

KORTE NEERSLAGGREEKSEN VOOR DE BEREKENING VAN RIOOLEMISSIES

ir. G. VAES, prof. J. BERLAMONT
Laboratorium voor Hydraulica
Departement Burgerlijke Bouwkunde
Katholieke Universiteit Leuven

SHORT RAINFALL SERIES AS INPUT FOR SEWER EMISSION CALCULATIONS

The ideal impact calculation is a detailed dynamic simulation with long historical rainfall series, but this is very time consuming. To reduce the simulation time we can try to select the critical rainfall periods out of the long rainfall series. To select the representative parts from the long rainfall series, it is necessary to incorporate the most important characteristics of the sewer system. For this a linear reservoir model is used.

On the one hand, a set of short rainfall series can be selected, which can be used for a wide range of sewer systems, but the length of this set will still be quite long (reduction factor around 10). The advantage of this approach is the easy usage.

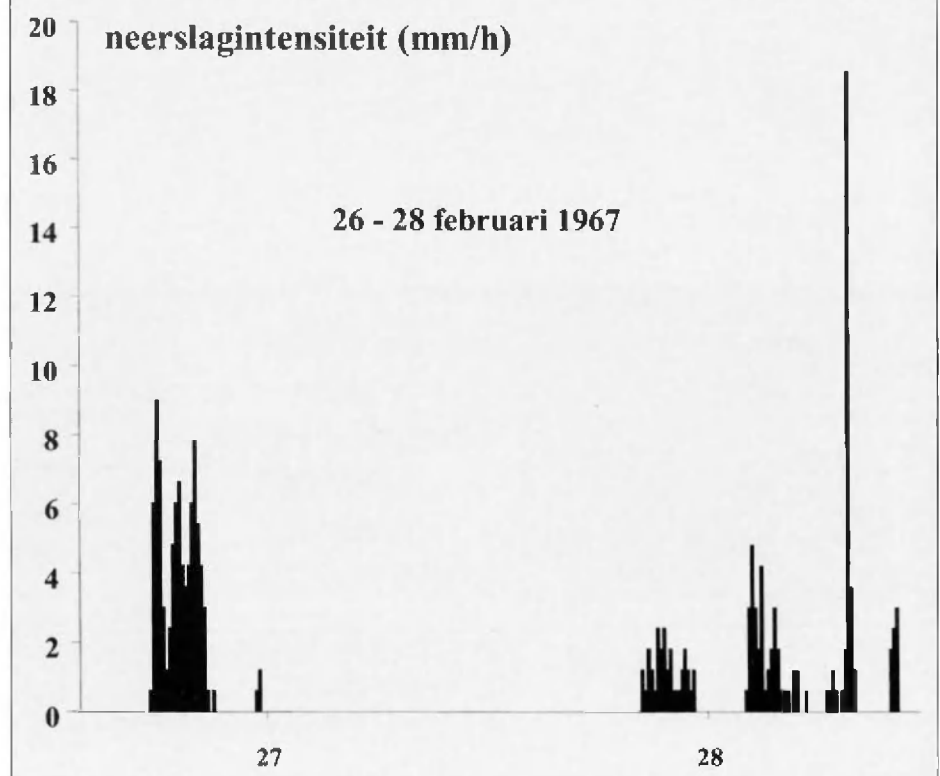
On the other hand, a set of short rainfall series can be selected which can be used for one particular sewer system and can be quite short (reduction factor around 100). The disadvantage of this approach is that the sewer system has to be modelled first into a simplified model and the relevant short rainfall series have to be selected for this particular case.

Between these two approaches, sets of short rainfall series can be obtained, which are representative for a small range of sewer systems. For this also a simplified model has to be set up, but once the characteristics of the sewer system are known, a standard set of short rainfall series can be used.

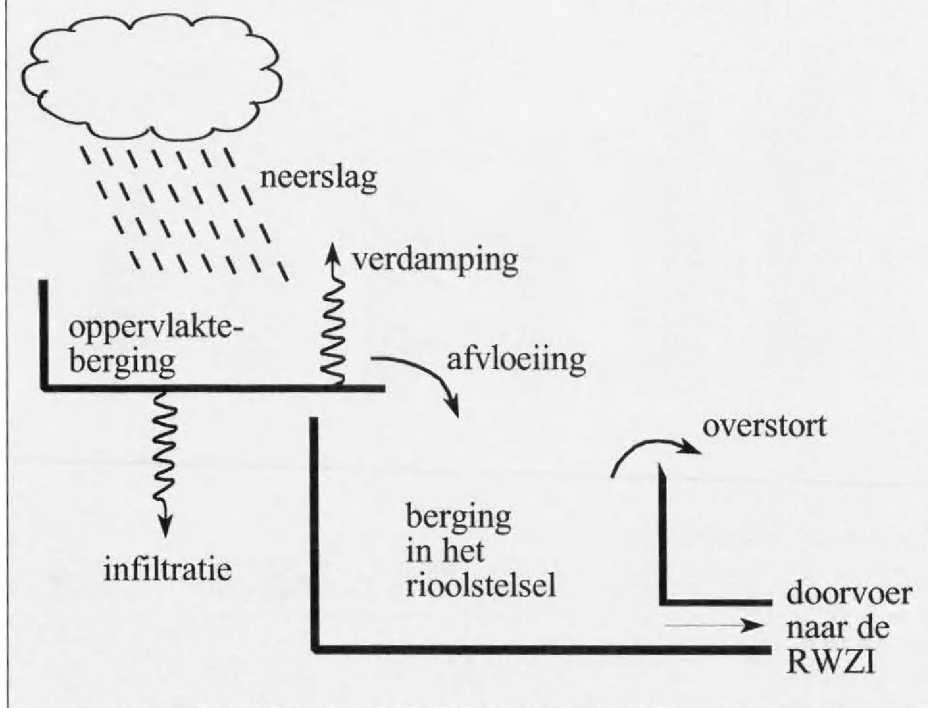
1. SITUERING

De meest nauwkeurige berekeningen van riolemissies worden bekomen met dynamische simulatiemodellen (implementatie van de volledige 'de Saint-Venant' vergelijkingen), waarbij een lange historische neerslagreeks wordt gebruikt als neerslaginvoer [1,2,3,4]. Deze aanpak leidt met de huidige generatie van computers tot zeer lange rekentijden. Om een compromis te sluiten tussen enerzijds de nood aan het uitvoeren van dynamische simulaties en anderzijds toch neerslag te gebruiken die zo veel mogelijk statistische informatie bevat, kan men een selectie maken van korte neerslagreeksen uit de lange historische neerslagreeks (figuur 1). Het selecteren van korte neerslagreeksen uit de lange historische neerslagreeks is geïnspireerd door het feit dat er veel droog weer perioden of perioden met weinig neerslag in voorkomen. Op die manier kan de rekentijd enigszins beperkt blijven en kan men toch betrouwbare impactsimulaties uitvoeren. Een vereenvoudiging van de neerslag tot enkelvoudige buien levert voor impactsimulaties minder betrouwbare resultaten op [5,6]. Impactberekeningen met vereenvoudigde modellen (bijvoorbeeld hydrologische modellen) hebben dan weer als nadeel dat er bijkomend gemodelleerd dient te worden, wat ervaring en tijd vergt [7,8,9].

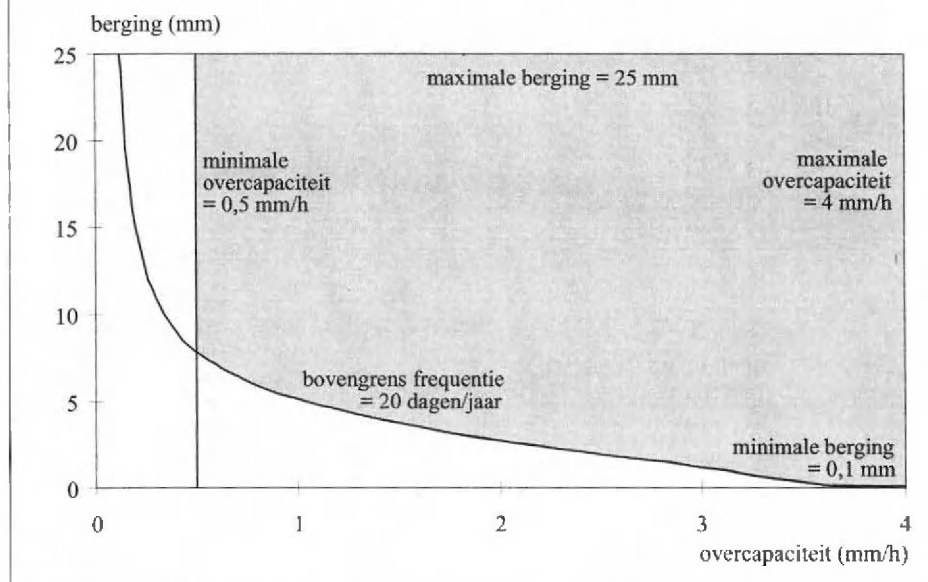
Figuur 1: voorbeeld van een korte neerslagreeks.



Figuur 2: schematische voorstelling van de werking van een bakmodel (RWZI = rioolwaterzuivering-installatie).



Figuur 3: geldigheidsdomein voor de veralgemeende set van korte neerslagreeksen.



2. WERKWIJZE

2.1 Inrekenen van de parameters van het rioolstelsel

Uit de beschikbare lange historische neerslagreeksen dienen de kritieke korte delen te worden weerhouden. Dit zijn de korte neerslagreeksen die tot een overstorting zullen leiden. De selectie dient dus te gebeuren op basis van het uiteindelijke effect, namelijk de overstortgebeurtenis. Het is onmogelijk om alleen aan de hand van de neerslag

slagkarakteristieken een set van korte neerslagreeksen te selecteren, die voldoende statistische informatie overhoudt en tegelijkertijd voldoende kort is. Om die redenen dienen de belangrijkste parameters van het rioolstelsel te worden ingerekend bij de selectie. De selectie kan enkel bij benadering gebeuren, omdat er veel factoren meespelen. Daarom worden de selectiecriteria aan de veilige kant gekozen, zodat de kritieke neerslagreeksen zeker geselecteerd worden. Hoe beter de parameters van het rioolstelsel worden betrokken

bij deze selectie, hoe minder niet-kritieke delen in de set van korte neerslagreeksen zullen voorkomen en dus hoe kleiner de simulatietijd wordt.

2.2 Een bakmodel als selectie-instrument

Omdat de selectie van korte neerslagreeksen enkel bij benadering kan gebeuren door de belangrijkste parameters van het rioolstelsel in te rekenen, lijkt een bakmodel een goed instrument om deze selectie uit te voeren [7,8,10]. Hierbij wordt de invloed van de belangrijkste parameters, zoals berging, overcapaciteit (doorvoercapaciteit verminderd met de droog-weer-afvoer), concentratietijd en parameters van het neerslagafstromingsmodel gezamenlijk ingerekend (figuur 2). Ook de variatie en opeenvolging van de neerslag - de belangrijkste aspecten bij emissieberekeningen - worden hierbij ingerekend. Met een bakmodel kunnen zeer snel vele combinaties van de belangrijkste parameters worden nagegaan (een factor 10^4 tot 10^6 sneller dan bij een dynamische simulatie). Voor dit onderzoek werd een lineair bakmodel gebruikt [7,8,9]. Dit betekent dat er een lineair verband wordt aangenomen tussen het ogenblikkelijke volume in het stelsel en het ogenblikkelijke doorvoerdebiet.

2.3 Antecedent en posteriori condities

Elke geselecteerde korte neerslagreeks dient een voldoende lange periode van voorafgaande neerslag te bevatten, opdat de korte neerslagreeks tot hetzelfde effect leidt als de lange historische neerslagreeks; dit zijn de antecedent condities. Wanneer een bakmodel gebruikt wordt voor de selectie kunnen de antecedent condities zodanig bepaald worden dat de overstortgebeurtenis in het vereenvoudigd model op hetzelfde ogenblik begint voor zowel de korte neerslagreeks als de historische neerslagreeks.

De geselecteerde neerslagreeks dient na de regen nog een voldoende lange periode te bevatten, opdat het effect volledig merkbaar zou zijn. De neerslagreeks dient dus zeker de periode te bevatten tot het einde van de overstortgebeurtenis, ook al bevat deze geen neerslag. Omdat het vereenvoudigd model slechts een benadering geeft van de werkelijkheid, kan het in bepaalde gevallen nodig zijn om een ietwat langere periode te selecteren, opdat het volledige effect (totaal overstortvolume, totale overstortduur) van de betreffende neerslagreeks kan worden waargenomen.

3. VERALGEMEENDE SET VAN KORTE NEERSLAGREEKSEN

3.1 Doel

Wanneer voor het bepalen van de korte neerslagreeksen een vereenvoudigd model wordt gebruikt, heeft dit tot gevolg dat de betreffende korte neerslagreeksen slechts bruikbaar zijn voor die rioolstelsels waar

voor het vereenvoudigde model representatief is. Om de modellering van rioolstelsels tot een vereenvoudigd model overbodig te maken, kan men voor een brede variatie aan modelparameters de neerslagreeksen afleiden. Men bekomt dan een set van korte neerslagreeksen die representatief is voor alle rioolstelsels waarvan de parameters binnen dit brede domein vallen. Het nadeel is wel dat de simulatietijd voor deze veralgemeende set van korte neerslagreeksen nog groot is.

3.2 Afbakening van het geldigheidsdomein

Hoe groter het geldigheidsdomein van een dergelijke veralgemeende set van korte neerslagreeksen is, hoe groter de totale simulatieduur zal zijn. De aangroei van de set van korte neerslagreeksen is het grootst bij kleine overcapaciteiten en grote gemiddelde overstortfrequenties (figuur 3). Het is dan ook belangrijk deze grenzen niet te ruim te kiezen. Zo zal een set van korte neerslagreeksen die geldig is voor een overcapaciteit tussen 0,5 en 4 mm/h ongeveer dubbel zo veel simulatietijd vergen als een set die geldig is voor een overcapaciteit tussen 1 en 4 mm/h (figuur 4). Bij een kleine overcapaciteit zal het rioolstelsel immers vlugger gevuld raken en langer gevuld blijven. Hierdoor zullen ook minder intense buien tot een overstorting leiden. De antecedent condities spelen hierbij een zeer belangrijke rol en zullen over een langere periode ingerekend dienen te worden, wat de simulatieduur nog extra vergroot.

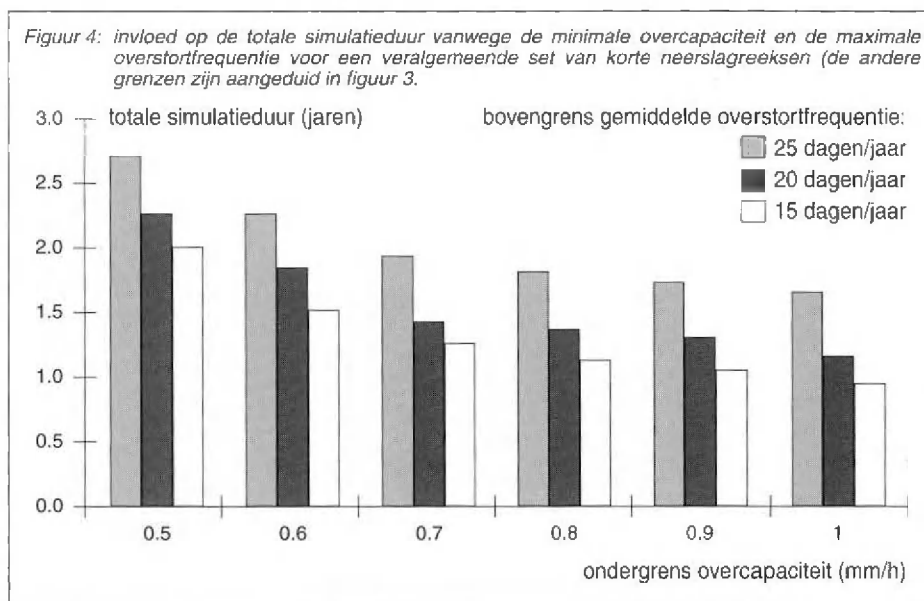
Een analoog verschijnsel ziet men wanneer men stelsels inreken met een hoge gemiddelde overstortfrequentie (figuur 4).

Daarentegen dient men ervoor te zorgen dat deze veralgemeende set van korte neerslagreeksen toch algemeen geldig blijft. De minimale overcapaciteit mag dus niet te groot worden gekozen bij de selectie en ook de gemiddelde overstortfrequentie dient voldoende groot te zijn. Omwille van de onzekerheden op het model zullen daarboven overstortfrequenties in de buurt van de maximale frequentie minder goed worden voorspeld (figuur 5).

De andere grenzen van het geldigheidsdomein (maximale overcapaciteit, minimale en maximale berging) spelen een ondergeschikte rol bij de aangroei van de set van korte neerslagreeksen (figuur 3).

3.3 Voorbeeld

Aangezien de Vlaamse criteria voor de overstorten een gemiddelde frequentie eisen van 7 tot 10 dagen met overstorting per jaar, werd de maximale frequentie voor het opstellen van de veralgemeende set van korte neerslagreeksen gelijk aan 20 dagen met overstorting per jaar genomen. De grote veiligheidsmarge hierop is zeker nodig (figuur 5), ook omdat de berekening van de overstortfrequentie, zoals dit nu gebeurt met enkelvoudige buien, een onderschatting van de frequentie kan opleveren [5,6,10,11]. Daarnaast werd de minimale overcapaciteit gelijk aan 0,5 mm/h aangenomen. Wanneer een hogere ondergrens wordt genomen, zal de simulatieduur weliswaar dalen,



Tabel 1: korte neerslagreeksen voor 1967 uit de veralgemeende set.

startdatum	startuur	einddatum	einduur	duur
3/1/67	19:10	6/1/67	0:50	53:40
19/2/67	0:10	21/2/67	3:00	50:50
26/2/67	14:10	28/2/67	11:40	45:30
10/3/67	13:30	13/3/67	14:20	72:50
26/3/67	10:20	27/3/67	22:10	35:50
24/5/67	9:10	26/5/67	0:30	39:20
28/5/67	15:40	28/5/67	23:30	7:50
23/6/67	14:00	24/6/67	4:20	14:20
27/6/67	8:30	27/6/67	16:50	8:20
18/7/67	20:00	19/7/67	4:20	8:20
1/8/67	8:40	10/8/67	19:50	227:10
14/8/67	11:50	16/8/67	15:40	51:50
17/8/67	6:40	17/8/67	14:20	7:40
14/9/67	12:50	14/9/67	20:50	8:00
19/9/67	8:00	21/9/67	19:50	59:50
2/10/67	11:30	2/11/67	20:40	753:10
22/12/67	13:40	23/12/67	17:50	28:10

maar vallen heel wat rioolstelsels uit de boot. Vele rioolstelsels in Vlaanderen hebben immers een overcapaciteit tussen 0,5 en 1 mm/h.

Het geldigheidsdomein voor de opgestelde, veralgemeende set van korte neerslagreeksen omvat dus (figuur 3):

- overcapaciteit tussen 0,5 en 4 mm/h
- berging tot 25 mm
- concentratietijd tussen 60 en 240 minuten
- gemiddelde overstortfrequentie tot 20 dagen met overstorting per jaar

Om goede resultaten op te leveren, dient het neerslagafstromingsmodel van het vereenvoudigd model hetzelfde te zijn als bij het gebruikte dynamisch model. Dit betekent dat in dit geval een vaste afvoercoëfficiënt gebruikt werd van 0,8 op de verharde oppervlakte.

De totale duur van de veralgemeende set van korte neerslagreeksen voor dit geldigheidsdomein is 2,2 jaren neerslag; dit is 8 % van de totale historische neerslagreeksen van Ukkel (27 jaren) waaruit deze veralgemeende set is afgeleid. Als voorbeeld worden in tabel 1 de korte neerslagreeksen uit deze veralgemeende set weergegeven voor het jaar 1967.

4. SPECIFIEKE SET VAN KORTE NEERSLAGGREEKSEN

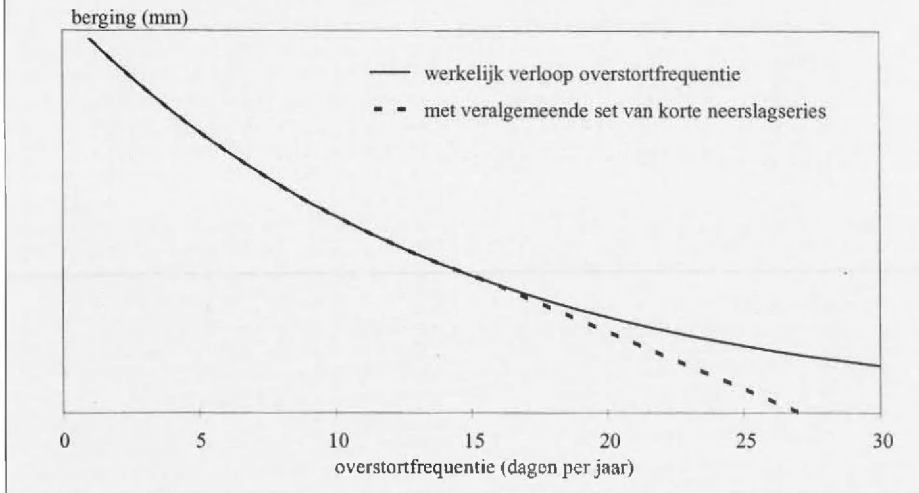
4.1 Beperking van de simulatieduur

Zelfs het simuleren van de veralgemeende set van korte neerslagreeksen is met de huidige generatie van computers nog erg tijdrovend. Om de totale duur van de set

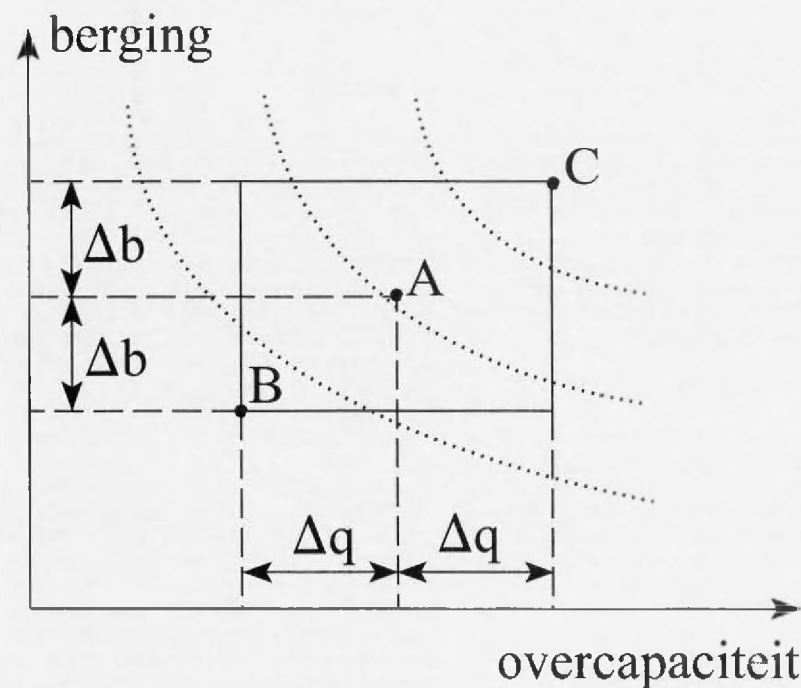
van korte neerslagreeksen verder te beperken, dienen de parameters van het rioolstelsel nauwkeuriger ingerekend te worden. Voor de rioolstelsels met een kleine overcapaciteit en een grote gemiddelde overstortfrequentie zal de tijdwinst niet erg spectaculair zijn, maar voor andere combinaties kan de tijdwinst zeer groot zijn.

Aangezien men met een vereenvoudigd model werkt, dient men een veiligheidsmarge op de gemiddelde modelparameters in te voeren. Hiertoe worden de modelparameters zodanig gekozen, dat er meer overstortgebeurtenissen voorkomen, dit wil zeggen dat de berging en de overcapaciteit worden onderschat (situatie B in figuur 6).

Figuur 5: effect van de maximale frequentie bij de berekening van de overstortfrequentie met de veralgemeende set van korte neerslagreeksen.



Figuur 6: inrekenen van de veiligheidsmarges bij de selectie van korte neerslagreeksen.



- A : gemiddelde modelparameters
- B : onderschatte modelparameters
- C : overschatte modelparameters
- Δq : veiligheidsmarge op de overcapaciteit
- Δb : veiligheidsmarge op de berging
- : constante gemiddelde overstortfrequentie

De grootte van deze veiligheidsmarge heeft een grote invloed op de rekentijd. Daarom is het belangrijk om de modelparameters nauwkeurig te schatten, opdat de veiligheidsmarges beperkt kunnen worden gehouden.

Een verdere beperking van de simulatietijd kan bekomen worden door de korte neerslagreeksen die zeker tot een overstorting zullen leiden, in te rekenen zonder ze dynamisch te simuleren. Deze overstortgebeurtenissen kunnen bepaald worden door de modelparameters te overschatten (situatie C in figuur 6).

4.2 Selectief gebruik van korte neerslagreeksen

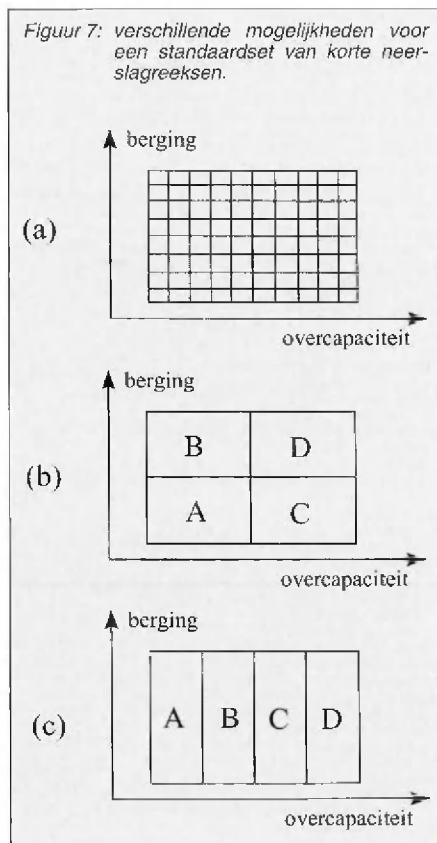
Alle overstortgebeurtenissen die voorkomen bij de onderschatte modelparameters (situatie B in figuur 6) en niet bij de overschatte modelparameters (situatie C in figuur 6), liggen binnen de veiligheidsmarge en zijn dus onzeker. Men kan deze onzekerheid kwantificeren. De overstortgebeurtenissen die plaatsvinden bij de overschatte modelparameters (situatie C in figuur 6), leiden zeker tot een overstorting en hebben dus een 'zekerheid' gelijk aan 1. De overstortgebeurtenissen die bij de onderschatte modelparameters voorkomen (situatie B in figuur 6) maar niet bij grotere waarden van de modelparameters, zullen zeker niet tot een overstorting leiden en hebben een 'zekerheid' gelijk aan 0. Alle overstortgebeurtenissen die voorkomen bij de onderschatte modelparameters en niet bij de overschatte modelparameters hebben dan een 'zekerheid' tussen 0 en 1. Men kan de 'zekerheid' van de tussenliggende gevallen verder kwantificeren op basis van de gemiddelde overstortfrequentie voor die combinatie van modelparameters, waarbij de betreffende overstortgebeurtenis het eerst voorkomt.

Wanneer men zo aan elke overstortgebeurtenis een 'zekerheid' heeft gekoppeld, kan men deze op basis hiervan in klassen onderverdelen. Men kan dan de totale simulatieduur beperken door slechts één korte neerslagreeks per klasse te simuleren. De uiteindelijke berekening van de overstortparameters dient dan wel rekening te houden met de 'zekerheid' van de betreffende overstortgebeurtenis, alsook met de overstortgebeurtenissen die zeker zullen plaatsvinden en niet dynamisch gesimuleerd worden (situatie C in figuur 6).

4.3 Standaardsets van korte neerslagreeksen

Een tussenliggende aanpak bestaat er in het globale domein van de modelparameters verder onder te verdelen in kleine subdomeinen, waarbij voor elk subdomein een standaardset van korte neerslagreeksen wordt opgesteld (figuur 7 a). De simulatietijd zal dalen en de modellering dient minder gedetailleerd of nauwkeurig te gebeuren. Hoe kleiner de subdomeinen, hoe kleiner de simulatietijd zal zijn, maar hoe meer standaardreeksen er dienen te zijn en hoe nauwkeuriger de modellering dient te gebeuren. Bovendien stijgt het aantal standaardreeksen sterk wanneer er een bijkomende modelparameter wordt ingerekend.

Men kan het aantal standaardreeksen beperken door grotere subdomeinen te definiëren (figuur 7 b). Voor bepaalde standaardreeksen zal de rekentijd echter veel groter zijn dan voor andere. De totale simulatieduur voor de vier gebieden in figuur 7 b is gerangschikt van groot naar klein (A, B, C, D). Omwille van de belangrijkheid van de modelparameter 'overcapaciteit', kan men ook enkel op basis van deze ene parameter de verschillende standaardreeksen opstellen (figuur 7 c). Ook hier vinden we dat de simulatietijd het grootst is voor kleine overcapaciteiten; de totale simulatietijd voor de vier gebieden in figuur 7 c is eveneens gerangschikt van groot naar klein (A, B, C, D). Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat het bepalen van de overcapaciteit niet zo voor de hand liggend is. In het vereenvoudigd model wordt immers een lineaire doorvoerrelatie gehanteerd. Wanneer de doorvoerrelatie niet-lineair is (bijvoorbeeld bij pompenkelders), dient een lineaire benadering te worden gezocht. Hieruit kan dan de overcapaciteit worden afgeleid, wat niet noodzakelijk het maximale (fysische) doorvoerdebiet (verminderd met de droog-weer-afvoer) is. Voor sterk niet-lineaire systemen wordt de onzekerheid op de parameters groot, waardoor grote veiligheidsmarges nodig zijn. Hiervoor kan dan best de veralgemeende set van korte neerslagreeksen worden gehanteerd.



5. TOEPASBAARHEID

5.1 Nauwkeurigheid versus rekentijd

Wanneer verschillende methodes worden vergeleken, dient men natuurlijk niet enkel de effectieve rekentijd te beschouwen. Ook de modelleringstijd moet worden ingerekend, wat vooral van belang is bij de berekeningen met een vereenvoudigd model. Toch kan met de huidige generatie van computers een dynamische simulatie met een veralgemeende set van korte neerslagreeksen niet concurreren met een vereenvoudigd model. Hiertoe dienen de hardware en software samen nog wel 100 tot 1000 keer sneller te rekenen. Bovendien heeft ook de veralgemeende set van korte neerslagreeksen begrenzingen (figuur 3), waardoor er toch enig inzicht dient te zijn in de belangrijkste parameters van het rioelstelsel (berging, overcapaciteit, concentratietijd, ...). Wanneer enkel op basis van de duur van de neerslaginvoer wordt vergeleken, kan reeds worden vastgesteld hoe groot het

verschil in rekentijd zal zijn tussen berekeningen met de veralgemeende set van korte neerslagreeksen en deze waarbij geselecteerd werd met een specifiek vereenvoudigd model (figuur 8).

Wat de nauwkeurigheid betreft, biedt de veralgemeende set van korte neerslagreeksen binnen het geldigheidsdomein zeer goede perspectieven. Voor sets van korte neerslagreeksen opgesteld met een vereenvoudigd model voor de specifieke situatie hangt de nauwkeurigheid sterk af van de goede modellering en calibratie en van de gekozen veiligheidsmarge.

5.2 Vereenvoudigd model [7,8,9]

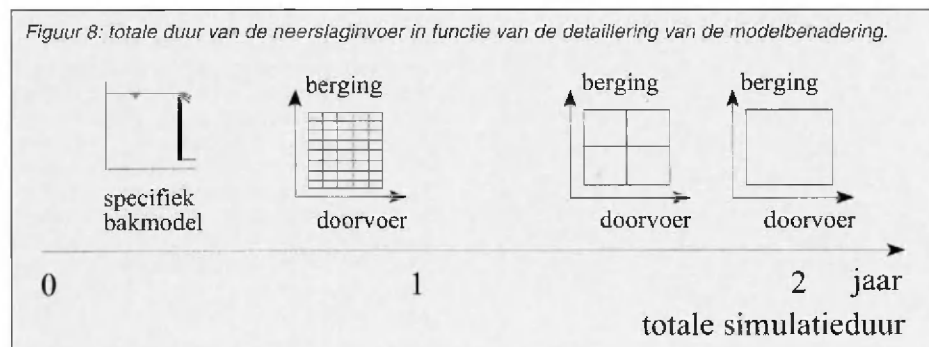
Het gebruik van bakmodellen heeft vaak ter discussie gestaan. De belangrijkste oorzaak hiervan is wel het gebrek aan een goede calibratiemethode. Het bepalen van de modelparameters is te belangrijk om er vlog over heen te gaan. Het gebruik van bakmodellen voor hydrologische en hy-

draulische berekeningen is echter logisch, omdat het eenvoudigweg een implementatie van de continuïteitsvergelijking is in combinatie met een eenvoudige 'bewegingsvergelijking'.

Het gebruik van vereenvoudigde modellen leidt tot een dieper inzicht in de werking van rioelstelsels. Dit heeft dan weer tot gevolg dat de calibratiemethode verfijnd en eenduidig gemaakt kan worden. Bovendien is een bakmodel een zeer flexibel werkinstrument dat gemakkelijk uitbreidbaar is voor nieuwe toepassingen. Het vaak complexe gedrag van rioelstelsels kan niet altijd goed door een lineair bakmodel worden beschreven. Dit is een belangrijk gegeven, omdat er steeds meer vermaasde en onder druk komende rioelstelsels zijn. Ook bij een niet-lineaire doorvoer, zoals bij pompenkelders, wervelventielen en dergelijke, levert dit problemen op. Om dit op te vangen, kan men evolueren naar niet-lineaire bakmodellen. Ook voor moeilijk hydraulisch ontkoppelbare rioelstelsels met meerdere overstorten kan dit een oplossing bieden [8]. Een vereenvoudigd model dient gecalibreerd te worden aan de hand van de resultaten van dynamische modellen. Hiertoe dient in eerste instantie het neerslagafstromingsmodel van het vereenvoudigd model op dat van het dynamisch model afgestemd te worden. Het gebruikte neerslagafstromingsmodel heeft een grote invloed op de resultaten van het emissiemodel. De neerslagafstromingsmodellen blijven echter een onontgonnen terrein bij rioelingsberekeningen.

6. BESLUIT

Het gebruik van de veralgemeende set van korte neerslagreeksen levert een zeer nauwkeurige bepaling van de overstortparameters op binnen het geldigheidsdomein, maar de rekentijden zijn met de huidige generatie van computers nog veel te groot. Deze aanpak biedt echter goede perspectieven voor de toekomst wanneer snellere hard- en software ter beschikking komen. Toch mag niet uit het oog worden verloren dat deze veralgemeende set van korte neerslagreeksen enkel kon worden opgesteld mits het gebruik van een vereenvoudigd model. Intussentijd blijven vereenvoudigde modellen de beste manier om impactberekeningen uit te voeren, omdat ze snel en redelijk nauwkeurig zijn. Dynamische simulaties met enkelvoudige buien zijn wel sneller (niet wat betreft rekentijd, maar wel wanneer de modelleringstijd bij vereenvoudigde modellen wordt ingerekend), maar de nauwkeurigheid van de hiermee voorspelde emissies laat erg te wensen over. Wanneer de doorvoerrelatie sterk niet-lineair wordt, daalt ook de nauwkeurigheid van lineaire bakmodellen. Complexere niet-lineaire bakmodellen kunnen hier een oplossing bieden, waardoor deze vereenvoudigde modellen meer algemeen bruikbaar worden. De calibratie van de vereenvoudigde modellen is de meest cruciale stap bij het gebruik ervan, maar dit evolueert naar meer eenduidigheid en gebruiksvriendelijkheid.



Een bijkomende nauwkeurigheid voor de overstortparameters kan bekomen worden door een beperkte set van korte neerslagreeksen op te stellen met een vereenvoudigd model voor de specifieke situatie. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat elke set van korte neerslagreeksen een onderschatting oplevert van de overstortfrequentie, omdat men bepaalde neerslaggebeurtenissen kan 'vergeten' te selecteren met het vereenvoudigd model.

In de toekomst zal meer en meer naar de impact van overstorten gekeken worden in termen van waterkwaliteit in plaats van enkel waterkwantiteit. De processen die de waterkwaliteit van het overstortwater bepalen, zijn zeer complex en spelen zich af op een veel langere tijdschaal. De nodige antecedent condities zijn veel groter, waardoor deze effecten enkel kunnen worden gesimuleerd met de volledige historische neerslagreeksen. Men kan wel met een vereenvoudigd model ruwweg de initiële vervuiling op de afstromingsoppervlakten en in het rioolstelsel gaan bepalen en deze als beginvoorwaarden aannemen voor dynamische simulaties met korte neerslagreeksen. Hiertoe dient voor elk specifiek rioolstelsel eerst een vereenvoudigd model opgesteld te worden. Hierbij rijst de vraag of de hiermee bekomen grotere nauwkeurigheid voor de emissies van overstorten geen vals beeld geeft, omdat de nauwkeurigheid van de resultaten nooit groter kan zijn dan deze van de gegevens. Om een duidelijk antwoord te krijgen op deze vraag dient men naar stochastische modellering over te gaan.

7. SLOTWOORD

Dit onderzoek maakt deel uit van de meer globale studie 'Methodologieën voor de bepaling van de overstortfrequentie met behulp van beperkte neerslaginvoer' die werd uitgevoerd op aanvraag en met de financiële steun van Aquafin en die in september 1995 werd afgerond [12].

De historische neerslagreeksen waarmee dit onderzoek is gebeurd, omvat de neerslag opgemeten te Ukkel tussen 1967 en 1993 met een tijdstap van 10 minuten. Deze neerslagreeksen werden door het KMI (Koninklijk Meteorologisch Instituut) ter beschikking gesteld voor onderzoek van algemeen nut. Hiervoor willen de onderzoekers van het Laboratorium voor Hydraulica het KMI danken.

*ir. G. VAES, prof. J. BERLAMONT
Laboratorium voor Hydraulica
Departement Burgerlijke Bouwkunde
KU Leuven
de Croylaan 2
3001 Heverlee*

REFERENTIES

- [1] BERLAMONT J., "Rioleringen", Acco, Leuven, 1990.
- [2] VAES G., "Impactberekeningen voor de afvoer van regen- en afvalwater", Water nr. 81, maart/april 1995.
- [3] VAES G., "Impact assessment of urban storm water runoff", international symposium on environmental impact assessment in water management, GTE, Brugge, juni 1995.
- [4] VAES G., "Representatieve neerslag voor impactberekeningen met dynamische modellen", Viario studiedag vuilvrachtmodellen, Leuven, februari 1995.
- [5] VAES G. en BERLAMONT J., "Composietbuien als neerslaginvoer voor rioleringsberekeningen", Water nr. 88, mei/juni 1996.
- [6] VAES G., "Het effect van het schematiseren van de neerslag bij modelberekeningen", cursus 'Vuiluitwerp uit rioolstelsels', stichting Postacademisch Onderwijs, Delft, Nederland, februari 1996.
- [7] VAES G., "Statistical reservoir simulation model", 7th European junior scientist workshop on integrated urban storm runoff, Béchyne, Tsjechië, juni 1994.
- [8] VAES G. en BERLAMONT J., "Bakmodellen voor de beoordeling van overstorten", Water nr. 88, mei/juni 1996.
- [9] VAES G., "Multi-linear reservoir model for emission calculations", 9th European junior scientist workshop on impact of urban runoff on wastewater treatment plants and receiving waters, Kilve, Groot-Brittannië, april 1996.
- [10] VAES G. en BERLAMONT J., "Short rainfall series as input for emission calculations", 7th international conference on urban storm drainage, Hannover, Duitsland, september 1996.
- [11] VAES G., WILLEMS P. en BERLAMONT J., "IDF-relaties en composietbuien voor het ontwerp van rioleringen", Laboratorium voor Hydraulica, K.U. Leuven, mei 1996.
- [12] VAES G. en BERLAMONT J., "Methodologieën voor de bepaling van de overstortfrequentie met behulp van beperkte neerslaginvoer", Laboratorium voor Hydraulica, K.U. Leuven, september 1995.

Aan de abonnees van het tijdschrift WATER,

Geachte lezer,

Teneinde een regelmatige toezending van WATER voor 1997 te waarborgen, gelieve het abonnementsgeld van 1.600 BEF (2.200 BEF voor het buitenland) te willen overschrijven op onze rekening nr. 068-2114041-50. Indien u tevens belangstelling heeft voor het tijdschrift ENERGIE & MILIEU (eveneens 1.600 BEF), dan kunt u aan 2.800 BEF een gelijktijdig abonnement nemen.

Wij danken de vele lezers die spontaan hun abonnement voor 1997 reeds hernieuwd hebben: dit bespaart ons heel wat organisatie- en administratiewerk.

De beheerraad van de v.z.w. WEL en de redactieraad van WATER danken u voor het vertrouwen.