y_{ov}$  wordt extra geborgen en is dus gelijk te stellen van de bovendrempelberg.*

De grootte van de bovendrempelberg is bepaald door de gedurende de nivelleringstijd verpompte hoeveelheid water, met andere woorden

$$\text{de bovendrempelberg} = \text{Pok} \cdot T_n$$

Uit de afgeleide formule blijkt dat de nivelleringstijd  $T_n$  voor de berekening van de bovendrempelberg bekend moet zijn.

Nu geldt als voorwaarde dat al het water na nivellering gezakt moet zijn tot (of beneden) het niveau van de overstortdrempel.

De daarvoor benodigde tijdsduur bedraagt:  $T_n = \frac{L_d}{v_n}$

waarin  $L_d$  de lengte van de buis boven de overstort en  $v_n$  de gemiddelde water- en nivelleringsnelheid voorstelt. De vraag rijst welke grootte aan de gemiddelde nivelleringsnelheid moet worden toegekend.

Het is duidelijk dat er verschillende verhangen mogelijk zijn waarbij de overstort net niet in werking treedt, mede door de grote verscheidenheid van regentypen. Bij elk van de bedoelde verhangen behoort weer een andere waarde van  $v_n$  en dus van  $T_n$ .

Deze snelheid wordt echter mede bepaald door de hydraulische eigenschappen van de buis.

In de praktijk zal  $v_n$  zich meestal bewegen tussen  $v_{max}$  en  $0,7 v_{max}$ .

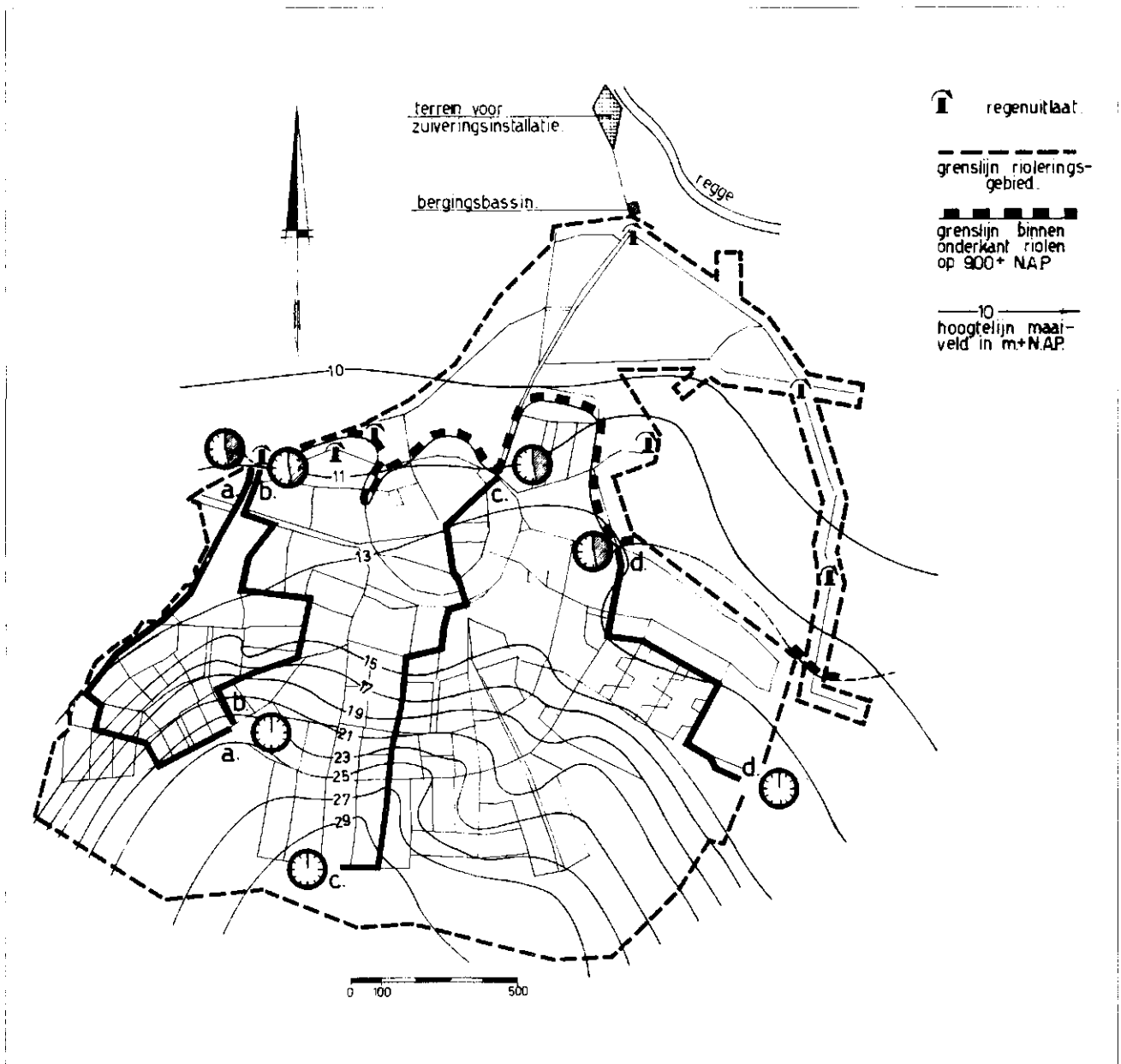
Voor de praktische benaderingen mag een gemiddelde buisvulling worden aangenomen, behorende bij de vulling van een kwart van de buisdiameter, waarbij kan worden gerekend met een  $v_n \approx 0,7 v_{max}$ .

Resumerende:

$$\text{bovendrempelberg} = \text{Pok} \cdot T_n$$

waarin  $T_n = \frac{L_d}{v_n}$  en  $v_n = 0,7 v_{max}$ .

*Uit deze formule volgt dat de bovendrempelberg toeneemt naarmate de afvoervertragende factoren groter zijn.*



Afb. 8 - Rioleringsplan Rijssen.

Er dient echter een restrictie te worden gemaakt ten aanzien van de grootte van de bovendrempelberging; deze kan namelijk nimmer groter zijn dan de inhoud van het riool boven de overstortdrempel.

In tabel VI is het resultaat weergegeven van een aantal eenvoudige rekenvoorbeelden voor een éénheidsbuis. Het verharde oppervlak aan weerszijden van de buis is gesteld op 20 m<sup>2</sup> per m' buis.

Voor de rioolhellingen I zijn daarbij de volgende waarden aangehouden:

1 : 200; 1 : 500 en 1 : 1000.

De hoogte van de overstort is aangenomen op 1,50 m boven het laagste punt van de binnenonderkant van de buis.

In de berekening zijn betrokken de riooldiameters Ø 50 en Ø 80 cm, bij lengten van 1000, 2000 en 5000 m.

Aangenomen is een  $v_n$  van  $0,7 v_{max}$ . De overcapaciteit  $Pok = 0,7 \text{ mm/h}$ .

Uit de cijfers blijkt dat de bovendrempelberging groter wordt naarmate:

het riool (L) langer is;

de diameter (Ø) kleiner is;

de helling (I) flauwer is (mits  $L_{d1}$  lang genoeg).

Voorts blijkt dat de bovendrempelberging in de meeste gevallen zeer beperkt is.

Met uitzondering van de gevallen waarin de overstortingsfrequentie reeds extreem hoog is, is de afname van de overstortingsfrequentie door het in rekening brengen van de bovendrempelberging gering.

Uit deze gegevens volgt onder meer dat de bovendrem-

pelberging in het bijzonder in uitgestrekte, hellende gebieden met geringe onderdrempelberging van belang kan zijn in verband met de relatief sterke vermindering van de geschatte overstortingsfrequentie.

De voorgaande beschouwing had betrekking op één rioolbuis.

In beginsel kan de methodiek ook worden toegepast op een meer complex rioleringsgebied, mits de berekening van de nivelleringsstijd op verantwoorde wijze geschiedt. In het onderstaande wordt een voorbeeld gegeven van een berekening welke is uitgevoerd voor het rioleringsplan van de gemeente Rijssen.

Voor de gemeente Rijssen is ontworpen een centraal lozend gemengd rioleringsstelsel nabij het riviertje de Regge.

In afb. 8 is het stelsel schematisch weergegeven.

De belangrijkste regenuitlaten bevinden zich in het laaggelegen gebied; de laagste overstortingsdrempels liggen op NAP + 9,00 m.

Vanaf dit gebied loopt het terrein, vaak onder vrij sterke hellingen op; aan de periferie van het rioleringsgebied komen hoogten voor van NAP + 30,00 m.

Het is duidelijk dat een groot gedeelte van de rioolinhoud niet bijdraagt tot de onderdrempelberging; in de afb. is de grens tussen het gebied van de onderdrempel- en bovendrempelberging met een speciale lijn aangegeven.

Gegevens:

- verhard oppervlak 113,3 ha;
- totale inhoud riolering 13.189 m<sup>3</sup>;
- onderdrempelberging 5.563 m<sup>3</sup> (dus onder 9,00 m + NAP) of 4,9 mm;
- restinhoud 7.626 m<sup>3</sup> (dus inhoud boven 9,00 m + NAP).

Om de  $T_n$  te kunnen schatten is een viertal representatieve trajekten a t/m d gekozen, waarvan is nagegaan hoeveel tijd het water nodig heeft om het traject te doorlopen vanaf het begin tot het gebied van de onderdrempelberging is bereikt.

Deze tijd per traject is bepaald met behulp van de berekende gemiddelde snelheden  $v_n$  in de verschillende onderdelen van het traject.

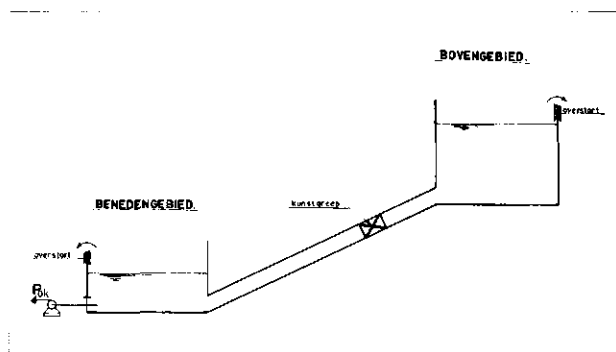
Ter illustratie volgt hier de berekening van de  $T_n$  voor traject a.

125 m' Ø 40	cm 1 : 40	$v_n^*) = 1,69$ m/sek	= 74 sek
80 m' Ø 30	cm 1 : 40	= 1,43	m/sek = 56 sek
28 m' Ø 30	cm 1 : 100	= 0,90	m/sek = 31 sek
135 m' Ø 30/45	cm 1 : 40	= 1,59	m/sek = 85 sek
85 m' Ø 30/45	cm 1 : 85	= 1,09	m/sek = 78 sek
70 m' Ø 40/60	cm 1 : 50	= 1,70	m/sek = 41 sek
334 m' Ø 60/90	cm 1 : 700	= 0,61	m/sek = 550 sek
284 m' Ø 80/120	cm 1 : 700	= 0,76	m/sek = 374 sek
104 m' Ø 80/120	cm 1 : 1000	= 0,64	m/sek = 163 sek
145 m' Ø 70/105	cm 1 : 1000	= 0,57	m/sek = 254 sek

1390 m'  $T_n = 1706$  sek

\*)  $v_n = (16,5 d + 4,1) \sqrt{I}$  (voor de gebruikelijke diameters grafisch afgeleid uit de formule van Kutton).

Op overeenkomstige wijze zijn bepaald de waarden voor  $T_n$  voor de trajekten b, c en d. De resultaten zijn als volgt:



Afb. 9.

$T_n$ voor traject a	1706 sek of 0,47 uur
b	0,49 uur
c	0,47 uur
d	0,48 uur

De gemiddelde  $T_n$  is 0,48 uur.

Bij een overcapaciteit van 0,7 mm/uur bedraagt de bovendrempelberging  $0,7 \times 0,48 = 0,34$  mm of 384 m<sup>3</sup>, zijnde 5 % van de restinhoud van het rioleringsstelsel. Uit het voorgaande is wel gebleken dat de bovendrempelberging een relatief gering percentage uitmaakt van de rioolinhoud boven de laatste overstortdrempel.

Indien de totale nuttige berging onvoldoende blijkt om de overstortingsfrequentie tot een aanvaardbaar niveau te reduceren, kan worden overwogen om een kunstgreep toe te passen ter vergroting van deze berging.

Deze kunstgreep houdt de toepassing in van een eerder getrokken konklusie, namelijk dat de bovendrempelberging toeneemt met de afvoervertragende factoren.

Door de afvoer van het bovengebied te vertragen, zoals in afb. 9 schematisch is aangegeven, wordt de inhoud van het bovengebied meer gevuld en dus het benedengebied minder belast.

De aldaar aanwezige overstort zal dan ook minder snel in werking treden.

Deze benutting van de inhoud van het bovengebied kan als een vorm van bovendrempelberging worden opgevat. De juiste waarde van deze bovendrempelberging is onder meer afhankelijk van de overcapaciteit, de aard van aangebrachte vertragskonstruktie, karakteristieken van de betrokken rioleringsgebieden en van de regen.

Een nader onderzoek naar de juiste samenhang is nog gaande. Opgemerkt wordt dat het effect van de vertragskonstruktie ook kan worden benaderd door deze konstruktie te zien als een fictief ondergemaal.

Beneden- en bovengebied kunnen dan afzonderlijk worden berekend, elk met eigen berging, overcapaciteit en overstortingsfrequentie. Deze behandeling wordt reeds algemeen toegepast.

Een moeilijkheid vormt de grootte van de doorvoer van het bovengebied.

De kunstgreep zal meestal bestaan uit een buis- of putweerstand, een schuif of een klep.

Daar de afvoer bij toenemende vulling van het bovengebied groter wordt, kan de pomplijn in de kuipersgrafiek geen rechte zijn. Veelal wordt toch een gemiddelde konstante afvoer aangenomen. Opgemerkt wordt dat afdoende maatregelen moeten worden getroffen om verstopping ter plaatse van de vertragskonstruktie te voorkomen.

(wordt vervolgd)