

Beschrijving en analyse van een neerslag - inloop - overstortmodel

juni 1989

Publikatie van het Ministerie van
Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening
en Milieubeheer
Verkoopprijs f 15,00 ISBN 90 346 2098 0

DOP-uitgaven zijn schriftelijk te bestellen bij
Staatsuitgeverij/DOP
Postbus 20014
2500 EA 's-Gravenhage
onder vermelding van bestelnummer of ISBN
en een duidelijk afleveringsadres.

Een volledig overzicht van bij het DOP verkrijgbare
titels kunt u schriftelijk aanvragen.

Een lijst van eerder in deze reeks verschenen
uitgaven treft u aan op de laatste bladzijde
van deze publikatie.

Documentbeschrijving

1 Rapport nr. NWRW 4.3	7 Archief nr. 00238/6-90 7951/131	
2 Sub-titel Rapport Beschrijving en analyse van een neerslag-inloop-overstort-model.	8 Datum Publicatie juni 1990	
	9 Rapport nr. Instituut	
3 Schrijver(s) ing. A.G. van den Herik ir. H. van Luytelaar	10 Tijdschrift nr.	
4 Uitvoerend Instituut, Naam, Adres Grontmij NV, De Holle Bilt 22, Postbus 203, 3730 AE De Bilt	11 Opdracht nr.	
	12 Rapporttype en Periode Hoofdrapport januari 1986 - juni 1989	
5 Opdrachtgever(s) Directoraat-Generaal Milieubeheer Directie Drinkwater, Water, Bodem		
6 Titel Onderzoekproject Neerslag Inloop Overstort Model Beschrijving en Analyse		
13 Samenvatting Rioolstelsels worden onder meer beoordeeld op de jaarlijkse overstortingsfrequentie en andere kwantitatieve aspecten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van rioleringmodellen die zijn opgebouwd uit geschematiseerde onderdelen. Ander onderzoek binnen dit thema heeft aangetoond dat de huidige modellen uitkomsten genereren die niet met de werkelijkheid overeenkomen. In het onderhavige rapport is dan ook een eerste aanzet gegeven om tot een nieuw model te komen waarbij het neerslag-inloopproces de meeste aandacht heeft gekregen. Bij de analyse van dit model zijn diverse parameters op gevoeligheid getoetst. Als invoergegeven is, in tegenstelling tot de oude modellen, gebruik gemaakt van continue neerslagreeksen. De analyse heeft aangetoond dat: - verdamping relatief weinig invloed heeft op de uitkomsten. - de berging op verhard oppervlak wel van invloed is. - de belangrijkste invloed wordt veroorzaakt door de infiltratie van de neerslag. Om tot een algemene acceptatie van dit neerslag-inloop-overstortmodel te komen zal na de NWRW aan dit onderwerp verder worden gewerkt. Een toetsing aan metingen uit de praktijk zal hier onderdeel van uit maken.		
14 Begeleidingscommissie ir. L.J. Pieterse, Voorzitter, Dienst Gemeentewerken Rotterdam ir. J.H.A. van Walraven, Hoogheemraadschap van Rijnland ir.F.H.M. van de Ven, DBW/RIZA ir. H.A. Dirkzwager, DBW/RIZA ir. K. Bakker, DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. dr.ir. F.A. Buishand, KNMI ir. G. Martijnse, Ministerie VROM	15 Bijbehorende Rapporten NWRW 4.1 NWRW 4.2 NWRW 4.4	
	16 Aantal biz. 82	17 Prijs f 15,00
18 Besteladres zie elders in deze publikatie		

	<u>INHOUD</u>	<u>PAGINA</u>
	SUMMARY	1
	SAMENVATTING	3
1	INLEIDING	6
2	RESULTATEN VOORAFGAAND ONDERZOEK NWRW THEMA 4	9
3	DOEL EN UITGANGSPUNTEN VOOR HET MODEL	11
4	BESCHRIJVING VAN DE PROCESSEN	12
	4.1 neerslagverlies	13
	4.2 afstroming naar de riolering	14
	4.3 afvoer in de riolering	14
5	FORMULERING VAN HET MODEL	16
	5.1 neerslagverlies	16
	5.2 afstroming naar de riolering	19
	5.3 afvoer in de riolering	20
6	MODELPARAMETERS EN INVOERGEGEVENS	22
	6.1 neerslagverlies	22
	6.2 afstroming naar de riolering	30
	6.3 afvoer in de riolering	31
7	ANALYSE VAN HET MODEL	32
	7.1 analyse modelparameters	33
	7.2 nader analyse modelparameters infiltratie	43
	7.3 relatieve invloed van de processen	49
	7.4 vergelijking traditionele methoden	51
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	55
	8.1 evaluatie modelanalyse	55
	8.2 mogelijkheden en beperkingen van het model	57
	8.3 toetsing model aan praktijksituaties	58
	8.4 regionale verschillen in neerslag	59
	8.5 toekomstige ontwikkelingen	59
	LITERATUUR	61
	<u>BIJLAGEN</u>	
1	BERGING IN DE RIOLERING	63
2	AFLEIDING FORMULES VOOR INFILTRATIE EN AFSTROMINGSVERTRAGING	66
3	VERDELING VERSCHILLENDE TYPEN AFVOEREND OPPERVLAKE VOOR VIER STEDELIJKE GEBIEDEN IN NEDERLAND	70
4	REGIONALE VERSCHILLEN IN NEERSLAG	71

Ten geleide

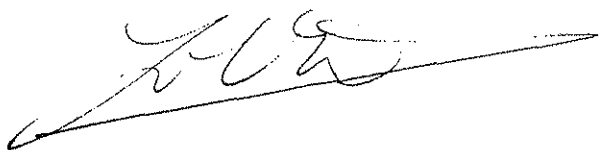
De Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) werd in 1982 ingesteld door het algemeen bestuur van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) en de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Het oogmerk hierbij was het verkrijgen van meer inzicht in de relatie tussen riolering en waterkwaliteit door het stimuleren en coördineren van onderzoek naar de invloed van lozingen vanuit rioolstelsels op de kwaliteit van het oppervlaktewater en naar de mogelijkheden deze invloed via rioleringstechnische dan wel waterhuishoudkundige maatregelen te verminderen.

Door de NWRW is een onderzoekplan opgesteld dat is onderverdeeld in een 11-tal thema's. De nummers van de publikaties van de NWRW corresponderen met de nummers van de verschillende thema's.

Thema 4 van het onderzoekplan betreft onderzoek naar de kwantitatieve aspecten van lozingen vanuit rioolstelsels.

In het onderhavige rapport wordt in vervolg op de voorgaande onderzoeken binnen dit thema de eerste aanzet gegeven tot de ontwikkeling van een model voor de beschrijving van het neerslag-inloop-proces. De consequenties voor de praktijk van het binnen dit thema verrichte onderzoek zal in het eindrapport worden geëvalueerd.

Namens de NWRW
de secretaris,

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'J.F.M. van Vliet', written in a cursive style with a long horizontal stroke extending to the right.

ir. J.F.M. van Vliet

DESCRIPTION AND ANALYSIS OF A RAINFALL-RUNOFF-OVERFLOW MODEL

SUMMARY

A study was carried out to develop a simple model for estimating the quantity of discharges out of sewer systems into the receiving surface water.

The elements of the rainfall-runoff-overflow model are shown in figure E.1

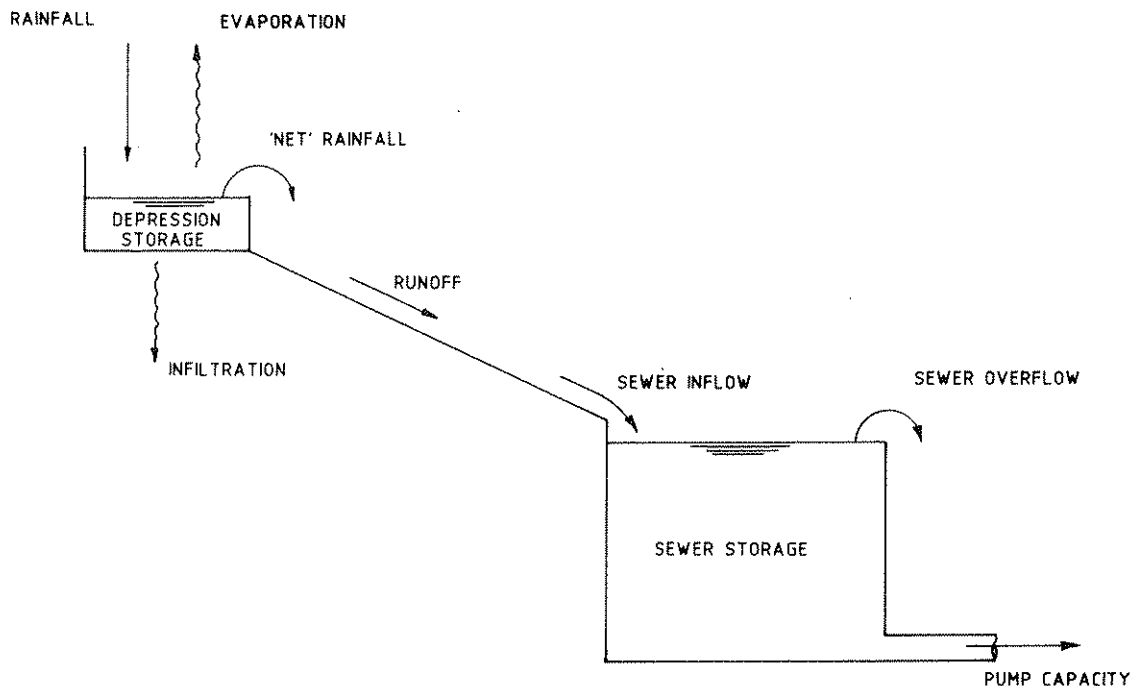


Fig E.1. Rainfall - runoff - overflow model.

For wet surfaces evaporation is set equal to the long-term average for open water according to Penman's formula. The model for infiltration is based on Horton's formula. Surface runoff is described by a simple linear reservoir model.

The rainfall-runoff model was analysed on the basis of theoretical values of the model-parameters and measured rain data.

The effect of variations in the model-parameters on the overflow-quantities was analysed. The relative influence of the processes on the model-output was also investigated. Furthermore, the model was compared with existing calculation methods in Dutch engineering practice.

Evaporation hardly effects the volume and intensity of overflows. Depression storage appears to have a limited influence. Infiltration in pervious pavements can strongly reduce overflows from the sewer-model. With the present model-parameters only a small amount of precipitation on green areas contributes to the overflows.

Comparison of the model with existing calculation methods shows a decrease for all overflow-parameters, mainly due to infiltration in pervious pavements.

It can be generally concluded that more research in rainfall-runoff simulation is necessary. It is recommended to test the model further with measurements in urban areas. Especially the influence of infiltration in pervious pavements requires special attention.

SAMENVATTING

In 1986 heeft de NWRW Grontmij n.v. opdracht verleend voor het verrichten van deelonderzoek 4.3, met als doel een eenvoudig model te formuleren voor een zo nauwkeurig mogelijke kwantitatieve berekening van lozingen uit rioolstelsels op het oppervlaktewater. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is de acceptatie van het model door de rioleringspraktijk.

In deelonderzoek 4.1 en 4.2 was de aandacht in de eerste instantie gericht op het begrip overstortingsfrequentie. In verband met een toenemende belangstelling voor vuiluitworp-hoeveelheden, per gebeurtenis en per jaar, wordt ook een goede voorspelling van de waterkwantiteit van belang geacht. Een goede kwantitatieve berekening van overstortingshoeveelheden kan dienen als basis voor vuiluitworp-berekeningen. Het transport van vuil over het afvoerend oppervlak, de bezinking en opwoeling van slib in de riolering en de hoeveelheden die geloosd worden via de overstorten hangen nauw samen met de optredende neerslagintensiteiten en -hoeveelheden.

Het deelonderzoek 4.3 is vooral gericht op de ontwikkeling van een model voor de beschrijving van het neerslag-inloop-proces. Door het neerslag-inloop-model te koppelen aan een rioleringsmodel kunnen de invloeden van de modelparameters op de berekende overstortingshoeveelheden worden geanalyseerd. De opzet van het model is weergegeven in figuur 0.1.

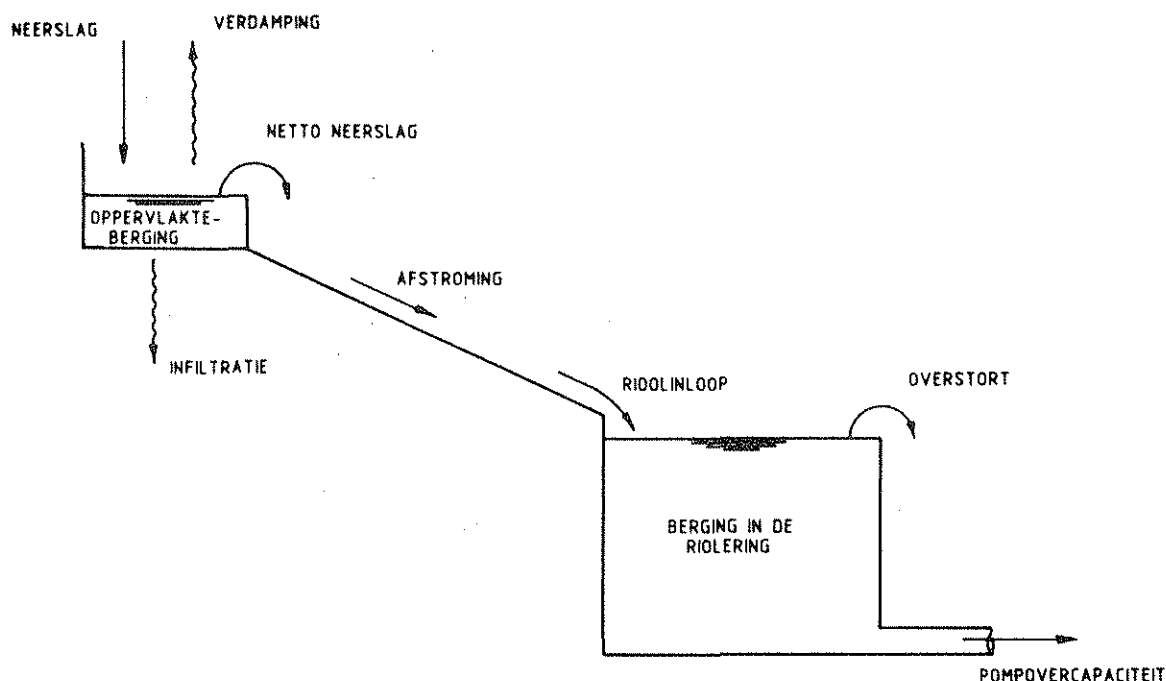


Fig 0.1.

Neerslag - inloop - overstort model.

In het model is de verdamping van natte oppervlakken gelijk gesteld aan een meerjarig gemiddelde voor open water volgens Penman. Het infiltratie model is gebaseerd op de formule van Horton. De afstromingsvertraging is beschreven volgens een eenvoudig lineair reservoir model.

Op basis van een evaluatie van de beschikbare literatuurgegevens zijn voorstellen voor de modelparameters geformuleerd.

Bij de berekeningen voor de analyse van het model is gebruik gemaakt van een neerslagreeks van 15 minuten cijfers gemeten over een periode van 5 jaar (1955-1959) in Beek (L).

Voor de volgende drie typen overstortingshoeveelheden is nagegaan in hoeverre deze gevoelig zijn voor de verschillende modelparameters en welke de relatieve invloed is van de in het model onderscheiden processen:

- a. de maximale overstortingshoeveelheid gedurende 15 minuten in de periode 1955-1959;
- b. de maximale overstortingshoeveelheid per gebeurtenis in de periode 1955-1959;
- c. totale overstortingshoeveelheid in de periode 1955-1959.

Tevens zijn de modeluitkomsten vergeleken met de uitkomsten van traditionele rekenmethodes, zoals de methode Kuipers en het bakmodel, zonder infiltratie en afvoervertraging van de neerslag.

De verdamping blijkt relatief weinig invloed te hebben op de modeluitkomsten. Toch is het van belang om de verdamping als proces in het model mee te nemen, met name in verband met de lediging van de oppervlakteberging op ondoorlatend oppervlak.

De oppervlakteberging blijkt enige invloed te hebben op de modeluitkomsten. De totale overstortingshoeveelheid over de periode 1955-1959 neemt af met ruim 10%, wanneer met de voorgestelde modelparameters wordt gerekend.

De infiltratie blijkt de belangrijkste rol te spelen in het neerslagverliesproces. De infiltratiecapaciteit heeft een zeer duidelijk beperkende invloed op de afstroming van neerslag van open verhard oppervlak (bijvoorbeeld klinkerverharding). Naarmate het aandeel van het open verhard oppervlak toeneemt, werkt dit effect sterker door. Uit de berekeningen blijkt dat de overstortingshoeveelheden bij de aangenomen infiltratiecapaciteiten in open verhard oppervlak tot circa 40 - 50 % kunnen worden gereduceerd.

De aangenomen infiltratiecapaciteit van onverhard oppervlak is zo groot dat volgens de modeluitkomsten slechts een kleine hoeveelheid neerslag van dit type oppervlak een bijdrage levert aan de overstortingshoeveelheden.

Uit een nadere analyse met betrekking tot de infiltratie blijkt dat de modeluitkomsten gevoelig zijn voor de afnamesnelheid van de infiltratiecapaciteit. De snelheid voor het herstel van de infiltratiecapaciteit blijkt nagenoeg geen invloed te hebben. De invloed van een concentratie van de oppervlakteberging op het doorlatende oppervlak is gering.

Uit de vergelijking met de traditionele rekenmethodes blijkt dat de modeluitkomsten voor alle overstortingsparameters lager zijn. Dit effect is in hoofdzaak toe te schrijven aan het in rekening brengen van de afstromingsvertraging en de infiltratie in open verhard oppervlak.

De gekozen modelbenadering is minder geschikt voor bijzondere situaties, zoals sterk hellende slecht doorlatende onverharde oppervlakken die afvoeren op de riolering of zeer grote afwaterende oppervlakken op een kolk, bijvoorbeeld daken van bedrijven of parkeerterreinen.

Het model is rekenkundig geanalyseerd op basis van aangenomen waarden van de modelparameters. Het verdient aanbeveling dit model te toetsen aan metingen in de praktijk. Uit de uitgevoerde analyse blijkt dat de infiltratie in open verhard oppervlak daarbij bijzondere aandacht verdient.

INLEIDING

Door het algemeen bestuur van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) en de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer is voor de periode 1982-1986 een Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (NWRW) ingesteld. Deze werkgroep heeft tot doel: het (doen) verdiepen van kennis en ervaring betreffende ontwerp, uitvoering en onderhoud van rioolstelsels met bijbehorende randvoorzieningen in verband met de effecten daarvan op overstortingen en regenwaterlozingen op oppervlaktewater, door uitvoering en coördinatie van onderzoek.

Door de werkgroep is in 1983 een onderzoeksplan opgesteld, waarbinnen elf onderzoeksthema's zijn onderscheiden. Als onderzoeksthema 4 is in dit plan opgenomen: "onderzoek naar de verdeling van de neerslag over plaatsen tijd bij verschillende waarnemingsstations van het KNMI; aantonen van karakteristieke verschillen, c.q. van de toepasbaarheid van de reeds bestaande statistiek voor geheel Nederland". Binnen de NWRW heeft naderhand een verdere uitwerking van de doelstelling van thema 4 plaatsgevonden. Dit heeft geresulteerd in de volgende beschrijving van de te verrichten deelonderzoeken:

1. een onderzoek naar de significante verschillen in frequentie en voorkomen van zware neerslaggebeurtenissen in de verschillende regio's;
2. een onderzoek naar de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de gebruikelijke methoden om de verwachtingswaarde van de lozingsfrequentie, de debieten en hoeveelheden van op oppervlaktewater te lozen rioolwater te berekenen;
3. een onderzoek naar de wenselijkheid, resp. de noodzaak om per regio uit te gaan van specifieke waarnemingsreeksen voor de berekening van de frequentie, de debieten en hoeveelheden van op oppervlaktewater te lozen rioolwater. Een en ander op basis van de resultaten van hetgeen onder sub 1. en 2. is onderzocht;
4. een aanzet voor een berekeningsmethode, gedifferentieerd per regio, voor het berekenen van de lozingsfrequentie, de debieten en hoeveelheden van directe lozingen vanuit rioolstelsels op oppervlaktewater. Deelonderzoek 1 is door de NWRW opgedragen aan het KNMI in de Bilt. Deelonderzoek 2 is uitgevoerd door DHV Raadgevend ingenieursbureau bv te Amersfoort.

De resultaten van deze onderzoeken zijn verschenen als NWRW-publikaties 4.1 en 4.2. Daarnaast is een deelonderzoek uitgevoerd door DHV en RIJP waarin de regenmeters van de NWRW en het KNMI zijn vergeleken met een grondregenmeter. De resultaten van dit onderzoek zijn verschenen in NWRW publikatie 4.4.

In 1986 heeft de NWRW Grontmij n.v. opdracht verleend voor het verrichten van deelonderzoek 3. Naar aanleiding van de resultaten van beide voorgaande onderzoeken is de doelstelling van onderzoek 4.3 opnieuw geformuleerd. In 4.1 en 4.2 was de aandacht in de eerste instantie gericht op het begrip overstortingsfrequentie. In verband met een toenemende belangstelling voor vuiluitworp-hoeveelheden, per gebeurtenis en per jaar, wordt ook een goede voorspelling van de waterkwantiteit van belang geacht. Een goede kwantitatieve berekening van overstortingshoeveelheden kan dienen als basis voor vuiluitworberekeningen. Het transport van vuil over het afvoerend oppervlak, de bezinking en opwoeling van slib in de riolering en de hoeveelheden die geloosd worden via de overstorten hangen nauw samen met de optredende neerslagintensiteiten en -hoeveelheden.

Onderzoek 4.3 heeft om deze reden als doel gekregen een eenvoudig model te formuleren voor een zo nauwkeurig mogelijke kwantitatieve berekening van lozingen uit rioolstelsels op het oppervlaktewater. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is de acceptatie van het model door de rioleringspraktijk.

Thema 4.3 is begeleid door een commissie, bestaande uit:

ir.L.J.Pieterse (voorzitter)	Dienst Gemeente Werken Rotterdam
ir.K.Bakker	DHV Raadgevend ingenieursbureau BV
dr.ir.T.A.Buishand	KNMI
ir.A.H.Dirkzwager	Dienst Binnenwateren / RIZA
ir.G.Martijnse	Ministerie VROM
ir.F.H.M.van de Ven	Dienst Binnenwateren / RIZA
ir.J.H.A.van Walraven	Hoogheemraadschap van Rijnland

Het eindrapport van thema 4.3 is als volgt samengesteld. In hoofdstuk 2 wordt een algemene beschouwing gegeven waarin de resultaten van de voorafgaande thema's 4.1 en 4.2 zijn samengevat. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het doel en de gehanteerde uitgangspunten die tot de uiteindelijke keuze van de opzet van het model hebben geleid.

Hoofdstuk 4 omvat een algemene beschrijving van de processen en beïnvloedende factoren die voor het model van belang worden geacht. In hoofdstuk 5 wordt het model geformuleerd en in hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de waarden van de invoergegevens en de modelparameters. In hoofdstuk 7 vindt een analyse van het model plaats en tenslotte wordt in hoofdstuk 8 ingegaan op de conclusies en aanbevelingen. Een aanvullende notitie op onderzoek 4.1 is opgenomen in bijlage 4.

RESULTATEN VOORAFGAAND ONDERZOEK NWRW THEMA 4

In thema 4.1 "regionale verschillen in neerslag-gebeurtenissen" is op basis van dagsommen de overstortingsfrequentie volgens de stippengrafiek van De Bilt herleid tot een overstortingsfrequentie voor een plaats elders in Nederland. De regionale verschillen in de berekende overstortingsfrequentie blijken ten opzichte van De Bilt te variëren met een factor 0.8 tot 1.34, voor een riolering met een berging van 7 mm en een pompoevercapaciteit van 0.7 mm/h. De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven op een kaart met isolijnen.

In thema 4.2 "beoordeling van rioleringsmodellen" is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van rioleringsmodellen getoetst, aan de hand van meetgegevens uit het STORA project 38B. In eerste instantie is uitgegaan van de schematisering van het op de riolering afwaterend oppervlak en van het rioolstelsel zoals dat in de Nederlandse rioleringspraktijk gebruikelijk is. Dit houdt onder meer in dat alleen afvoer van verhard oppervlak naar de riolering wordt verondersteld, terwijl het rioolstelsel tot een bak wordt geschematiseerd. De afvloeiingscoëfficiënt wordt hierbij verondersteld gelijk te zijn aan 1.

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat. De overstortingskarakteristieken (frequentie, hoeveelheid) volgens de methode Kuipers zijn niet in overeenstemming met de werkelijkheid. De methode gaf een aantal overstortingen aan die in werkelijkheid niet plaats vonden als gevolg van infiltratieverliezen, afvoervertraging etc. Daar tegenover staat dat in werkelijkheid overstortingen zijn opgetreden die niet door het model werden aangegeven, met name als gevolg van opeenvolging van buien. Het feit dat men met de methode Kuipers nog een redelijke benadering krijgt van de frequentie en de grootte van de overstortingen berust grotendeels op toevalligheden.

Uit een gevoeligheidsanalyse voor de proefgebieden Oosterhout en Loenen blijkt dat het berekende aantal overstortingen en de berekende overstortingshoeveelheden sterk afhankelijk zijn van systematische fouten in de neerslaghoogte en van de grootte van de berging. Het bakmodel blijkt minder gevoelig voor fouten in de pomp overcapaciteit en het inslag-tijdstip van de regenwater pomp.

Voor de proefgebieden van Oosterhout en Loenen is het bakmodel in thema 4.2 nader bestudeerd door de gebruikelijke schematisering van de neerslag volgens Kuipers los te laten en het werkelijke verloop van de neerslag in de berekeningen in te voeren.

Uit de waterbalansen voor de neerslaggebeurtenissen die een overstorting, of bijna een overstorting tot gevolg hadden, blijkt dat de afvloeiingscoëfficiënt van 1 verschilt.

Voor het vlakke gebied Oosterhout neemt de afvloeiingscoëfficiënt waarden aan tussen 0.65 en 1.16 en bedraagt gemiddeld 0.89. Voor het hellende gebied Loenen is de gemiddelde afvloeiingscoëfficiënt echter 1.13 en is ook de spreiding groter (varieert van 0.72 tot 1.82). Bij de hoge waarden van de afvloeiingscoëfficiënt voor Loenen moet worden gedacht aan extra afstroming van het onverhard oppervlak.

De conclusie van thema 4.2 is dat een betere modelmatige benadering van de frequentie en grootte van lozingen vanuit rioolstelsels op oppervlaktewater slechts ten dele te bereiken is met een meer realistische definitie van een "regenbui". Daarnaast zullen verfijningen in de schematisering van de afwatering van neerslag naar het rioolstelsel nodig zijn.

Naar aanleiding van 4.2 is een onderzoek verricht naar het functioneren van de NWRW regenmeter en de standaard KNMI regenmeter in relatie tot de grondregenmeter, die als referentie is gebruikt. Met behulp van een afgeleide correctieformule kunnen de neerslagcijfers van de NWRW regenmeter worden omgerekend naar waarden voor de grondregenmeter.

Het thema 4.3 onderzoek is vooral gericht op de ontwikkeling van een model voor de beschrijving van het neerslag-inloopproces. Door het neerslag-inloopmodel te koppelen aan een rioleringsmodel kunnen de invloeden van het neerslag-inloopproces op de overstortingshoeveelheden worden geanalyseerd. In het volgende hoofdstuk worden de uitgangspunten voor het model geformuleerd.

DOEL EN UITGANGSPUNTEN VOOR HET MODEL

Doel van dit onderzoek is de formulering van een model om in kwantitatief opzicht overstortingen vanuit de riolering te kunnen voorspellen. De kwantitatieve resultaten van het model moeten als basis kunnen dienen voor kwalitatieve voorspellingen.

Uitgangspunt hierbij is dat het model algemeen toepasbaar en eenvoudig moet zijn, om zo dezelfde positie in te kunnen nemen als de methode Kuipers momenteel heeft bij het maken, c.q. evalueren van rioleeringsplannen.

Het model dient toepasbaar te zijn voor zowel vlakke als hellende gebieden.

Het model moet het verloop van de overstortingsgebeurtenis in de tijd kunnen beschrijven. Daaruit kunnen worden afgeleid: de maximale overstortingshoeveelheden per tijdseenheid en de totale overstortingshoeveelheden per gebeurtenis en per jaar. De overstortingshoeveelheden per gebeurtenis en per tijdseenheid zijn vooral van belang voor de zuurstofhuishouding in het oppervlaktewater tijdens en na een overstorting. De jaartotalen zijn vooral van belang in verband met de lozingen van stoffen met een cumulatieve werking zoals nutriënten, zware metalen en microverontreinigingen.

Voor de formulering van het model wordt uitgegaan van een neerslagbelasting in de vorm van het werkelijke verloop van de neerslag over een meerjarige periode, om zowel extreme hoeveelheden per situatie als jaartotalen te kunnen bepalen. In tegenstelling tot de methode Kuipers wordt een neerslaggebeurtenis niet apart beschouwd, maar wordt er rekening gehouden met de opeenvolging van buien. Dit betekent bijvoorbeeld dat de riolering aan het begin van een bui niet leeg hoeft te zijn.

Het model wordt vooral gericht op de omvorming van neerslag tot rioolinloop en minder gericht op wat er gebeurt in de riolering. De riolering wordt geschematiseerd tot een bakmodel. Het neerslag-inloopmodel wordt opgebouwd aan de hand van een aantal belangrijke processen, die in het volgende hoofdstuk aan de orde komen. Gezien de vereiste eenvoud wordt niet gestreefd naar een uitvoerige mathematische beschrijving van de processen, maar naar een zo goed mogelijke benadering van de werkelijkheid.

BESCHRIJVING PROCESSEN EN BEINVLOEDENDE FACTOREN

Het verloop van neerslag tot een riooloverstorting kan worden onderverdeeld in drie fasen, waarbij per fase de volgende processen en beïnvloedende factoren van belang worden geacht voor de uiteindelijke beschrijving van het model:

- 1 **neerslagverlies:**
 - neerslag
 - aard van het afvoerend oppervlak
 - bevochtiging en plasvorming
 - infiltratie
 - verdamping
- 2 **afstroming naar de riolering:**
 - afstromingsvertraging
- 3 **afvoer in de riolering:**
 - berging
 - pompovercapaciteit
 - afvoertraging

In dit hoofdstuk zal in hoofdlijnen worden ingegaan op de verschillende processen en beïnvloedende factoren, waarvan de samenhang schematisch is weergegeven in figuur 4.1.

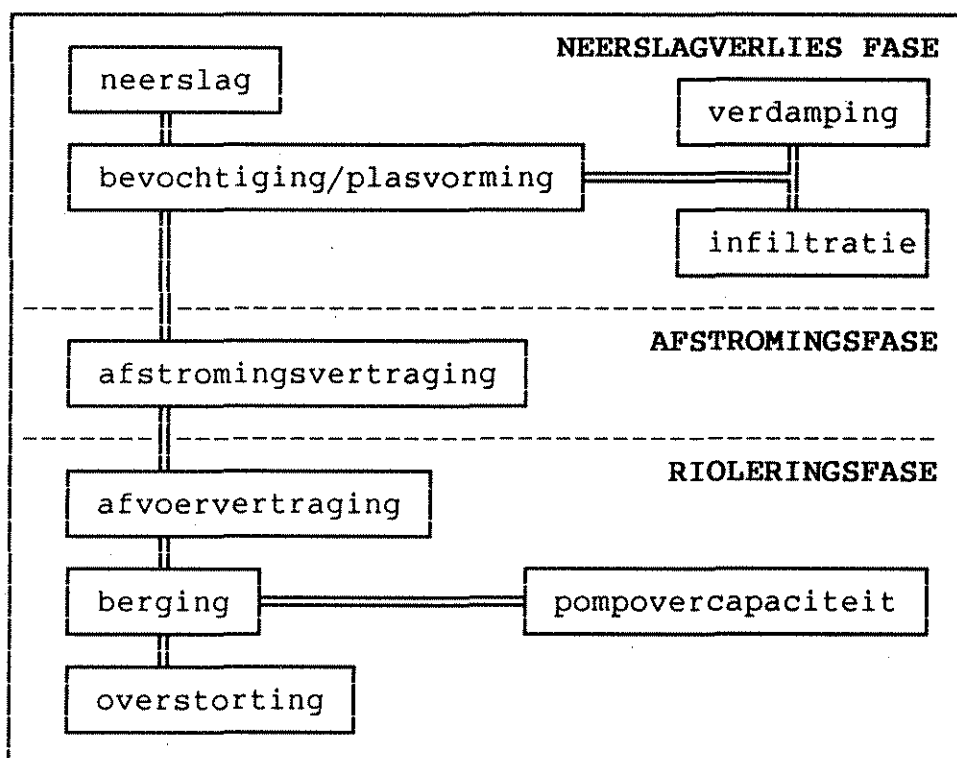


Fig. 4.1 Processen en beïnvloedende factoren van neerslag tot riooloverstorting.

4.1 Neerslagverlies

De neerslagverliesfase omvat de omvorming van neerslag tot 'netto' neerslag, onder invloed van processen zoals infiltratie, plasvorming, bevochtiging en verdamping. Het effect van deze processen wordt in belangrijke mate bepaald door de aard van het afvoerend oppervlak.

4.1.1 Neerslag

Het neerslagverloop kan in de tijd sterk variëren. De hoge neerslagintensiteiten die kunnen leiden tot hoge overstortingsintensiteiten hebben invloed op de vuiluitworp uit de riolering. Voor de overstortingshoeveelheden is het van belang om rekening te houden met het werkelijke verloop van de neerslag en de opeenvolging van buien.

4.1.2 Aard van het afvoerend oppervlak

De aard van het afvoerend oppervlak is van belang in verband met de hoeveelheid neerslag die tot afstroming komt naar de riolering. In klinkerbestrating kan bijvoorbeeld neerslag infiltreren, terwijl asfaltverharding nagenoeg ondoorlatend is. Op vlakke daken kan een aanzienlijke plasvorming optreden, in tegenstelling tot bijvoorbeeld hellende daken.

4.1.3 Bevochtiging en plasvorming

Als gevolg van bevochtiging en plasvorming wordt een deel van de neerslag tijdelijk geborgen op het oppervlak, waarna het kan worden afgevoerd via verdamping en/of infiltratie in de bodem. Het bevochtigde oppervlak droogt op onder invloed van de verdamping, terwijl de plassen door zowel verdamping als infiltratie kunnen verdwijnen. Met name de toestand van de bestrating is van invloed op de plasvorming.

4.1.4 Verdamping

De verdamping van het natte oppervlak speelt in het proces van neerslag tot rioolozing slechts een beperkte rol. De lediging van de plassen op ondoorlatende oppervlakken kan uitsluitend plaatsvinden via verdamping. De lediging van de plassen op doorlatende oppervlakken wordt overheerst door infiltratie, verdamping speelt hier nauwelijks een rol.

Bij het verdampingsproces spelen diverse factoren een rol, zoals bijvoorbeeld de temperatuur, de wind en de zonnestraling. De hoeveelheid neerslag die per bui verdampt wordt in hoofdzaak bepaald door de plasvorming op het ondoorlatende oppervlak (asfalt-verharding en vlakke daken). Ook de verdampingssnelheid speelt hierbij een rol. In de winter bijvoorbeeld zal berging op ondoorlatend oppervlak in mindere mate beschikbaar zijn, omdat de verdamping dan zeer traag verloopt.

4.1.5 Infiltratie

De infiltratie in de bodem vindt vooral plaats in doorlatende oppervlakken zoals klinkerverharding en onverhard oppervlak. De infiltratiecapaciteit wordt vooral bepaald door de aard van het oppervlak en het vochtgehalte in de bodem. Daarnaast kunnen nog andere factoren van belang zijn. De doorlatendheid van klinkerverhardingen is bijvoorbeeld afhankelijk van de toestand van de voegen. Verhardingen kunnen dichtslibben. De infiltratiecapaciteit van onverhard oppervlak wordt vooral bepaald door de aard van de begroeiing, de grondsoort en het vochtgehalte in de bodem.

4.2 Afstroming naar de riolering

De afstromingsfase omvat de omvorming van 'netto' neerslag naar rioolinloop, als gevolg van afstromingsvertraging op het afvoerend oppervlak.

4.2.1 Afstromingsvertraging

De afstromingsvertraging wordt bepaald door de afstand die een druppel naar de riolering moet afleggen, de stuwing in goten, en de helling en geometrie van het afvoerend oppervlak.

4.3 Afvoer in de riolering

De rioleringsfase omvat de omvorming van rioolinloop naar overstorting onder invloed van de berging in de riolering, de pompovercapaciteit en de afvoer-vertraging in de riolering.

4.3.1 Berging

De (statische) berging in de riolering is gedefinieerd als het volume in het stelsel beneden de drempel van de (laagste) overlaat en wordt in het algemeen bepaald op basis van het volume in de leidingen.

Er kan ook nog rekening worden gehouden met volume in de inspectieputten, straatkolken en huisaansluitingen en met het volume van de dwa-stroom en het bezonken slib.

4.3.2 **Pompoevercapaciteit**

De pompoevercapaciteit is gedefinieerd als de totale geïnstalleerde pompcapaciteit in het rioolgemeel minus de droogweeraanvoer (dwa). In het algemeen wordt hierbij uitgegaan van de gemiddelde dwa per dag, gerekend over een periode van 10 of 12 uur. Van belang voor het nuttig effect van de pompoevercapaciteit zijn ook lekkage, infiltratie, drainage en de dagelijkse variatie in de dwa.

4.3.3 **Afvoervertraging**

De afvoervertraging in de riolering is een proces dat analoog is aan de afstromingsvertraging over het afvoerend oppervlak. De afvoervertraging wordt vooral beïnvloed door de helling en de uitgestrektheid van het rioleringsgebied en mogelijke opstuwing in het stelsel.

5 FORMULERING VAN HET MODEL

In dit hoofdstuk zal op basis van de in hoofdstuk 4 beschreven processen en beïnvloedende factoren een model worden geformuleerd. Hierbij zal worden uitgegaan van de gehanteerde verdeling van de onderscheiden fasen in: het neerslagverlies, de afstroming naar de riolering en de afvoer in de riolering. De opzet van het model is weergegeven in figuur 5.1.

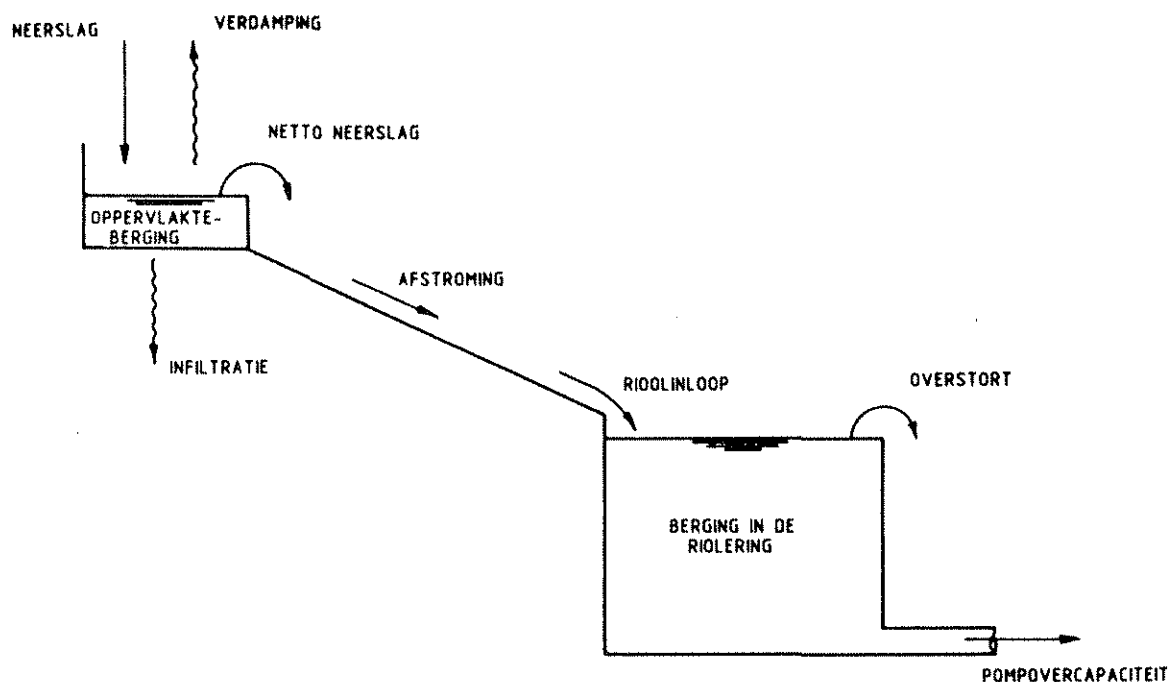


Fig 5.1 Neerslag - inloop - overstort model

5.1 Neerslagverlies

In verband met de keuze van een eenvoudig model is het niet zinvol geacht om onderscheid te maken in bevochtiging en plasvorming, mede om schijnnaaukeurigheden te vermijden. Onder de term oppervlakteberging zijn daarom beide begrippen samengevoegd.

De neerslagverliesfase wordt als volgt geschematiseerd. De oppervlakteberging wordt beschouwd als een reservoir waarin de neerslag wordt opgevangen, van waaruit zowel infiltratie als verdamping kan plaatsvinden. De overloop uit het reservoir ('netto' neerslag) komt geheel tot afstroming naar de riolering.

Dit leidt tot een neerslagverliesmodel in de vorm van een bak met als inhoud de oppervlakteberging, waarvoor de volgende waterbalans geldt:

in:

- neerslag (belasting)

uit:

- verdamping
- infiltratie
- 'netto' neerslag die tot afstroming komt

De infiltratie en oppervlakteberging worden in belangrijke mate bepaald door de aard van het afvoerende oppervlak. In de neerslagverliesfase is daarom een onderverdeling gemaakt in de volgende 4 typen afvoerende oppervlak:

- gesloten verhard oppervlak
- open verhard oppervlak
- dak oppervlak
- onverhard oppervlak

Onder gesloten verhard oppervlak wordt verstaan ondoorlatende bestrating zoals asfaltverharding. Open verhard oppervlak omvat de doorlatende bestratingen zoals tegel en klinkerverhardingen.

In het neerslagverliesmodel wordt de reductie van neerslag naar 'netto' neerslag per type afvoerende oppervlak apart beschouwd. De neerslagbelasting wordt hierbij naar verhouding over de verschillende typen oppervlak verdeeld en het neerslagverlies wordt per type oppervlak berekend.

De processen verdamping en infiltratie zijn als volgt gemodelleerd:

verdamping

De verdamping vanaf een inhomogeen vochtig oppervlak is moeilijk te kwantificeren. Met enige reserve concludeert Van de Ven (1986) dat de verdamping vanaf een nat oppervlak tenminste gelijk is aan de open water verdamping. Omdat de verdamping weinig invloed heeft op de rioollossingen is een nauwkeuriger modellering niet zinvol geacht.

De verdamping is in het model ingebracht op basis van maandcijfers voor de verdamping van het KNMI volgens Penman. Op deze wijze wordt volgens een eenvoudige methode het seizoeneffect van de verdamping in het model meegenomen. De verdamping per tijdseenheid is gelijk aan de maandsom gedeeld door de totale tijdsduur in de betreffende maand.

In het model is verondersteld dat de verdamping niet alleen optreedt in droge perioden maar ook tijdens neerslag. Deze benadering is in principe niet juist, omdat er tijdens een neerslagperiode nauwelijks of geen verdamping plaatsvindt. Het effect van verdamping op de overstortingshoeveelheden tijdens een bui volgens de gekozen benadering is niet groot, omdat volgens pluviograafregistraties van het K.N.M.I. slechts circa 7% van de tijd neerslag valt.

infiltratie

Voor de beschrijving van het verloop van het infiltratieproces is uitgegaan van de benadering volgens Horton (1940).

afname van de infiltratiecapaciteit:

$$f_t = f_e + (f_b - f_e) \exp(-k_a \cdot t)$$

herstel van de infiltratiecapaciteit:

$$f_t = f_b - (f_b - f_e) \exp(-k_h \cdot t)$$

verklaring variabelen:

f_t	infiltratiecapaciteit op tijdstip t	(mm/h)
f_b	max. infiltratiecapaciteit ($t=0$)	(mm/h)
f_e	min. infiltratiecapaciteit	(mm/h)
k_a	tijdsfactor afname infiltratiecapaciteit	(/h)
k_h	tijdsfactor herstel infiltratiecapaciteit	(/h)
t	tijdstip	(h)

De afname en het herstel van de infiltratiecapaciteit in de bodem worden beschreven als gevolg van respectievelijk een toename of afname van het vochtgehalte in de ondergrond. Het tempo van de afname en het herstel van de infiltratiecapaciteit tussen de maximum waarde f_b en de minimum waarde f_e wordt bepaald door de tijdsfactoren k_a en k_h .

In figuur 5.2 is als voorbeeld het verloop van de afname van de infiltratiecapaciteit weergegeven:

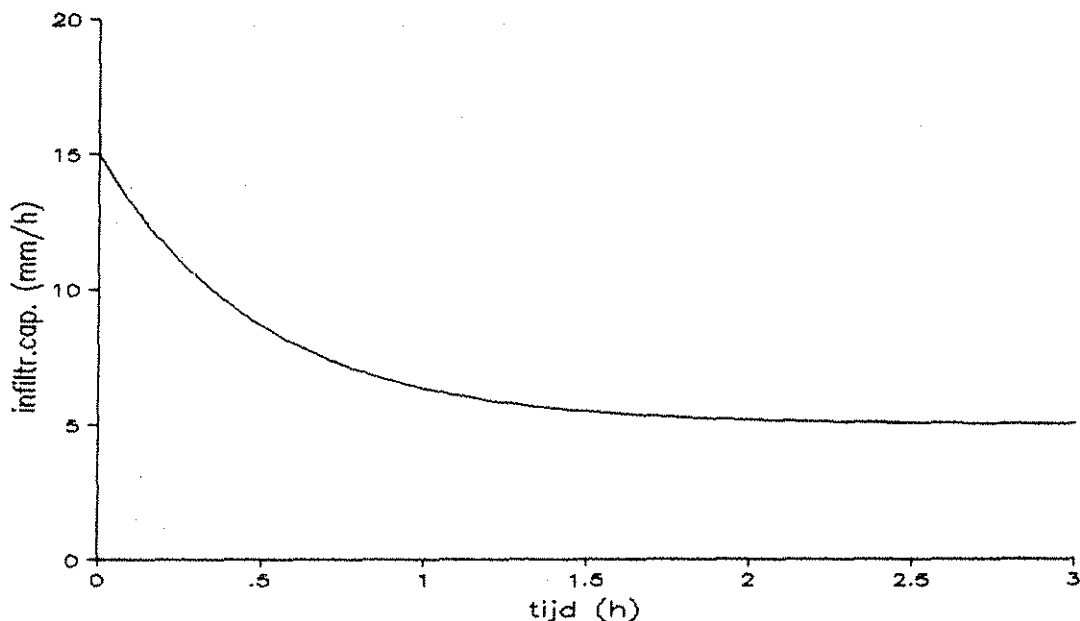


Fig 5.2 Verloop afname infiltratiecapaciteit volgens Horton.

De formule voor de afname van de infiltratiecapaciteit geldt zolang de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratiecapaciteit van de bodem en zolang er water aanwezig is op het oppervlak in de vorm van plassen of neerslag. De formule voor het herstel van de infiltratiecapaciteit geldt zolang het oppervlak droog is. Vanaf het moment dat de oppervlakteberging leeg is geldt de formule voor het herstel van de infiltratiecapaciteit tot de maximum infiltratiecapaciteit is bereikt.

5.2 Afstroming naar de riolering

De belasting van het afstromingsmodel wordt gevormd door de 'netto' neerslag uit het neerslagverliesmodel. Deze 'netto' neerslag wordt per type afvoerend oppervlak apart berekend. In het afstromingsmodel is dit onderscheid niet gemaakt. Voor de berekening van vertraging in de afstroming naar de riolering wordt het totale afvoerend oppervlak als een geheel beschouwd. Deze benadering is gekozen omdat het neerslagverlies per type afvoerend oppervlak duidelijk kan worden aangetoond, terwijl het verschil in afstromingsvertraging voor de verschillende typen oppervlak moeilijk is in te schatten.

Voor de beschrijving van de afstroming van neerslag naar de riolering zijn verschillende modellen beschikbaar. Uit een vergelijkende studie van Van de Ven (1986) blijkt dat de verschillen tussen de resultaten van de beschouwde typen afstromingsmodellen marginaal zijn. Er is hier daarom gekozen voor het eenvoudige lineaire reservoirmodel, dat als volgt kan worden voorgesteld. Van de 'netto' neerslag die tot afstroming komt, wordt een deel dynamisch geborgen op het afvoerend oppervlak en komt het andere deel tot afstroming in de riolering. Voor de afstroming over het oppervlak naar de riolering geldt de volgende vergelijking:

$$q = c \cdot h$$

verklaring variabelen:

q	rioolinloop	(mm/h)
c	afstromingsfactor	(/h)
h	neerslag, dynamisch geborgen op het afvoerend oppervlak	(mm)

De rioolinloop q is recht evenredig met de dynamisch geborgen neerslag in de waterlaag h op het afvoerend oppervlak. De afstromingsfactor c is een functie van de lengte, de ruwheid en de helling van het terrein.

5.3 Afvoer in de riolering

Voor de beschrijving van het afvoerproces in de riolering zijn er in hoofdlijnen 2 mogelijkheden:

- bakmodel
- dynamisch model

Bij het bakmodel wordt alleen rekening gehouden met de berging in de riolering en de pompovercapaciteit. Bij een dynamisch model wordt daarbij nog rekening gehouden met de vertraging van de afvoer in relatie tot de vulling van het systeem. Een belangrijk aspect van een dynamisch model is dat er met overstordrempels van verschillende niveaus kan worden gerekend en dat de overstortingshoeveelheden per overstort apart kunnen worden bepaald.

Het bakmodel is algemeen geaccepteerd en de resultaten van de berekeningen zijn eenvoudig onderling te vergelijken en te controleren, dit in tegenstelling tot de resultaten van dynamische rioleringsmodellen. Voor de beschrijving van het afvoerproces in de riolering is gekozen voor het bakmodel, zie ook hoofdstuk 3.

Het bakmodel heeft als parameters:

- berging
- pompoevercapaciteit

De rioolinloop uit het afstromingsmodel vormt de belasting van het rioleringsmodel. De pomp werkt vanaf het moment dat de berging zich begint te vullen tot het moment dat de berging weer leeg is. Een overstorting begint op het moment dat de berging in de riolering geheel gevuld is. Per bui wordt in principe 1 overstorting gerekend, eventuele deeloverstortingen worden niet apart beschouwd. Een volgende bui kan een nieuwe overstorting opleveren, tenzij de overstorting van de vorige bui nog niet is afgelopen.

6

MODELPARAMETERS EN INVOERGEGEVENS

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de invoergegevens en de modelparameters van het in hoofdstuk 5 geformuleerde model.

De waarden van de verschillende modelparameters zijn afgeleid uit literatuurgegevens. Op basis van een evaluatie van de beschikbare literatuurgegevens zijn voorstellen voor de modelparameters geformuleerd.

De begrippen 'vlak' en 'hellend' oppervlak zijn voor het model als volgt gedefinieerd:

- als vlak oppervlak zijn afvoerende oppervlakken met een helling van maximaal 1% beschouwd;
- als hellend oppervlak zijn dakhellingen en voor de Nederlandse situatie oppervlak met een terrein helling van meer dan 1% beschouwd.

6.1 Neerslagverlies

6.1.1 Verdamping

Het verloop van de verdamping dat voor het model wordt voorgesteld is gebaseerd op de maandgemiddelde open water verdamping in De Bilt in de periode 1955-1979. De maandgemiddelden zijn afgerond op veelvouden van 5 mm per maand. In figuur 6.2 is het aangenomen verloop van de verdamping per maand aangegeven.

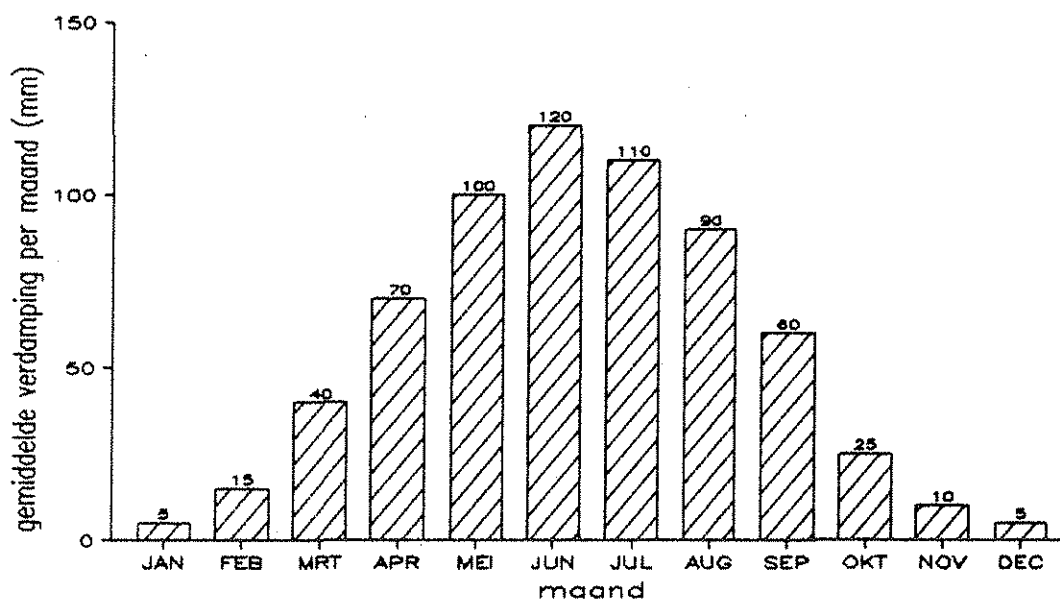


Fig. 6.2 Gemiddelde verdamping per maand.

6.1.2 Bevochtiging, plasvorming, c.q. oppervlakteberging

In de literatuur worden uiteenlopende waarden voor bevochtiging en plasvorming vermeld.

Door Pecher (1969) is een uitgebreide literatuurstudie verricht naar waarden voor bevochtiging en plasvorming van verschillende soorten vlakke oppervlakken.

In tabel 6.1 zijn conclusies ten aanzien van de bevochtiging weergegeven.

type oppervlak	bevochtiging (mm)
ondoorlatend oppervlak	0.2 - 0.5
onverhard oppervlak	0.2 - 2.0

Tabel 6.1 Bevochtiging volgens Pecher (1969).

De bevochtiging van onverhard oppervlak hangt nauw samen met de mate van begroeiing. De waarde van 0.2 mm geldt voor kale grond, die van 2.0 mm voor zwaar begroeide grond.

In tabel 6.2 zijn de waarden, die Pecher voor plasvorming uit het literatuuronderzoek heeft afgeleid, weergegeven.

type oppervlak	plasvorming (mm)
zeer gladde ondoorlatende oppervlakken	0.2 - 0.4
gladde ondoorlatende oppervlakken	0.5 - 0.7
kale grond, schaarse vegetatie, gras	0.6 - 2.5
gronden met zware begroeiing	2.5 - 4.0

Tabel 6.2 Plasvorming volgens Pecher (1969).

Kidd (1978) heeft op basis van onderzoeksgegevens uit Nederland, Zweden en Engeland de oppervlakteberging van open en gesloten verhard oppervlak geëvalueerd. Hierbij is tevens gekeken naar de relatie tussen de oppervlakteberging en de terreinhelling.

Het verband tussen oppervlaktebergings en terreinhelling wordt beschreven met de formule:

$$Bo = .77 * It^{-0.49}$$

verklaring variabelen:

Bo	oppervlaktebergings	(mm)
It	terreinhelling	(o/o)

Het verloop van de oppervlaktebergings als functie van de terreinhelling volgens Kidd is weergegeven in figuur 6.2.

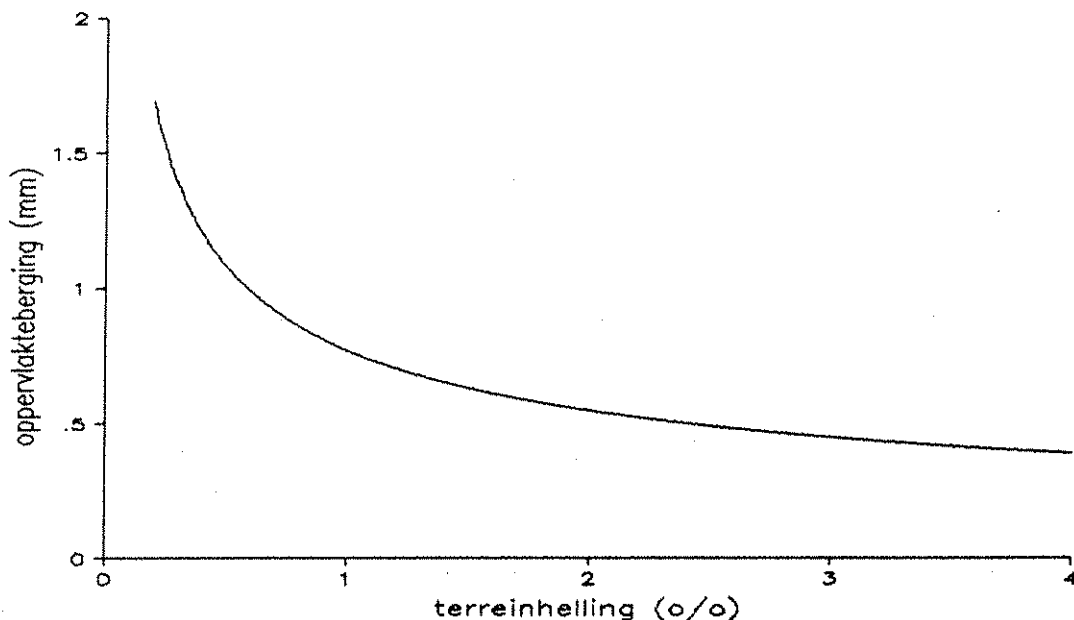


Fig 6.2 Oppervlaktebergings als functie van de terreinhelling volgens Kidd.

De oppervlaktebergings varieert hierbij van circa 1.7 tot 0.8 mm voor een vlak oppervlak (met een helling van 0.2 - 1 o/o) tot 0.45 mm voor een helling van 3 o/o.

De waarden voor de bevochtiging en plasvorming die door van de Ven (1986) zijn afgeleid bij het onderzoek in Lelystad, zijn per type oppervlak vermeld in tabel 6.3.

type oppervlak	bevochtiging (mm)	plasmvorming (mm)
gesloten verhard opp.:		
- plat dak	0.5	2.0
- hellend dak	0.1	0.0
- asfalt	0.07	0.25
open verhard opp.:		
- klinkers+tegels	0.7	0.9
onverhard opp.:		
- gras	1.0	2.5
- struiken	1.5	2.5
- overig onverhard	0.0	2.5

Tabel 6.3 Bevochtiging en plasvorming in Lelystad volgens van de Ven (1986).

Een samenvatting van de verschillende literatuurgegevens is opgenomen in tabel 6.4. De gegevens zijn hierbij gerangschikt naar type oppervlak zoals gehanteerd in het model, en naar helling van het oppervlak. Voor de oppervlakte berging zijn de waarden voor bevochtiging en plasvorming opgeteld.

type oppervlak	bevocht. (mm)	plasm. (mm)	opp.brg. (mm)	bron
vlak oppervlak:				
gesl.verhard (asfalt)	0.2-0.5	0.2-0.7	0.4-1.2	Pecher
	0.07	0.25	0.3	vd Ven
			0.8-1.7	Kidd
dak	0.5	2.0	2.5	vd Ven
open verhard	0.7	0.9	1.6	vd Ven
onverhard	0.2-2.0	0.6-4.0	0.8-6.0	Pecher
	0.0-1.5	2.5	2.5-4.0	vd Ven
hellend oppervlak:				
gesloten verhard			0.45-0.8	Kidd
dak	0.1	0.0	0.1	vd Ven

Tabel 6.4 Samenvatting literatuurgegevens oppervlakte berging.

Uit de hiervoor genoemde literatuurgegevens blijkt dat de waarden voor de oppervlakteberging op vlak gesloten verhard oppervlak enigszins uiteenlopen. De waarden van Kidd (0.8 tot 1.7 mm) en die volgens Pecher (0.4-1.2 mm) liggen hoger dan die gehanteerd door van de Ven (0.3 mm).

Op grond van het gemiddelde van de beschikbare literatuurgegevens wordt voor de oppervlakteberging op vlak gesloten verhard oppervlak voor het model een waarde van 0.7 mm voorgesteld.

De door van de Ven gehanteerde spreiding voor de oppervlakteberging op onverhard oppervlak valt vrijwel samen met die genoemd door Pecher. Op grond van deze gegevens wordt voor het ontwikkelde neerslag-verliesmodel een oppervlakteberging van 3 mm voorgesteld voor het vlakke onverharde oppervlak.

Voor de oppervlakteberging op het vlak dakoppervlak en het vlak open verhard oppervlak worden alleen door van de Ven waarden genoemd. Voor het model wordt voorgesteld voor het dakoppervlak een waarde van 2.5 mm te hanteren en voor het vlak open verhard oppervlak een waarde van 1.5 mm.

Voor de oppervlakteberging van hellende oppervlakken worden de volgende waarden voorgesteld. Voor het gesloten verhard oppervlak en dakoppervlak wordt aangenomen dat slechts bevochtigingsverlies optreedt. De oppervlakteberging wordt dan voor deze oppervlakken 0.2 mm. Voor de beide andere types oppervlakken, open verhard en onverhard, wordt wel in beperkte mate plasvorming aangenomen. Mede op grond van de formule volgens Kidd wordt voorgesteld dat de hellende oppervlakken de helft van de hoeveelheid bergen die op de corresponderende vlakke oppervlakken wordt geborgen.

De voorgestelde modelwaarden voor de oppervlakteberging zijn samengevat in tabel 6.5.

type oppervlak	oppervlakteberging (mm)	
	vlak	hellend
gesloten verhard oppervlak	0.7	0.2
open verhard oppervlak	1.5	0.8
dak oppervlak	2.5	0.2
onverhard oppervlak	3.0	1.5

Tabel 6.5 Modelwaarden oppervlakteberging.

6.1.3

Infiltratie

Uit de onderzoeken van Van Dam en Schotkamp (1983) en van Bebelaar en Bakker (1981) blijkt dat de infiltratie in bestratingen aanzienlijk kan zijn. De uitkomsten van deze studies zijn opgenomen in tabel 6.6.

type bestrating			infiltratiecapaciteit (mm/h)	
			spreiding	mediaan
<u>Van Dam en Schotkamp:</u>				
beton klinkers	20x10x7	cm	7 - 24	14
klinkers	20x20x8	cm	6 - 15	9
tegels	50x50x6	cm	7 - 16	10
asfalt				0
<u>Bebelaar en Bakker:</u>				
beton klinkers	22x11x8	cm	10 - 353	32
beton klinkers	22x9x6.5	cm	8 - 300	34
tegels	30x30x4	cm	1 - 254	16
asfalt				0

Tabel 6.6 Infiltratie in bestratingen.

Uit de onderzoeken van Van de Ven (1986) blijkt dat de infiltratiecapaciteit in open verhard oppervlak voor 10 beschouwde buien in het eerste uur gemiddeld circa 8 mm kan bedragen. Deze waarde is bepaald op basis van metingen in twee meetgebieden in Lelystad. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de infiltratiecapaciteit sterk afhankelijk is van het vochtgehalte in de bodem.

De infiltratiecapaciteiten in onverhard oppervlak kunnen sterk variëren. Voor gras ligt de waarde van de minimum infiltratiecapaciteit (fe) tussen de 10 en 500 mm/h. Voor kale en schaars begroeide grond worden voor de minimum infiltratiecapaciteit waarden tussen 10 en 100 mm/h gemeten (Ando e.a., 1984). Uit metingen in Lelystad blijkt een vergelijkbare spreiding van de waarden van de minimum infiltratiecapaciteit fe. Voor de maximum infiltratiecapaciteit (fb) zijn waarden gemeten tussen circa 30 en 600 mm/h (De Roo, 1982).

Bij de beschouwing van de literatuurgegevens voor open verhard oppervlak moet in aanmerking worden genomen dat de doorlatendheid van bestratingen in belangrijke mate afhankelijk is van de toestand van de voegen tussen de stenen.

In het algemeen zijn oudere bestratingen minder doorlatend als gevolg van dichtgeslibde voegen. De gegevens van Bebelaar en Bakker hebben betrekking op een groot aantal experimenten op bestratingen van diverse leeftijden, terwijl de gegevens van Van Dam en Schotkamp betrekking hebben op 1 parkeerplaats, waarvan de bestrating circa 14 jaar oud was.

Voor de infiltratiecapaciteit van het open verhard oppervlak wordt een maximum waarde (f_b) van 10 mm/h en een minimum waarde (f_e) van 2 mm/h voorgesteld. De maximum waarde komt overeen met de mediaanwaarden van Dam en Schotkamp. De infiltratie heeft een grote invloed op de afstroming van neerslag van open verhard oppervlak. De voorgestelde waarden zijn relatief laag gekozen, om de kans op onderschatting van de rioolloop te beperken. Hierbij is rekening gehouden met een mogelijke reductie van de infiltratiecapaciteit onder invloed van dichtslibbing van de bestrating.

Voor de infiltratiecapaciteit in gesloten verhard oppervlak en dakoppervlak wordt de waarde nul voorgesteld.

De spreiding in de literatuurwaarden voor infiltratie in onverhard oppervlak is zeer groot, hetgeen gedeeltelijk samenhangt met verschil in gedrag al naar gelang de gebruiksvorm/aard van het onverharde oppervlak.

Voor de infiltratiecapaciteit in onverhard oppervlak wordt voor het model een maximum waarde van 30 mm/h en een minimum waarde van 10 mm/h voorgesteld. Hiermee wordt uitgegaan van relatief beperkte infiltratie.

Overigens is de bijdrage van de afvoer van het onverhard oppervlak ten opzichte van de totale neerslagafvoer in het algemeen gering. Een uitzondering moet worden gemaakt voor sterk hellende gebieden met slecht doorlatend onverhard oppervlak, dat in principe op de riolering kan afstromen. Voor dergelijke situaties zijn de gekozen modelwaarden minder geschikt.

Het verschil in infiltratie in vlak en hellend gebied wordt vooral bepaald door de oppervlakteberging, dat willen zeggen de hoeveelheid water die voor infiltratie beschikbaar is. In het model worden voor vlak en hellend oppervlak dezelfde waarden voor de infiltratieparameters voorgesteld.

De voor het model voorgestelde waarden voor de infiltratiecapaciteit zijn samengevat in tabel 6.7.

type oppervlak	infiltratiecapaciteit (mm/h)	
	maximum fb	minimum fe
gesloten verhard oppervlak	0.0	0.0
open verhard oppervlak	10.0	2.0
dak oppervlak	0.0	0.0
onverhard oppervlak	30.0	10.0

Tabel 6.7 Modelwaarden infiltratiecapaciteit.

De infiltratiecapaciteit neemt volgens de gekozen procesbeschrijving volgens Horton, exponentieel af tussen maximum waarde fb en minimum waarde fe onder invloed van de tijdsfactor k.

Voor de k-waarde voor de afname van de infiltratiecapaciteit worden in de literatuur waarden vermeld die variëren van 2 - 6 /h (Huber e.a.,1984).

De k-waarde voor het herstel van de infiltratiecapaciteit kan afhankelijk van de bodemgesteldheid variëren van 0.1 tot 0.01 /h. Het herstel van de infiltratiecapaciteit zal hierbij voor 90% plaatsvinden in respectievelijk 1 tot 10 dagen (Huber, e.a., 1984).

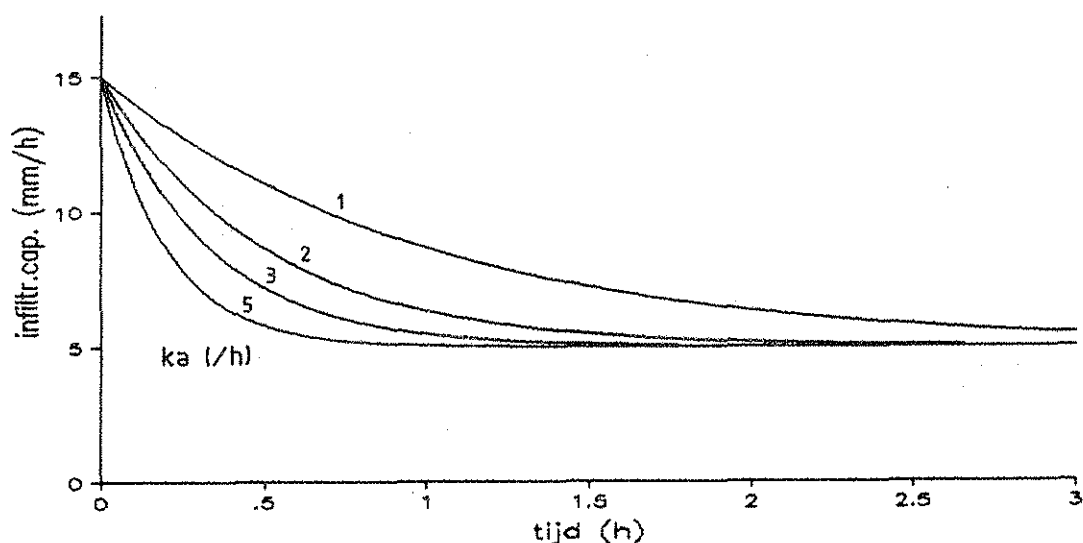


Fig. 6.3 Invloed k-waarde afname infiltratiecapaciteit.

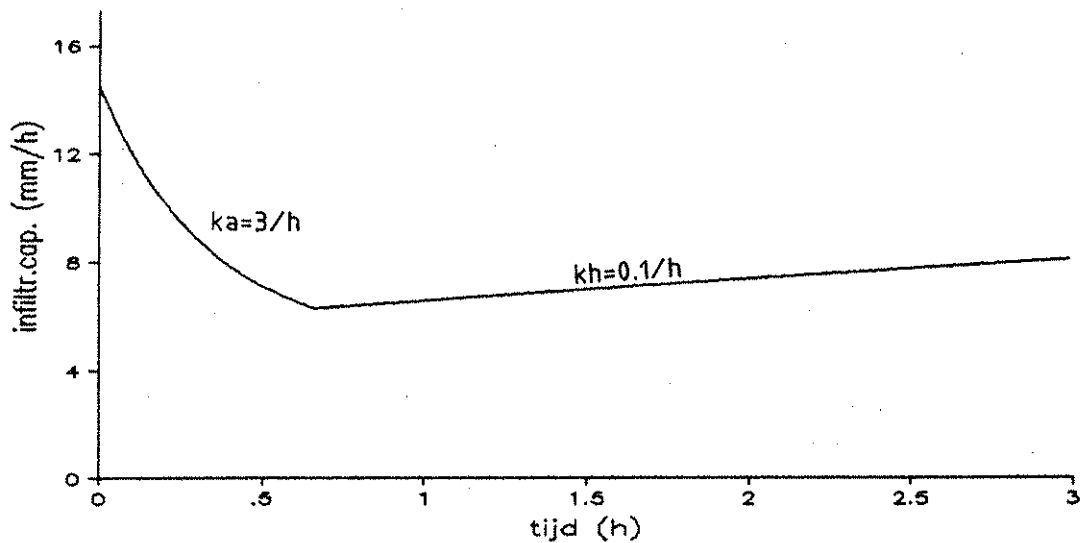


Fig. 6.4 Invloed k-waarde afname en herstel infiltratiecapaciteit.

Voorgesteld wordt om voor het model voor de afname van de infiltratiecapaciteit $k_a = 3$ /h en voor het herstel $k_h = 0.1$ /h aan te houden.

6.2

Afstroming naar de riolering

Uit de bij de onderzoeken van Van de Ven in Lelystad uitgevoerde calibratie is voor de afstromingsfactor c een waarde van ongeveer 0.2 /min naar voren gekomen. Voor het model wordt daarom een c -waarde voorgesteld van 0.2 /min voor vlakke gebieden. Voor hellende gebieden wordt verondersteld dat de neerslag minder vertraagd in de riolering zal instromen. Voor hellende gebieden wordt voorgesteld de afstromingsvertraging daarom buiten beschouwing te laten.

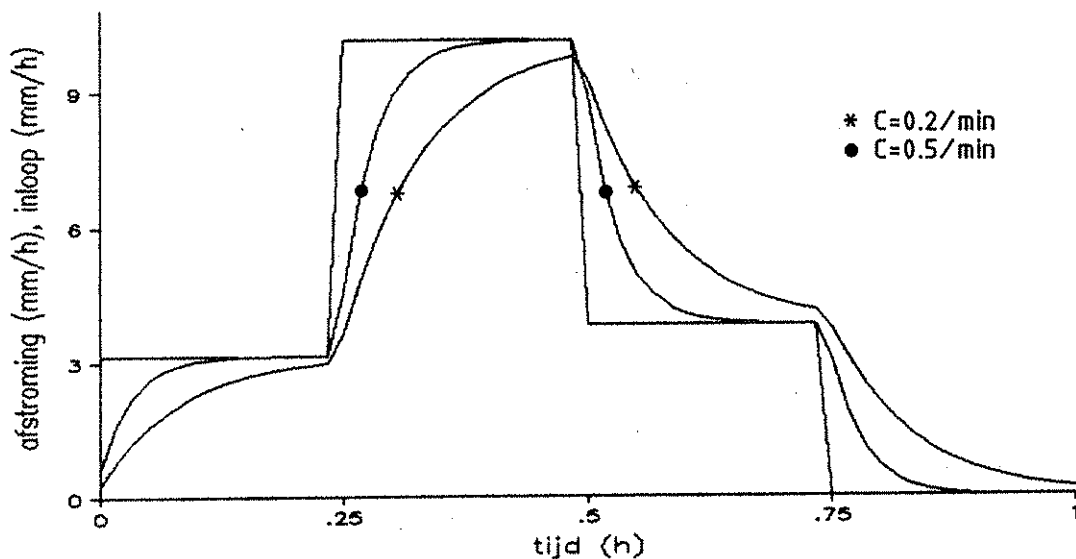


Fig. 6.5 Afstromingsproces neerslag-rioolinloop.

In figuur 6.5 is een voorbeeld gegeven van het functioneren van het afstromingsmodel, waarbij de vertraging van neerslag naar rioolloop is weergegeven voor de afvoercoëfficiënten $c=0.2/\text{min}$ en $c=0.5/\text{min}$.

6.3 Afvoer in de riolering

6.3.1 Berging in de riolering

De berging in de riolering wordt in het algemeen bepaald op basis van het volume in de leidingen. Desgewenst kan rekening worden gehouden met het extra volume in de inspectieputten en straatkolken en het bergingsverlies als gevolg van slibafzettingen in de leidingen en het volume van de dwastroom. In bijlage 1 wordt aan de hand van een rekenvoorbeeld nader ingegaan op de invloed van genoemde factoren op de grootte van de berging. Uit dit rekenvoorbeeld blijkt ook dat een berekening van de berging op basis van het volume in de leidingen een goede benadering oplevert van de aanwezige berging.

6.3.2 Pompoevercapaciteit

De pompoevercapaciteit van de riolering wordt in het algemeen bepaald op basis van de geïnstalleerde pompcapaciteit minus een gemiddelde droogweeraanvoer. Er zijn echter ook andere effecten die invloed kunnen hebben op de pompoevercapaciteit zoals:

- lekkage van de riolering
- infiltratie in de riolering
- drainage aansluitingen
- variaties in de droogweeraanvoer

In principe zal de riolering waterdicht moeten zijn om bodemvervuiling door lekkage en inspoeling van zand te voorkomen. Dit is dan ook als uitgangspunt bij de modellering gehanteerd. Lekkage, infiltratie en drainage kunnen echter eventueel in de berekeningen worden meegenomen door de pompoevercapaciteit hierop aan te passen, d.w.z. te verlagen. De grootte hiervan moet per situatie worden geschat.

De invloed van variaties in de droogweeraanvoer kan ook via de pompoevercapaciteit worden verrekend. De pompoevercapaciteit is 's nachts in het algemeen groter dan overdag. In de modelbenadering wordt voorgesteld uit te gaan van een gemiddelde dwa, die wordt berekend over 24 uur, in plaats van de huidige 10 of 12 uur. Wanneer met een variabele droogweeraanvoer wordt gerekend kan voor de droogweeraanvoer een verloop worden aangenomen op basis van metingen van capaciteiten van rioolgemalen.

ANALYSE VAN HET MODEL

In dit hoofdstuk wordt het gepresenteerde neerslag-inloopmodel geanalyseerd. Hierbij wordt in de eerste plaats op basis van de uit de literatuur bekende waarden voor verschillende modelparameters ingegaan op de invloed van de aangenomen waarde van de betreffende modelparameter op de berekeningsresultaten. Vervolgens wordt aandacht besteed aan de relatieve invloed van de in het model onderscheiden processen op de modeluitkomsten. Het hoofdstuk wordt besloten met een evaluatie van het model, waarbij de berekeningsuitkomsten volgens dit model worden vergeleken met die van traditionele rekenmethodes.

Voor deze analyse is een rekenmodel ontwikkeld waarin de voorgestelde modelparameters als standaardwaarden zijn ingevoerd. Het principe van het rekenmodel is dat een waterbalans per tijdstap wordt berekend. Per tijdstap wordt de hoeveelheid neerslag berekend die wordt geborgen op het afvoerend oppervlak, die infiltreert in de bodem, die verdampt en die vertraagd tot afstroming komt naar de riolering. De differentievergelijkingen voor het infiltratieproces en het afstromingsproces, die in het rekenmodel zijn toegepast, zijn afgeleid in bijlage 2. De neerslagbelasting kan in het rekenmodel worden ingevoerd met een vaste tijdstap van 1, 5 of 15 minuten. Bij de berekeningen voor de modelanalyse is gebruik gemaakt van een beschikbare neerslagreeks van 15 minuten cijfers, gemeten over een periode van 5 jaar (1955-1959) in Beek (L).

Het gesloten verhard oppervlak, het open verhard oppervlak en het dak oppervlak worden in het rekenmodel ingevoerd als 100 % verhard oppervlak. De berging in de riolering wordt ingevoerd in mm en de pompoevercapaciteit in mm/h ten opzichte van dit verhard oppervlak. De grootte van het onverhard oppervlak, waarvan de neerslag via de riolering wordt afgevoerd, wordt uitgedrukt als een percentage van het totale verhard oppervlak. Door deze benadering kunnen de resultaten van dit model eenvoudig worden vergeleken met de methode Kuipers of de 5-minuten regens.

In alle berekeningen is de riolering geschematiseerd tot een bakmodel met een berging van 7.0 mm en een pompoevercapaciteit van 0.7 mm/h.

De invloed van de waarden van de modelparameters en van de verschillende processen op de modeluitkomsten is bepaald aan de hand van de volgende overstortingsparameters:

- a de maximale overstortingshoeveelheid gedurende 15 minuten in de periode 1955-1959;
- b de maximale overstortingshoeveelheid per gebeurtenis in de periode 1955-1959;
- c totale overstortingshoeveelheid in de periode 1955-1959.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden in de tekst de bovengenoemde overstortingskarakteristieken als volgt kortweg genoemd:

- a maximale overstortingsintensiteit;
- b maximale overstortingshoeveelheid;
- c totale overstortingshoeveelheid.

Deze parameters zijn belangrijke grootheden in verband met de vuilemissie bij overstorten van de rio-lering en geven bovendien inzicht in het functioneren van de verschillende onderdelen van het model. De maximale overstortingshoeveelheid gedurende 15 minuten is vooral van belang in verband met het inzicht in het functioneren van het afstromingsmodel. De invloed van de modelparameters op de maximale overstortingshoeveelheid per gebeurtenis en op de totale overstortingshoeveelheid gedurende de periode 1955-1959 is tevens van belang om inzicht te krijgen in het aandeel van het neerslagverliesmodel.

7.1

Analyse modelparameters algemeen

In de analyse van de modelparameters is in eerste instantie voor de volgende processen de invloed van variaties van de meest essentiële modelparameters op de modeluitkomsten beschouwd:

proces	modelparameter
verdamping	verdampingssnelheid
oppervlakteberging	oppervlakteberging
infiltratie	infiltratiecapaciteit
afstromingsvertraging	afstromingsfactor

Bij de berekeningen voor verschillende waarden van een bepaalde modelparameter zijn voor de overige modelparameters de waarden gehanteerd die in hoofdstuk 6 zijn voorgesteld.

Per modelparameter zijn in de meeste gevallen voor drie oppervlakcombinaties A, B en C berekeningen uitgevoerd. De verdelingen van de verschillende typen oppervlak, die bij deze combinaties zijn aangehouden, zijn weergegeven in tabel 7.0.

combinatie	type oppervlak				
	gesloten verhard	open verhard	hellend dak	vlak dak	onverhard
A	15%	40%	30%	15%	
B	25%	25%	25%	25%	
C	25%	25%	25%	25%	25%

Tabel 7.0 Gehanteerde oppervlakverdeling

Combinatie A is gebaseerd op de gemiddelde verdeling in 17 rioleringsgebieden verspreid over vier steden in Nederland (bijlage 3). Combinatie B is een fictieve combinatie, waarbij het aandeel van de verschillende typen oppervlak even groot is. Combinatie C is qua verdeling van het verhard oppervlak gelijk aan combinatie B, maar er wordt tevens rekening gehouden met afvoerend onverhard oppervlak.

Voor een aantal modelparameters is niet alleen gerekend met combinaties van typen oppervlak, maar ook met 100% van één bepaald type, teneinde inzicht te krijgen in het maximale effect van variatie van de desbetreffende modelparameterwaarde per type oppervlak. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de uitkomsten voor met name het onverhard oppervlak een vertekend beeld geven van de werkelijke bijdrage van dit type oppervlak. Bij 100% onverhard oppervlak stroomt slechts zelden voldoende water naar de riolering om een overstorting te veroorzaken. In combinatie met verhard oppervlak kan de bijdrage van het onverhard oppervlak wel van belang zijn, zoals ook uit de uitgevoerde berekeningen zal blijken.

De resultaten van de berekeningen worden per modelparameter en per overstortingsparameter in grafiekvorm gepresenteerd, waarbij de resultaten voor de verschillende typen (voor zover berekend) en combinaties van oppervlakken in één grafiek zijn gecombineerd. Deze grafieken zijn per subparagraaf samengevoegd en in het rapport opgenomen aan het einde van de betreffende subparagraaf.

Bij de presentatie zijn voor de verschillende (combinaties van) oppervlakken de volgende afkortingen gehanteerd:

- G.V.: gesloten verhard oppervlak
- O.V.: open verhard oppervlak
- V.D.: vlak dakoppervlak
- H.D.: hellend dakoppervlak
- O. : onverhard oppervlak
- A : combinatie A
- B : combinatie B
- C : combinatie C

De verschillende waarden van de modelparameter waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd, zijn als legenda aan de grafieken toegevoegd. Door middel van arcering is de relatie tussen gehanteerde waarde van de modelparameter en corresponderende modeluitkomsten duidelijk gemaakt.

7.1.1

Verdamping

De verdamping speelt vooral een rol bij de lediging van ondoorlatende oppervlakken. Bij doorlatende oppervlakken wordt de lediging van de oppervlaktebergings tevens bepaald door infiltratie.

Bij de analyse van de invloed van de verdampingsnelheid zijn behalve voor de oppervlakcombinaties ook berekeningen uitgevoerd per type oppervlak. De invloed van de verdampingssnelheid is bepaald door behalve voor het aangehouden verloop van de verdamping ook berekeningen uit te voeren waarbij is uitgegaan van geen verdamping, een halvering van de verdamping en een verdubbeling van de verdamping.

type oppervlak	verdampingssnelheid (x aangehouden verloop)			
gesloten verhard	0.0,	0.5,	1.0,	2.0
open verhard	0.0,	0.5,	1.0,	2.0
vlak dak	0.0,	0.5,	1.0,	2.0
hellend dak	0.0,	0.5,	1.0,	2.0
onverhard	0.0,	0.5,	1.0,	2.0
combinatie A,B,C	0.0,	0.5,	1.0,	2.0

Tabel 7.1 Modelanalyse verdampingssnelheid

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.1a t/m c.

Bij open verhard oppervlak en onverhard oppervlak is de invloed van de verdampingssnelheid op de maximale

overstortingsintensiteit en de overstortingshoeveelheden nihil. Bij deze typen oppervlak wordt de lediging van de oppervlakteberging gedomineerd door de infiltratie. Bij de overige typen oppervlak is wel sprake van invloed.

Voor de maximale overstortingsintensiteit blijkt dat het wel of niet meenemen van verdamping het grootste effect heeft. Vooral bij vlak dakoppervlak is dit duidelijk waarneembaar. Dit hangt samen met de relatief grote oppervlakteberging. Naarmate het relatieve aandeel van dit type oppervlak in de combinaties groter is, werkt dit meer door op de resultaten van de combinaties. Wanneer er wel verdamping wordt aangenomen, worden de modeluitkomsten nauwelijks beïnvloed door variaties in de aangehouden verdampingssnelheid.

Voor de maximale overstortingshoeveelheid is de invloed van de grootte van de verdampingssnelheid beperkt. Ook hier is het grootste effect zichtbaar bij vlak dakoppervlak.

Voor de totale overstortingshoeveelheid over de periode van vijf jaar is de invloed van variatie van de verdampingssnelheid relatief groot.

7.1.2

Oppervlakteberging

De oppervlakteberging werkt in het model als een buffer van waaruit neerslag kan verdampen, infiltreren en afstromen.

De invloed van de oppervlakteberging is zowel voor de oppervlakcombinaties als voor de afzonderlijke oppervlakken beschouwd. De beschouwde waarden voor de oppervlakteberging zijn in tabel 7.2 samengevat.

type oppervlak	oppervlakteberging (mm)			
	W1	W2	W3	W4
gesloten verhard	0.3	0.5	0.7	1.0
open verhard	0.5	1.0	1.5	2.0
vlak dak	1.5	2.0	2.5	3.0
hellend dak	0.0	0.1	0.2	0.3
onverhard	1.0	2.0	3.0	5.0
combinatie A,B,C	W1	W2	W3	W4

Tabel 7.2 Modelanalyse oppervlakteberging

Voor de oppervlakcombinaties A, B en C is voor de voor komende typen oppervlak gerekend met de serie van waarden voor de oppervlakteberging, genoemd

onder respectievelijk W1, W2, W3 en W4. De waarden die onder W3 worden vermeld, komen overeen met de in hoofdstuk 6 voorgestelde modelwaarden.

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.2a t/m c. Bij de legenda in de grafieken wordt met de code W1 t/m W4 naar de betreffende waarden voor de oppervlakteberging in tabel 7.2 verwezen.

De maximale overstortingsintensiteit blijkt bij 100% onverhard oppervlak ongevoelig te zijn voor variaties van de oppervlakteberging, door de overheersende invloed van de infiltratie. De invloed van de variaties van de oppervlakteberging van gesloten verhard en hellend dakoppervlak op de overstortingsintensiteit is gering. Bij vlak dakoppervlak is wel sprake van een duidelijke invloed. Dit geldt eveneens voor de beschouwde oppervlakcombinaties. Bij vergelijking van de berekende waarden van combinatie B en C blijkt verder dat de afstroming van neerslag van het onverhard oppervlak de maximale overstortingsintensiteit kan beïnvloeden. De maximale overstortingshoeveelheid en de totale overstortingshoeveelheid worden slechts in zeer beperkte mate beïnvloed door variaties in de oppervlakteberging.

7.1.3 Infiltratie

De infiltratie speelt vooral een rol bij de lediging van de oppervlakteberging op doorlatende oppervlakken. De invloed van de grootte van de infiltratiecapaciteit is zowel voor de relevante afzonderlijke oppervlakken (open verhard en onverhard oppervlak) beschouwd als voor de combinaties van oppervlakken. In tabel 7.3 zijn de waarden voor de minimum en maximum infiltratiecapaciteit weergegeven, die voor beide typen oppervlakken zijn gehanteerd. De onder W3 aangegeven waarden zijn de in hoofdstuk 6 voorgestelde modelwaarden.

type oppervlak	infiltratiecapaciteit (mm/h)			
	(minimum-maximum)			
	W1	W2	W3	W4
open verhard	0- 0	5- 1	10- 2	15- 3
onverhard	0- 0	15- 5	30-10	45-15

combinatie A,B,C	W1	W2	W3	W4

Tabel 7.3 Modelanalyse infiltratiecapaciteiten

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.3a t/m c. Bij de legenda in de grafie-

ken wordt met de code W1 t/m W4 naar de betreffende waarden voor de infiltratiecapaciteiten in tabel 7.3 verwezen. De overstortingsparameters blijken zeer duidelijk te worden beïnvloed door variaties in de infiltratiecapaciteit. Voor de verschillende oppervlakcombinaties blijkt bovendien dat het aandeel van het doorlatende oppervlak duidelijk van invloed is op de resultaten.

7.1.4 Afstromingsvertraging

De afstromingsvertraging heeft als gevolg dat de instroming van neerslag in de riolering wordt gespreid over een langere periode dan de neerslagduur (fig. 6.5). In het model is verondersteld dat in de afstromingsfase geen neerslagverlies in de vorm van verdamping of infiltratie kan optreden.

Om de invloed van de grootte van de afstromingsfactor op de modeluitkomsten te bepalen zijn alleen voor de drie oppervlakcombinaties berekeningen uitgevoerd, met de afstromingsfactoren volgens tabel 7.4. De voorgestelde modelwaarde bedraagt 0.2/min.

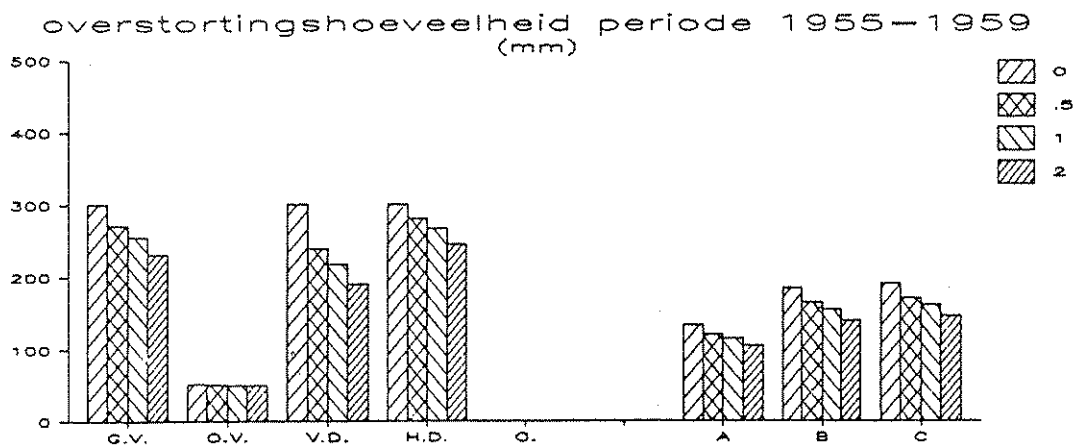
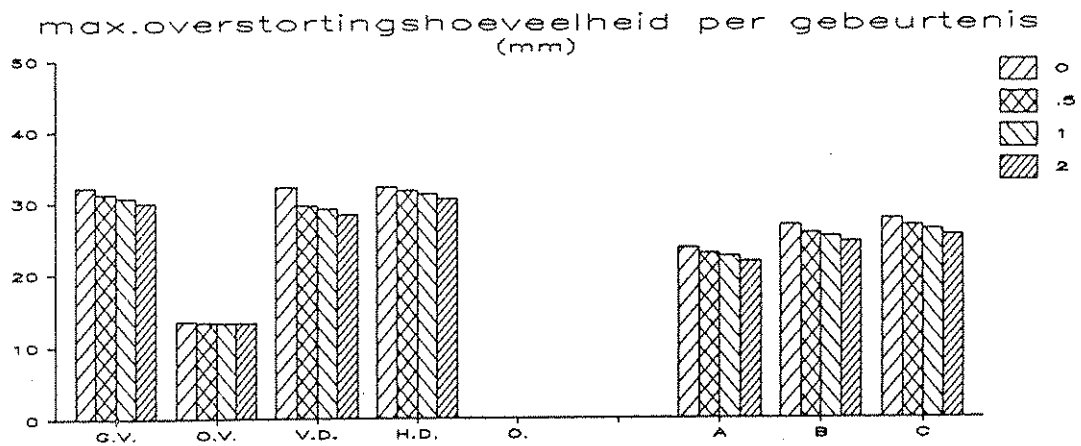
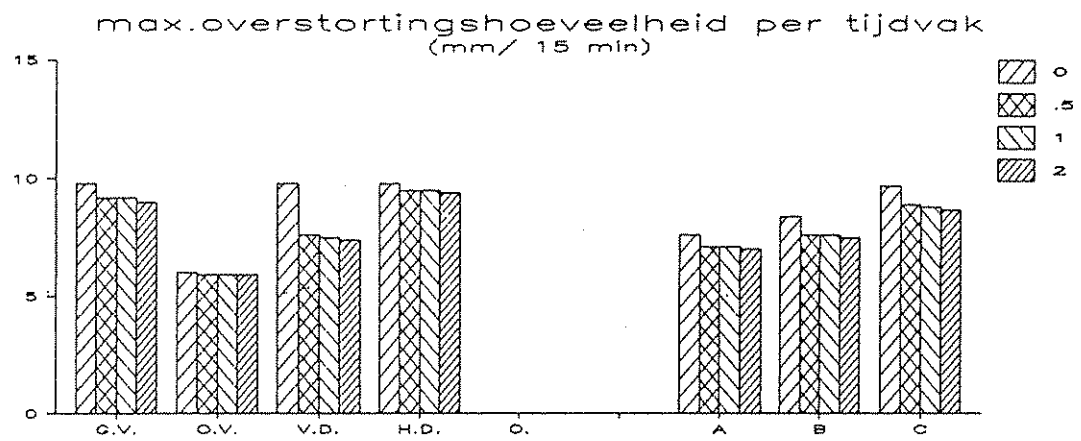
type oppervlak	afstromingsfactor (/min)			
combinatie A,B,C	0.1	0.2	0.3	0.5

Tabel 7.4 Modelanalyse afstromingsfactor.

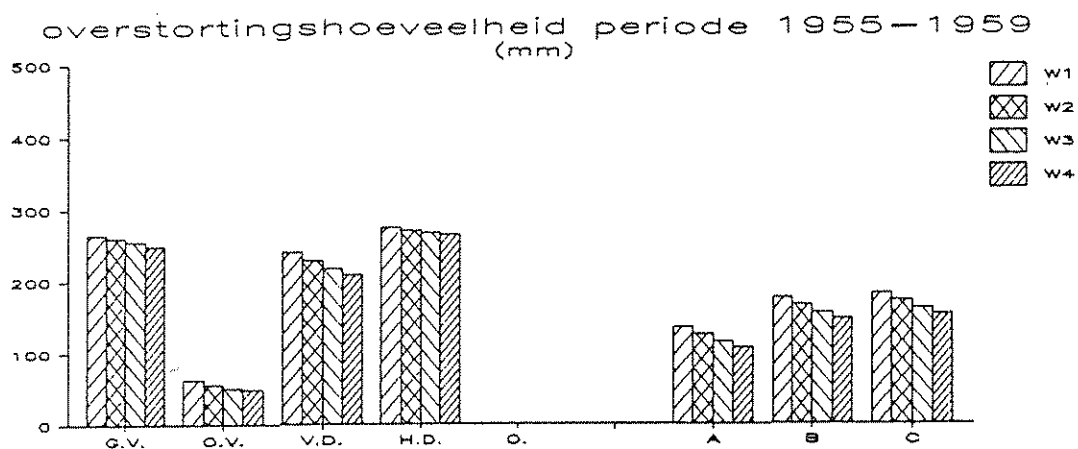
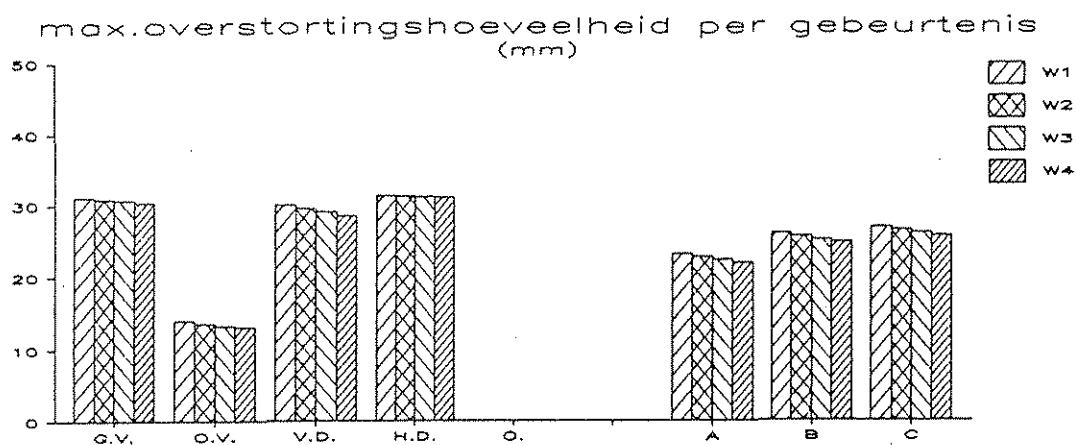
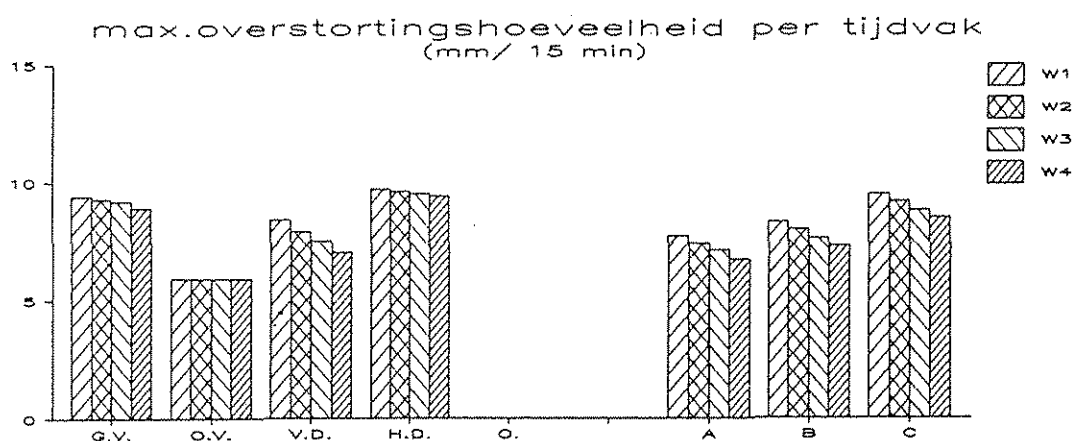
De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.4a t/m c.

De maximale overstortingsintensiteit in de beschouwde periode blijkt in belangrijke mate te worden beïnvloed door de afstromingsfactor. De afstromingsfactor heeft vooral een reducerend effect op de maximale overstortingsintensiteit bij een sterke variatie in de neerslagintensiteit tijdens de overstorting. In andere situaties kan dit effect minder duidelijk of zelfs tegengesteld kan zijn.

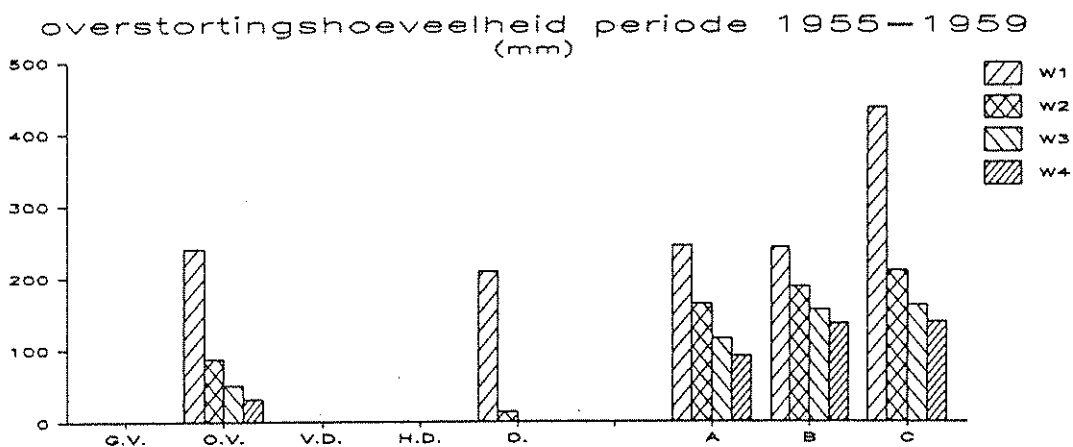
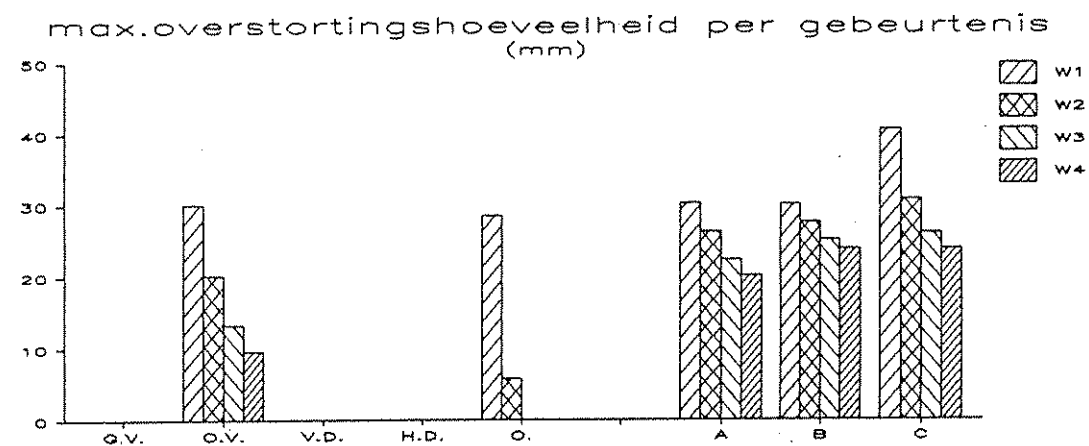
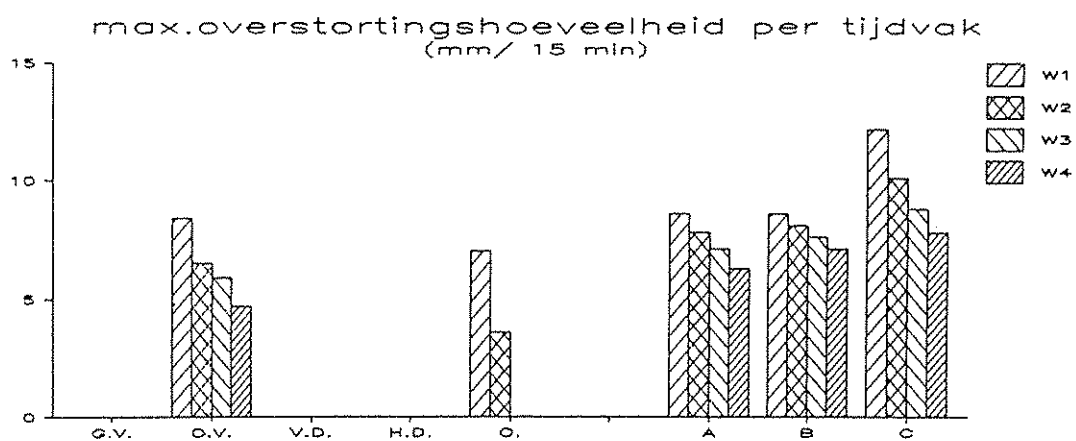
De overstortingshoeveelheden blijken slechts in geringe mate te worden beïnvloed. De verklaring hiervoor is dat vertraging van de inloopduur ten opzichte van de neerslagduur meestal niet meer bedraagt dan 30 minuten. De pompovercapaciteit in het bakmodel (0.7 mm/h) heeft dus maximaal 30 minuten de tijd om de overstortingshoeveelheid per gebeurtenis met ongeveer 0.3 mm te reduceren.



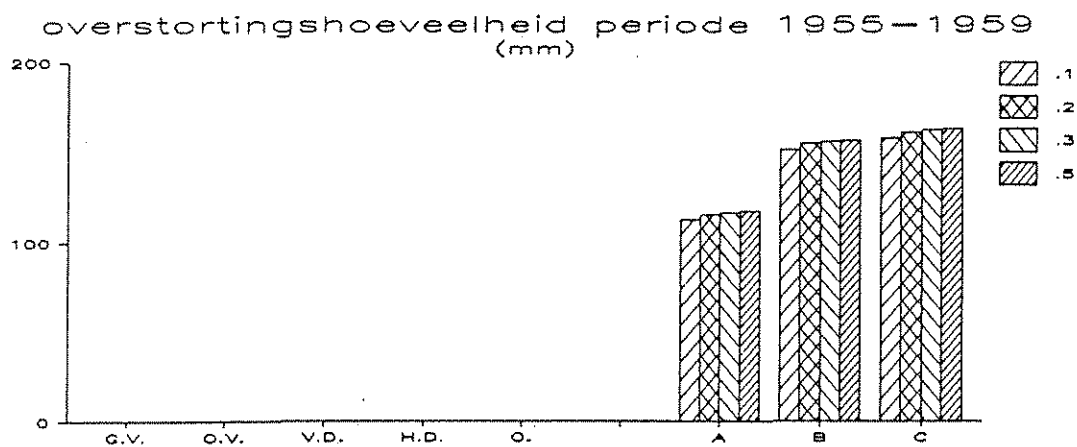
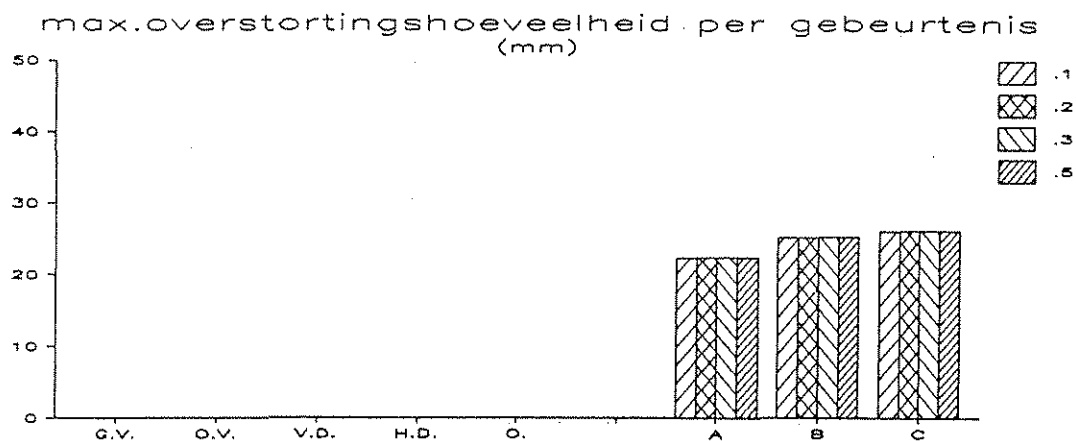
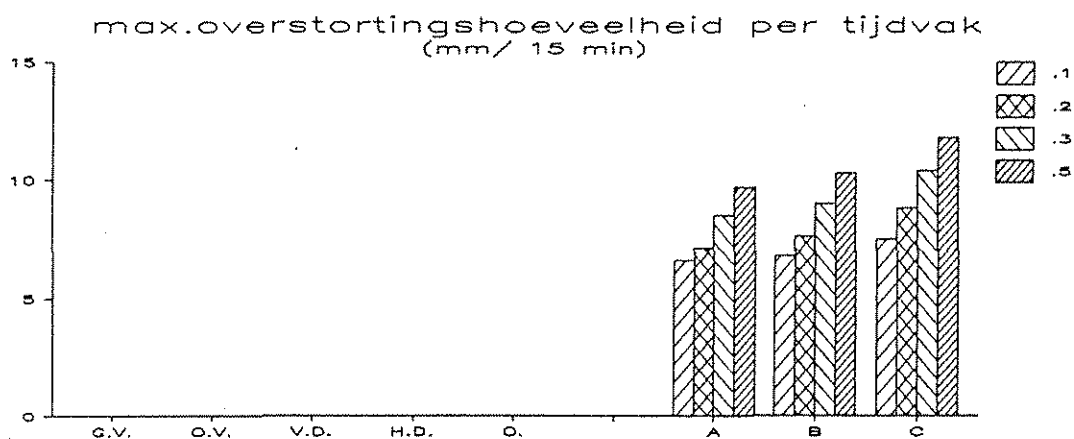
Grafiek 7.1a t/m c.
Invloed van variatie van de verdampingssnelheid
(als vermenigvuldigingsfactor van het voorgestelde
verloop).



Grafiek 7.2a t/m c.
Invloed van variatie van de oppervlakteberging
(legenda: zie tekst).



Grafiek 7.3a t/m c.
Invloed van variatie van de minimum en maximum
infiltratiecapaciteit (legenda: zie tekst).



Grafiek 7.4a t/m c.
Invloed van variatie van de afstromingsfactor.

7.1.5 **Samenvatting**

De infiltratiecapaciteit heeft naar verhouding de grootste invloed op de overstortingsparameters. De invloed van oppervlakteberging, met name op het vlak dakoppervlak is niet te verwaarlozen. De oppervlakteberging op open verhard oppervlak heeft bovendien een functie als buffer van waaruit infiltratie kan plaatsvinden. Het al of niet meenemen van verdamping heeft meer invloed dan een goede inschatting van de verdampingssnelheid.

7.2 **Nadere analyse modelparameters infiltratie**

Uit de in paragraaf 7.1 beschreven analyses blijkt dat de modeluitkomsten vooral gevoelig zijn voor juiste modelwaarden voor de infiltratiecapaciteit. Op grond hiervan is nog een aantal extra analyses uitgevoerd met betrekking tot factoren die in het model voor de infiltratie en de oppervlakteberging van belang zijn.

Het verloop van de infiltratie is in het model aangenomen volgens Horton (hoofdstuk 5), met als parameters de k-waarden voor de afname en het herstel van de infiltratiecapaciteit als functie van de tijd en de bevochtiging van het oppervlak. De oppervlakteberging op het doorlatende oppervlak werkt in het model als buffer van waaruit vooral infiltratie kan plaatsvinden. In deze nadere analyse zijn daarom de volgende aspecten nader beschouwd:

- de invloed van de grootte van de k-waarde voor de afname van de infiltratiecapaciteit;
- de invloed van de grootte van de k-waarde voor het herstel van de infiltratiecapaciteit;
- de invloed van concentratie van de oppervlakteberging (plasvorming) op het doorlatende oppervlak.

7.2.1 **K-waarde afname infiltratiecapaciteit**

Deze k-waarde heeft invloed op de afname van de infiltratiecapaciteit als functie van de tijd (fig. 6.3), zolang het afvoerend oppervlak vochtig is.

De k-waarde voor de afname van de infiltratiecapaciteit is gevarieerd volgens tabel 7.5. De voorgestelde modelwaarde voor deze parameter is 3/h. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de beide typen doorlatende oppervlakken en de oppervlakcombinaties A, B en C.

type oppervlak	k-waarde afname (/h)			
open verhard	1.0	2.0	3.0	4.0
onverhard	1.0	2.0	3.0	4.0
combinatie A,B,C	1.0	2.0	3.0	4.0

Tabel 7.5 Modelanalyse k-waarde afname

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.5a t/m c.

De overstortingsparameters blijken bij 100% open verhard oppervlak gevoelig te zijn voor een k-waarde in de buurt van 1/h. Naarmate de k-waarde groter wordt, waarbij de afname van de infiltratiecapaciteit sneller verloopt, neemt deze gevoeligheid duidelijk af.

De overstortingsparameters voor de combinaties van oppervlakken blijken redelijk gevoelig te zijn voor variaties in de k-waarde. Met name de invloed op de totale overstortingshoeveelheid over de periode 1955-1959 is hierbij opvallend.

7.2.2

K-waarde herstel infiltratiecapaciteit

Deze k-waarde heeft invloed op het herstel van de infiltratiecapaciteit als functie van de tijd (fig. 6.4), zolang het afvoerend oppervlak droog is.

De k-waarden voor het herstel van de infiltratiecapaciteit zijn in de berekeningen gevarieerd volgens tabel 7.6. Als modelwaarde is 0.1/h voorgesteld. Ook deze berekeningen zijn zowel voor open verhard oppervlak als onverhard oppervlak, als voor de combinaties uitgevoerd.

type oppervlak	k-waarde herstel (/h)			
open verhard	0.1	0.05	0.02	0.01
onverhard	0.1	0.05	0.02	0.01
combinatie A,B,C	0.1	0.05	0.02	0.01

Tabel 7.6 Modelanalyse k-waarde herstel

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.6a t/m c.

De overstortingsparameters blijken slechts minimaal te worden beïnvloed door de k-waarde voor het her-

stel van de infiltratiecapaciteit. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn, dat bij veel tot overstorting leidende buien de voorafgaande droogweelperiode zo lang is dat een duidelijk herstel van de infiltratiecapaciteit is bereikt. Een andere verklaring is dat bij een relatief snelle afname van de infiltratiecapaciteit, de invloed van het herstel van de infiltratiecapaciteit minder groot is.

7.2.3 Concentratie oppervlakteberging doorlatend oppervlak

In het model wordt ervan uitgegaan dat per type oppervlak de oppervlakteberging gelijkmatig verdeeld over het volledige oppervlak aanwezig is. Dit zal in de praktijk zelden het geval zijn door plaatselijke vorming van plassen. In verband met de belangrijke relatie met de infiltratie is nagegaan in hoeverre de modeluitkomsten worden beïnvloed door een concentratie van de oppervlakteberging op een deel van het doorlatende oppervlak.

Het percentage van het doorlatende oppervlak waarop de oppervlakteberging is geconcentreerd, is gevarieerd volgens tabel 7.7. De berekeningen zijn uitgevoerd voor alleen de combinaties van oppervlakken. Een oppervlakteberging geconcentreerd op 0% van het oppervlak betekent geen oppervlakteberging.

type oppervlak	concentratie oppervlakteberging (%)				
combinatie A,B,C	0	10	20	50	100

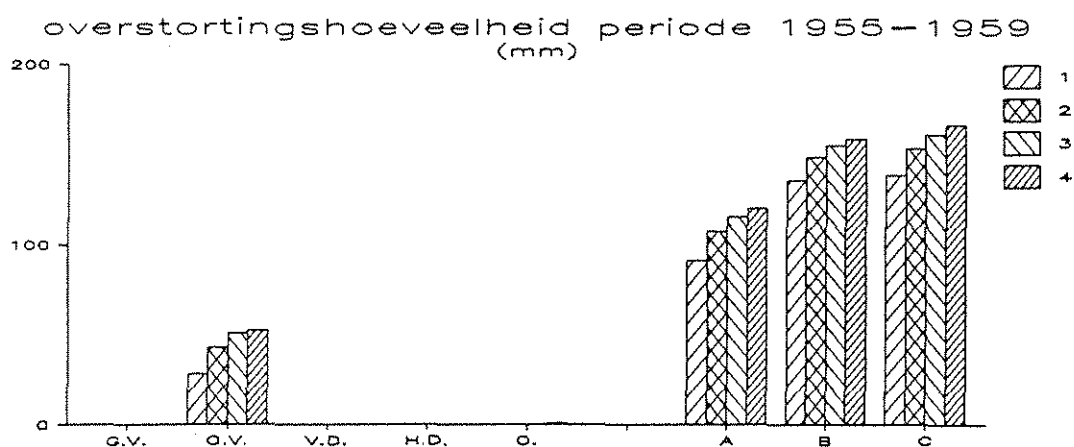
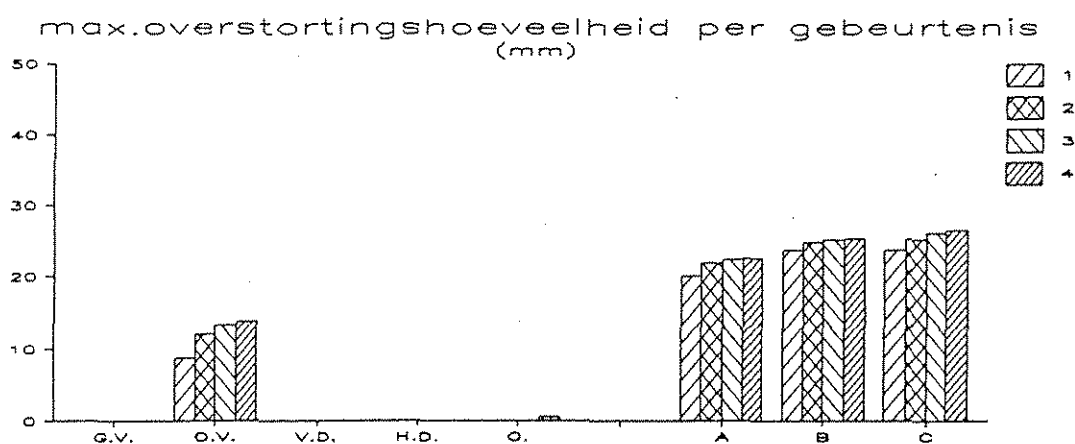
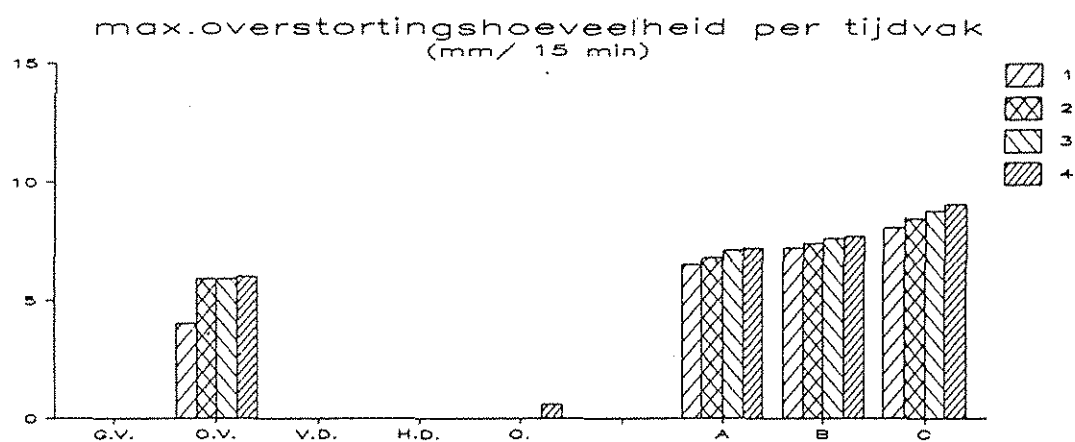
Tabel 7.7 Modelanalyse concentratie oppervlakteberging op doorlatend oppervlak.

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.7a t/m c.

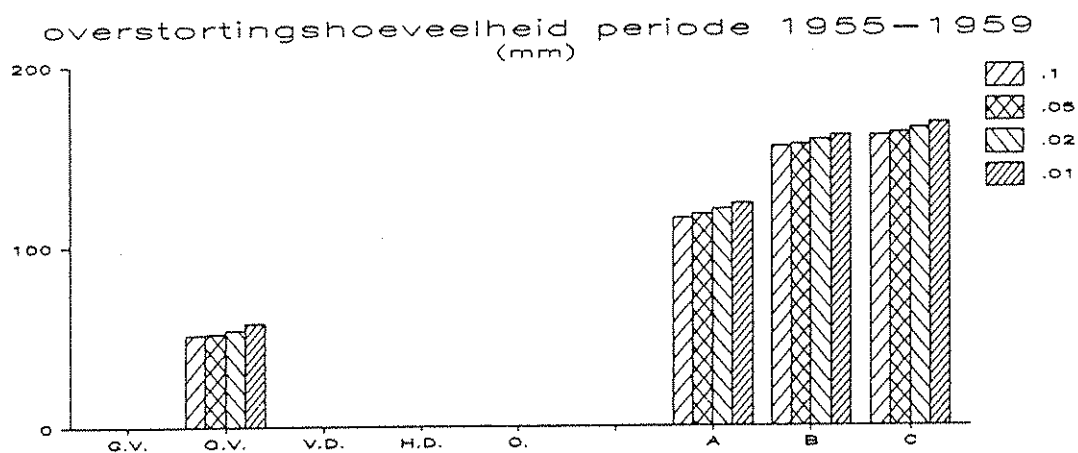
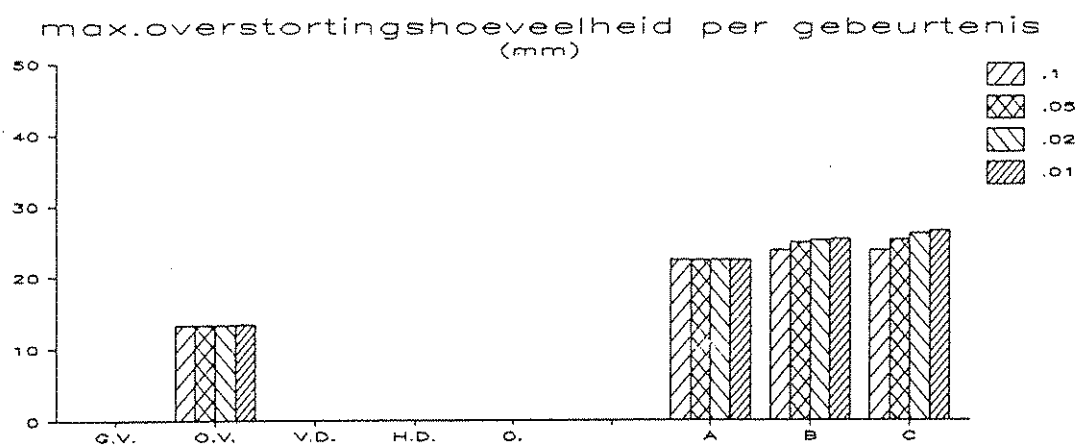
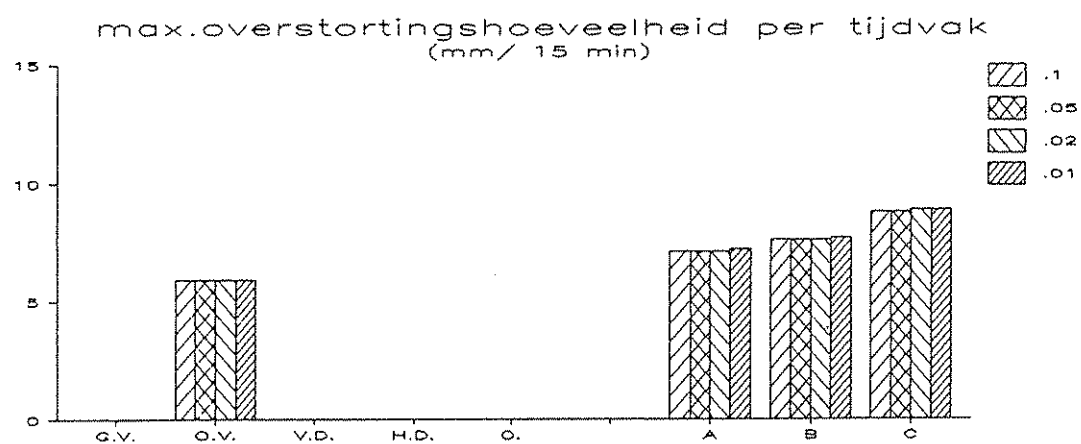
De overstortingsparameters blijken slechts in geringe mate te worden beïnvloed door concentratie van de oppervlakteberging op een relatief kleiner oppervlak.

7.2.4 Samenvatting

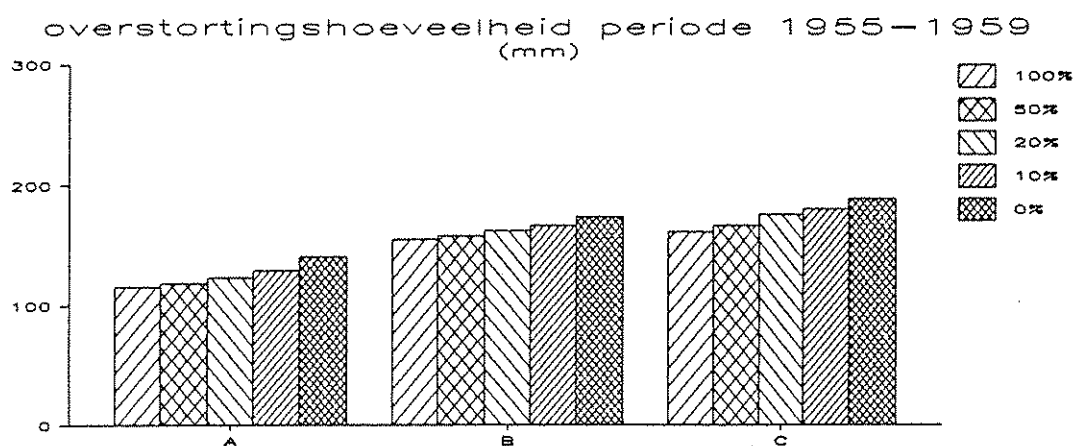
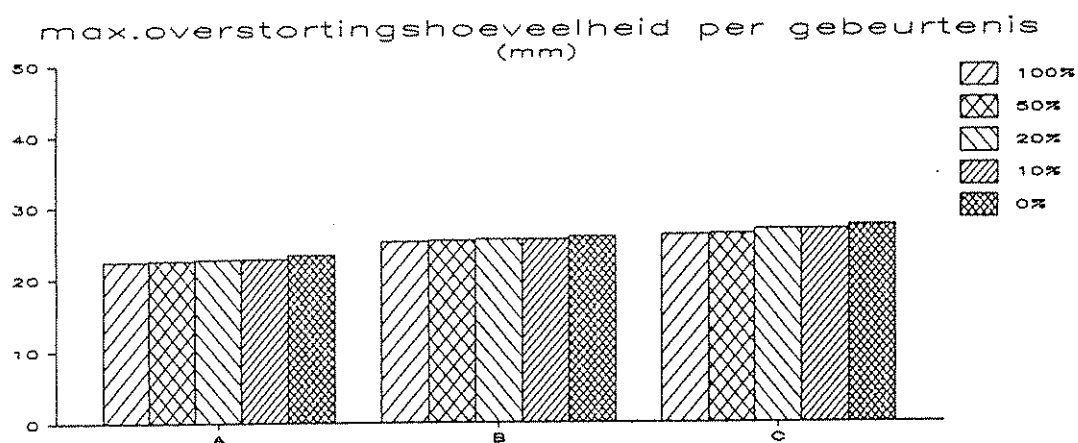
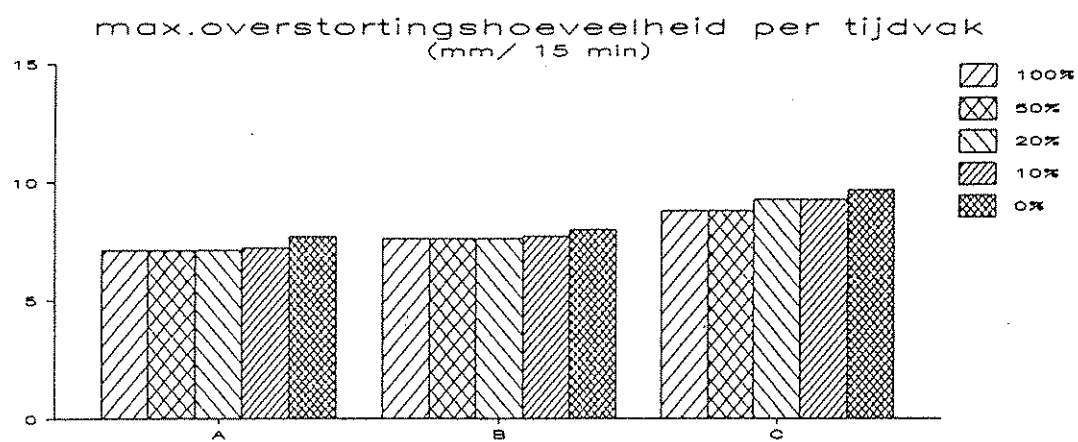
De k-waarde voor de afname van de infiltratie heeft naar verhouding een grote invloed op de overstortingsparameters. De k-waarde voor het herstel en de concentratie van de oppervlakteberging op het doorlatende oppervlak hebben nagenoeg geen invloed.



Grafiek 7.5a t/m c.
Invloed van variatie van de k-waarde voor de afname
van de infiltratiecapaciteit.



Grafiek 7.6a t/m c.
Invloed van variatie van de k-waarde voor het
herstel van de infiltratiecapaciteit.



Grafiek 7.7a t/m c.
Invloed van plasvorming op het doorlatend oppervlak.

7.3

Relatieve invloed van de processen

Naast een analyse van het model voor wat betreft de waarden van de procesparameters heeft tevens een analyse plaatsgevonden waarbij de relatieve invloed van de in het model opgenomen processen op de modeluitkomsten is beschouwd.

Hiertoe is een aantal berekeningen uitgevoerd waarbij het aantal processen, dat in het neerslag-inloop model is meegenomen, systematisch is uitgebreid volgens het in tabel 7.8 gepresenteerde schema. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de oppervlakcombinaties A, B en C.

processen	code
geen neerslagverlies en afstromingsvertraging	nul
verdamping	v
verdamping + oppervlakteberging	v+o
verdamping + infiltratie	v+i
verdamping + oppervlakteberging + infiltratie	v+o+i
verdamping + oppervlakteberging + infiltratie + afstroming	v+o+i+a

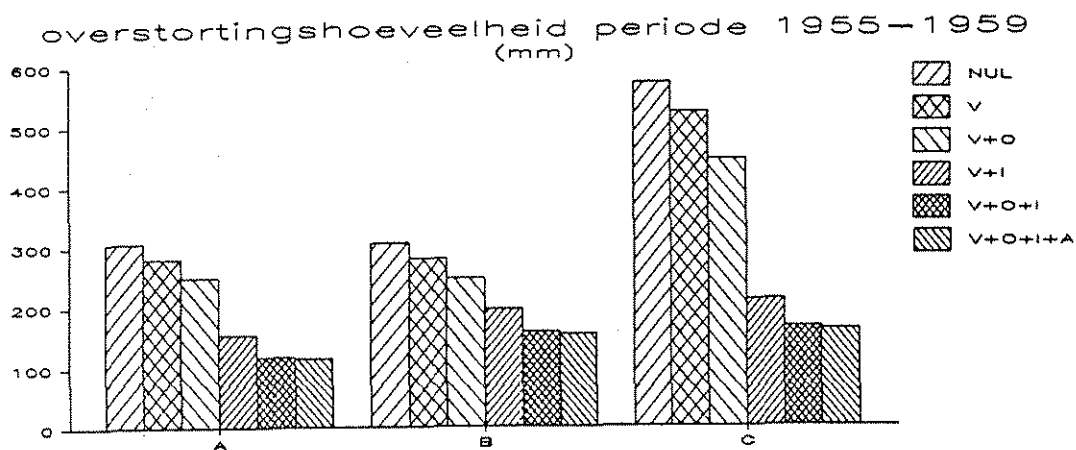
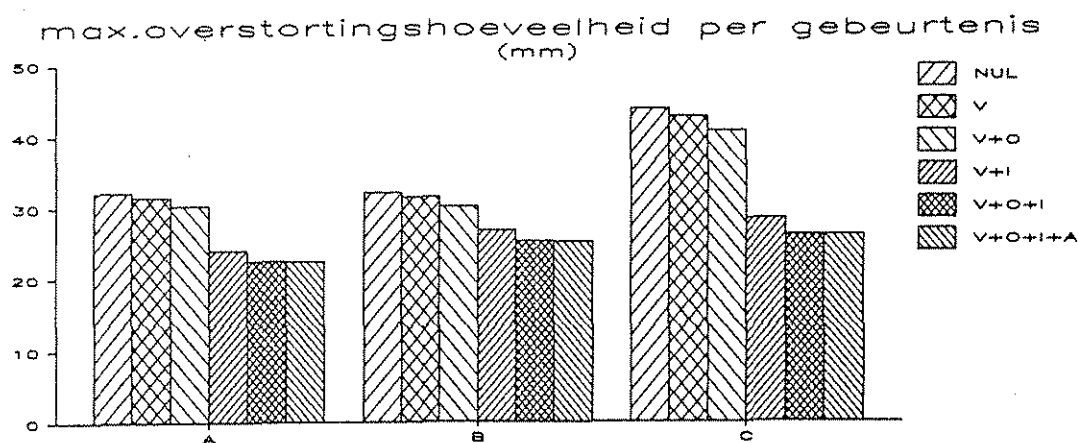
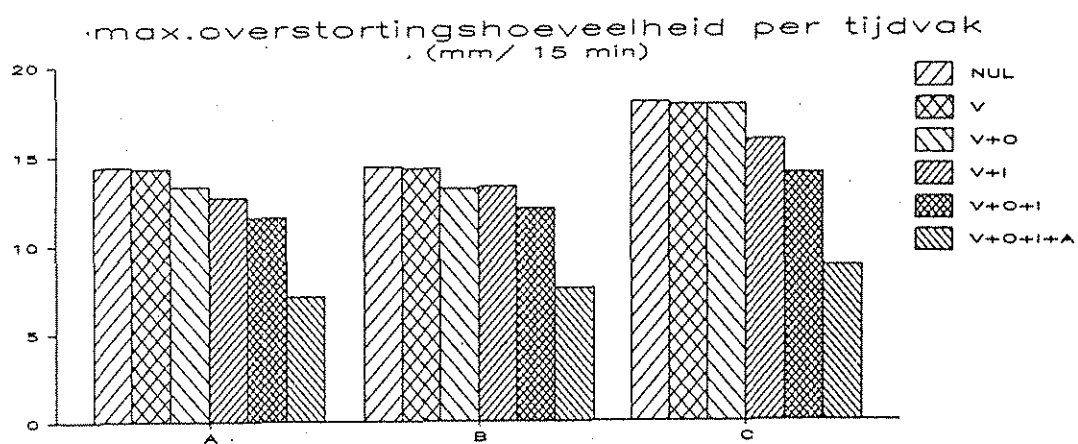
Tabel 7.8 Modelanalyse relatieve invloed processen.

De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.8a t/m c. De legenda in de grafieken komt overeen met de code die in tabel 7.8 is vermeld. Als uitgangspunt is de situatie berekend, waarin neerslagverlies en afstromingsvertraging buiten beschouwing zijn gelaten.

De invloed van de verdamping zonder oppervlakteberging is verwaarloosbaar, omdat hierbij alleen de verdamping tijdens de bui wordt meegenomen.

Het effect van verdamping in combinatie met oppervlakteberging is in vrijwel alle gevallen waarneembaar.

De combinatie van verdamping met infiltratie heeft een grotere invloed op de overstortingshoeveelheden. Naarmate meer doorlatend oppervlak aanwezig is, wordt het effect op de overstortingsparameters sterker.



Grafiek 7.8a t/m c.
Relatieve invloed van de modelprocessen.

Bij de combinatie verdamping, oppervlakteberging en infiltratie liggen de waarden van de overstortingsparameters nog iets lager dan van de voorafgaande resultaten.

De uitbreiding van de vorige combinatie met het afstromingsproces heeft nauwelijks effect op de overstortingshoeveelheden. Wel is een duidelijke invloed zichtbaar op de maximale overstortingsintensiteit.

7.4

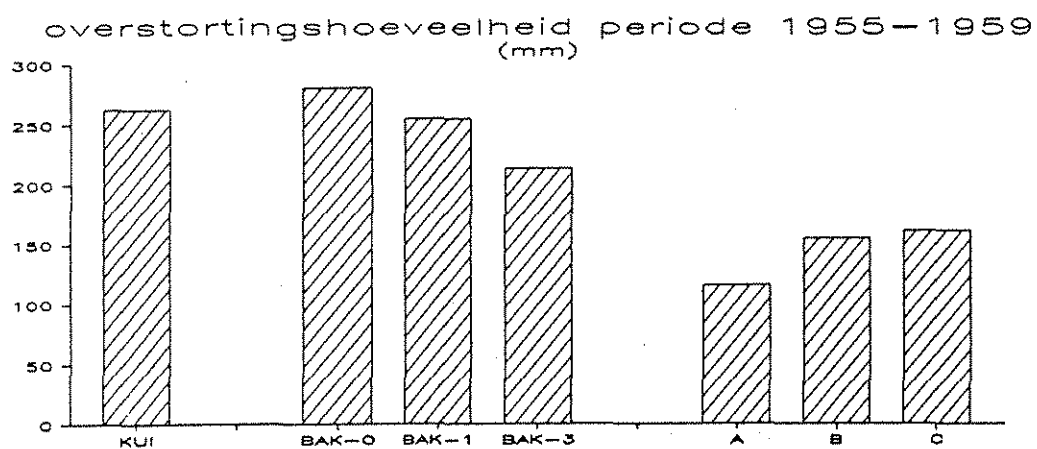
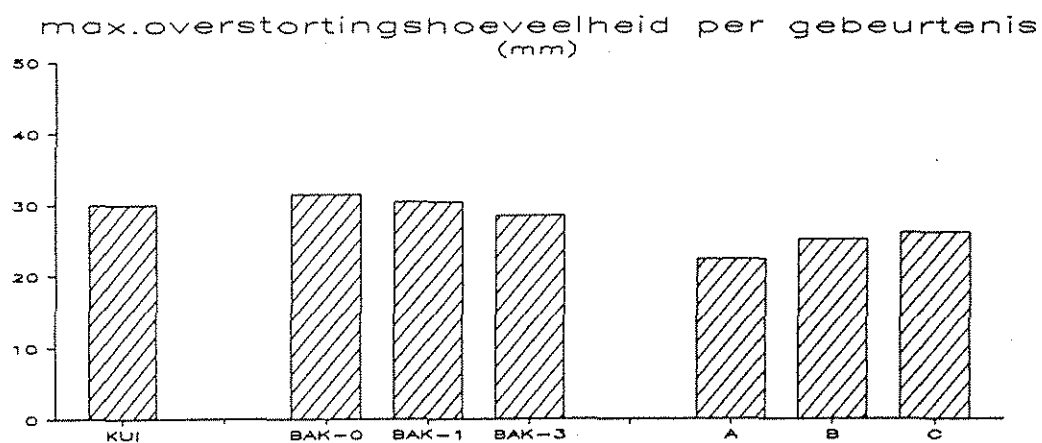
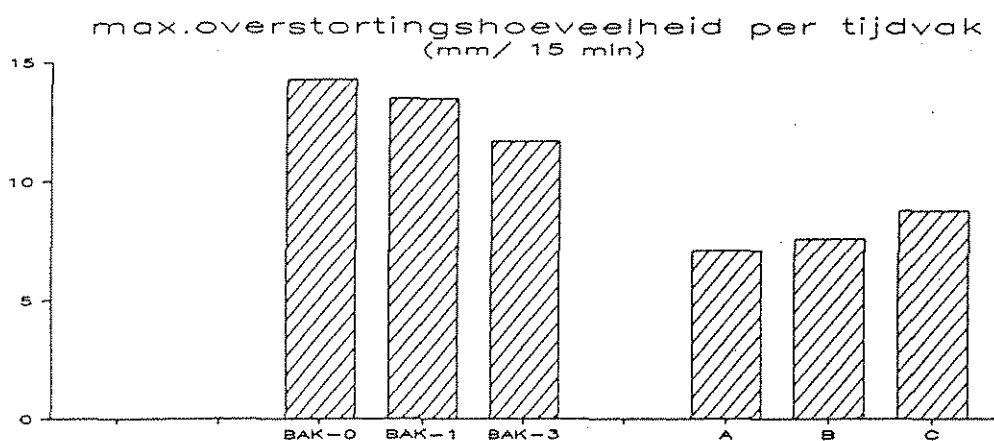
Vergelijking met traditionele methoden

De resultaten van het geformuleerde model zijn ten slotte vergeleken met twee traditionele berekeningsmethoden. Voor de neerslaggegevens is ook hierbij uitgegaan van de neerslagcijfers van Beek met betrekking tot de periode 1955-1959. De volgende berekeningen zijn uitgevoerd voor een riolering met een berging van 7 mm en een pompovercapaciteit van 0.7 mm/h:

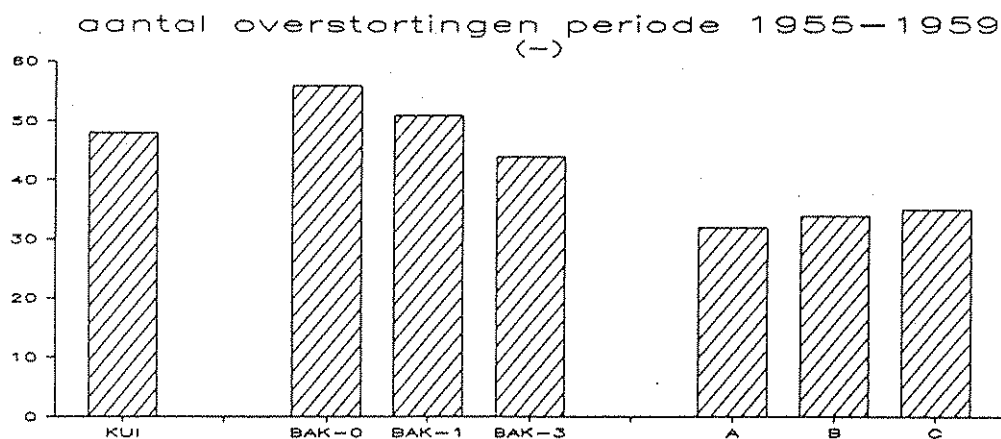
berekeningsmethode	code
methode Kuipers	KUI
bakmodel, berging op straat 0 mm	BAK-0
bakmodel, berging op straat 1 mm	BAK-1
bakmodel, berging op straat 3 mm	BAK-3
neerslag-inloop-overstort model, combinatie	A
neerslag-inloop-overstort model, combinatie	B
neerslag-inloop-overstort model, combinatie	C

Tabel 7.9 Modelanalyse vergelijking met
 traditionele berekeningsmethoden.

Bij de methode Kuipers zijn de neerslagcijfers per 15 minuten omgerekend naar buien met een lineair neerslagverloop. Er is uitgegaan van een volledige afvoer van 100% verhard oppervlak. Er is verondersteld dat aan het begin van een bui de berging in de riolering leeg is. De overstortingshoeveelheid is hierbij gelijk aan de neerslaghoeveelheid per bui minus de berging van de riolering en de pompovercapaciteit vermenigvuldigd met de buiduur.



Grafiek 7.9a t/m c.
Vergelijking van het neerslag-inloop-overstortmodel met methode Kuipers en het bakmodel met berging op straat (legenda: zie tekst).



Grafiek 7.9d.

Vergelijking van het neerslag-inloop-overstortmodel met methode Kuipers en het bakmodel met berging op straat (legenda: zie tekst).

Bij het bakmodel is rekening gehouden met een berging op straat, die is gevarieerd van 0 tot 3 mm. Uit de berging op straat kan het water alleen verdampen. Er is gerekend met een continue neerslagreeks, waardoor voor de vulling van de berging op straat en in de riolering rekening is gehouden met de opeenvolging van buien. Ook bij deze methode is uitgegaan van een volledige afvoer van 100% verhard oppervlak.

Bij het neerslag-inloop-overstort model (kortweg nio-model) is uitgegaan van de modelwaarden die in hoofdstuk 6 zijn voorgesteld. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de eerder genoemde oppervlakcombinaties A, B en C.

Naast de eerder gehanteerde overstortingsparameters is ook het totaal aantal overstortingen in de periode 1955-1959 bepaald, om een relatie te kunnen leggen met de methode Kuipers. De (maximale) overstortingsintensiteit kan bij de methode Kuipers niet zinvol worden berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in grafiek 7.9a t/m d. De code in de grafieken komt overeen met de code die in tabel 7.9 is vermeld.

De maximale overstortingsintensiteit blijkt voor de simulaties met het bakmodel aanzienlijk hoger te liggen dan voor het nio-model. Opvallend is dat het onverhard oppervlak in combinatie C een duidelijke bijdrage levert aan de maximale overstortingsintensiteit.

De maximale overstortingshoeveelheden per gebeurtenis bij de methode Kuipers en het bakmodel hebben dezelfde orde van grootte. Het bakmodel zonder berging op straat geeft een iets hogere waarde omdat rekening wordt gehouden met de mogelijke vulling van de berging in de riolering aan het begin van de bui. De waarden van het nio-model liggen duidelijk lager.

De totale overstortingshoeveelheden over de periode 1955-1959 geven een zelfde beeld te zien. Het verschil tussen de resultaten van het nio-model en de beide andere methoden is hier relatief nog groter.

Het totaal aantal overstortingen gedurende de periode 1955-1959 geven opnieuw hetzelfde beeld te zien. De methode Kuipers komt nagenoeg overeen met het bakmodel, indien een berging op straat tussen 2 en 3 mm wordt gehanteerd.

De resultaten van het neerslag-inloop-overstort model liggen voor alle beschouwde overstortingsparameters lager dan die van de traditionele methoden. Met name de maximale overstortingsintensiteit en de totale overstortingshoeveelheid over de periode 1955-1959 liggen hierbij aanzienlijk lager. De maximale overstortingsintensiteit wordt hier vooral beïnvloed door de afstromingsfactor. Het effect op de totale overstortingshoeveelheid dient daarbij vrijwel volledig te worden toegeschreven aan de infiltratie in het open verhard oppervlak. Bij de oppervlakcombinatie A, waarbij met 40 % doorlatende oppervlak is gerekend, is dit effect het meest duidelijk waarneembaar.

8

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk wordt in eerste instantie de analyse van het model geëvalueerd. Tevens wordt ingegaan op de mogelijkheden en beperkingen van het beschreven neerslag-inloop-overstort model, op de mogelijkheden voor toetsing van het model aan praktijksituaties, op de betekenis van de regionale verschillen in neerslag voor toepassing van het model en op de toekomstige ontwikkelingen op het gebied van de riolering.

8.1

Evaluatie modelanalyse

Een evaluatie van de uitgevoerde modelanalyses leidt tot de volgende conclusies.

De verdamping blijkt relatief weinig invloed te hebben op de modeluitkomsten. Toch is het van belang om de verdamping als proces in het model mee te nemen, met name in verband met de lediging van de oppervlakteberging op ondoorlatend oppervlak.

De oppervlakteberging heeft enige invloed op de modeluitkomsten, hetgeen blijkt uit de vergelijking van de relatieve invloed van de processen. De totale overstortingshoeveelheid over de periode 1955-1959 neemt af met ruim 10%, wanneer met de voorgestelde modelparameters wordt gerekend. Het effect van de naar verhouding grote oppervlakteberging van vlak dakoppervlak is duidelijk waarneembaar.

De infiltratie blijkt de belangrijkste rol te spelen in het neerslagverliesproces. De infiltratiecapaciteit heeft in het model een duidelijk beperkende invloed op de afstroming van neerslag van open verhard oppervlak. Naarmate het aandeel van het open verhard oppervlak toeneemt, werkt dit effect sterker door. Uit grafiek 7.3.c blijkt dat de overstortingshoeveelheden tot circa 40 tot 50 % worden gereduceerd, onder invloed van de aangenomen infiltratiecapaciteiten in open verhard oppervlak. Voor de oppervlaktecombinaties A en B is hierbij gerekend met respectievelijk 40 en 25% open verhard oppervlak.

De infiltratiecapaciteit van onverhard oppervlak is in het model zo groot dat slechts incidenteel een kleine hoeveelheid neerslag van dit oppervlak een bijdrage levert aan de berekende overstortingshoeveelheden. Het verschil tussen de overstortingshoeveelheden van oppervlakcombinatie B en C is meestal kleiner dan 5 %. De oppervlakteberging werkt als buffer bij de infiltratie in doorlatende oppervlakken. Bij de voorgestelde modelparameters betekent de invloed van de bufferwerking een reductie van circa

15 % van de overstortingshoeveelheden, hetgeen blijkt uit fig. 7.8.c. Dit is vooral belangrijk in verband met de modellering van de afstroming van neerslag van onverhard oppervlak in hellende gebieden. De oppervlakteberging in hellende gebieden is duidelijk kleiner dan in vlakke gebieden, hetgeen minder infiltratie en dus een grotere afstroming betekent.

Uit de nadere modelanalyses met betrekking tot de infiltratie blijkt dat de modeluitkomsten gevoelig zijn voor de grootte van de k-waarde voor de afname van de infiltratiecapaciteit. De k-waarde voor het herstel blijkt nagenoeg geen invloed te hebben. De invloed van een concentratie van de oppervlakteberging op het doorlatende oppervlak is gering.

De afstromingsvertraging heeft een duidelijke invloed op pieken in de maximale overstortingsintensiteit. Bij de extreme overstortingsintensiteit die in de modelanalyse wordt beschouwd, treedt een reductie op van ruim 30 %. Dit is van belang bij berekeningen van de vuiluitworp uit de riolering, in verband met de relatie tussen de optredende overstortingsintensiteiten en vuilconcentraties in het overstortende water. Hierbij moet worden opgemerkt dat piekreductie door afvlakking van de afstroming van neerslag naar de riolering ook tot gevolg heeft dat kleinere intensiteiten in de buurt van de piek groter worden (figuur 6.5). Voor de berekening van de vuiluitworp uit de riolering moet niet alleen naar de maximale overstortingsintensiteiten, maar naar het totale verloop van de overstortingsintensiteiten in de tijd worden gekeken.

Uit de vergelijking met de traditionele methoden blijkt dat de modeluitkomsten voor alle overstortingsparameters lager zijn. Dit effect is in hoofdzaak toe te schrijven aan de afstromingsvertraging en de infiltratie in open verhard oppervlak. Voor oppervlakcombinatie A bedraagt de totale overstortingshoeveelheid over de periode 1955 -1959 minder dan 50 % van de waarde berekend volgens de methode KUIpers of het BAK-model zonder 'berging op straat'.

De uitkomsten van het model zijn vooral gevoelig voor variaties in de volgende modelparameters:

- infiltratiecapaciteit open verhard oppervlak
- k-waarde afname infiltratie
- oppervlakteberging open verhard oppervlak
- oppervlakteberging vlak dakoppervlak
- afstromingsfactor

Het is van belang om de waarde van deze modelparameters nader te onderbouwen. Met name de invloed van de infiltratiecapaciteit van open verhard oppervlak komt voor nader onderzoek in aanmerking.

Tenslotte nog een kanttekening met betrekking tot de analyse van het model. De invloed van de tijdstap is buiten beschouwing gelaten. Met name bij de infiltratie en de afstromingsvertraging zou de tijdstap invloed kunnen hebben op de berekeningsresultaten. Uit proefberekeningen met betrekking tot de infiltratiecapaciteit is gebleken dat de tijdstap binnen de spreiding van 1 tot 15 minuten, naar verwachting nauwelijks invloed heeft op de overstortingsparameters.

8.2

Mogelijkheden en beperkingen van het model

De mogelijkheden en beperkingen van het model hebben betrekking op de volgende drie aspecten: de neerslag, de gebiedskenmerken, het rioleringsmodel.

neerslagreeks of individuele gebeurtenis

Het neerslag-inloop-overstort model is ontworpen om op basis van continue simulatie met meerjarige neerslagreeksen, de inloop- of overstortingsparameters van een rioleringsstelsel te berekenen. Het model kan tevens worden gebruikt voor individuele neerslaggebeurtenissen. De beginvoorwaarden, met betrekking tot de vulling van oppervlakteberging, de infiltratiecapaciteit en de vulling van de berging in de riolering, dienen daarbij per gebeurtenis te worden ingeschat.

gebiedskenmerken

De gebiedskenmerken kunnen in het model worden ingevoerd in vorm van vier typen oppervlak: gesloten verhard, open verhard, dak en onverhard, waarbij nog onderscheid kan worden gemaakt in vlak en hellend oppervlak.

Bijzondere situaties, zoals zeer sterk hellende gebieden en situaties met grote oppervlakken, bijvoorbeeld daken van bedrijven en parkeerterreinen met grote oppervlakken per kolk, verdienen bijzondere aandacht. De afstromingsvertraging neemt toe naarmate het oppervlak per kolk groter wordt. Voor sterk hellend en slecht doorlatend oppervlak is de modelbenadering voor het onverhard oppervlak minder geschikt. In dit soort situaties kan het onverhard oppervlak mogelijk beter als open verhard oppervlak worden beschouwd.

Het model is niet geschikt om het effect van vermindering van de infiltratie door korstvorming als gevolg van uitdroging van de bodem bij de berekeningen mee te nemen. Een andere beperking is dat wordt verondersteld dat de k-waarden voor afname en herstel van de infiltratiecapaciteit constant zijn. Het model is verder te verfijnen door voor de infiltratie de k-waarden seizoenafhankelijk te stellen. Voldoende gegevens daarvoor zijn echter nog niet voorhanden.

riolering

In het model is de riolering eenvoudigweg geschematiseerd tot een bakmodel. Voor de berekening van overstortingshoeveelheden uit een rioleringssysteem met stuwconstructies en overlaatsdempels op verschillende niveaus is deze benadering minder geschikt. In dergelijke situaties kan beter worden gerekend met een meer-bakken model of een volledig dynamisch rioleringsmodel.

Een meer-bakken model is eenvoudig, waardoor het mogelijk is om meerjarige neerslagreeksen snel te kunnen doorrekenen. Met een dynamisch rioleringsmodel vergt dit zeer veel rekentijd. Bij toepassing van een dynamisch model kan daarom beter worden gerekend met een selectie van afzonderlijke neerslaggebeurtenissen. Het voordeel daarbij is dat tevens inzicht wordt verkregen in het hydraulisch functioneren van de riolering.

8.3

Toetsing model aan praktijksituaties

Uit de resultaten van de modelanalyse blijkt dat het noodzakelijk is de resultaten van het model te toetsen aan metingen in praktijksituaties. Voor Lelystad zijn gegevens beschikbaar voor een vlak gebied. Het is echter wenselijk over gegevens voor meerdere situaties te beschikken. De beschikbare resultaten van de metingen in het kader van het STORA-onderzoek zijn niet zonder meer geschikt voor toetsing van het model. De beschikbare metingen uit het buitenland zijn vaak niet overdraagbaar naar de Nederlandse situatie.

Voor een uitgebreide toetsing van het model zal meer gericht onderzoek in Nederland noodzakelijk zijn.

8.4

Regionale verschillen in neerslag

In het NWRW onderzoek thema 4.1 is aangetoond dat in Nederland regionale verschillen bestaan met betrekking tot de uit de neerslagcijfers afgeleide, theoretische overstortingsfrequentie. Het inzicht in de plaatselijke neerslagverschillen binnen Nederland is verkregen op basis van de dagsommen van de regensstations, waarvan er 140 voor het onderzoek zijn geselecteerd. Door middel van regressieanalyse is een relatie gelegd tussen de overstortingsfrequentie en de waarden van de dagsommen. Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat de overstortingsfrequentie kan variëren met een factor 0.80 tot 1.34 ten opzichte van de overstortingsfrequentie in De Bilt voor een riolering met een berging van 7 mm en een pompovercapaciteit van 0.7 mm/h.

In een aanvullende notitie op deelonderzoek 4.1 (bijlage 4) is aangegeven dat de overstortingshoeveelheden naar verwachting eenzelfde soort beeld te zien geven. Voor de optredende (maximale) neerslagintensiteiten kan op basis van de dagsommen een dergelijke relatie niet worden afgeleid. Met betrekking tot de overstortingshoeveelheden moet dus rekening worden gehouden met regionale verschillen.

In Nederland is slechts een beperkt aantal regensstations uitgerust met een continu registrerende neerslagmeter. De beschikbare meerjarige neerslagreeksen zouden met het model kunnen worden bewerkt, om de bevindingen op basis van de dagsommen te kunnen toetsen. Er zijn echter te weinig neerslagreeksen beschikbaar, om met het model regionale verschillen in de overstortingsparameters voor geheel Nederland te kunnen aantonen.

8.5

Toekomstige ontwikkelingen

De toekomstige ontwikkelingen op het gebied van de rekenmodellen ten behoeve van het rioolontwerp zullen zich richten op een geïntegreerde beschrijving van de processen in en om de riolering (integraal rioolontwerp). Deze processen hebben betrekking op zowel de kwantitatieve als kwalitatieve aspecten van het transport en de verwerking van neerslag en afvalwater.

Het ontwikkelde model is een beschrijving van met name het neerslag-inloop-proces. Voor de beschrijving van zowel de kwantitatieve processen in de riolering zijn reeds volledig dynamische rekenmodellen beschikbaar, zoals bijvoorbeeld het Deense MOUSE model (1987), het Engelse WASSP model (1981) en de EXTRAN module uit het Amerikaanse SWMM model (Huber, e.a., 1984).

Het Deense MOUSE pakket heeft tevens een kwalitatief deel dat echter minder geschikt is voor de Nederlandse situatie. Algemeen toepasbare vuiltransportmodellen zijn in ontwikkeling. Daarnaast zullen modellen worden ontwikkeld om de gevolgen van overstortingen in het oppervlaktewater te voorspellen. Deze modellen kunnen worden gekoppeld aan het rioleeringsmodel.

In de toekomst zal de besturing van het rioleringsstelsel mogelijk een rol kunnen gaan spelen. Dit heeft gevolgen voor zowel het hydraulisch functioneren, als voor de vuiluitworp en het rendement van de rioolwaterzuiveringsinstallatie. De ontwikkelde modellen kunnen worden gebruikt om, op basis van 'real time' registratie en verwerking van neerslaggegevens en mogelijk meteorologische voorspellingen, het functioneren van het rioleringsstelsel te voorspellen. Op basis hiervan kunnen beslissingen worden genomen met betrekking tot een optimale besturing van het rioleringsstelsel. Een neerslag-inloopmodel vormt hierbij de basis voor de bepaling van de hoeveelheden neerslag die door de riolering moeten worden afgevoerd.

LITERATUUR

- 1) Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (1985).
Regionale verschillen in neerslaggebeurtenissen.
NWRW, publikatie 4.1. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 2) Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (1986).
Rioleringsmodellen theorie en praktijk.
NWRW, publikatie 4.2. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 3) Nationale Werkgroep Riolering en Waterkwaliteit (1986). Regenmeters.
NWRW, publikatie 4.4. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 4) Ando, Y., Y.Takahasi en M.F.Kuan (1984).
Relation between land use and infiltration rate in urban areas.
In: P.Balmèr, P.A.Malmqvist, A.Sjöberg. Proceedings of the 3rd Int.Conf. on Urban Storm Drainage, Chalmers University of Technology, Goteborg.
- 5) Bebelaar, J.P. en J.W.Bakker (1981).
Infiltratie van regenwater door verschillende wegdekken i.v.m. de watervoorziening van straatbomen.
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, nota 1247.
- 6) Dam, C.H.van, en J.Schotkamp (1983).
Infiltratie in bestratingen.
RIJP-rapport 1983-38 Abw,
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- 7) Huber W.C., J.P. Heaney, S.J. Nix, R.E. Dickinson, D.J. Polman (1984).
Storm Water Management Model, User's manual,
University of Florida, Department of Environmental Engineering Sciences, Gainesville, Florida, USA.
- 8) Kidd, C.H.R. (1978).
Rainfall-runoff processes over urban surfaces.
Proceedings of an Int.Workshop, Report no.53,
Institute of hydrology, Wallingford, Oxon, England.
- 9) Horton, R.E. (1940).
An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity.
Proceedings Soil Science of America, vol.5.

- 10) Pecher, R. (1969).
Der Abflussbeiwert und seine Abhangigkeit von der Regendauer.
Berichte aus dem Institut fur Wasserwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen,
Technische Hochschule Munchen, nr.2.
- 11) Roo, H.de (1982).
Richtlijnen voor veldwerkzaamheden bij de afdeling Waterhuishouding. RIJP-rapport 1982-10 Abw,
Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- 12) Ven, F.H.M.van de (1986).
Van Neerslag tot Rioolinloop, concept van Zee tot Land. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad.
- 13) MOUSE user's guide (1987), preliminary edition.
Denmark.
- 14) Design and analysis of urban storm drainage (1981),
the Wallingford procedure, WASSP program user's
guide. National Water Council, London.

BIJLAGE 1 BERGING IN DE RIOLERING

De berging in de riolering is gedefinieerd als het volume in het rioolstelsel beneden de drempel van de (laagste) overlaat en wordt in het algemeen bepaald op basis van het volume in de leidingen. Er kan ook rekening worden gehouden met volume in de inspectieputten, straatkolken en huisaansluitingen. Daarnaast kan het bergingsverlies als gevolg van de dwa-stroom en bezonken slib worden mee beschouwd.

Aan de hand van het volgende rekenvoorbeeld wordt ingegaan op de invloed het volume in de putten, van de dwa-stroom en van het bezonken slib op de berging in de riolering.

uitgangspunten rekenvoorbeeld:

bruto oppervlak rioleringsgebied	120	ha
afmetingen rioleringsgebied	1200*1000	m
verhard oppervlak	50	ha
diameter riolen	400	mm
totale lengte riolen	30000	m
buishelling	2	o/oo
gemiddelde putafstand	40 - 50	m
aantal putten 800* 800 mm (70 %)	490	-
aantal putten 1000*1000 mm (30 %)	210	-
aantal inwoners	10000	-
gemiddelde dwa per inwoner	5	l/h

Het volume in de huisaansluitingen en de straatkolken is buiten beschouwing gelaten, omdat deze in veel gevallen boven het niveau van de overstortdrempel zullen liggen.

berging in inspectieputten

Op basis van deze uitgangspunten kan de inhoud van de riolen en de inspectieputten (per m hoogte) worden afgeleid:

inhoud riolen	3770	m ³
inhoud 490 putten 800* 800 mm	314	m ³ /m
inhoud 210 putten 1000*1000 mm	210	m ³ /m

Op basis van een verhard oppervlak van 50 ha volgt hier uit de berging in de riolen en putten, uitgedrukt in mm:

berging in riolen	7.5	mm
berging in putten 800* 800 mm	0.6	mm/m
berging in putten 1000*1000 mm	0.4	mm/m

De totale berging in de inspectieputten bedraagt dus circa 1 mm per meter puthoogte boven de rioolbuizen. De berging in de inspectieput ter hoogte van de rioolbuizen wordt niet meegerekend, omdat voor de lengte van de leiding wordt uitgegaan van het hart van de put.

volume dwa stroom

Het volume van de dwa-stroom is bepaald op basis van een gemiddelde stroomsnelheid van de droogweerafvoer in combinatie met de maximale stromingsafstand in de riolering. De gemiddelde stroomsnelheid van de droogweerafvoer is hierbij aangenomen als de helft van de maximale stroomsnelheid van de totale droogweerafvoer in een riool van 400 mm onder een helling van 2 o/oo. Voor de maximale stromingsafstand is uitgegaan van de som van de aangenomen afmetingen van het rioleringsgebied.

De gemiddelde verblijftijd van de dwa in de riolering wordt bepaald door de gemiddelde dwa-stroomsnelheid die werkt over de maximale stromingsafstand:

maximale dwa-stroomsnelheid	0.5	m/s
gemiddelde dwa-stroomsnelheid	0.25	m/s
maximale stromingsafstand	2200	m
gemiddelde verblijftijd	8800	s

Het volume van de dwa-stroom komt dan overeen met het volume van de gemiddelde dwa-belasting gedurende de gemiddelde verblijftijd. Een gemiddelde dwa van 5 l/h op basis van 10000 inwoners gedurende 8800 s leidt tot een dwa-stroom volume van 122 m³. Op basis van een verhard oppervlak van 50 ha komt dit overeen met een berging van 0.24 mm.

volume bezonken slib

Het verlies aan berging door bezonken slib zal per situatie sterk verschillen. In de volgende tabel is het bergingsverlies aangegeven als in relatie tot de dikte van de sliblaag, die is uitgedrukt als percentage van de buishoogte.

sliblaagdikte (%)	bergingsverlies (mm)
5	0.1
10	0.4
20	1.1
30	1.9

samenvatting

De resultaten van het rekenvoorbeeld kunnen als volgt worden samengevat:

extra berging in inspectieputten	1	mm/m
bergingsverlies dwa-stroom	0.24	mm
bergingsverlies sliblaag	0 - 2.0	mm

Hieruit blijkt dat vooral het volume van in de inspectieputten en het volume van het bezonken slib van invloed kunnen zijn op de berging in de riolering. Het bergingsverlies als gevolg van de dwa-stroom en de slibafzettingen in de buizen is van dezelfde orde van grootte als de extra berging in de inspectieputten. Het is dus een goede benadering om, zoals in de praktijk gebruikelijk is, voor de berging in de riolering uit te gaan van het volume in de riolen.

BIJLAGE 2 AFLEIDING FORMULES VOOR INFILTRATIE EN AFSTROMINGSVERTRAGING

In deze bijlage worden de in het rekenmodel toegepaste differentievergelijkingen voor infiltratie en afstromingsvertraging afgeleid uit de continue vorm.

1

INFILTRATIE

Voor de beschrijving van het verloop van het infiltratieproces is in het rekenmodel uitgegaan van de benadering volgens Horton (1940), waarbij de volgende differentievergelijkingen zijn toegepast.

afname van de infiltratiecapaciteit:

$$ft^* = fe + (ft - fe) \exp(-ka.dt) \quad (1)$$

herstel van de infiltratiecapaciteit:

$$ft^* = fb - (fb - ft) \exp(-kh.dt) \quad (2)$$

verklaring variabelen:

ft	infiltratiecapaciteit op tijdstip t	(mm/h)
ft*	infiltratiecapaciteit op tijdstip t+dt	(mm/h)
fb	max. infiltratiecapaciteit	(mm/h)
fe	min. infiltratiecapaciteit	(mm/h)
ka	tijdsfactor afname infiltratiecap.	(/h)
kh	tijdsfactor herstel infiltratiecap.	(/h)
dt	tijdstap	(h)

De oorspronkelijke vergelijkingen van HORTON zijn geschreven in de continue vorm:

afname van de infiltratiecapaciteit:

$$ft = fe + (fb - fe) \exp(-ka.t) \quad (3)$$

herstel van de infiltratiecapaciteit:

$$ft = fb - (fb - fe) \exp(-kh.t) \quad (4)$$

De differentievergelijking voor de afname van de infiltratiecapaciteit zal als voorbeeld worden afgeleid.

Voor de infiltratiecapaciteit op tijdstip t en $t+dt$ gelden de volgende vergelijkingen:

infiltratiecapaciteit op tijdstip t :

$$f_t = f_e + (f_b - f_e) \exp(-k_a \cdot t) \quad (5)$$

infiltratiecapaciteit op tijdstip $t+dt$:

$$f_{t*} = f_e + (f_b - f_e) \exp(-k_a \cdot (t+dt)) \quad (6)$$

Uit vergelijking 5 volgt voor het verschil in maximum en minimum infiltratiecapaciteit:

$$f_b - f_e = (f_t - f_e) \exp(-k_a \cdot t) \quad (7)$$

Door vergelijking 6 en 7 te combineren kan de afname van de infiltratiecapaciteit op het tijdstip $t+dt$ worden afgeleid van de waarde op het tijdstip t .

$$f_{t*} = f_e + (f_t - f_e) \exp(-k_a \cdot dt) \quad (1)$$

De differentievergelijking voor het herstel van de infiltratiecapaciteit kan op analoge wijze worden afgeleid.

Voor de geïnfiltreerde hoeveelheid neerslag gedurende tijdstap dt wordt in het model eenvoudigweg uitgegaan van het gemiddelde van de infiltratiecapaciteiten, aan het begin en het einde van de tijdstap, op tijdstip t en $t+dt$.

$$f_i = (f_t + f_{t*}) dt/2 \quad (8)$$

Een bijzondere situatie treedt op wanneer in een tijdstap de beschikbare hoeveelheid neerslag kleiner is dan de hoeveelheid die -zou kunnen- infiltreren. In dat geval wordt in het model een eenvoudige stapsgewijze benadering toegepast. De tijdstap wordt dan onderverdeeld in een aantal subtijdstappen. Vervolgens wordt bepaald na hoeveel subtijdstappen de geïnfiltreerde hoeveelheid neerslag overeenkomt met de beschikbare hoeveelheid neerslag. Vanaf dit moment wordt verondersteld dat de infiltratiecapaciteit niet verder afneemt tot aan het begin van de volgende tijdstap.

AFSTROMING

Voor de afstroming over het oppervlak naar de riole-ring is uitgegaan van een lineair reservoir, waarvoor de volgende vergelijking geldt:

$$q = c.h$$

verklaring variabelen:

q	rioolinloopintensiteit	(mm/h)
c	afstromingsfactor	(/h)
h	neerslag, dynamisch geborgen op het afvoerend oppervlak	(mm)

De rioolinloop per tijdstap wordt in het rekenmodel berekend met de formules:

$$q_i = q_n - (q_n - q_o) (1 - \exp(-c.dt)) / (c.dt) \quad (9)$$

$$q_o^* = q_n - (q_n - q_o) (\exp(-c.dt)) \quad (10)$$

verklaring variabelen:

q _i	gemiddelde rioolinloopintensiteit gedurende tijdstap dt	(mm/h)
q _n	gemiddelde 'netto' neerslagintensiteit gedurende tijdstap dt	(mm/h)
q _o	inloopintensiteit op het tijdstip t	(mm/h)
q _o *	inloopintensiteit op het tijdstip t+dt	(mm/h)
c	afstromingsfactor	(/h)
dt	tijdstap	(h)

Voor de beschrijving van het afstromingsproces over het afvoerend oppervlak gelden de volgende vergelijkingen:

afstromingsvergelijking:

$$q = c.h$$

$$dq = c.dh \quad (11)$$

continuïteitsvergelijking:

$$dh = n.dt - q.dt \quad (12)$$

verklaring variabelen:

n	'netto' neerslagintensiteit	(mm/h)
q	rioolinloopintensiteit	(mm/h)

De afstromingsvergelijking kan worden gesubstitueerd in de continuïteitsvergelijking:

$$dq = c.n.dt - c.q.dt \quad (13)$$

waaruit volgt:

$$dq/dt = c.n - c.q \quad (14)$$

De 'netto' neerslagintensiteit wordt in het rekenmodel als constant beschouwd per tijdsinterval, waardoor geldt dat:

$$n = q_n$$

Hieruit volgt als algemene oplossing van differentiaalvergelijking 14:

$$q = q_n - A \exp(-c.t)$$

Voor het tijdstip $t=0$ geldt als beginvoorwaarde dat $q = q_0$, hetgeen betekent dat:

$$A = q_n - q_0$$

waaruit volgt dat:

$$q = q_n - (q_n - q_0) \exp(-c.t) \quad (15)$$

Voor het tijdstip $t=dt$ geldt dat $q = q_0^*$, ingevuld in vergelijking 15 levert dit differentievergelijking 10, die in het model wordt toegepast:

$$q_0^* = q_n - (q_n - q_0) \exp(-c.dt) \quad (10)$$

De totale inloophoeveelheid gedurende tijdstap dt kan worden bepaald door integratie van vergelijking 15 over het interval $t=0$ tot $t=dt$:

$$q_i.dt = q_n.dt - (q_n - q_0) (1 - \exp(-c.dt))/c$$

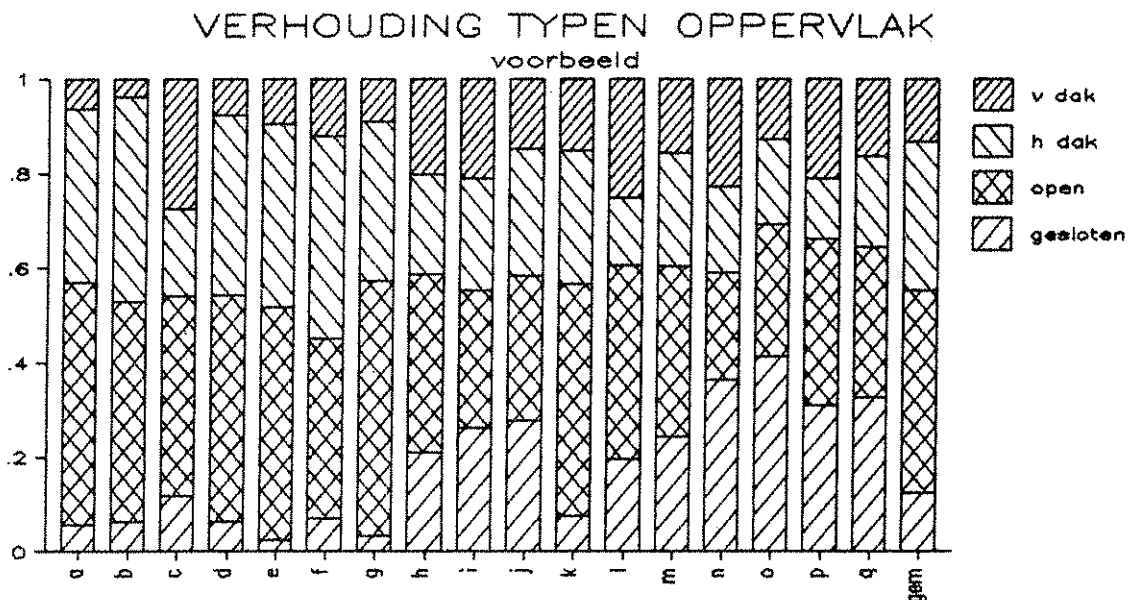
De vergelijking voor de gemiddelde inloopintensiteit volgt door te delen door tijdstap dt :

$$q_i = q_n - (q_n - q_0) (1 - \exp(-c.dt))/(c.dt) \quad (9)$$

Met deze differentievergelijking wordt de gemiddelde inloopintensiteit in het model berekend als functie van de neerslagbelasting q_n , de inloopintensiteit q_0 aan het begin van de tijdstap q_0 , de tijdstap dt en de afstromingsfactor c .

BIJLAGE 3

VOORBEELD VERDELING VERSCHILLENDE
TYPEN AFVOEREND OPPERVLAKE VOOR VIER
STEDELIJKE GEBIEDEN IN NEDERLAND.



verklaring codering:

code	rioleringsgebied
a	Alphen a/d Rijn gebied 1a
b	Alphen a/d Rijn gebied 2a
c	s'Gravenhage gebied lijnbaan
d	Bodegraven noord oost
e	Bodegraven noord
f	Bodegraven tussen spoor en Oude Rijn
g	Bodegraven Dronenwijk
h	Heerlen gebied C49
i	Heerlen gebied C50
j	Heerlen gebied C51
k	Heerlen gebied C52
l	Heerlen gebied C55
m	Heerlen gebied C56
n	Heerlen gebied L1
o	Heerlen gebied L2
p	Heerlen gebied L3
q	Heerlen gebied L4

gem gemiddelde verdeling gebieden a t/m q

BIJLAGE 4 REGIONALE VERSCHILLEN IN NEERSLAG

dr.ir. T.A. Buishand,
K.N.M.I., april 1989.

1 ALGEMEEN

Regionale verschillen in neerslag ontstaan hoofdzakelijk doordat bepaalde neerslaggebeurtenissen op plaats A vaker voorkomen dan op plaats B (en niet doordat een bui op plaats A verschilt van een bui op plaats B).

2 UITKOMSTEN THEMA 4.1 ONDERZOEK

Het rapport van het thema 4.1 onderzoek geeft een kaart van de grootte van de relatieve verschillen (factor f_p) in de gemiddelde theoretische overstortingsfrequenties op basis van een stippengrafiek. Belangrijk is ook dat de opgegeven waarden van de relatieve verschillen vrij onzeker zijn (dit is nader gekwantificeerd in het thema 4.1 rapport).

3 UITBREIDING TOEPASBAARHEID RESULTATEN UIT THEMA 4.1

a Het feit dat de resultaten uit thema 4.1 op een stippengrafiek gebaseerd zijn, brengt geen ernstige beperking met zich mee. Verwacht mag worden dat de relatieve verschillen in de overstortingsfrequenties nauwelijks veranderen indien een andere berekeningsmethode zou worden gevolgd (bijvoorbeeld het doorrekenen met een tijdreeks met een neerslag-afvoermodel). Men heeft immers steeds te maken met min of meer dezelfde soort neerslaggebeurtenissen die tot overstorting leiden. Zie ook de opmerkingen op blz. 37 van het thema 4.1 rapport.

b Een redelijke hypothese op grond van hetgeen in paragraaf 1 van deze bijlage is gesteld, is dat voor een gegeven stelsel de gemiddelde overstortingshoeveelheid per overstorting (of meer algemeen: de kansverdeling van de overstortingshoeveelheid per overstorting) overal in Nederland hetzelfde is. Onder deze hypothese kan eenvoudig worden afgeleid dat de factor f_p dan tevens de grootte van de relatieve verschillen in de gemiddelde jaarlijkse overstortingshoeveelheden aangeeft. Voor een plaats met een hoge waarde voor f_p zal in het algemeen de maximale overstortingshoeveelheid per gebeurtenis in een gegeven periode (bijvoorbeeld een jaar) gemiddeld hoger zijn dan die voor een plaats met een lage waarde voor f_p .

Wil men de plaatselijke verschillen in deze grootheid enigszins kwantificeren, dan moet de kansverdeling van het jaarlijks aantal overstortingen, en de plaatselijk verschillen daarin, volledig gespecificeerd worden. Daarnaast heeft men een theoretische kansverdeling nodig voor de overstortingshoeveelheid per overstorting.

4

BEPERKINGEN THEMA 4.1 ONDERZOEK

Indien zou blijken dat men in plaats van de overstortingsfrequentie (of overstortingshoeveelheid) zou moeten kijken naar de overstortingen met hoge intensiteiten, dan is het gebruik van de resultaten uit thema 4.1 twijfelachtig. Men beperkt zich dan immers tot een klein gedeelte van de neerslaggebeurtenissen die de waarde van de factor f_p bepalen. Bij hoge intensiteiten gaat het zomerseizoen meer domineren, wat tot gevolg kan hebben dat de verschillen tussen de kust en het binnenland groter worden dan uit het thema 4.1 onderzoek naar voren komt. Ook is het twijfelachtig of de relatief lage waarden voor Noord-Limburg en het oostelijk gedeelte van Noord-Brabant blijven bestaan als men zich uitsluitend tot de hogere intensiteiten gaat beperken.

Uit het thema 4.1 onderzoek kwam een drietal regio's naar voren met een duidelijk hogere gemiddelde overstortingsfrequentie ($\hat{f}_p > 1.2$).

- a. Het meest zuidelijke gedeelte van Limburg (Vaals, $\hat{f}_p = 1.34$).
- b. Een deel van de Veluwe (Oosterbeek, $\hat{f}_p = 1.22$; Apeldoorn, $\hat{f}_p = 1.26$ en Beekbergen, $\hat{f}_p = 1.34$).
- c. Amsterdam (Amsterdam-Hortus, $\hat{f}_p = 1.24$).

De relatief hoge waarden voor de regio's a en b moeten voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan een orografisch effect. Ook als men slechts in gebeurtenissen met hoge intensiteiten geïnteresseerd is, zal dit effect van belang zijn. De regio's a en b zullen dan ook uitzonderlijke regio's blijven.

De oorzaak van de relatief hoge waarde voor Amsterdam is niet geheel duidelijk. Slechts nader onderzoek kan hierin meer inzicht geven. Er valt dan ook (nog) niets te zeggen over deze regio indien men zich tot overstortingen met hoge intensiteiten zou beperken.

In deze reeks zijn tot dusverre verschenen:

1.1.	Overstortsituaties in Nederland ISBN 90 346 0366 0	f 7,50
2.1.	Ervaringen bij waterkwaliteitsbeheerders ISBN 90 346 0367 9	f 10,—
3.1.	Randvoorzieningen aan rioolstelsels ISBN 90 346 0368 7	f 25,—
4.1.	Regionale verschillen in neerslaggebeurtenissen ISBN 90 346 0871 9	f 12,50
4.2.	Rioleringsmodellen, theorie en praktijk ISBN 90 346 0873 5	f 15,—
4.3.	Neerslag-inloop-overstortmodel ISBN 90 346 2098 0	f 15,—
4.4.	Regenmeters ISBN 90 346 1297 X	f 9,—
5.1.	Interimrapport vuiluitworp uit rioolstelsels ISBN 90 346 1299 6	f 17,50
5.2.	De vuiluitworp van gemengde rioolstelsels ISBN 90 346 2099 9	f 21,00
5.3.	De vuiluitworp van gescheiden rioolstelsels ISBN 90 346 2100 6	f 12,50
6.1.	Slib in rioolstelsels; inventariserend onderzoek ISBN 90 346 1246 5	f 20,—
6.2.	Processen in rioolstelsels; praktijkonderzoek ISBN 90 346 2101 4	f 23,—
6.2.1.	Processen in rioolstelsels; onderzoeksmethoden en onderzoeksgebieden ISBN 90 346 2102 2	f 25,—
7.1.	Verhard oppervlak en watervervuiling; literatuuronderzoek ISBN 90 346 0872 7	f 22,50
7.2.1.	Afkoppelen verharde oppervlakken; kwalitatieve aspecten ISBN 90 346 2103 0	f 20,—
7.2.2.	Afkoppelen verharde oppervlakken; afkoppeltechnieken ISBN 90 346 2104 9	f 22,50
7.2.3.	Afkoppelen verharde oppervlakken; leidraad ISBN 90 346 2105 7	f 12,50
8.1.	Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin te Amersfoort ISBN 90 346 1244 9	f 15,—
8.2.	Rendement randvoorzieningen bergbezinkbassin te Kerkrade ISBN 90 346 1245 7	f 15,—
8.3.	Rendement randvoorzieningen; werveloverstortput te Goes ISBN 90 346 2106 5	f 17,50
8.4.	Toepassingsmogelijkheden verbeterde overstortputten ISBN 90 346 0874 3	f 15,—
8.4.1.	Rendement randvoorzieningen; verbeterde overstortput te IJsselmonde ISBN 90 346 2107 3	f 17,—
8.5.	Rioolstelsel met en zonder bergbezinkbassin ISBN 90 346 1712 2	f 14,—
9.1.	Effecten van emissies op oppervlaktewater; hoofdrapport ISBN 90 346 2247 9	f 36,—
9.1.1.	Effecten van emissies op oppervlaktewater; bijlagen ISBN 90 346 2248 7	f 75,—
9.2.	Effecten van emissies op oppervlaktewater; lokatierapporten	in voorbereiding
10.1.	Invloed overstortwater vijver te Loenen; eindrapport ISBN 90 346 1353 4	f 15,—
10.1.1.	Loenen; natuurlijke, fysisch-chemische waterkwaliteit ISBN 90 346 1354 2	f 12,—
10.1.2.	Loenen; dynamica en massabalansen ISBN 90 346 1300 3	f 19,—
10.1.3.	Loenen; bacteriologie en sediment ISBN 90 346 1298 8	f 14,—
10.1.4.	Loenen; hydrobiologische effecten ISBN 90 346 1352 6	f 15,—
10.2.	Invloed overstortwater sloot te Bodegraven; hoofdrapport ISBN 90 346 1627 4	f 14,—
10.2.1.	Bodegraven; fysisch-chemische kwaliteit ISBN 90 346 1853 6	f 22,50
10.2.2.	Bodegraven; biologische kwaliteit ISBN 90 346 1854 4	f 18,50
10.3.1.	Overstortingen en sediment; gedrag van zware metalen ISBN 90 346 2108 1	f 14,—
10.3.2.	Overstortingen en sediment; nutriënten en mineralisatie ISBN 90 346 2109 X	f 15,—
11.1.	Waterhuishoudkundige maatregelen; literatuuronderzoek ISBN 90 346 1243 0	f 11,—
11.2.	Waterhuishoudkundige maatregelen; praktische oplossingen ISBN 90 346 2110 3	f 17,50
12.1.	Literatuuronderzoek microverontreinigingen ISBN 90 346 1709 2	f 19,—
	Evaluerend eindrapport ISBN 90 346 2111 1	f 50,—

Rapporten uit deze reeks zijn schriftelijk te bestellen bij Staatsuitgeverij/DOP, Postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, onder vermelding van bestelnummer of ISBN en een duidelijk afleveringsadres.

