

Gevolgen van de verstedelijking m.b.t. de kwantitatieve aspecten van de afwatering

1. Inleiding

1.1. Algemeen

Een van de gevolgen van verstedelijking is de zorg voor een adequate afwatering. Het betreft de afvoer van afvalwater van huishoudelijke en industriële herkomst en van regenwater van verhard oppervlak. Dit water wordt afgevoerd door een stelsel van leidingen (en kunstwerken) in de meeste gevallen onder de grond: het rioleringsysteem. In de praktijk worden afvalwater en regenwater soms afgevoerd door hetzelfde rioleringsstelsel, soms door



IR. F. SLIJKOORD

wetenschappelijk medewerker
afdeling Speurwerk
Heide Mij Nederland
Arnhem

afzonderlijke systemen.

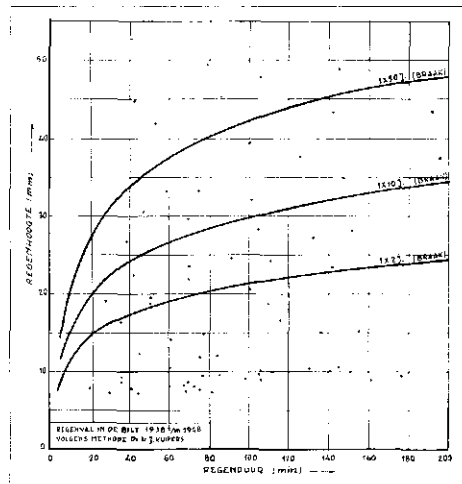
In het eerste geval is sprake van een zgn. *gemengd* rioleringsstelsel, in het laatste geval van een *gescheiden* stelsel.

In Nederland komt het gemengde stelsel het meeste voor. Indien in het navolgende sprake is van een rioleringsstelsel, is daarmee steeds het gemengde type bedoeld. Aan het rioleringsstelsel worden twee belangrijke functies toegekend:

1. de *afvoer* van water naar een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) (transport-functie);
2. de *berging* van water, indien t.g.v. neerslag de afvoer naar de rwzi een aantal malen groter is dan de capaciteit van het rioolgemaal (retentie-functie).

Een van de *eisen* die door Nederlandse gemeenten aan het rioleringsstelsel gesteld worden zijn, dat de afvoer van water moet plaatsvinden zonder dat daarbij water-op-straat komt.

Dit is een probleem van dimensionering van het rioleringsstelsel. Het basisgegeven voor het ontwerp van de riolering is de neerslag in het te riolerende gebied. Neerslag is een zeer grillig en onzeker natuurverschijnsel, zowel in de tijd als in de plaats. Voor het kunnen doen van redelijk betrouwbare uitspraken over onbetrouwbare zaken moeten registraties van neerslag *statistisch* bewerkt worden. Hiervoor zijn jarenlange registraties van neerslag noodzakelijk. Deze zijn bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) te De Bilt, te verkrijgen. De meest eenvoudige statistische beschouwing beperkt zich tot de hoogte en de duur van iedere *afzonderlijke* regen van een reeks (resp. totale inhoud en duur van iedere regen). In afb. 1 zijn deze regens voorgesteld door



Afb. 1 - Schematische voorstelling van regenregistraties en van regenduurlijnen.

stippen. Met statistische methoden is een verdeling gevonden. In afb. 1 komt deze tot uitdrukking in een aantal krommen van verschillende frequentie, de zgn. regenduurlijnen.

Iedere regenduurlijn vormt de omhullende van alle regens die met zekere betrouwbaarheid voorkomen met een frequentie van die lijn.

Dit werk is de verdienste van Kuiper, Braak, Reinhold e.a.

Voor de beschrijving van het proces van het afvoergebeuren is kennis over neerslag in *openvolgende* tijdvakken van belang. Dit betekent dat niet alleen de perioden met neerslag beschouwd moeten worden, maar ook de droge tijdvakken tussen regens. Hiertoe zijn statistische bewerkingen uitgevoerd op jarenlange reeksen van registraties van de neerslag in openvolgende perioden van 5 minuten. In dergelijke 'tjandreksen' wordt in droge perioden dus voor ieder tijdvak van 5 min. een neerslag van 0 mm opgegeven.

Deze *tjandreksen* zijn statistisch bewerkt, waarbij (verschillende soorten van) regenduurlijnen berekend worden. Dit is het werk van Levert, Talsma, v. Kregten, v. d. Herik en Kooistra.

1.2. Praktisch realiseerbare ontwerpcriteria

Bij beschouwing van de regenstatistiek van het Nederlandse klimaat blijkt dat het vanwege extreme investeringen praktisch onmogelijk is een rioleringsstelsel te dimensioneren dat onder *alle* omstandigheden voldoende grote capaciteit voor afvoer en berging heeft.

Daarom worden voor een rioleringsstelsel de volgende voorwaardelijke ontwerp-criteria geformuleerd:

— een *transport-capaciteit*, gebaseerd op de droogweerafvoer (dwa) en op die van een

'ontwerpregen' van een voldoende lage frequentie;

— een *bergingscapaciteit* die een aantal malen per jaar te 'gering' is. Het niet meer te bergen water wordt via overstorten, zonder zuivering naar de omgeving van het stedelijke gebied geloosd.

1.3. Konsekwenties

De gevolgen van een dergelijk beleid zijn dat:

- in het stedelijke gebied rekening moet worden gehouden met inundaties;
- het open water van de landelijke omgeving van het stedelijke gebied vervuild zal worden met afvoergolven van overstortwater en met niet optimaal gezuiverd water van de rwzi.

Dit geeft aanleiding tot problemen van:

- waterloopkundige aard, zoals inundaties en ontgrondingen achter stuwen, en van
- hygiënische aard: vervuiling.

Beide laatstgenoemde aspecten zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Om organisatorische redenen wordt in dit kader alleen ingegaan op de waterloopkundige problemen.

1.4. Bestuurlijke aspecten

De verantwoordelijkheid voor de beheersing van de afvoer en de kwaliteit van het oppervlaktewater is in Nederland toevertrouwd aan verschillende beherende instanties. Het beheer van rioleringen berust bij de gemeenten, en dat van het open water van het landelijke gebied bij de Provincies (gedelegeerd aan waterschappen en/of zuiveringsschappen) of bij de Rijksoverheid (gedelegeerd aan de Rijkswaterstaat). Na het in werking treden van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (VWO) in 1972, zijn deze bestuurlijke aspecten geregeld.

Voor iedere lozing van water uit het stedelijke gebied moet door de bevoegde instanties ontheffing worden verleend. Hierbij worden bovengrenzen gesteld aan het jaarlijkse maximum van de overstortfrequentie en aan de maximum hoeveelheid overstortwater. Alles berekend volgens een van te voren afgesproken berekeningswijze (zie 'Waterschappen en Verstedelijking', Dragt).

1.5. Stelling van het probleem

De gevolgen van de verstedelijking ten aanzien van de afwatering zijn op globaal twee deelproblemen terug te voeren, namelijk de beoordeling van:

- de transportcapaciteit en de berging van het rioleringsstelsel. De criteria hiervoor kunnen worden afgeleid door de kenmerken van het gerioleerde gebied in relatie te brengen met die van de neerslag.

— de transportcapaciteit van het stelsel van open waterlopen van de landelijke omgeving van het stedelijke gebied.

2. Beoordeling van de waterafvoerende systemen

2.1. De transportcapaciteit van het rioleringsysteem

Van een bestaand, verbeterd of nieuw ontworpen rioleringsysteem wordt de transportcapaciteit beoordeeld door berekening van de waterhoogten in putten ten gevolge van een ontwerpregen van konstante intensiteit van 60 tot 100 l/s ha op het verharde oppervlak. Hierbij zijn de randvoorwaarde(n) voor de berekening opgelegd door de waterhoogten in de lozingsputten. Inundaties worden opgespoord door in iedere put het waterpeil te vergelijken met het straatpeil.

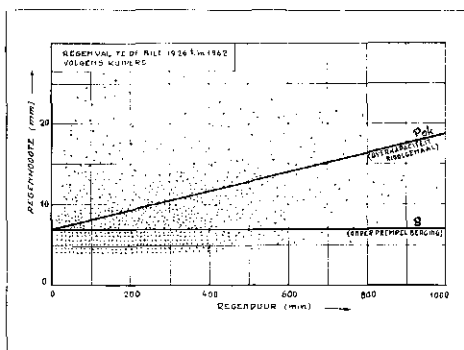
Bij de berekening wordt aangenomen dat de stroming in de riolen stationair en uniform is: permanente stroming. Voor dit model van 'permanente stroming' zijn computerprogramma's ontwikkeld.

2.2. De bergingscapaciteit van het rioleringsysteem

De bergingscapaciteit van het rioleringsysteem bestaat uit twee onderdelen:
— de inhoud van het rioleringsysteem beneden niveau van de laagste drempel van de overstorten: de onderdrempelberging;
— het produkt van overcapaciteit van het rioolgemaal en pompduur.

De onderdrempelberging en de overcapaciteit worden betrokken op het verharde oppervlak van het gerioleerde gebied. In de stippengrafiek van Kuipers (afb. 1) worden zij zo gekozen dat het aantal regens dat tot een overstorting aanleiding geeft het gewenste aantal per jaar gemiddeld niet overschrijdt (6 à 10 maal), zie afb. 2. Deze beschouwing is in feite een waterbalans voor de berging en overcapaciteit van het beschouwde systeem, op basis van ingevoerde neerslag.

Afb. 2 - Stippengrafiek van Kuipers van de 'totale' berging van een rioleringsysteem, betrokken op het verharde oppervlak.



Het rioleringsysteem is vereenvoudigd tot een 'bak' met een inhoud gelijk aan de onderdrempelberging en een 'lek' ter grootte van de overcapaciteit van het rioolgemaal. Deze voorstelling van de werkelijkheid wordt het 'bakmodel' genoemd.

Opmerking: De overcapaciteit van het rioolgemaal wordt zo bemeaten dat de geheel gevulde onderdrempelberging in ca. 10 uur leeggepompt kan worden.

2.3. De afvoercapaciteit van het stelsel van open waterlopen

Ook voor stelsels van open waterlopen is het gebruikelijk de afvoercapaciteit ervan te beoordelen met het model van de permanente stromingen. In principe wordt eenzelfde procedure gevolgd als bij de evaluatie van rioleringsystemen. De zijdelingse voeding bestaat in dit geval uit het debiet van overstorten.

Heeft het stedelijke gebied één overstort, dan wordt het debiet ervan geschat uit het verharde oppervlak en de overcapaciteit van het rioolgemaal van het gerioleerde gebied, en de gemiddelde intensiteit van de gekozen ontwerpregen.

Is er sprake van meer dan één overstort, dan wordt het debiet van de verschillende overstorten m.b.v. het model van de permanente stroming voor het gerioleerde gebied.

In beide gevallen wordt de duur van de overstorting (T) geschat volgens het bakmodel (zie afb. 3).

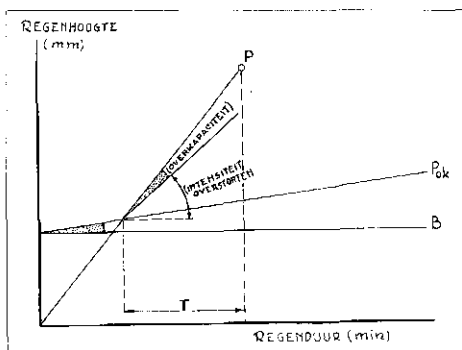
3. Geldigheid van de gebruikte modellen

3.1. Model permanente stromingen voor rioleringsystemen

Voor de berekening van de afvoercapaciteit volgens het model van permanente stroming wordt uitgegaan van een stationaire stroming in ieder riool. Bij een konstante intensiteit van de neerslag zal deze toestand pas bereikt worden bij zeer lange regenduren.

Een en ander is mede-afhankelijk van de

Afb. 3 - Overstort T voor een neerslag P van konstante intensiteit voor een rioleringsysteem met onderdrempelberging B en overcapaciteit P_{ok}.



kenmerken van het gerioleerde gebied. Afgezien van het feit dat 'ontwerpregens' (60 - 100 l/s ha) van een dergelijke duur in werkelijkheid bijna nooit een konstante intensiteit hebben, komen zij volgens de 5 min.-analyse slechts voor met zeer lage frequenties (zie afb. 4).

In feite worden rioleringsystemen dus beoordeeld (en ontworpen) op relatief lage statistische frequenties, m.a.w. het rioleringsysteem voldoet in een groter aantal gevallen aan de eisen, dan aanvankelijk was aangenomen.

De kans op stagnatie met de afvoer is geringer, naarmate de (gemiddelde) intensiteit van de neerslag groter gekozen wordt.

3.2. Bakmodel voor rioleringsystemen

Bij het opstellen van het bakmodel zijn indertijd de volgende veronderstellingen gemaakt:

— de intensiteit van de neerslag is konstant in de tijd en naar de plaats (over het gehele gebied);

— het inloophydrogram is identiek gelijk aan het pluviogram, m.a.w. alle neerslag die op het verharde oppervlak valt, komt onvervormd tot afvoer naar de berging;

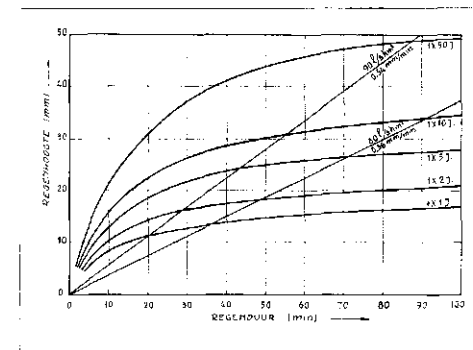
— de overcapaciteit van het rioolgemaal is konstant in de tijd, onafhankelijk van de opvoerhoogte. Het rioolgemaal komt in werking bij de aanvang van de neerslag.

— de onderdrempelberging is volledig beschikbaar op het moment van de aanvang van de neerslag.

Zeker is dat al deze aannamen een grote schematisering vormen van de werkelijkheid. Een van de belangrijkste bezwaren tegen het huidige bakmodel is wel dat geen rekening wordt gehouden met de vervorming van de neerslag tot afvoer bij de afstroming over het verharde oppervlak en door (een deel van) de riolering.

Het thans in gebruik zijnde model is niet meer dan een nulde-orde systeem, terwijl het in feite een systeem is van de eerste of hogere orde. Hierdoor is in het algemeen

Afb. 4 - Regenduur en frequentie van ontwerpregens van konstante intensiteit, volgens de 5 min.-analyse.



de statistische verdeling van de afvoer niet gelijk aan die van de neerslag.

3.3. Het model van permanente stroming voor open waterlopen

Het beoordelen van de afvoerkapaciteit van een stelsel van open waterlopen m.b.v. het model van permanente stroming zal slechts in een beperkt aantal gevallen realistisch zijn. Uit afb. 3 bleek reeds dat de duur van een overstorting kleiner is dan die van de ontwerpregen. Om eerder genoemde redenen zullen in de werkelijkheid zowel de duur als de intensiteit van de overstortingen belangrijk verschillen van de berekende waarden: transformatie van neerslag tot afvoer, en niet konstante intensiteit van de langdurende neerslag.

Op grond van deze overwegingen zal ook in het ontvangende water in vele gevallen de toestand van permanente stroming niet worden bereikt. In die situaties is het zinvol gebleken met 'afvoergolven' uit de overstorten te rekenen, die zich verspreiden in het open water: *model van niet-permanente stroming*. Voor deze berekeningen zijn computerprogramma's ontwikkeld.

In dit model worden de tijd-afhankelijke overstorten ingevoerd als zijdelingse voedingen van het stelsel van open waterlopen. De overstort-intensiteit en -duur worden daarbij geschat (zie 3.2.).

Om te komen tot een maatgevende afvoer in het open water wordt van te voren een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor overstortingen van verschillende intensiteit en duur in het stelsel van waterlopen. De kenmerken van overstortingen worden daarbij geschat voor ontwerpregen van verschillende konstante intensiteit en duur op het verharde oppervlak van het gerioleerde gebied.

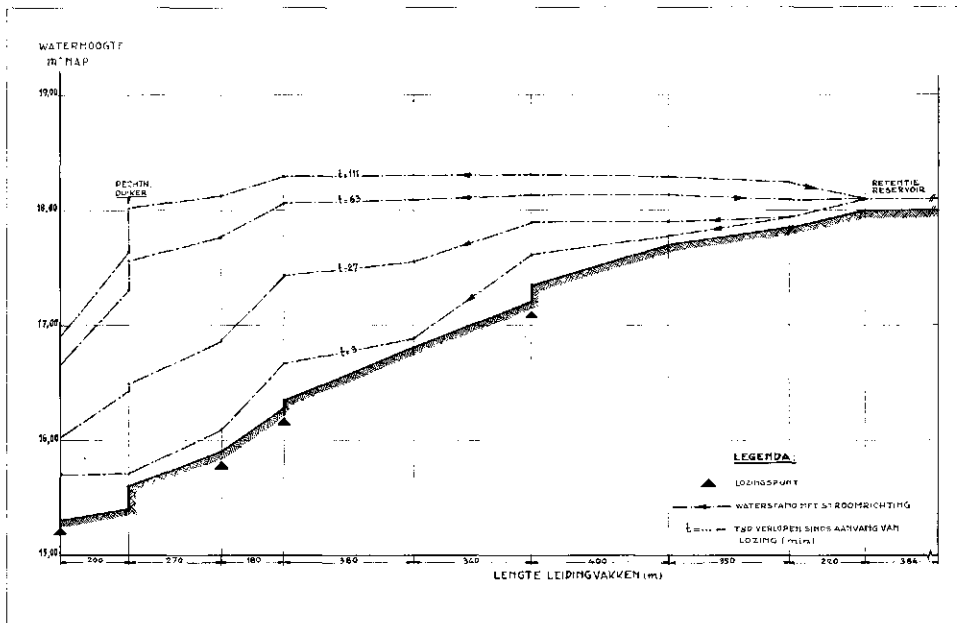
De overstortingen worden per ontwerpregen als tijdfafhankelijke zijdelingse voedingen doorgerekend in het te beschouwen stelsel van open waterlopen.

Ter beperking van de rekentijd wordt aanvankelijk het 'belangrijkste' deel van dit stelsel beoordeeld.

Maatgevend zijn nu die overstortingen die in het open water aanleiding geven tot de hoogste waterstanden.

De meest kritieke overstorting(en) wordt tenslotte nog eenmaal door het *gehele* stelsel doorgerekend.

In praktische situaties wordt de afvoerkapaciteit van een stelsel van open waterlopen en kunstwerken met dit model i.h.a. groter beoordeeld dan op grond van de berekening met het model van *permanente* stroming. Dit wordt veroorzaakt doordat in het model van de niet-permanente stroming de tijdelijke berging van het stelsel in rekening wordt gebracht.



Afb. 5 - Verloop van de berekende waterstand in een beek, als functie van de tijd, tengevolge van tijd-afhankelijke zijdelingse voedingen in lozingspunten.

TABEL I - Overzicht van meetprojecten voor stadshydrologie in Nederland.

instantie	project
Rijkdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP)	1. Lelystad: inloophydrograaf van straten, pleinen en platte daken, en stand van grondwater. 2. Biddinghuizen: overstortfrequentie. 3. Swifterbant: overstortfrequentie.
Landbouwhogeschool te Wageningen, afd. Hydraulica (LH-W)	1. afvoermetingen plat dak en van straten van verschillend oppervlak; 2. afvoermetingen in riolen van verschillende woonwijken (Ede, Enschede).
Provinciale Waterstaat van Gelderland (PWS)	Groesbeek: afvoermetingen van een gerioleerd gebied, met gemengd rioleringsstelsel
Heidemij Nederland (HN)	Neede: meting afvoergebeuren van neerslag in gemengd rioleringsstelsel van een dorp van ca. 9000 inwoners op een verh. oppervlak van ca. 60 ha.

Het resultaat van een dergelijke berekening is in afb. 5 gegeven van een deel van een stelsel van waterlopen.

Duidelijk blijkt dat in bovenstroomse leidingvakken het debiet van richting omkeert naarmate de beek op den duur gevuld raakt t.g.v. opstuwing door de duiker.

3.4. Slotopmerkingen

Omstreeks 1965 is door diverse Nederlandse adviesbureaus en gemeenten een onderzoek ingesteld naar mogelijke verschillen in hun beoordelingsmethoden voor riolerings-systemen. Hiertoe werd de riolering van eenzelfde objekt Tuindorp-Oostzaan doorgerekend. Gekonstateerd werd dat gelijksoortige resultaten een spreiding vertoonden van een faktor 2.

Eenzelfde voorbeeld is bekend uit een proef-objekt in West-Duitsland.

4. Toetsing van de gebruikte modellen in de praktijk (hydrologie van stedelijke gebieden)

De bezwaren tegen de thans in gebruik zijnde modellen zijn niet nieuw. Die werden reeds onderkend door degenen die tot hun ontwikkeling hebben bijgedragen. Bij diverse instanties bestaat om verschillende redenen behoefte de sterk geschematiseerde werkelijkheid van de modellen aan de praktijk te toetsen. Overigens zijn in het buitenland al sinds jaren meetprogramma's voor stadshydrologie in uitvoering.

In tabel I is een overzicht gegeven dergenen die zich in Nederland met de hydrologie van stedelijke gebieden bezig houden.

Aan de hand van enkele van de belangrijkste meetresultaten wordt een indruk gegeven van de stand van het onderzoek voorzover dit bekend is. Meer gedetailleerde infor-



Het graven van open water in de stad, dat later vele functies kan vervullen.

matie over doelstellingen van het onderzoek, het meetprogramma en de meet-opstelling, de resultaten e.d. zijn bij genoemde instanties verkrijgbaar.

Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders

Met een empirische relatie is een 'netto' neerslag afgeleid uit de geregistreerde 'bruto' neerslag. De netto neerslag is bewerkt met het bakmodel. Bij eenzelfde berging en overcapaciteit is de berekende overstortings-frequentie voor de netto neerslag een faktor 2 à 2,5 lager dan die voor de bruto neerslag. Metingen in Lelystad.

LH-Wageningen (afd. Hydraulica)

De nadruk van het onderzoek ligt op het formuleren van het model van het afvoergebeuren van een plat dak en van straten met verschillende oppervlakte-structuren.

Provinciale Waterstaat van Gelderland

Tot dusverre zijn nog geen resultaten beschikbaar. Opstelling te Groesbeek.

Heidemij Nederland

Het onderzoek is primair gericht geweest op de beoordeling van het ingerichte meetgebied en de praktische betrouwbaarheid van de opstelling te Neede. Gezien het karakter van het riolerings-systeem worden thans de volgende twee categorieën van registraties achtereenvolgens uitgewerkt: die op droge en op natte dagen. Het voorlopige resultaat is dat de afvoer op droge dagen afhankelijk is van:

- het tijdstip van de dag;
- de dag van de week (soort dag);
- stand van het grondwater t.o.v. de ligging van de riolen.

5. Conclusies

1. De traditionele modellen voor het ont-

werp en de beoordeling van riolerings-systemen in Nederland kunnen als volgt worden gekenmerkt:

- een sterke schematisering van de werkelijkheid;
- het ontbreken van een toetsing aan de praktijk;
- een verschil in de uitkomst van de berekening van gelijksoortige modellen van maximaal een faktor 2, indien uitgevoerd bij verschillende adviesbureaus en gemeenten.

2. De indruk bestaat dat met genoemde modellen een hogere frequentie voorspeld wordt van het optreden van overstortingen en inundaties van het riolerings-systeem, dan met de praktijk in overeenstemming is. Deze uitspraak lijkt voor de overstortings-frequentie te worden bevestigd op grond van het voorlopige resultaat van metingen.

6. Aanbevelingen

Het model van permanente stroming en het bakmodel kunnen verbeterd worden door het afvoergebeuren van neerslag in een gerioleerd gebied in rekening te brengen. Als gevolg van de verscheidenheid van factoren die dit afvoergebeuren beïnvloeden, is voor het riolerings-systeem een hydrologische benadering van het gehele gebied zinvol. Het doel van het onderzoek moet gericht zijn op het vinden van (eventuele parameters voor) de beschrijving van het afvoergebeuren. Hiermee kunnen tijdreeksen van neerslagen worden getransformeerd in die van afvoeren, waarop een statistische analyse moet volgen.

Voor een beoordeling van de invloed van overstortwater op de fluktuaties van de kwaliteit van het open water, zou in het

voorgestelde meetprogramma voor stads-hydrologie ook het aspect van de kwaliteit opgenomen moeten worden.

Literatuur

- Berg, drs. J. A. van de en Ven, ing. G. A. *Kwantitatieve aspecten van de afvoer van regenwater in stedelijke gebieden*. H₂O (10), 1977, nr. 9-200.
- Herik, ing. A. G. v. d., Kooistra, ir. M. T. *5 min.-regens. Regenintensiteiten en overstorten bij rioleringen*. Grontmij, De Bilt, 1973.
- Koot, prof. ir. A. C. J. *'Inzameling en transport van rioolwater'*. Waltman, Delft, 1977.
- Krayhoff v. d. Leur, prof. ir. D. A. en Zuidema, ir. F. C. *Een onderzoek naar de relatie tussen neerslag en afvoer in het stedelijke gebied van Lelystad*. H₂O (2), 1969, nr. 4.
- Kregten, ir. S. J. van, *Regengegevens ten behoeve van de berekening van rioleringen*. H₂O (5), 1972, nr. 20.
- Levert, C. *Regenvalstatistieken, hoeveelheden neerslag in tijdvakken van 5 min. tot 5 jaren*. Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO. Verslagen en mededelingen, no. 14, Den Haag, 1968.
- Slijkoord, ir. F. *Beoordeling van de opstelling voor het meten van stadshydrologie te Neede*. Werkdocument Heide mij Nederland, afd. Speurwerk (in voorbereiding).
- Talsma, A. *Het bepalen van regenduurlijnen voor perioden van 5 tot 90 minuten*. H₂O (2), 1969, nr. 13.
- Veldkamp, ir. F. B. *Regen en rioleringsvraagstukken*. H₂O (1), 1968, nr. 20.
- Zondervan, J. G. en Dommerholt, A. *Omvorming van neerslag tot rioolinvoer bij één bepaald type 'inlet area'*. Laboratorium van hydraulica en afvoerhydrologie, LH-Wageningen. Nota 33 (dec. 1975): 73-151.
- Rapport van de Commissie riolering en waterverontreiniging van de afd. gezondheidstechniek, KIVI. Deel I: H₂O (5), 1972, nr. 10. Deel II: H₂O (5), 1972, nr. 12.
- Rapport: *Tuindorp-Oostzaan: zeven berekeningen van de afvoer naar het ontvangende water bij regenval*. Werkgroep Afvoerfactoren Stedelijke Gebieden, KIVI, sectie cultuurtechniek, 1965.
- Rapport: *Kwantitatieve aspecten van de afvoer van stedelijke gebieden*. Werkgroep Afvoerfactoren Stedelijke Gebieden. Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Koninklijk Genootschap van Landbouwwetenschap. Juni, 1973.

