

Module C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren

Inhoud

1 Inleiding	5
1.1 Verantwoording	5
1.2 Wat is veranderd?	5
1.3 Opsteller en begeleidingscommissie	6
1.4 Leeswijzer	6
2 Systematiek	7
2.1 Algemene opzet	7
2.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden	10
2.2.1 Algemeen	10
2.2.2 Gewenste resultaten	10
2.2.3 Rekenmethode	11
2.2.4 Belastingen	11
2.2.5 Inloop	11
2.2.6 Rioolstelsel	11
2.2.7 Defaultwaarden	11
2.3 Praktijkwaarnemingen	12
3 Procedure	12
3.1 Algemeen	12
3.2 Inventariseren	12
3.2.1 Geometrie van het rioolstelsel	12
3.2.2 Afvoerend oppervlak	13
3.2.3 Droogweerafvoer (DWA)	13
3.2.4 Coëfficiënten en defaults	13
3.3 Schematiseren van het rioolstelsel	13
3.4 Berekenen	14
3.4.1 Algemeen	14
3.4.2 Gebeurtenisberekeningen	14
3.4.3 Reeksberekeningen	15
3.4.4 Controleprocedure aangepast model	17
3.5 Analyseren	17
3.6 Toetsen	17
3.7 Presentatie van de resultaten	17
4 Neerslag en droogweerafvoer	17
4.1 Algemeen	17
4.2 Neerslaggebeurtenissen	18
4.3 Standaardneerslagreeks	20
4.4 Droogweerafvoer	20
4.4.1 Algemeen	20
4.4.2 Huishoudelijk afvalwater	20
4.4.3 Bedrijfsafvalwater	21
4.4.4 Lek- en drainagewater	21

5 Schematisering tot rioleringsmodel	21
5.1 Algemeen	21
5.2 Rioolstelsel	21
5.2.1 Knopen en verbindingen	21
5.2.2 Putten	22
5.2.3 Leidingen	23
5.2.4 Rioolgemalen	23
5.2.5 Overstorten	24
5.2.6 Uitlaten	24
5.2.7 Doorlaten	25
5.2.8 Bijzondere stroomvoerende constructies	26
5.2.9 Randvoorzieningen	26
5.2.10 Bijzondere lozingen	26
5.2.11 Simulatie 'water op straat'	26
5.2.12 Infiltratiesystemen	27
5.2.13 Open water	28
5.3 Afvoerend oppervlak	28
5.3.1 Algemeen	28
5.3.2 Schematisering afvoerend oppervlak	28
5.3.3 Informatiebronnen	29
5.3.4 Digitaliseren afvoerend oppervlak	30
5.3.5 Bepalen aangesloten afvoerend oppervlak	31
5.3.6 Toewijzen afvoerend oppervlak (aan putten of strengen)	31
5.3.7 Haalbare nauwkeurigheden	32
5.3.8 Rapportage	33
5.3.9 Registratie	33
6 Rapportage	33
6.1 Algemeen	33
6.2 Basisinformatie	34
6.2.1 Programmatuur	34
6.2.2 Rekenparameters	34
6.2.3 Geometrie rioleringsmodel	34
6.2.4 Afvoerende oppervlakken	34
6.2.5 Neerslagbelastingen	35
6.2.6 Droogweerafvoer en bijzondere lozingen	35
6.3 Rekenresultaten	35
6.3.1 Gebeurtenisberekeningen	35
6.3.2 Reeksberekeningen	36
6.3.3 Resultaten controleprocedure	39
6.3.4 Real time control	42
7 Analyseren en toetsen	42
7.1 Consistentie	42
7.2 Nauwkeurigheid	42
7.3 Stabiliteit	44

7.4	Interpretatie	45
7.4.1	Algemeen	45
7.4.2	'Water op straat'	45
7.4.3	Overstorten	45
7.4.4	Gemalen	45
7.5	Toetsing aan waarnemingen	45
8	Aanbevelingen	46
8.1	Interpretatie 'water op straat'	46
8.2	Aangesloten afvoerend oppervlak	46
8.3	Hellende gebieden	46
8.4	Mate van detail van inventarisatie en schematisering	46
8.5	Blik vooruit	46
8.6	Opleiding	46
	Literatuur	47
	Trefwoorden	47
Bijlage 1	Inloopmodel	51
Bijlage 2	Rioleringsmodel	57
Bijlage 3	Neerslaggebeurtenissen	72
Bijlage 4	Inloophydrogrammen	80
Bijlage 5	Definitie neerslag- en overstortingsgebeurtenissen	85
Bijlage 6	Stuurparameters rekenproces	85
Bijlage 7	Voorbeeld statistische bewerking van reeksrekeningsresultaten	86
Bijlage 8	Traditionele benadering berging, pompovercapaciteit en overstortingsfrequentie	89
Bijlage 9	Water op straat en wateroverlast	91
Bijlage 10	Neerslagreeks De Bilt 1955 – 1979	97
Bijlage 11	Afvoerend oppervlak digitaal	98

1 Inleiding

1.1 Verantwoording

Bij het ontwerp van nieuwe en toetsing van bestaande rioolstelsels speelt het 'hydraulisch functioneren' een belangrijke rol. Door berekeningen te maken en de resultaten te vergelijken met praktijkwaarnemingen, krijgt u inzicht in het hydraulisch functioneren. Hydraulisch rekenen is de meetmethode waarmee u theoretisch systeemgedrag van rioolstelsels toetst. Zo beschrijft het onderdeel 'hydraulisch functioneren' hoe u de rioleringszorg toetst volgens de module 'Doelen, functionele eisen, maatstaven en meetmethoden' (A1100). Met de rekenresultaten toetst u of u de gestelde doelen haalt of dat er maatregelen nodig zijn.

Doelstellingen

Deze module beschrijft de systematiek voor de opzet en uitvoering van hydraulische berekeningen. De module vormt een kader van uitgangspunten en voorwaarden waarbinnen u deze berekeningen moet uitvoeren. Ook zijn veel te gebruiken rekenparameters kwantitatief vastgelegd.

Deze module leidt tot:

- eenduidigheid van uitgangspunten voor berekeningen;
- uniforme uitvoering van berekeningen;
- uitwisselbaarheid van invoergegevens en rekenresultaten;
- uniforme presentatie van resultaten;
- helder overleg tussen alle betrokkenen bij de rioleringszorg.

Bij de meeste rioleringsberekeningen in deze module moet u de eisen als minimum eisen beschouwen. Afhankelijk van uw wensen, de beschikbaarheid van gegevens en doel en omvang van de berekening, kunt u uitbreidingen, afwijkingen of verfijningen aanbrengen. Bij de opzet van de systematiek is ingespeeld op verwachte ontwikkelingen in de rekentechniek. Daarom is gekozen voor niet-stationaire berekeningen. Hierdoor kunt u maatstaven formuleren en toetsen, die zo dicht mogelijk aansluiten bij de werkelijkheid. De verwachting is dat de beschreven systematiek ook de ontwikkelingen in het vakgebied (bijvoorbeeld integrale benadering van watersystemen) stimuleert.

Toepassingsgebied

De module is van toepassing op vrijvervalrioolstelsels en beperkt zich tot de buitenriolering. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen controle- en ontwerpberoeeningen. Een ontwerpberoeening wordt beschouwd als een controleberoeening van een rioolstelselontwerp. De berekeningen zijn primair gericht op het hydraulisch functioneren van de riolering tijdens neerslagperioden. Deze module is niet van toepassing op berekeningen om de ritmiek van het afvalwateraanbod naar de rwzi in perioden zonder neerslag te kwantificeren. De rekensystematiek kunt u daarvoor in principe wel gebruiken. Vuiluitworp of vuiltransportberekeningen vallen niet binnen deze module. Wel vormen resultaten van de hydraulische berekeningen een belangrijke basis voor de bepaling van vuiluitworp. Deze module beschrijft de rekensystematiek. Dit betekent dat het instrument waarmee u de berekeningen in de praktijk uitvoert (de programmatuur) niet is voorgeschreven.

1.2 Wat is veranderd?

Verbetering van de digitale ontsluiting was de aanleiding voor de actualisatie van deze module. Bij de actualisatie zijn de tekst en de weergave van figuren verbeterd. Inhoudelijk is de module niet aangepast. Ook eventuele veranderingen in neerslagpatronen door klimaatveranderingen zijn niet verwerkt.

1.3 Opsteller en begeleidingsgroep

DHV Milieu en Infrastructuur BV en Grontmij Advies Techniek BV hebben deze module opgesteld. Deze module is in 1998 geëvalueerd op basis van binnengekomen enquêteformulieren en praktijkervaringen. De module is geactualiseerd door:

F.H.L.R. Clemens	Witteveen+ Bos Raadgevende ingenieurs BV
H. van Luijtelaaar	Tauw BV
J.G. Voorhoeve	DHV Water
J. Zuidervliet	Arcadis Heidemij Advies BV
A.S. Beenen	Stichting RIONED

De begeleidingsgroep bestond uit:

A.H. Dirkzwager	Ministerie van VW, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (voorzitter)
P.P. van Berkum	Gemeente Apeldoorn
G. van Bruggen	Hoogheemraadschap van Rijnland
M. Ruan	TU-Delft
R. Doornekamp	Ingenieursbureau gemeente Utrecht

De beperkte actualisatie in 2004 is door het bureau van Stichting RIONED uitgevoerd.

1.4 Leeswijzer

Deze module bestaat uit negen hoofdstukken en elf bijlagen.

- Hoofdstuk 2 behandelt de systematiek van de module. Hierbij komen de uitgangspunten, randvoorwaarden en rekenresultaten aan de orde. Daarnaast vindt u hier een samenvatting van de verschillende onderdelen die later in de module aan bod komen.
- Hoofdstuk 3 gaat in op de procedures die u moet volgen bij de uitvoering en beoordeling van hydraulische berekeningen. Verder gaat dit hoofdstuk dieper in op het feitelijk rekenproces en de eisen aan de programmatuur.
- Hoofdstuk 4 beschrijft de hydraulische belastingen, zoals neerslag en afvalwaterlozingen. Neerslag is onderverdeeld in een serie standaardneerslaggebeurtenissen en een standaardneerslagreeks.
- Hoofdstuk 5 geeft aan welke gegevens voor de berekeningen noodzakelijk zijn, zoals de geometrie van het rioelstelsel en het afvoerend oppervlak.
- Hoofdstuk 6 gaat in op de resultaten van hydraulische berekeningen en de rapportage. Ook wordt een koppeling gemaakt tussen gebeurtenis en reeks berekeningen.
- Hoofdstuk 7 geeft aanwijzingen hoe u berekeningsresultaten beoordeelt. Hierbij komen zaken aan de orde als stabiliteit en consistentie van de berekeningen, interpretatie van de resultaten en toetsing aan waarnemingen.
- Hoofdstuk 8 geeft verdere aanbevelingen voor de uitvoering van hydraulische berekeningen aan rioelstelsels.
- Hoofdstuk 9 bevat een overzicht van de literatuurverwijzingen.
- Bijlage 1 beschrijving van het inloopmodel.
- Bijlage 2 beschrijving van de modellering van de riolering.
- Bijlage 3 standaardneerslaggebeurtenissen voor gebeurtenisberekeningen.
- Bijlage 4 inloophydrogrammen waarin het effect van afstromingsvertraging zichtbaar is gemaakt.
- Bijlage 5 beschrijving van de begrippen neerslag en overstortingsgebeurtenis.

- Bijlage 6 beschrijving van twee noodzakelijke stuurparameters voor het rekenproces.
- Bijlage 7 voorbeeld van statistische bewerking van de rekenresultaten van een reeks berekening.
- Bijlage 8 terugblik naar de begrippen berging, pompovercapaciteit en overstortingsfrequentie.
- Bijlage 9 beschrijving van de aspecten van 'water op straat' en wateroverlast.
- Bijlage 10 achtergronden van de keuze en het gebruik van de neerslagreeksen.
- Bijlage 11 voorbeeld van een omzetting van een GBKN naar een bruikbare kaart voor de bepaling van het afvoerend oppervlak.

Aanvullende informatie

Als u deze module gebruikt, zijn deze onderliggende rapporten van belang:

- StandaarduitwisselingsFormaat HYDraulische gegevens rioelstelsel [14]
- StandaarduitwisselingsFormaat HYDraulische resultaten berekeningen [15]
- Onderzoek Loenen, berekeningen en metingen [11]
- Onderzoek Maartensdijk, berekeningen en metingen [12]
- Didactisch rioelstelsel, voorbeeldberekeningen [4]

(De nummers tussen [] verwijzen naar de literatuurlijst op pagina 47.)

Het doel van beide standaarduitwisselingsformaten is te komen tot een eenduidige uitwisseling van rioelstelselgegevens en berekeningsresultaten. In het rapport 'Onderzoek Loenen' staan de mogelijkheden van het gebruik van niet-stationaire berekeningsmethoden. De nadruk ligt in dit rapport op de verificatie van gebruikte rekenmethoden via een directe vergelijking met meetresultaten. Het rapport 'Onderzoek Maartensdijk' geeft een eerste uitwerking van reeks berekeningen. Net als bij 'Loenen' is hierbij een link gelegd met meetresultaten.

In het rapport 'Didactisch rioelstelsel, voorbeeldberekeningen' is de methode 'Rioleringsberekeningen, hydraulisch functioneren' volledig toegepast op een fictief rioelstelsel. Daarbij is geprobeerd praktijksituaties zoveel mogelijk onder één noemer te brengen.

Opmerking schrijfwijze decimalen

In afwijking van de standaard zijn decimalen in deze module gescheiden met een punt in plaats van een komma (bijvoorbeeld 2.1 in plaats van 2,1). Dat is gebruikelijk in de programmatuur voor hydraulische berekeningen. Bovendien bevordert het de leesbaarheid van de module.

2 Systematiek

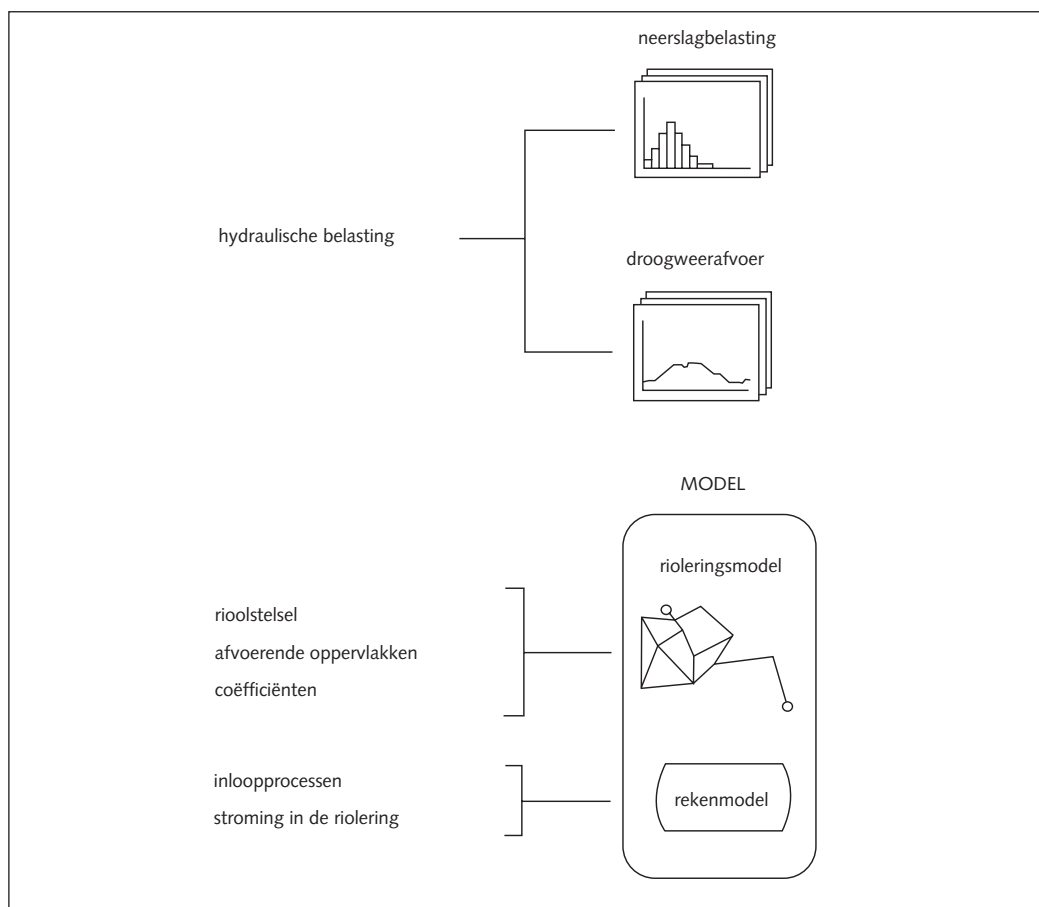
2.1 Algemene opzet

In de systematiek staan de volgende drie onderdelen centraal:

- De hydraulische belasting: beschrijving van de neerslagbelasting en droogweerafvoer.
- Het rioleringsmodel: beschrijving van het rioelstelsel. Deze beschrijving is soms meer of minder gedetailleerd en bestaat uit:
 - de geometrie van de onderdelen;
 - de onderlinge samenhang van deze onderdelen;
 - de diverse hydraulische coëfficiënten;
 - het afvoerend oppervlak.
- Het rekenmodel: beschrijving van de hydraulische processen, een inloopmodel (beschrijving processen van neerslag naar inloop) en een stromingsmodel (beschrijving van de stroming in het rioelstelsel). Zowel de inloop van afvoerende oppervlakken als de stroming in een rioelstelsel wordt beschreven als functie van tijd (niet-stationair).

Figuur 2.1 Onderdelen in de systematiek

De combinatie van riolerings- en rekenmodel wordt aangeduid als model. In figuur 2.1 staan de genoemde onderdelen.



Het hydraulisch functioneren van een rioolstelsel beoordeelt u voornamelijk op:

- hydraulische overbelasting ('water op straat');
- de werking van overstorten en uitlaten in samenhang met het functioneren van de gemalen.

'Water op straat'

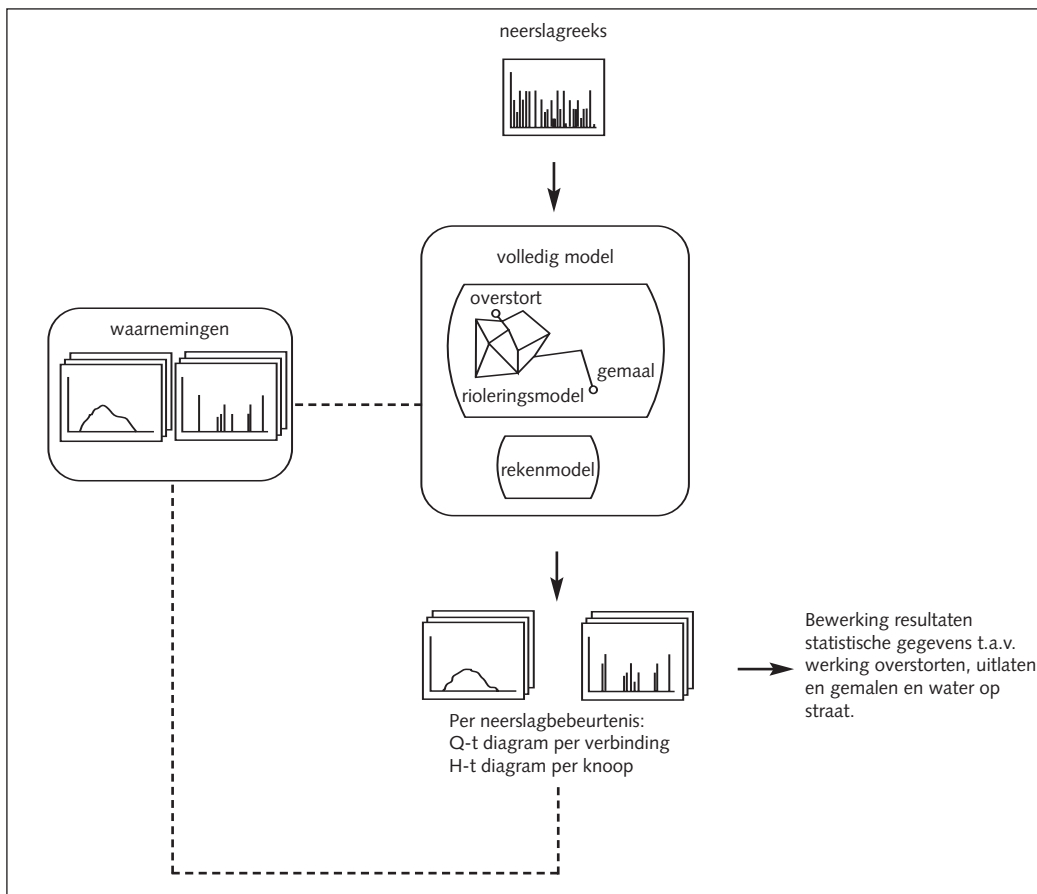
In een volledige beschrijving van 'water op straat' beschrijft u de locatie, omvang, duur en frequentie van 'water op straat'. Omdat de locaties op voorhand niet bekend zijn, moet u het rioleringsmodel zo gedetailleerd mogelijk in de berekeningen opnemen (zie hoofdstuk 5 en bijlage 2). 'Water op straat' leidt overigens niet altijd tot wateroverlast.

Werking van overstorten en uitlaten

De werking van overstorten wordt beschreven door de werkingsfrequentie, de overstortende hoeveelheden en de overstortingsdebiëten. De werking van uitlaten wordt beschreven door de werkingsfrequentie, de uitlaathoeveelheden en de uitlaatdebiëten. Van hoeveelheden en debiëten zijn zowel gemiddelden als extremen van belang. Om tot een gefundeerde uitspraak te komen over de werking van overstorten en uitlaten, moet u het hydraulisch functioneren van het rioolstelsel over meerdere jaren beschouwen.

Samenvattend

Een beschrijving van het hydraulisch functioneren van een rioolstelsel bestaat dus uit informatie over 'water op straat' en informatie over het functioneren van overstorten, uitlaten en gemalen. Voor zo'n beschrijving moet u een gedetailleerd rioleringsmodel met een neerslagbelasting over een langere periode doorrekenen. Ook moet u de rekenresultaten toetsen aan de praktijkwaarnemingen.



Figuur 2.2 Schematische weergave gewenste systematiek

In figuur 2.2 staat deze aanpak in een schema. In deze systematiek wordt een volledig model (gedetailleerd rioleringsmodel met een gedetailleerd rekenmodel) met een meerjarige historische neerslagreeks doorgerekend. Hierdoor hebt u gedetailleerd inzicht in zowel het functioneren van het rioelstelsel bij 'water op straat' als in de werking van overstorten, uitlaten en gemalen.

Met de huidige middelen is deze systematiek voor vrijwel elk rioelstelsel praktisch uitvoerbaar. Indien de beschikbare computerapparatuur nog voor te lange rekentijden zorgt en de opslag en verwerking van de rekenresultaten niet aankan, kunt u uitgaan van een systematiek die óf het model (combinatie van riolerings- en rekenmodel) óf de hydraulische belasting aanpast:

- Voor een analyse van 'water op straat' moet u het model zo gedetailleerd mogelijk in de berekeningen opnemen. De beschrijving van de neerslagbelasting (onderdeel van de hydraulische belasting) past u aan. De neerslagbelasting bestaat dan niet uit een meerjarige neerslagreeks, maar uit een beperkt aantal neerslaggebeurtenissen. Dit type berekening duidt u aan met 'gebeurtenisberekening'.
- Is de bepaling van de werking van overstorten, uitlaten en gemalen het doel? Dan past u het model aan. Dit kan door het rioleringsmodel te vereenvoudigen, maar ook door een ander rekenmodel te gebruiken.

Controle juistheid

Voordat u het aangepaste model gebruikt, moet u eerst controleren of het juist is. Vergelijk hiervoor het hydraulisch functioneren van het aangepaste model (aanpassing van reken- en/of rioleringsmodel) met het hydraulisch functioneren van een volledig model van hetzelfde rioelstelsel. Beide modellen berekent u met dezelfde (standaard)neerslaggebeurtenissen door. Vergelijk de resultaten en pas zonodig het model aan. Met dit aangepaste model maakt u vervolgens de reeksberekening.

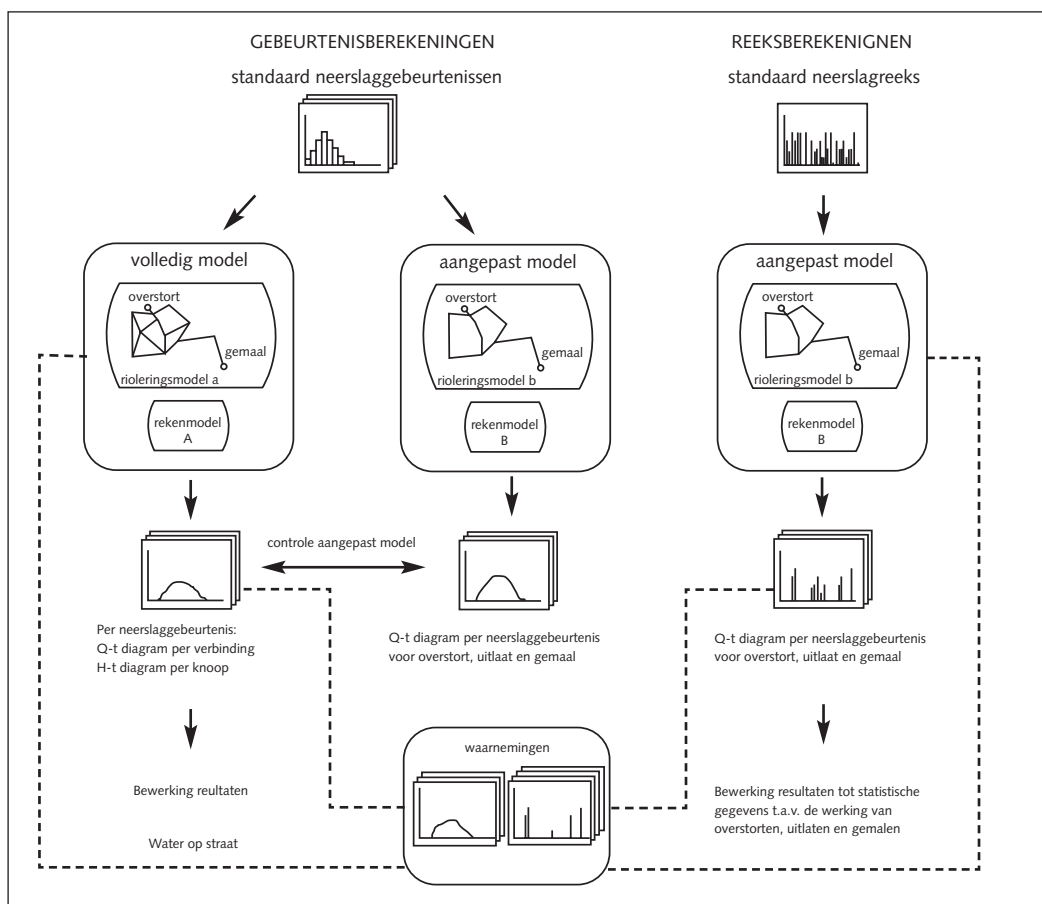
In het aangepaste model moet u wel alle externe gemalen, overstorten en uitlaten als afzonderlijke elementen beschrijven. Daarna beschrijft u de belasting zo volledig mogelijk. Gebruik dan de meerjarige, historische neerslagreeks als neerslagbelasting. Dit type berekening heet 'reeksberekening'.

Als standaardbelasting gebruikt u de meerjarige, historische neerslagreeks, zoals waargenomen in De Bilt in de periode 1955 -1979 (zie paragraaf 4.3). Op deze reeks zijn ook de gedefinieerde standaardneerslaggebeurtenissen gebaseerd (zie paragraaf 4.2).

In figuur 2.3 staat de algemene opzet van rioleringsberekeningen. Hierin zijn de twee typen berekeningen en de controle van het aangepaste model onderscheiden:

- gebeurtenisberekeningen;
- reeksberkening;
- controle aangepast model.

Figuur 2.3 Schematische weergave algemene opzet rioleringsberekeningen



2.2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

2.2.1 Algemeen

De systematiekkeuze in deze module is gebaseerd op huidige technieken. De ontwikkelingen in de techniek hoeven echter niet te leiden tot aanpassing van de in deze module gebruikte systematiek.

2.2.2 Gewenste resultaten

De gewenste resultaten van een analyseberekening van 'water op straat' bestaan uit de locaties, omvang en frequentie van hydraulische overbelasting. Voor de werking van de overstorten, uitlaten en gemalen gaat het vooral om statistische informatie. Denk aan jaargemiddelden van overgestorte hoeveelheden, overstortingsdebieten en frequentie van functioneren. Als hydraulische berekeningen de basis zijn voor vuiltransport en vuiluitwerpberekeningen, moet u de rekenresultaten tot in detail weten. Om de berekeningen goed te kunnen controleren, moet u naast de rekenresultaten de gehanteerde parameters rapporteren (zie hoofdstuk 6).

2.2.3 Rekenmethode

Deze module werkt met niet-stationaire berekeningen. Hierdoor kunt u maatstaven formuleren en toetsen, die zo dicht mogelijk aansluiten bij de werkelijkheid. Voor de mathematische beschrijving van de hydrodynamica gebruikt u een eendimensionale bewegingsvergelijking in combinatie met een continuïteitsvergelijking. Deze twee vergelijkingen staan bekend als de Saint-Venantvergelijkingen. Ze bevatten termen voor traagheid, zwaartekracht, stromingsweerstand en berging.

In bepaalde gevallen mag u één of meer van de termen in de Saint-Venant-vergelijkingen verwaarlozen. Hiervoor gelden geen algemene regels. Wel moet u per berekening aannemelijk maken dat het weglaten van termen leidt tot verwaarloosbare afwijkingen.

De berekeningssystematiek heeft enkele beperkingen:

- De module gaat uit van een eendimensionale stroming. Sterk driedimensionale stromingen, zoals in putconstructies of bergingsbassins, worden niet weergegeven.
- De module houdt geen rekening met stromingen op detailniveau. Voor de procesbeschrijving op zeer kleine tijd- of lengteschaal (zoals waterslag en watersprongen) geeft de module geen aanwijzingen.

Voor achtergronden van de hydrodynamica kunt u terecht bij de literatuur in hoofdstuk 9, onder andere [1], [3] en [5].

2.2.4 Belastingen

Voor de gebeurtenisberekeningen zijn standaardneerslaggebeurtenissen afgeleid uit de standaardneerslagreeks. Deze neerslaggebeurtenissen gebruikt u voor de analyse van 'water op straat' en voor de controle van het aangepaste model voor de reeksberekening. Voor reeksberekeningen gebruikt u een standaardneerslagreeks. De standaardneerslagreeks is een meerjarige, historische reeks met zowel natte als droge perioden. Door de droge perioden zodanig in de berekeningen op te nemen, krijgt u een correct beeld van de buienopeenvolging. En bij het begin van de volgende neerslaggebeurtenis zijn dan de juiste initiële condities aanwezig (zie paragraaf 4.3).

2.2.5 Inloop

Het hydraulisch proces tijdens het transport van neerslag over het oppervlak naar het rioolstelsel heet inloop. In deze module wordt het NWRW 4.3-inloopmodel (zie hoofdstuk 9, [9]) gehanteerd. Alle opgegeven defaultwaarden voor de parameters zijn aan dit model ontleend. Een beschrijving van het NWRW 4.3-inloopmodel vindt u in bijlage 1.

2.2.6 Rioolstelsel

Een rioleringsmodel is een beschrijving van de ligging, samenhang en geometrie van de onderdelen van het rioolstelsel (zie hoofdstuk 5). De onderdelen van een rioolstelsel geeft u weer in knopen en verbindingen. Een knoop is een inspectieput of een reservoir. Een verbinding is een element waaraan u een debiet kunt toekennen. Bijvoorbeeld een riool, overstortdrempeel, gemaal, doorlaat of uitlaat.

2.2.7 Defaultwaarden

In deze module hebben alle stelselonafhankelijke rekenparameters defaultwaarden. Bijvoorbeeld standaardwaarden voor kenmerken van afvoerende oppervlakken en hydraulische ruwheid van verschillende buismaterialen. Deze defaultwaarden moet u gebruiken, tenzij u beter gefundeerde waarden hebt.

Deze wijze van typering wijkt af van het GFO-gegevensmodel (Gemeentelijk Functioneel Ontwerp, opgesteld door de Vereniging van Nederlandse Gemeenten, 1996, zie hoofdstuk 9, [18]). In het GFO-Riolering heten zowel overstorten, doorlaten als gemalen knooppunten. Deze definitie kunt u niet gebruiken bij hydraulische berekeningen.

2.3 Praktijkwaarnemingen

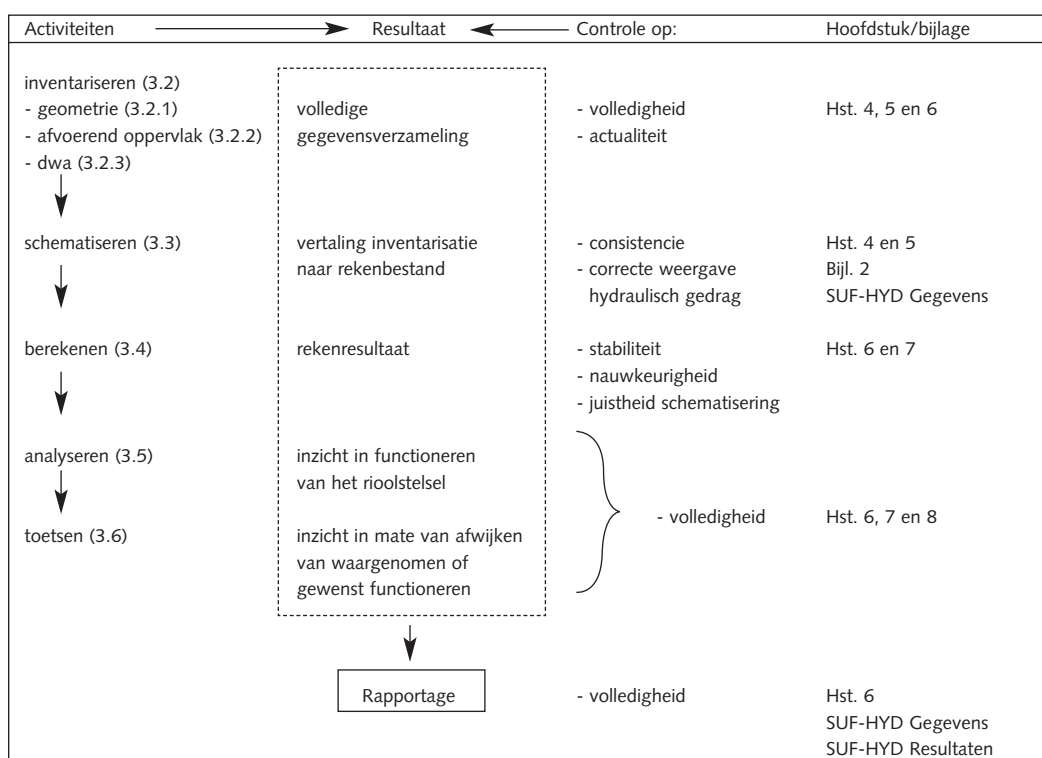
De berekeningsresultaten moet u aan de hand van praktijkwaarnemingen toetsen. Hiervoor zijn niet altijd gedetailleerde metingen nodig. Globale verificatie van de berekende 'water op straat'-locaties is eenvoudig, bijvoorbeeld op basis van klachten. Hetzelfde geldt voor het functioneren van overstorten, uitlaten en gemalen. Denk aan overstorttellers, draaiurenregistratie en waarnemingen van omwonenden (zie paragraaf 7.5). Hiervoor hebt u rekenresultaten nodig die u kunt koppelen aan fysiek waarneembare verschijnselen. Mede daarom is het belangrijk dat de rekenresultaten zo volledig mogelijk zijn.

3 Procedure

3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk staat de procedure die u moet volgen bij hydraulische berekeningen en de beoordeling van de bijbehorende resultaten. De samenhang tussen de verschillende activiteiten staat in figuur 3.1. Bij elke activiteit staat in welke hoofdstukken en bijlagen u meer informatie kunt vinden.

Figuur 3.1 Activiteiten in hun samenhang



In de praktijk kunt u de activiteiten niet altijd strikt scheiden; ze hebben vaak een cyclisch karakter. Controleer daarom na elke activiteit de resultaten, voordat u met de procedure verder gaat. Het rapport 'Didactisch stelsel, voorbeeldberekeningen' (zie hoofdstuk 9, [4]) licht de complete procedure in detail toe.

3.2 Inventariseren

3.2.1 Geometrie van het rioelstelsel

Voor een hydraulische berekening hebt u de volgende gegevens nodig:

- ligging en samenhang van de onderdelen van het rioelstelsel;
- geometrie van deze onderdelen;

- aard en omvang van de aangesloten afvoerende oppervlakken;
- maaiveldhoogte ter plaatse van de knopen.

Steeds vaker worden digitale gegevensbestanden gebruikt met zowel de vaste als de variabele gegevens van een rioolstelsel. Voor hydraulische berekeningen zijn vooral de vaste gegevens relevant. Controleer altijd de actualiteit en juistheid van de vaste gegevens en de volledigheid van de bestanden:

- Zijn alle noodzakelijke gegevens aanwezig?
- Zijn de revisiegegevens ingevoerd (relatie tussen data van analoge en digitale revisiegegevens)?
- Vormen de knopen en verbindingen één geheel?
- Komen ongebruikelijke of uitzonderlijke waarden in het bestand voor (zoals profielafmetingen, niet-standaardmaten, extreem grote of kleine afmetingen en extreme bodemverhangen)?
- Zijn alle BOB's (binnen onderkant buis) en maaiveldniveaus consistent (vrij van onderlinge tegenspraak)?

3.2.2 Afvoerend oppervlak

Voor het inloopmodel is karakterisering van het afvoerend oppervlak belangrijk. Daarom moeten de aard, afmeting en plaats waar het betrokken oppervlak op het rioolstelsel loost bekend zijn. Voor de inventarisatie kunt u verschillende methoden gebruiken (zie paragraaf 5.3). In bijlage 1 vindt u een toelichting op de parameters waarmee u de afvoer van neerslag over het oppervlak naar een rioolstelsel kunt beschrijven.

3.2.3 Droogweerafvoer (dwa)

Van de droogweerafvoer moeten de omvang en het verloop in de tijd bekend zijn (zie paragraaf 4.4). Ook legt u vast waar de droogweerafvoer het rioolstelsel binnenkomt. Inventariseer dit zo volledig mogelijk. Met een adequaat geautomatiseerd gegevensbeheer kan dit snel.

3.2.4 Coëfficiënten en defaults

Stel bij hydraulische berekeningen de getalswaarden voor onder meer de volgende parameters vast:

- ruwheid van de buiswand
- lokale verliescoëfficiënten
- overlaatcoëfficiënten
- doorlaatcoëfficiënten.

Voor deze en andere coëfficiënten gebruikt u de defaultwaarden uit bijlage 2. Als u hiervan afwijkt, moet u dit toelichten en onderbouwen.

3.3 Schematiseren van het rioolstelsel

Voor de hydraulische berekeningen schematiseert u het werkelijke rioolstelsel tot een rioleringsmodel. Schematiseren en inventariseren zijn met elkaar verbonden. Hoe gedetailleerder de inventarisatie, hoe gedetailleerder de schematisering. Omgekeerd bepaalt de gewenste schematisering de minimale detaillering van de inventarisatie. De schematische ring hoeft meestal niet gedetailleerder te zijn dan het niveau van knopen en verbindingen. Daarom hoeft u bijvoorbeeld niet alle afzonderlijke buizen van een verbinding (riool) te inventariseren.

In hoofdstuk 4 en 5, in bijlage 2 en in hoofdstuk 9 [14] staat hoe u rioolstelselonderdelen schematiseert en welke gegevens u daarvoor nodig hebt.

Als u de vaste gegevens van rioolstelsels controleert, is het verstandig een grafische presentatie te gebruiken. Hiermee kunt u bijvoorbeeld de samenhang van knopen en verbindingen controleren.

De actualiteit en juistheid van de vaste gegevens in een rioleringsbeheersysteem kunt u vergroten. Controleer hiervoor bij de uitvoering van routine-inspecties ook de vaste gegevens in het veld.

- Bij gebeurtenisberekeningen is vooral het hydraulisch gedrag op knoop- en verbindingenniveau belangrijk. De schematisering tot een rioleringsmodel moet gelijk zijn aan of mag gedetailleerder (bijvoorbeeld inclusief straatkolken) zijn dan dit niveau. U mag het rioelstelsel dus niet grover schematiseren door bijvoorbeeld grote delen van het beschouwde rioelstelsel alleen als berging weer te geven (de zogenaamde bakmodellering). Het aangesloten afvoerend oppervlak moet lozen op de knooppunten of is gelijkmatig verdeeld over de lengte van een verbinding. Overige afvalwaterlozingen moeten op de knopen plaatsvinden.
- Bij reeksberekeningen staat het hydraulisch gedrag van overstorten, uitlaten en gemalen voorop. Waar nodig kunt u het rioleringsmodel vereenvoudigen. Hiervoor bestaan geen vaste methodes. Wel geldt als minimale eis dat de weergave van het hydraulisch functioneren van de overstorten, uitlaten en gemalen correct is. Hiervoor moet u alle externe overstorten, uitlaten en gemalen afzonderlijk en duidelijk herkenbaar weergeven. Ook moet u inzichtelijk maken hoe het aangepaste model (combinatie van riolerings- en rekenmodel) tot stand is gekomen.

3.4 Berekenen

3.4.1 Algemeen

In de praktijk maakt u de berekeningen met computerprogrammatuur. Deze programmatuur bevat zowel een inloopgedeelte (transformatie van neerslag naar rioelloop) als een hydraulisch gedeelte (van inloop naar hydraulisch gedrag van het rioelstelsel).

Uw programmatuur moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

- een duidelijke berekeningsgrondslag;
- beschrijving van de numerieke rekentechniek;
- minimaal één uitgevoerde verificatie (vergelijking van de berekende resultaten met de meetresultaten).

In de rapportage van een berekening moet u aantonen dat u aan deze voorwaarden voldoet. U kunt bijvoorbeeld verwijzen naar openbare literatuur of documentatie.

3.4.2 Gebeurtenisberekeningen

Om de hydraulische afvoercapaciteit van een rioelstelsel te beoordelen, gebruikt u een zo volledig mogelijke beschrijving van het rioelstelsel (schematisering op knoop- en verbindingenniveau).

In bijlage 3 vindt u tien standaard neerslaggebeurtenissen voor de neerslagbelasting. Het resultaat van de berekeningen per gebeurtenis bestaat uit:

- een volledige beschrijving van waterstanden in de knopen in de loop van de tijd;
- een volledige beschrijving van debieten in de verbindingen in de loop van de tijd.

Met deze gegevens kunt u het hydraulisch functioneren van het rioelstelsel beoordelen.

Doelen gebeurtenisberekeningen

Gebeurtenisberekeningen voert u uit voor:

- algemeen inzicht in het hydraulisch functioneren;
- bepalen van 'water op straat';
- controleren van het aangepaste model (zie paragraaf 3.4.4).

Voor algemeen inzicht in het hydraulisch functioneren kunt u kiezen uit de tien standaardneerslaggebeurtenissen of gebruikmaken van waargenomen neerslaggebeurtenissen.

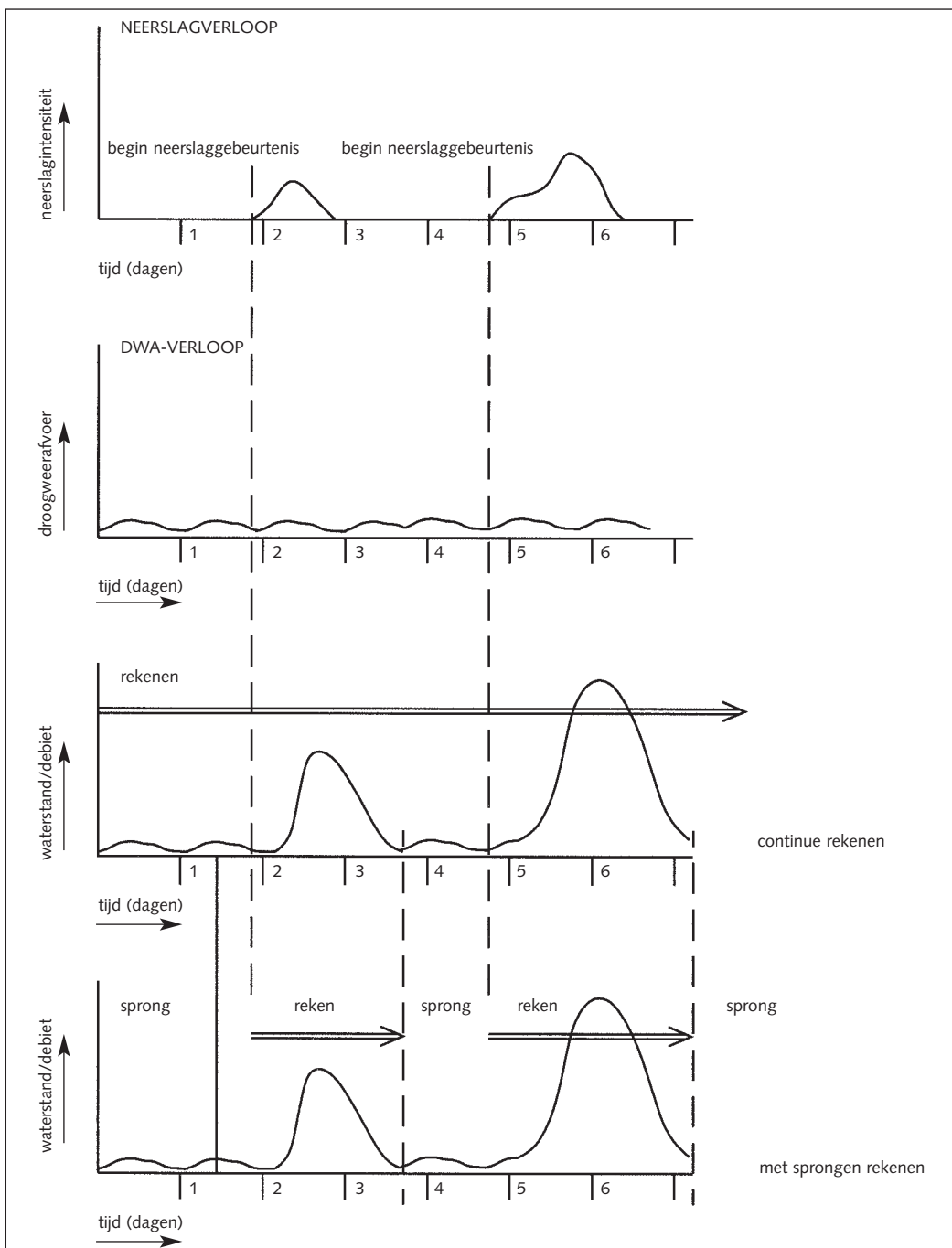
Voor het bepalen van 'water op straat' kunt u het best minimaal vier standaardneerslaggebeurtenissen gebruiken. Voor de controle van het aangepaste model moet u zes standaardneerslaggebeurtenissen gebruiken. Een verdere beschrijving van het toepassingsgebied van de tien standaardneerslaggebeurtenissen vindt u in hoofdstuk 4.

Begintoestand en dwa-belasting

De initiële conditie (begintoestand van waterstanden en debieten bij het begin van de berekening) is default een leeg stelsel zonder stromingen. Als de initiële conditie ernstig afwijkt van de werkelijkheid, kunt u het best rekening houden met deze afwijking. Zoals bij grote vullingen in de dwa-situatie. Voordat u gaat rekenen met de neerslagbelasting, is het raadzaam een periode met een dwa-belasting door te rekenen totdat de stationaire toestand is bereikt. Afgezien van de initiële conditie, moet u de dwa-belasting altijd in de gebeurtenisberekeningen opnemen (zie paragraaf 4.4).

3.4.3 Reeksberoeeningen

Met een reeksberoeening kunt u het functioneren van externe overstorten, uitlaten en gemalen beschrijven. Als u de reekentijd en gegevensopslag wilt verminderen, kunt u het model aanpassen. Bijvoorbeeld door het rioleringsmodel te vereenvoudigen of een ander rekenmodel te gebruiken. Het aangepaste model moet wel alle externe overstorten, uitlaten en gemalen als afzonderlijke elementen bevatten.



Figuur 3.2 Opeenvolging van neerslaggebeurtenissen in reeksberoeening

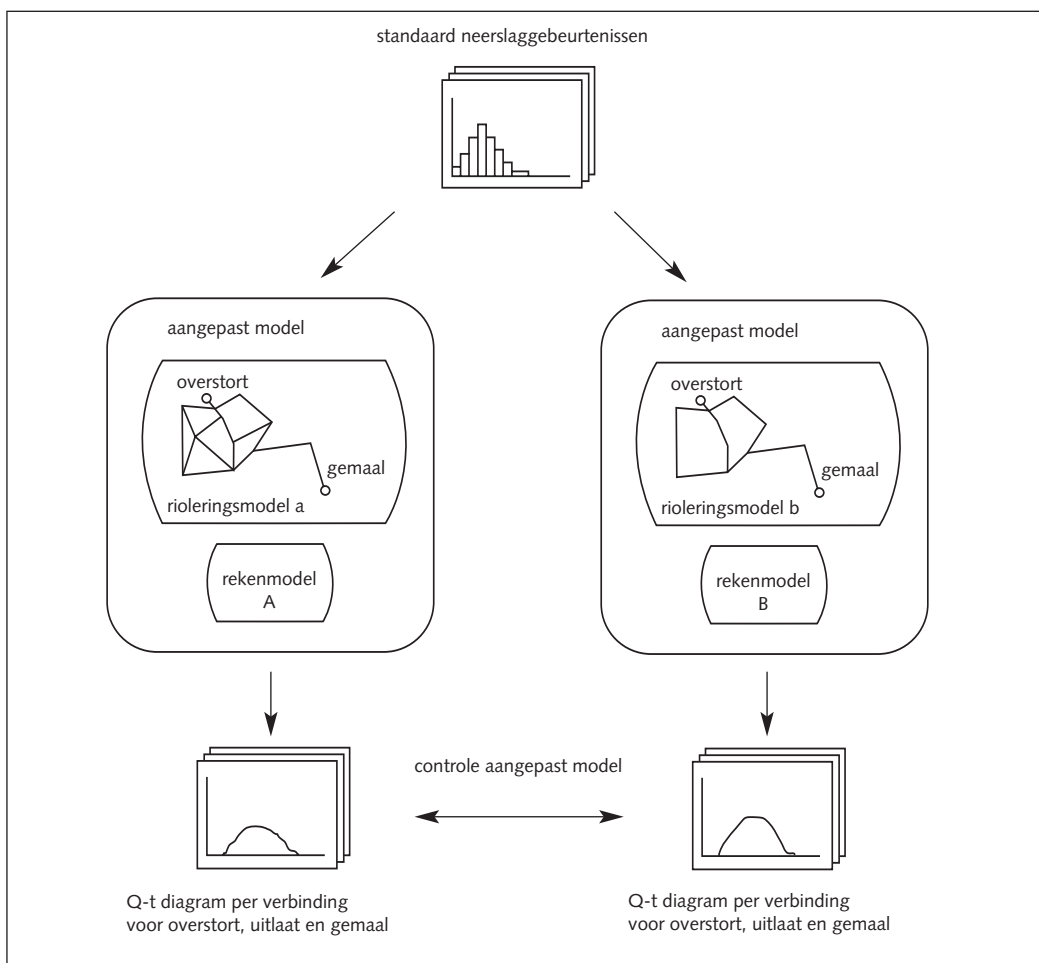
Een reeksberekening is een gedetailleerde beschrijving van de neerslagbelasting in combinatie met een (aangepast) model. De reeksberekeningsresultaten bestaan minimaal uit een beschrijving van het debietverloop van elke overstort, uitlaat en elk gemaal tijdens de hele neerslagreeks. Op basis van de resultaten kunt u statistische informatie genereren, zoals gemiddelden, werkingsfrequenties en over- en onderschrijdingskansen.

Paragraaf 4.3 beschrijft de standaardneerslagreeks. In de reeksberekening moet u de droge perioden meenemen. Daarbij is het belangrijk dat u de hydraulische toestand van het beschouwde rioelstelsel bij het begin van elke neerslaggebeurtenis in de reeks juist weergeeft. Alleen dan kunt u het effect van opeenvolging van neerslaggebeurtenissen correct bepalen. De standaardneerslagreeks mag u dus niet als een serie afzonderlijke gebeurtenissen zien.

In figuur 3.2 staan schematisch twee manieren waarop u op correcte wijze de opeenvolging van neerslaggebeurtenissen kunt beschrijven.

Bij de eerste manier rekent u volledig in tijd door. Bij de tweede manier rekent u door totdat het rioelstelsel in het DWA-patroon terechtkomt. Op dat moment maakt u een sprong naar het begintijdstip van een volgende neerslaggebeurtenis. De begincondities van de stromingstoestand en de waterstanden in het model zijn afhankelijk van het tijdstip op de dag van de gebeurtenis. De initiële conditie kunt u vaststellen zoals beschreven in paragraaf 3.4.2.

Figuur 3.3 Controleprocedure



3.4.4 Controleprocedure aangepast model

Als u het model (riolerings- en/of rekenmodel) voor de reeksberekening hebt aangepast, moet u de deze aanpassing toetsen. Reken hiervoor beide modellen door met zes standaardneerslaggebeurtenissen. Vergelijk de werking van overstorten, uitlaten en gemalen. Waar nodig past u het aangepaste model opnieuw aan. Net zolang tot het aan de eisen van gelijkheid voldoet (zie paragraaf 6.3.3). Analyseer de resultaten van het volledige model op consistentie, voordat u aan de controleprocedure begint. De controleprocedure is schematisch weergegeven in figuur 3.3.

De controleprocedure voert u uit als de rekenmodellen en/of de rioleringsmodellen niet identiek zijn.

In paragraaf 4.2 staan de standaardneerslaggebeurtenissen die u bij de controleprocedure moet gebruiken.

3.5 Analyseren

De analyse van rekenresultaten is een van belangrijkste stappen, maar lastig in een procedure te beschrijven. Wel kunt u op bepaalde dingen letten als u de uitkomsten van een hydraulische berekening bestudeert. Hierover leest u meer in hoofdstuk 7.

3.6 Toetsen

Uiteindelijk geven de hydraulische berekeningen aan of een rioelstelsel volgens de gestelde maatstaven functioneert. Daarom moet u vooraf een beeld hebben van deze maatstaven, bijvoorbeeld in termen als:

- bij een standaardneerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van twee jaar treedt geen 'water op straat' op;
- een overstort treedt gemiddeld niet meer dan tien keer per jaar in werking;
- bij een standaardneerslaggebeurtenis met een herhalingstijd van vijf jaar wordt een debiet van 2000 m³ per uur van een bepaalde overstort niet overschreden.

Vergelijk de rekenresultaten met het gewenste functioneren en de praktijkervaring.

3.7 Presentatie van de resultaten

Presenteer de berekeningsresultaten in een rapport. Neem hierin de gebruikte invoergegevens, rekenresultaten, conclusies uit de analyse, de toetsing en de stuurparameters van het rekenproces op. Over de rapportage leest u meer in hoofdstuk 6 en over de stuurparameters in bijlage 6.

4 Neerslag en droogweerafvoer

4.1 Algemeen

Een rioelstelsel wordt op twee manieren hydraulisch belast:

- neerslagbelasting;
- droogweerafvoer.

De weergave van de belastingen hangt af van het type berekening:

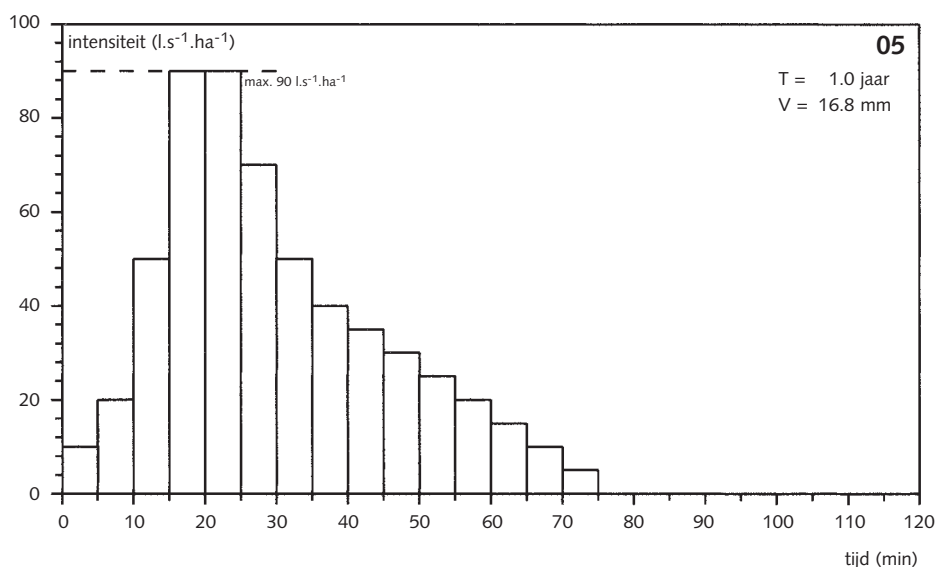
- gebeurtenisberekening:
 - standaardneerslaggebeurtenissen;
 - constante dwa-belasting.
- reeksberekening:
 - standaardneerslagreeks;
 - in de tijd variërende dwa-belasting.

4.2 Neerslaggebeurtenissen

Voor gebeurtenisberekeningen kunt u tien gestandaardiseerde neerslaggebeurtenissen gebruiken. Deze zijn gebaseerd op een analyse van de vijftien minuten neerslagreeks, waargenomen in De Bilt tussen 1955 en 1979. In bijlage 3 vindt u de samenstelling van deze neerslaggebeurtenissen. Binnen de tien geselecteerde neerslaggebeurtenissen kunt u zes herhalingstijden en twee vormen onderscheiden. In bijlage 3 staat het verloop van de neerslagintensiteit van de verschillende gebeurtenissen.

Figuur 4.1 geeft als voorbeeld het intensiteitsverloop van de standaardneerslaggebeurtenis 05 weer. Hiervan is de herhalingstijd 1.0 jaar en de maximale intensiteit (de piek) ligt 'in het begin'.

Figuur 4.1 Voorbeeld standaardneerslaggebeurtenis 05



Doelen gebeurtenisberekening

Een gebeurtenisberekening kan verschillende doelen hebben:

- verkrijgen van algemeen inzicht in het hydraulisch functioneren;
- bepalen van 'water op straat';
- controleren van het aangepaste model.

Algemeen inzicht

Voor algemeen inzicht in het functioneren mag u kiezen uit de tien standaardneerslaggebeurtenissen. Als u ze hebt, mag u ook waargenomen neerslaggebeurtenissen gebruiken. Zo kunt u de rekenresultaten ook aan de praktijk toetsen.

'Water op straat'

Als u een rioelstelsel op 'water op straat' beoordeelt, kunt u het best de volgende serie gebeurtenissen gebruiken (codering volgens bijlage 3):

- gebeurtenissen met een herhalingstijd van een jaar (bui-nummers 05 en 06);
- gebeurtenissen met een herhalingstijd van twee jaar (bui-nummers 07 en 08).

In bijzondere gevallen kunt u deze serie uitbreiden met gebeurtenissen met een andere herhalingstijd. Bijvoorbeeld als er hoge veiligheidseisen zijn gesteld bij 'water op straat'. Of bij rioelstelsels met een grote bergende inhoud die de genoemde gebeurtenissen volledig kunnen bergen. In het laatste geval kunt u het best bij het begin van de berekening een aanvulling in het rioleringsmodel aanbrengen.

Controle aangepast model

Voer de controleprocedure uit met in elk geval de standaardneerslaggebeurtenissen 02, 04, 06, 08 en 09 of 10. Als een bepaalde overstort of uitlaat onder geen van de belastingen van de genoemde gebeurtenissen werkt, maakt u ook een berekening met de belasting van gebeurtenis 10. Want het is belangrijk dat u in de controleprocedure zoveel mogelijk discontinuïteiten opneemt. Als een overstort of uitlaat ook onder deze belasting niet werkt, is deze waarschijnlijk niet van belang voor de verdere berekeningen. In hoofdstuk 6 staat welke resultaten van de controleprocedure u moet rapporteren en wat de eisen zijn van de gelijkheid van de rekenresultaten.

Inloopintensiteit

Deze module schrijft het NWRW 4.3-inloopmodel voor. Zonder dit model mag u de standaardneerslaggebeurtenissen als directe belasting niet gebruiken. De standaardneerslaggebeurtenissen zijn namelijk direct uit neerslagwaarnemingen afgeleid. Als u inloopeffecten niet berekent, vormen de standaardneerslaggebeurtenissen een buitensporig zware belasting. In meer traditionele berekeningen, waarin wordt uitgegaan van constante neerslagintensiteiten van bijvoorbeeld $60 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, zijn de inloopeffecten in de neerslagintensiteit verwerkt. In dat geval is dus feitelijk sprake van inloopintensiteiten. Bij neerslaggebeurtenissen in combinatie met een inloopmodel, bepaalt het type afvoerend oppervlak mede de inloopintensiteit.

In bijlage 1 staan de defaultwaarden voor het NWRW 4.3-inloopmodel. In bijlage 4 vindt u de inloophydrogrammen die volgen uit toepassing van het NWRW 4.3-inloopmodel op de standaardneerslaggebeurtenissen met verschillende waarden voor afstromingsvertraging.

Goed beeld

De statistiek van de neerslaggebeurtenissen is niet altijd van toepassing op rekenresultaten die uit deze belastingen voortkomen. Dus als bij een gebeurtenis met een herhalingsperiode van één keer per jaar 'water op straat' optreedt, hoeft de frequentie van 'water op straat' niet één keer per jaar te zijn. Ook overstortingshoeveelheden en debieten bij de standaardneerslaggebeurtenissen kunt u niet direct koppelen aan de herhalingsperiode van de neerslaggebeurtenis. In de praktijk blijkt dat gebruik van de standaardneerslaggebeurtenissen een goed beeld geeft van het functioneren van een rioolstelsel.

Toepassingsgebied

Bij het toepassingsgebied van de neerslaggebeurtenissen in deze module moet u met beperkingen rekening houden. Bijvoorbeeld dat het effect van opeenvolging van buien niet volledig is verwerkt in de herhalingsperiode van een gebeurtenis. Bij controle van de afvoercapaciteit van het rioolstelsel gaat het om de leidingcapaciteit voor de afvoer van extreme neerslagintensiteiten naar de overstorten. Meestal wordt de afvoercapaciteit gecontroleerd op basis van gebeurtenis 07 of 08 met een herhalingsperiode van $T = 2$ jaar. Maar u kunt hiervoor beter ook gebeurtenissen 05 en 06 gebruiken.

Neerslaggebeurtenis 08 heeft een totaalvolume van ruim 20 mm. Een rioolstelsel met een berging groter dan 20 mm kan deze gebeurtenis volledig bergen. De afvoercapaciteit van de leidingen naar de overstorten komt bij deze belasting dus niet of beperkt in beeld. Om het effect van opeenvolging van buien te simuleren, neemt u een aanvulling in het systeem aan. Het is belangrijk dat u deze aanvulling zodanig kiest, dat er nog een substantiële afvoer naar de overstorten kan plaatsvinden.

Ook bij de controle van het aangepaste model heeft het toepassingsgebied van de gebeurtenissen beperkingen. Belangrijk is dat u de werking van bijzondere componenten meeneemt. Denk aan lediging van randvoorzieningen, pompregimes, (real-time)besturing en tijdsafhankelijke belastingen, zoals afvalwaterlozingen van bedrijven.

4.3 Standaardneerslagreeks

De standaardneerslagreeks is de neerslagreeks zoals deze is waargenomen in De Bilt van 1955 tot 1979 met een tijdsresolutie van vijftien minuten.

Reekslengte

Bij een reekslengte van 25 jaar kunt u met de methode van de steekproefkwantielen (bijlage 7) redelijk nauwkeurige voorspellingen doen tot een herhalingstijd van zo'n vijf jaar. Bij een reekslengte van tien jaar kan dit tot een herhalingstijd van twee tot drie jaar. De rekencapaciteit kan nog een beperkende factor zijn bij reeksberoeeningen. Dan kunt u het best rekenen met een volledig model en een aangepaste neerslagreeks, De Bilt 1955 - 1964.

Het is belangrijk dat u de droge perioden in de reeks meeneemt in de berekeningen. Alleen dan kunt u het effect van opeenvolging van neerslaggebeurtenissen correct weergeven (zie paragraaf 3.4.3). Als u de standaardneerslagreeks gebruikt, moet u (net als bij de standaardneerslaggebeurtenissen) het NWRW 4.3-inloopmodel gebruiken.

4.4 Droogweerafvoer

4.4.1 Algemeen

De droogweerafvoer (dwa) bestaat uit huishoudelijk afvalwater, bedrijfsafvalwater en lek- en drainagewater. Deze componenten zijn in de regel niet exact te kwantificeren. Daarom kunt u kengetallen als default gebruiken. Als u beter onderbouwde getallen hebt, kunt u deze gebruiken.

4.4.2 Huishoudelijk afvalwater

Deze module gaat bij de defaultwaarde voor huishoudelijk afvalwater uit van 120 liter per inwoner, per etmaal. Als u de inwoneraantallen niet weet, ga dan uit van het aantal woningen met een gemiddelde bezettingsgraad van 2,5 inwoner per woning.

- Ga bij gebeurtenisberekeningen uit van een constante droogweerafvoer van twaalf liter per inwoner, per uur.
- Bij reeksberoeeningen kunt u het best uitgaan van een droogweerafvoer in de vorm van een (over de dag verlopend) percentage van de daghoeveelheid. Tabel 4.1 geeft het verloop van de dwa weer.

periode (uur)	percentage	periode (uur)	percentage
0-1	1.5	12-13	7.5
1-2	1.5	13-14	6.5
2-3	1.5	14-15	6.0
3-4	1.5	15-16	5.0
4-5	1.5	16-17	5.0
5-6	3.0	17-18	5.0
6-7	4.0	18-19	4.0
7-8	5.0	19-20	3.5
8-9	6.0	20-21	3.0
9-10	6.5	21-22	2.5
10-11	7.5	22-23	2.0
11-12	8.5	23-24	2.0

Als u het dwa-patroon voor de reeksberoeeningen niet gebruikt, moet u een stationaire DWA-belasting in rekening brengen. Dit is een belasting van $12 \text{ l. inw}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ over een periode van tien uur (van 7.00 tot 17.00 uur).

Tabel 4.1 dwa-verloop voor gebruik in reeksberoeeningen

4.4.3 Bedrijfsafvalwater

Voor de belasting door bedrijfsafvalwater kunnen geen defaultwaarden worden gegeven. Vaak worden deze gegevens geschat of zijn bij de betreffende bedrijven bekend. In bepaalde gevallen kunt u uitgaan van gegevens die bekend zijn via vergunningen (grondwateronttrekkingen, lozingsvergunningen, etc.) of drinkwaterverbruik.

In paragraaf 3.3.1 'afvalwaterbelastingen' van de leidraadmodule B2000 staan voor plansituaties aanwijzingen hoe u afvalwaterhoeveelheden van bedrijven in rekening brengt. Als u niet weet welke bedrijven zich zullen vestigen, geldt een algemene norm van 0.2 tot 2 l.s⁻¹.ha⁻¹ (bruto oppervlak). De aangegeven grenzen gelden voor respectievelijk 'droge' en 'natte' bedrijven. Als u het type bedrijf wel kent, kunt u de afvalwaterhoeveelheden herleiden uit tabellen op basis van productie-eenheden of belastinggrondslagen.

Voor bestaande situaties staat in de leidraadmodule B2000 hoe u via allerlei vergunningen, het drinkwaterverbruik en/of metingen aan de benodigde gegevens kunt komen. Houd hierbij rekening met de procesvoering van de bedrijven om bijvoorbeeld de verstrekte jaargegevens om te rekenen naar piekbelastingen (continue of discontinue bedrijfsvoering). Let ook op welk deel van het waterverbruik (grond- of drinkwater) uiteindelijk wordt geloosd.

Bijzondere bedrijfslozingen waarmee u rekening moet houden, zijn bijvoorbeeld:

- lozingen vanuit zwembaden;
- spoelwater van reinigingswerkzaamheden in diverse bedrijven.

4.4.4 Lek- en drainagewater

Over de belasting door lek- en drainagewater is weinig bekend. In bepaalde gevallen kunt u op basis van balansbeschouwingen schattingen maken (zie ook [19]). Als defaultwaarde stelt deze module de belasting door lek- en drainagewater op nul.

5 Schematisering tot rioleringsmodel

5.1 Algemeen

Een rioleringsmodel geeft een beschrijving van:

- geometrie van de onderdelen;
- onderlinge samenhang van de onderdelen;
- diverse hydraulische coëfficiënten;
- aangesloten afvoerend oppervlak.

Om de invoergegevens tussen verschillende rekenmodellen te kunnen uitwisselen, is het standaard-invoerformaat 'SUF-HYD, gegevens rioolstelsel' (zie hoofdstuk 9, [14]) opgesteld. Als u deze standaard gebruikt, kunt u de invoergegevens gegarandeerd overdragen.

5.2 Rioolstelsel

5.2.1 Knopen en verbindingen

Een rioolstelsel bestaat uit een systeem van putten, leidingen en bijzondere constructies (pompen, overlaten, doorlaten, gemalen en dergelijke). De onderdelen van een rioolstelsel zijn in het rioleringsmodel als knopen en verbindingen weergegeven.

Een knoop is een inspectieput of reservoir. Een verbinding is een element met uniforme hydraulische eigenschappen, waaraan u een debiet kunt toekennen. Bijvoorbeeld een riool, overstortdrempel, gemaal, door- of uitlaat. Een riool dat op een bepaald punt van diameter verandert, moet in de schematisering ook van diameter veranderen. Neem hiervoor een knoop op in de schematisering, ook als in de praktijk geen put aanwezig is op dat punt.

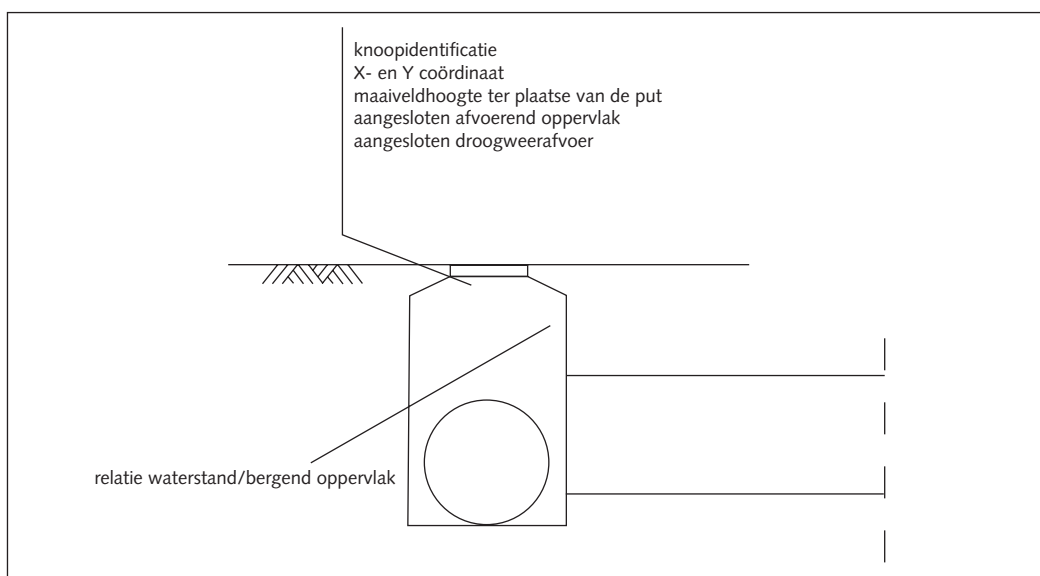
Van alle knopen en verbindingen hebt u gegevens nodig, waarmee u de geometrie en locatie beschrijft. Zo kunt u het hydraulisch functioneren kwantificeren. In de volgende subparagrafen vindt u een verdere beschrijving van deze gegevens en hoe u deze schematiseert. Voorzie alle knopen van een unieke identificatie en positiebepaling, bij voorkeur in het rijkdriehoeknetcoördinaatsysteem. Een verbinding legt u vast door aan te geven met welke twee knopen het stroomvoerende element is verbonden. Zo hebt u de geometrie van het rioelstelsel vastgelegd.

In [14] (zie hoofdstuk 9) staat hoe u de knopen identificeert. Ook leest u hoe u moet omgaan met knopen met meerdere verbindingen (bijvoorbeeld een stuwput: een interne overstort met een doorlaat).

5.2.2 Putten

Een put schematiseert u als een knoop. Hydraulisch gezien kunt u putten als bergingsreservoir beschrijven. De stromingsverschijnselen in de put hoeft u niet in detail te beschrijven. De weerstandsverliezen door in- en uitstromingsverschijnselen zijn default in de hydraulische weerstand van aansluitende leidingen verdisconteerd, want deze verliezen zijn alleen bij eenvoudige putgeometrieën goed in te schatten [13] (zie hoofdstuk 9).

Figuur 5.1 Schematisering put



Van een put moet u minimaal het volgende weten:

- knoopidentificatie;
- ligging in het platte vlak in het rijkdriehoeknetcoördinaatsysteem (maatgevend is het midden van de put);
- maaiveldhoogte ter plaatse van de put;
- aangesloten afvoerend oppervlak (type en omvang);
- aangesloten droogweerafvoer;
- relatie tussen de waterstand en het bergend oppervlak van de put;
- de putafmetingen. Default wordt een vierkante prismatische putschacht aangenomen met de zijden gelijk aan de diameter van de grootste aansluitende leiding [14].

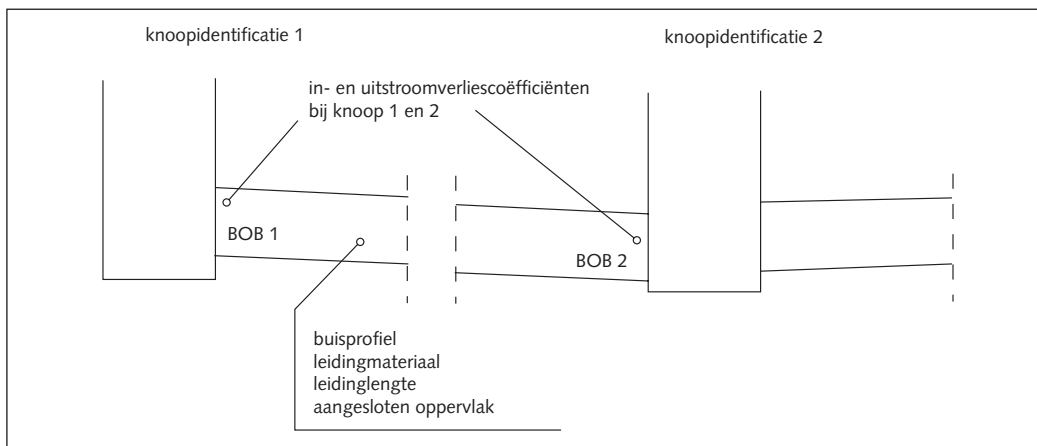
5.2.3 Leidingen

Een leiding schematiseert u als een verbinding. Een leiding ligt tussen twee putten en heeft een uniform leidingprofiel, bodemverhang en uniform materiaal. De lengte van de leiding is gelijk aan de fysieke lengte tussen de putwanden.

Van een leiding moet u minimaal het volgende weten:

- knooidentificatie aan weerszijden;
- niveau van de 'binnen-onderkant-buis' (BOB) aan weerszijden;
- materiaal (of ruwheidswaarde);
- lengte;
- profiel (vorm, afmetingen);
- aangesloten afvoerend oppervlak (type en omvang);
- in- en uitstroomverliezen (in bijzondere situaties).

De energieverliezen door in- en uitstroom worden toegerekend aan leidingen. Maar de verliezen zijn afhankelijk van zowel de put als de leidinggeometrie (zie ook paragraaf 5.2.2 en bijlage 2). Het bodemverhang en de lengte van de leidingen zijn niet altijd bekend. Bereken dan de lengte met de coördinaten van de putten aan weerszijden van de leiding, waarna wordt gecorrigeerd voor de afmetingen van de putten. Default trekt u eenmaal de diameter/breedte van de leiding van de berekende lengte af. Het bodemverhang bepaalt u met het quotiënt van het niveauverschil van de BOB aan weerszijden van de leiding en de lengte van de leiding.



Figuur 5.2 Schematisering leidingen

5.2.4 Rioolgemalen

Een rioolgemaal schematiseert u als twee knopen (gemaalkelder respectievelijk lozingspunt) met de tussenliggende verbinding. Het rioolgemaal bestaat meestal uit één of meer pompstellingen.

Naast de knoopgegevens (zie putten) aan weerszijden moet u van een gemaal minimaal het volgende weten:

- knooidentificatie aan weerszijden;
- aantal pompen;
- aansturing;
- pompcapaciteiten;
- pomprichting;
- $0-\Delta H$ relatie van de pompen.

Geef de afmetingen van de ontvangkelder weer. In de modellering verwerkt u de feitelijke afmetingen van de gemaalkelder, de werkelijke pompcapaciteit en de pompaansturing

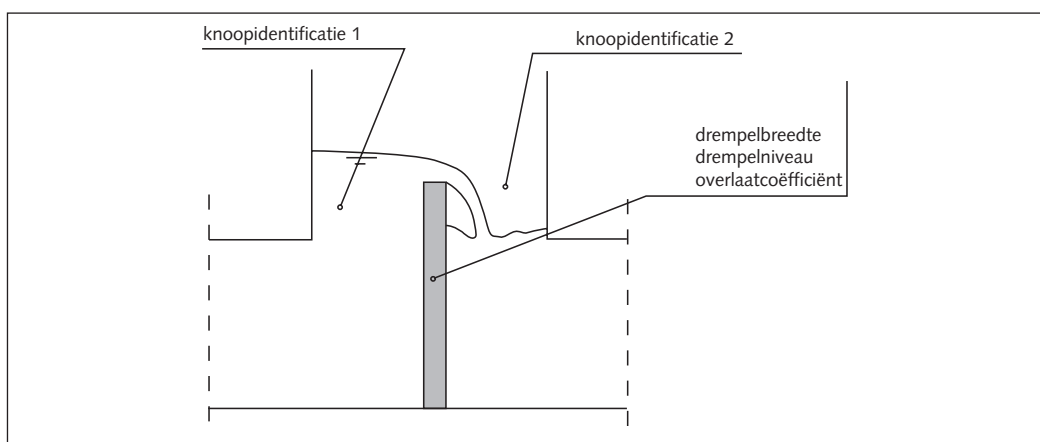
(schakelpeilen, toerenregeling). Ontbreekt deze informatie? Let dan op het pendelen van pompen. In berekeningen kunt u de berging van persleidingen verwaarlozen.

Bij gebeurtenisberekeningen hebt u per pompeenheid genoeg aan een eenvoudige pompaansturing met één in- en uitschakelpeil en een constante waarde voor de pompcapaciteit. Bij reeksberekeningen kan het noodzakelijk zijn dat u het pompgedrag gedetailleerder beschrijft. Is bij een gemaal het geleverde debiet sterk afhankelijk van de opvoerhoogte (waterstandsvariaties in de ontvangkelder, samenloop van meerder pompen en dergelijke)? Dan moet u in de berekeningen het hydraulisch functioneren van het gemaal beschrijven in de vorm van een $Q-\Delta H$ -relatie.

5.2.5 Overstorten

Een overstort (in- of extern) schematiseert u als twee knopen met tussenliggende verbinding (korte overlaat). Maak daarbij onderscheid tussen volkomen en onvolkomen overlaten. Bij een volkomen overlaat heeft de benedenstroomse waterstand geen invloed op de stroming over de overlaat. Bij een onvolkomen overlaat juist wel.

Figuur 5.3 Schematisering overstort



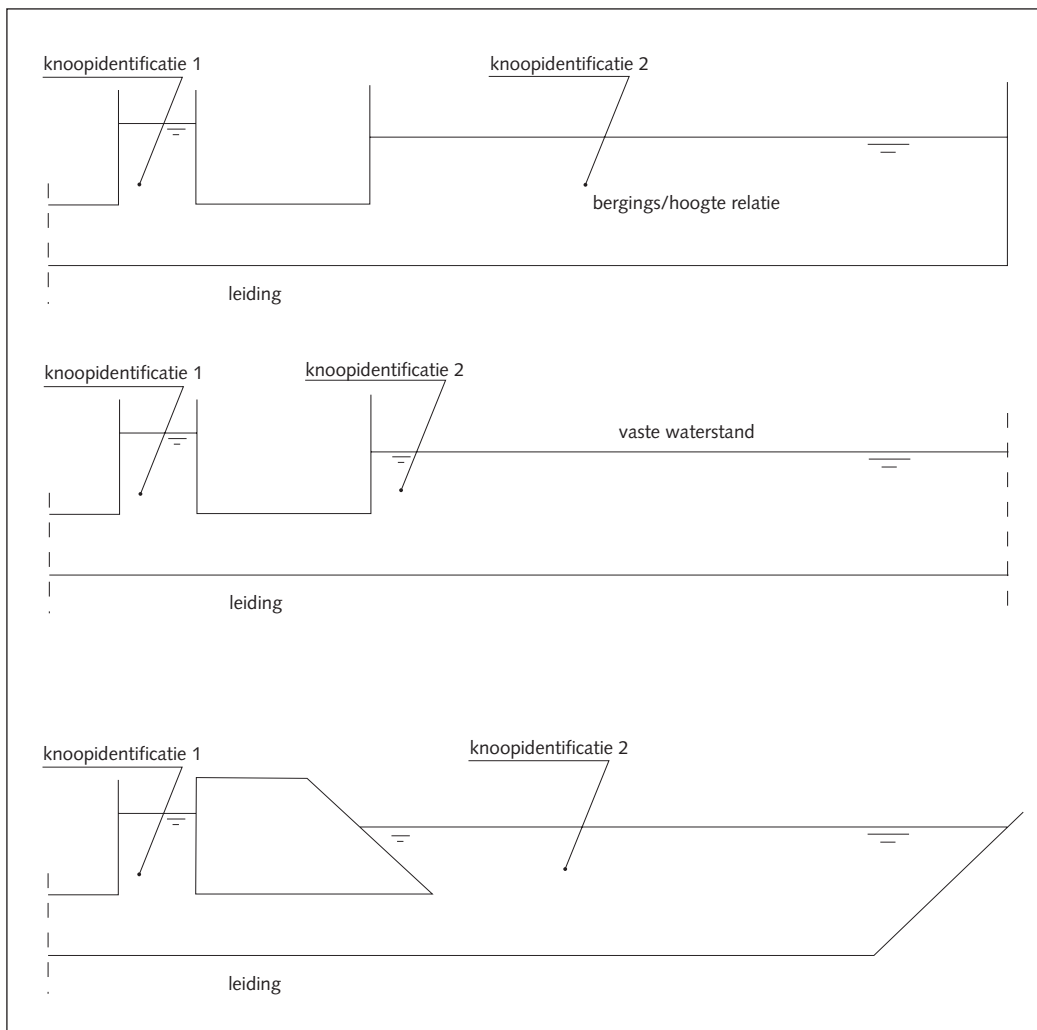
Naast de knoopengegevens (zie putten) aan weerszijden moet u van een overstort minimaal het volgende weten:

- knoopidentificatie aan weerszijden;
- drempelbreedte;
- drempelniveau;
- buitenwaterstand (bij een overstort lozend op oppervlaktewater);
- eventuele aanwezigheid van een keerklep;
- overlaatcoëfficiënt(en);
- een $Q-\Delta H$ -curve (in bijzondere gevallen).

5.2.6 Uitlaten

Een uitlaat schematiseert u als een verbinding. Het is een vrije uitstroming van water uit een leiding (bijvoorbeeld een lozingspunt uit een rwa-stelsel). Aan de zijde van het oppervlaktewater kunt u de volgende drie schematiseringen voor het oppervlaktewater toepassen:

- een knoop met een berging-hoogterelatie;
- een knoop met een vaste waterstand (bij 'groot' oppervlaktewater, waarvan de waterstand als invoergegeven is vastgelegd);
- een knoop waarbij het oppervlaktewater (vrijwel) volledig is opgenomen in het rioleringsmodel.



Figuur 5.4 Schematisering uitlaat

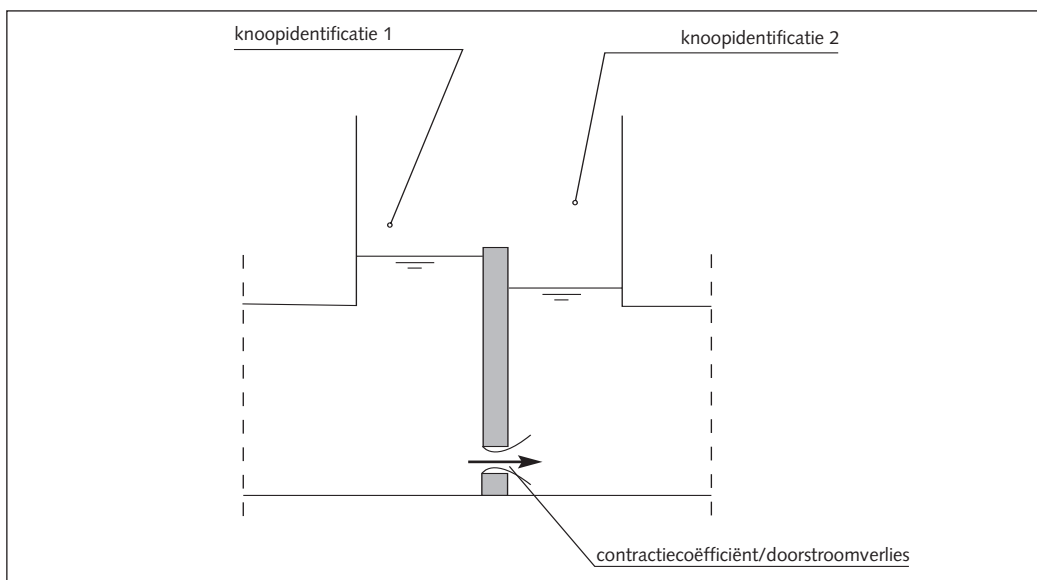
5.2.7 Doorlaten

Een doorlaat schematiseert u als twee knopen met tussenliggende verbinding. Het is een constructie waaruit water vrij of onder tegendruk van de ene in de andere put kan stromen. Bijvoorbeeld een stuwopening in een interne overstort in een rioelstelsel.

Naast de knoopgegevens moet u van een overlaat minimaal het volgende weten:

- knoopidentificatie aan weerszijden;
- doorstroomverlies;
- de eventuele aanwezigheid van een keerklep;
- profielvorm en- afmetingen.

Figuur 5.5 Schematisering doorlaat



5.2.8 Bijzondere stroomvoerende constructies

Niet alle constructies kunt u schematiseren zoals in de voorgaande paragrafen. Schematiseer dan de constructie als een verbinding met:

- knoopidentificatie aan weerszijden;
- de Q - ΔH -relatie van de verbinding.

Zo kunt u bijna elk type constructie schematiseren.

5.2.9 Randvoorzieningen

De meestvoorkomende randvoorzieningen zijn het bergbezinkbassin en bergbezinkriool. Een randvoorziening kunt u op diverse manieren schematiseren (zie bijlage 2.6). De schematisering van de afzonderlijke elementen van een randvoorziening vindt u in de vorige paragrafen.

5.2.10 Bijzondere lozingen

Een rioolstelsel kan verbonden zijn met andere rioolstelsels die u niet volledig in het rioleringsmodel wilt of kunt opnemen. De lozingen vanuit deze rioolstelsels (bijvoorbeeld via persleidingen of interne overstorten) moet u wel in de berekening opnemen.

Van deze bijzondere lozingen moet u het volgende weten:

- lozingspunt (knoopidentificatie);
- lozingsdebiet (als functie van tijd).

In de reeksberekeningen moet u een lozing vanuit een ander gemengd of regenwaterstelsel ten minste als een knoop (reservoir) en een verbinding schematiseren. De verbinding sluit aan op een knoop van het stelsel waarvan u de reeksberekening maakt. Het reservoir wordt belast via afvoerend oppervlak en dwa en is voorzien van een overstort en pompcapaciteit. Bijlage 2.8 gaat hierop verder in.

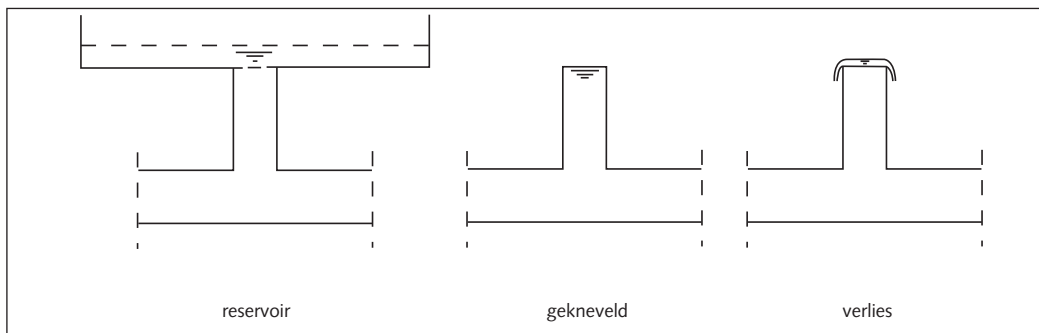
5.2.11 Simulatie 'water op straat'

U kunt 'water op straat' op drie manieren schematiseren:

- Het uittredende water kan zich verdelen over het maaiveld en daarna terugstromen naar het rioolstelsel. U definieert een reservoir boven de knoop. Van dit reservoir geeft u het bergend oppervlak weer.

- De put is gekneveld. Het water stroomt niet uit de put naar het maaiveld, maar zorgt alleen voor drukopbouw.
- Al het water komt op het maaiveld terecht en kan niet terugstromen naar het rioolstelsel.

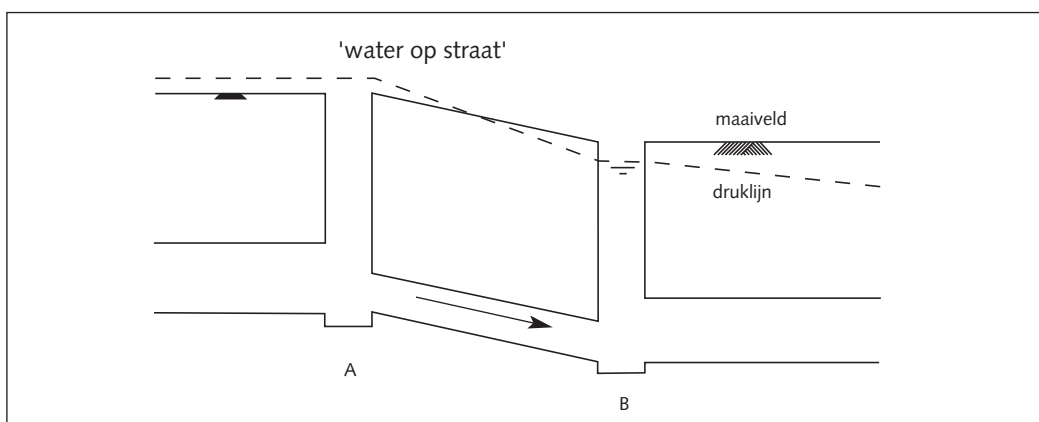
In figuur 5.6 zijn de drie mogelijkheden schematisch weergegeven.



Figuur 5.6 Schematisering 'water op straat'

Gebruik als default de eerste optie: een reservoir boven de knoop, waar het water kan in- en uitstromen. Geef in uw berekeningsrapportage aan hoe u bent omgegaan met 'water op straat'.

Als u de afstroming van water via het straatoppervlak niet meeneemt, kunnen berekeningsresultaten met 'water op straat' uitermate onbetrouwbaar zijn. Als het water bovenstrooms van een knijpende leiding op een hellend maaiveld wordt geborgen, vermindert de belasting op benedenstroomsgelegen leidingen sterk. In de praktijk is de kans groot dat de knijpende leiding door afstroming via het straatoppervlak wordt omzeild. Dit effect wordt in de meeste berekeningen niet meegenomen.



Figuur 5.7 Simulatie 'water op straat'

Figuur 5.7 geeft een simulatievoorbeeld van 'water op straat'. Deze situatie gaat ervan uit dat de waterstand in put A fictief kan doorstijgen tot ruim boven het maaiveld. Over leiding A-B kan daarbij een verhang en bijbehorend debiet optreden dat aanzienlijk groter is dan werkelijk mogelijk. Dit kan tot ongewenste resultaten leiden. Om dit te voorkomen, werkt u met een ruimere berging van water op straat bij de putten. Zo blijft de stijging van waterstanden boven het maaiveld beperkt. Dit werkt door in het optredende debiet in leiding A-B.

5.2.12 Infiltratiesystemen

Naast de klassieke rioleringsystemen worden (in zowel nieuwaanleg als in bestaande situaties) systemen aangelegd die in de bodem infiltreren, direct lozen op oppervlaktewater of een combinatie hiervan. Om het hydraulisch functioneren van verschillende systemen te kunnen vergelijken, moet u

de systemen met gelijksoortige uitgangspunten doorrekenen. Er is nog relatief weinig ervaring met rekentechnieken voor infiltratiesystemen. Toch geeft bijlage 2 voorbeelden van de modellering van wadi's, infiltratiesleuven en -riolen.

5.2.13 Open water

In bepaalde situaties moet u (delen van) het oppervlaktewater in het rioleringsmodel opnemen. Vooral als de waterstanden van het oppervlaktewater zo hoog worden, dat terugstuwung over de overstorten naar het rioolstelsel ontstaat. Modellering van oppervlaktewater is in grote lijnen identiek aan modellering van een rioolstelsel. Let wel op een juiste invoer van de geometrie. Met [14] (zie hoofdstuk 9) kunt u profielen van open waterlopen opnemen.

5.3 Afvoerend oppervlak

5.3.1 Algemeen

Het afvoerend oppervlak is geen statisch gegeven. Zo spelen bovengrondse infrastructurele wijzigingen een rol. Actualiseer daarom regelmatig (bijvoorbeeld eens per vier jaar) de gegevens.

Het op een rioolstelsel aangesloten afvoerend oppervlak bepaalt in hoge mate de hydraulische belasting. Daarom moet u het afvoerend oppervlak (binnen praktische grenzen) zo nauwkeurig mogelijk beschrijven. Het is verstandig dat u alle oppervlakken (het verharde, niet-verharde, aangesloten en niet-aangesloten oppervlak) in de registratie meeneemt. Zo kunt u het afkoppelen van oppervlakken zichtbaar maken. U kunt verschillende informatiebronnen gebruiken. In de praktijk zal u vooral werken met combinaties van informatiebronnen. Uiteindelijk is een volledig actueel digitaal beheersysteem het handigst. Als u met analogo basismateriaal werkt, moet u dit digitaliseren.

Bij bepaling van afvoerende oppervlakken voor hydraulische berekeningen doorloopt u de volgende stappen:

- schematiseer de oppervlakken;
- bepaal de grootte, locatie en het type van het oppervlak;
- maak onderscheid naar wel en niet op de riolering aangesloten oppervlak;
- wijs aangesloten oppervlakken aan putten en/of strengen toe.

Zorg dat uw inventarisatie aan de volgende randvoorwaarden voldoet:

- de gegevens zijn zo nauwkeurig als praktisch mogelijk is;
- u kunt het resultaat in grafische vorm presenteren;
- het resultaat is reproduceerbaar.

In de volgende paragrafen gaat de module verder op deze aspecten in.

5.3.2 Schematisering afvoerend oppervlak

U kunt het afvoerend oppervlak op drie manieren schematiseren. Het verschil zit in de mate van nauwkeurigheid.

1 Onderscheid in twaalf typen aangesloten afvoerend oppervlak.

Dit is de meest gedetailleerde schematisering van het aangesloten afvoerend oppervlak. Er zijn vier hoofdtypen aangesloten afvoerend oppervlak:

- gesloten verhard oppervlak;
- open verhard oppervlak;
- dakoppervlak;
- onverhard oppervlak.

Elk hoofdtype is onderverdeeld in de mate van afstromingsvertraging:

- hellend oppervlak;
- vlak oppervlak;
- vlak uitgestrekt oppervlak.

Hierdoor zijn twaalf typen oppervlak gedefinieerd, defaultwaarden voor de inloopparameters staan in bijlage 1 vermeld.

2 Alleen verhard oppervlak

Als u onvoldoende gegevens hebt, kunt u alleen het verhard oppervlak (zoals wegen, pleinen en daken) in rekening brengen. U rekent dan voor de afstromingsvertraging met de defaultwaarde voor gesloten verhard, vlak oppervlak. Neerslagverliezen in de vorm van oppervlakteberging, infiltratie en verdamping mag u niet in rekening brengen. Als u deze default toepast op de standaard neerslaggebeurtenissen, krijgt u inloophydrogrammen (zie bijlage 4).

3 Eenvoudige kengetallen

Deze methode mag u alleen toepassen als u geen nadere informatie hebt. Bijvoorbeeld bij toekomstige uitbreidingen waarvan nog geen gedetailleerde plannen bekend zijn. In een bestaande situatie mag u eenvoudige kengetallen niet gebruiken.

Geeft het basismateriaal niet die informatie waarmee u de verschillende oppervlakken kunt typeren? Dan moet u aanvullende informatie verzamelen, bijvoorbeeld met een veldopname of luchtfoto's.

5.3.3 Informatiebronnen

Voor de bepaling van het oppervlak is het belangrijk dat u nagaat welke informatiebronnen er zijn. Normaal gesproken zijn dat:

- analoge kadastrale tekeningen of plattegronden;
- luchtfoto's;
- digitale ondergronden;
- digitaal beheersysteem voor infrastructuur en bebouwing;
- stedenbouwkundig plan (nieuwbouwsituatie).

Afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid en actualiteit van het basismateriaal kunt of moet u een aanvullende veldverkenning uitvoeren.

Kadastrale tekeningen

Met alleen kadastrale tekeningen kunt u nauwelijks de omvang van het afvoerend oppervlak goed bepalen. Typebepaling is sowieso niet mogelijk. Daarvoor is een aanvulling met actuele luchtfoto's of een veldverkenning noodzakelijk.

Actuele luchtfoto's

Met actuele luchtfoto's kunt u het type van het oppervlak tot op zekere hoogte uitstekend bepalen. Maar met digitale hulpmiddelen kunt u makkelijker de exacte omvang bepalen. Door vertekening aan de randen en in de hoeken van de foto ontstaan soms aanzienlijke afwijkingen in de grootte van oppervlakken. Dit kunt u voorkomen door met foto's te werken, waarbij u alleen een beperkt gebied in het centrum van de foto gebruikt. Maar dit betekent foto's met een grote overlap en aanzienlijk hogere kosten. Daarom kunt u luchtfoto's het best gebruiken voor bepaling van het type oppervlak. De omvang kunt u beter op een andere manier bepalen.

Het is lastig alle verschillende typen (weg)verharding vanaf een foto te onderscheiden. Platte en hellende daken en verhard en onverhard kunt u wel goed onderscheiden.

Digitale ondergronden

Als u actuele digitale ondergronden hebt (bij voorkeur Grootchalige Basis Kaart van Nederland (GBKN)), kunt u met GIS-technieken een directe digitale bepaling maken. Hierbij moet u letten op:

- Panden en wegvakken worden vaak niet gepresenteerd als gesloten polygonen. Om het oppervlak te kunnen bepalen, moet u de afzonderlijke lijnstukken die het oppervlak omvatten eerst sluitend maken. Hiervoor zijn commercieel verkrijgbare programma's beschikbaar. Maar een zekere mate van handmatig ingrijpen blijft nodig.
- Voor een juiste presentatie moet u nagaan welke informatie in de GBKN staat, welke informatie u nog mist en welke informatie u niet hoeft mee te nemen.
- Er bestaan verschillende soorten GBKN's. De GBKN's voor nutsbedrijven zijn meestal beperkt tot plaatsweergave van de voorgevel van percelen. Voor de bepaling van oppervlakken hebt u aanvullende informatie nodig.

In bijlage 11 staat een voorbeeld van de omzetting van een GBKN naar een bruikbare kaart voor de bepaling van oppervlakken.

Gedetailleerde veldopname

Een gedetailleerde veldopname is zeer arbeidsintensief en wordt daarom vooral gebruikt als ondersteuning van andere methoden om onduidelijkheden weg te nemen. Voordat u aan de veldinventarisatie begint, doorloopt u de volgende stappen:

- inventariseer aanwezige bureaugegevens (denk aan beheergegevens van wegen en groen, kadastrale kaarten);
- definieer de registratiewijze (op analoge kaart in het veld met digitale nabewerking of direct digitaal opslaan);
- maak een tijdsplanning. De inventarisatie mag niet te lang duren. Er kunnen veranderingen optreden, waardoor de geïnventariseerde gegevens niet meer stroken met de werkelijkheid;
- zet een methode op om de gegevens in de toekomst actueel te houden.

Er zijn nog talloze andere methoden om oppervlakken te bepalen. Ook de ontwikkeling van inzameling, verwerking en bewerking van informatie bij oppervlakken gaat door. In de toekomst zullen dan ook zeker aanvullende mogelijkheden ontstaan.

De haalbare nauwkeurigheid is sterk afhankelijk van de gebruikte informatiebronnen. Paragraaf 5.3.7 gaat hierop verder in.

5.3.4 Digitaliseren afvoerend oppervlak

Als u de informatie hebt verzameld, moet u deze digitaliseren. Als u alleen met digitaal basis-materiaal werkt, is dit relatief eenvoudig. Gebruikt u een veldopname, luchtfoto's, analoge tekeningen of combinaties van deze informatiebronnen? Dan brengt u alle verzamelde informatie eenduidig aan op een analoge ondergrond. Van hieruit kunt u digitaliseren.

Digitaliseren van actuele analoge ondergronden

U kunt met verschillende technieken eenvoudig analoge ondergronden naar digitaal kaartmateriaal omzetten. Deze module behandelt er twee.

Techniek 1

- Markeer op de analoge ondergrond de verschillende typen oppervlak met een eigen kleur.
- Digitaliseer deze gekleurde ondergrond met een scanner.

Bij het scannen slaat u de volgende informatie op:

- locatie van het oppervlak;
- grootte van het oppervlak;
- type (met eenduidige kleurcodering).

Houd bij het scannen een zo hoog mogelijke resolutie aan. De genoemde gegevens hebben dan bijvoorbeeld betrekking op elementen van 1 m x 1 m.

Het voordeel van deze techniek is dat u na digitalisering eenvoudig wijzigingen kunt aanbrengen. Ook is verdere digitale verwerking (toewijzing aan putten en/of strengen) mogelijk. Bovendien kunt u de informatie eenvoudig beheren.

Techniek 2

U bouwt handmatig een digitaal bestand op, waarin u de informatie vanaf de analoge tekening opslaat. Hierbij legt u van elk onderscheiden oppervlak de volgende gegevens vast:

- omvang (bijvoorbeeld bepaald met een planimeter)
- type
- locatie (bijvoorbeeld het zwaartepunt of de hoekpunten).

Het voordeel van deze techniek is dat u weinig of geen specialistische hulpmiddelen of specialistisch personeel nodig hebt. Een nadeel is dat u na de omzetting het eindresultaat niet visueel kunt inspecteren. Daardoor kunt u geen fouten meer ontdekken en wordt corrigeren moeilijk. Ook moet u bij de vastlegging van de locatie van het oppervlak rekening houden met de manier waarop u afvoerende oppervlakken aan putten en/of strengen toewijst. Zo kunt u bijvoorbeeld een wegvak niet als één oppervlak weergeven. U moet dit dan opdelen in betrekkelijk kleine onderdelen.

5.3.5 Bepalen aangesloten afvoerend oppervlak

Nadat u de omvang, locatie en het type van de verschillende oppervlakken hebt vastgesteld, bepaalt u welke oppervlakken wel of niet op de riolering afvoeren. Maak daarbij onderscheid tussen afvoer naar:

- riolering
- oppervlaktewater
- infiltratievoorziening.

In de opgebouwde database moet u per individueel oppervlak aangeven of het afvoert, en zo ja, waarop. Ga in elk geval na:

- of wegen in de periferie van de bebouwde kom wel of niet afwateren naar de riolering;
- welke oppervlakken wel of niet op de riolering zijn aangesloten. Denk daarbij ook aan indirect lozende oppervlakken, zoals opritten bij woningen en groenstroken die kunnen afwateren op verharding die weer afvoert naar het rioolstelsel;
- in hoeverre schoolpleinen en industrieterreinen afvoeren naar het rioolstelsel.

5.3.6 Toewijzen afvoerend oppervlak (aan putten of strengen)

Nadat u per oppervlak de omvang, locatie en het type hebt bepaald en of deze aansluit op de riolering, stelt u van elk (deel)oppervlak vast op welke plaats in het rioolstelsel wordt afgevoerd. Dit kan niet heel gedetailleerd, want het is praktisch onmogelijk van elk dak na te gaan of het aan de voor- of achterzijde van het betreffende perceel loost. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld opritten. In het algemeen leidt een afwijking van de praktijk op dit punt niet tot significante verschillen tussen het rekenresultaat en de werkelijkheid. In bijzondere gevallen (bijvoorbeeld heel grote dakopper-

vlakken of eindputten van topstrengen) kan een foutieve toewijzing wel tot merkbare verschillen leiden. Dan kunt u het best de juiste lozingspunten op de riolering vaststellen (bij voorkeur met een veldopname).

U kunt de toewijzing van afvoerend oppervlak op verschillende manieren uitvoeren:

- a Thiessennet, waarbij u elke vierkante meter toekent aan de dichtstbijzijnde put of streng.
- b U brengt waterscheidingen aan met een digitaal terreinmodel (GIS-technieken). Dit is met name belangrijk in hellende gebieden.
- c Een handmatige toewijzing.

De methoden a en b werken met digitale bewerkingstechnieken. Hierbij is het noodzakelijk dat in het rioleringsmodel de x- en y-coördinaat (en bij methode b ook de z-coördinaat) van de putten aanwezig is. (Hiervoor kunt u ook de leidraadmodule C5000 Informatievoorziening en gegevensbeheer raadplegen.)

Het aanbrengen van waterscheidingen kan van belang zijn in hellende gebieden, waarbij bovenstroomsgelegen objecten minder zwaar worden belast dan lagergelegen objecten.

5.3.7 Haalbare nauwkeurigheden

Er is nog weinig ervaring met de werkelijk haalbare nauwkeurigheden met de verschillende technieken. Maar houd wel rekening met de volgende indicatieve nauwkeurigheden:

- Veldopname + + + +
- Analoge tekening + +
- Luchtfoto's +
- Digitale ondergronden + + +
- Kentallen -

In de praktijk kunnen afwijkingen hoger uitvallen. Uiteraard is de feitelijk te realiseren nauwkeurigheid sterk afhankelijk van de kwaliteit van het basismateriaal dat u gebruikt en de precisie waarmee u de werkzaamheden uitvoert. Bij alle gebruikte technieken (behalve de gedetailleerde veldopname) blijft onzekerheid bestaan over het wel of niet aangesloten zijn van verschillende oppervlakken. In de praktijk blijkt dat voor bepaalde wijktypen het wel of niet opnemen van op- en afritten naar percelen een afwijking tot tien procent kan veroorzaken. Het is dus erg belangrijk dat u in de inventarisatie nagaat of gegevens over het wel of niet aangesloten zijn van deze oppervlakken beschikbaar zijn.

Naast fouten in bepaling van grootte, locatie en type, kan op lokaal niveau een toewijzingsfout ontstaan. Hierdoor wordt bijvoorbeeld een put of streng onrealistisch zwaar belast. Dat kan in de berekening leiden tot 'water op straat'. Vooral bij beginstrengen of zeer grote dakoppervlakken speelt dit aspect een rol.

Voor de juistheid van de hydraulische berekeningen is een correcte bepaling van het afvoerend oppervlak erg belangrijk. Besteed hieraan daarom bij de voorbereiding van een onderzoek naar het hydraulisch functioneren van een rioelstelsel veel aandacht. In de praktijk blijkt dat onnauwkeurigheden in het afvoerend oppervlak sterk doorwerken in de rekenresultaten, vooral bij de werking van overstorten.

5.3.8 Rapportage

Rapporteer de resultaten van de bepaling van type, omvang en lozingslocatie van afvoerende oppervlakken bij voorkeur in de vorm van een tekening. Hierin geeft u met kleurcodes het type van de afvoerende oppervlakken aan. In dezelfde tekening kunt u aangeven welke begrenzingen van de waterscheidingen u hebt gehanteerd. Bijlage 11 geeft een voorbeeld.

In de rapportage moet ook staan:

- welk basismateriaal u hebt gehanteerd (inclusief opnamedatum);
- welke methode(n) u hebt gebruikt voor de vaststelling van de aard, omvang en locatie van de oppervlakken;
- welke toewijzingstechniek u hebt gehanteerd.

Verder geeft u in het 'SUF-HYD gegevens' (zie hoofdstuk 9, [14], hierin staan de gegevens van het rioleringsmodel) per streng en/of put het type en de omvang van het daarop afvoerende oppervlak weer.

5.3.9 Registratie

Na realisatie van een nieuwbouwplan kunt u het best met revisiegegevens of een veldopname de gehanteerde uitgangspunten (kentallen) verifiëren. Sla de verzamelde resultaten op de binnen de organisatie gebruikte methode op. Zo ontstaat eenduidigheid en zijn de gegevens voor toekomstig gebruik beschikbaar.

Als eerste indicatie voor het verharde afvoerende oppervlak kunt u van de waarden in tabel 5.1 uitgaan.

Inrichting	Verhardingspercentage
open bebouwing (nieuwbouwwijken)	circa 50%
dichte bebouwing (inbreidingen, wijkrenovatie)	60% - 100% (afhankelijk van de omvang, grotere inbreidingen kennen vaak een lager percentage)
industrieterreinen	circa 80%, waarvan ongeveer de helft uit dakoppervlakken bestaat

Tabel 5.1 Indicatie van het afvoerende oppervlak

De verwachting is dat de gangbare praktijk, waarin alleen voor de riolering regelmatig een actualisering plaatsvindt, verdwijnt. In de toekomst kunt u via vastgoedregistratie en geografische informatiesystemen steeds een actueel beeld van de afvoerende oppervlakken verkrijgen. Daarbij verdient ook de registratie van niet-aangesloten afvoerende oppervlakken uw aandacht. Afkoppeling van bepaalde aangesloten afvoerende oppervlakken houdt in dat elders wordt geloosd. Binnen het stedelijk waterbeheer is het dan belangrijk dat u het lozingspunt van een dergelijk oppervlak registreert.

6 Rapportage

6.1 Algemeen

Na de hydraulische berekeningen rapporteert u de resultaten. Behalve tekst gebruikt u ook grafische presentaties en tabellen. Hiervan geeft deze module voorbeelden. Het niet-stationair rekenen, vooral een reeksrekening, kan tot een grote hoeveelheid rekenresultaten leiden. Een schriftelijke presentatie is dan onoverzichtelijk. Maak er daarom een digitaal bestand van waaruit u detailinformatie kunt ophalen. In het 'SUF-HYD, resultaten berekeningen' (zie hoofdstuk 9, [15]) staat hoe u de rekenresultaten in bestanden opneemt. Ook gaat [15] in op de samenhang en de toegankelijkheid van de rekenresultaten.

In dit hoofdstuk staan de onderdelen die u in elk geval in de schriftelijke rapportage moet opnemen: de basisinformatie (invoergegevens) en de rekenresultaten (uitvoergegevens).

6.2 Basisinformatie

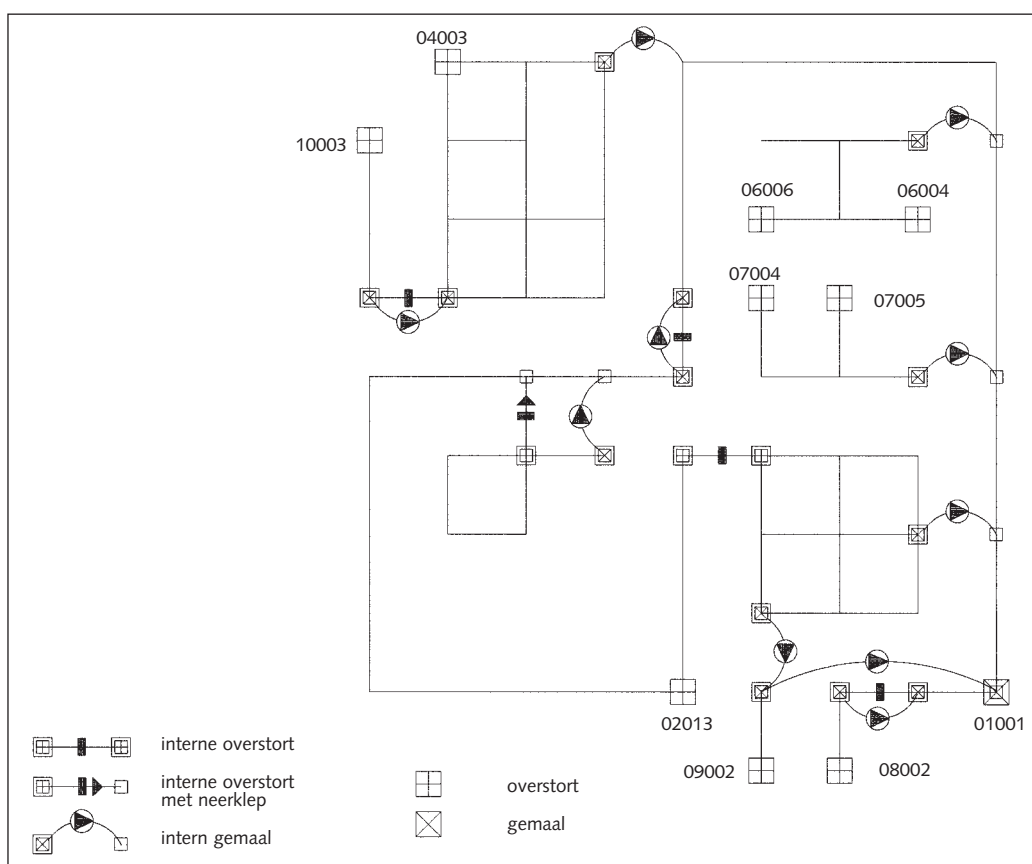
6.2.1 Programmatuur

In de rapportage moet u aantonen dat de gebruikte programmatuur aan de voorwaarden voldoet, zoals omschreven in paragraaf 3.4.1. Ook rapporteert u de gebruikte waarden van reken- en uitvoerstep (zie bijlage 6).

6.2.2 Rekenparameters

In de rapportage neemt u ook de gehanteerde rekenparameters op. In bijlage 2 staan de rekenparameters die u vooraf moet vaststellen. Gebruikt u hiervoor defaultwaarden, dan is een verwijzing naar bijlage 2 genoeg. Gebruikt u zelf vastgestelde waarden, dan moet u de gebruikte rekencoëfficiënten toelichten en onderbouwen.

Figuur 6.1 Voorbeeld grafische weergave geometrie rioleringsmodel



6.2.3 Geometrie rioleringsmodel

De geometrie van het rioleringsmodel moet u grafisch weergeven in de rapportage. Neem in elk geval de locaties en identificaties van de in- en externe overstorten, gemalen, uitlaten en bijzondere constructies (zoals randvoorzieningen) op. In figuur 6.1 staat een voorbeeld van een grafische weergave.

6.2.4 Afvoerende oppervlakken

Rapporteer hoe u het afvoerend oppervlak hebt geschematiseerd, bepaald en toegedeeld (zie paragraaf 5.3). De gegevens van de aard en grootte van de aangesloten afvoerende oppervlakken moeten ten minste in digitale vorm beschikbaar zijn. Ook is een grafische weergave handig, met naast de aard en grootte van het afvoerend oppervlak de locatie waarop het afvoert.

6.2.5 Neerslagbelastingen

Als u uitsluitend de standaardneerslaggebeurtenissen gebruikt, kunt u in de rapportage hiernaar verwijzen. Gebruikt u andere neerslaggebeurtenissen, neem dan het intensiteitsverloop van deze gebeurtenissen op in de rapportage.

6.2.6 Droogweerafvoer en bijzondere lozingen

Geef in de rapportage aan hoe u de droogweerafvoer en bijzondere lozingen hebt geschematiseerd, onderverdeeld en toegedeeld (zie paragraaf 4.4 en 5.2.10). De gegevens van de grootte en aard van de dwa moeten minimaal digitaal beschikbaar zijn. Het is verstandig een grafische weergave van elke locatie met een bijzondere lozing (inclusief het debietsverloop in de tijd) in de rapportage op te nemen.

6.3 Rekenresultaten

6.3.1 Gebeurtenisberekeningen

De primaire rekenresultaten van de gebeurtenisberekeningen zijn het tijdsafhankelijke verloop van de:

- debieten in alle verbindingen;
- stroomsnelheden in alle verbindingen;
- waterstanden in alle knopen.

Deze rekenresultaten (uitvoergegevens) moeten per neerslaggebeurtenis beschikbaar zijn.

Vanwege de hoeveelheid moet u de uitvoergegevens in digitale bestanden opnemen, zoals beschreven in 'SUF-HYD, resultaten berekeningen' (zie hoofdstuk 9, [15]). De rapportage beperkt zich tot de plaats, duur en omvang van 'water op straat'. Ook moet u de locaties met een geringe waking (bijvoorbeeld minder dan 0.20 m) rapporteren.

In tabellen 6.1 en 6.2 staat hoe u de genoemde gegevens kunt weergeven.

Neerslagbelasting: Standaardneerslaggebeurtenissen code 01 t/m 10										
Situatie rioelstelsel: Didactisch rioelstelsel situatie 1995, inclusief randvoorzieningen										
Datum berekening: 9505018										
geb/ knp(-)	Duur 'water op straat' per neerslagebeurtenis in minuten									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
01013						1		13	34	46
01014								11	33	47
01016									21	40
02001									23	42
02002									30	45

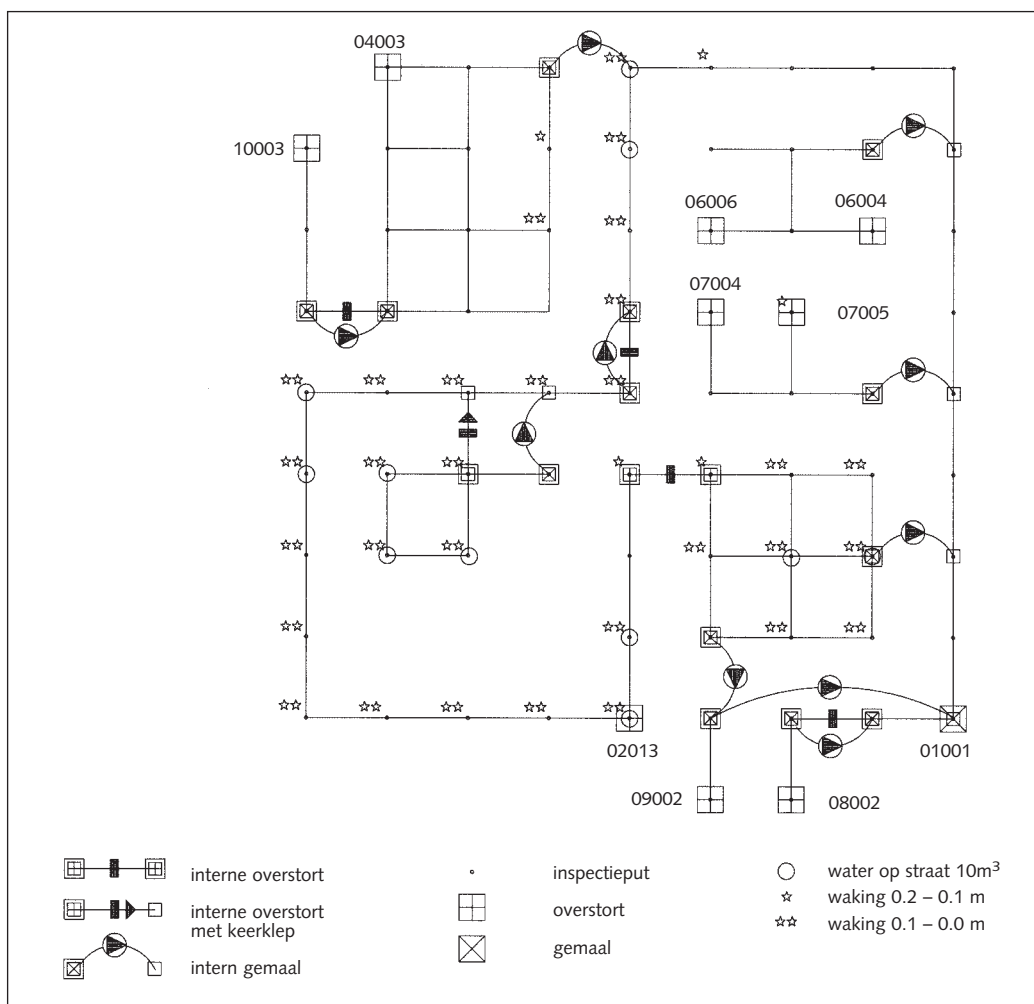
Tabel 6.1 Duur van 'water op straat' per knoop

Neerslagbelasting: Standaard neerslaggebeurtenissen code 01 t/m 10										
Situatie rioelstelsel: Didactisch rioelstelsel situatie 1995, inclusief randvoorzieningen										
Datum berekening: 9505018										
geb/ knp(-)	Minimumwaking (m) per neerslaggebeurtenis									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
01012						0.17	0.19	0.12	0.04	-0.08
01013						-0.01	0.01	-0.06	-0.14	-0.27
01014						0.02	0.04	-0.04	-0.12	-0.25
01015						0.16	0.18	0.10	0.01	-0.12
01016						0.11	0.13	0.04	-0.04	-0.18

Tabel 6.2 Overzicht knopen met minimum waking < 0.2 m

Naast deze twee tabellen is het verstandig een grafische weergave in de rapportage op te nemen. Daarin staan per gebeurtenisberekening de 'water op straat'-locaties en de locaties met een geringe waking (zie figuur 6.2).

Figuur 6.2 Weergave waking en 'water op straat'



Om de berekeningen te kunnen controleren, moet u van elke gebeurtenisberekening de waterbalans rapporteren. U kunt het best het verloop van de waterbalans in de tijd opnemen, zoals staat beschreven in 'SUF-HYD, resultaten berekeningen' (zie hoofdstuk 9, [15]).

6.3.2 Reeksberoeeningen

De primaire rekenresultaten van de reeksberoeening beschrijft u met het tijdsafhankelijke verloop van de debieten van de overstorten, uitlaten en gemalen. De waterbalans van de berekeningen rapporteert u over de gehele periode.

Neem per overstort en uitlaat minimaal de volgende gegevens op:

- de totaal overgestorte hoeveelheid over de reeksperiode;
- de gemiddeld jaarlijks overstortende hoeveelheid;
- het totale aantal overstortingen;
- het gemiddelde aantal overstortingen per jaar;
- het procentuele aandeel van de overstorting op de totale (in de hele reeksberoeening via deze overstort) overgestortingsvolume;
- per overstorting de volgende kengetallen:
 - begindatum en -tijdstip;
 - bruto en netto overstortingsduur;

- overstortingsvolume;
- maximaal overstortingsvolume in vijf minuten of maximaal debiet;
- maximaal overstortingsvolume in vijftien minuten of maximaal debiet;
- maximaal overstortingsvolume in dertig minuten of maximaal debiet.

(De definities van de genoemde begrippen staan in bijlage 5.)

Tabel 6.3 geeft een voorbeeld van een chronologische uitvoer in tabelvorm.

Neerslagbelasting: De Bilt, 15 minuten 1955-1979							
Situatie rioelstelsel: Didactische rioelstelsel situatie 1995, inclusief randvoorzieningen							
Overstortlocatie: 09002							
Datum berekening: 950525							
Begin- datum (jjmmdd)	Begin- tijd (hh:mm)	Overstortingsduur (min)		Hoeveel- heid (m ³)	Maximale hoeveelheid per periode van x minuten (m ³)		
		netto	bruto		X=05	X= 15	X= 30
560709	16:05	135	145	1499.9	228.8	375.1	569.5
560716	16:48	42	45	1230.1	250.0	666.7	1162.6
560718	18:02	16	30	276.0	148.6	237.8	276.0
560724	05:13	72	80	384.1	153.0	212.6	287.8
560825	05:19	125	130	3650.9	252.0	668.7	1176.0
560911	22:07	17	55	328.7	242.4	242.4	299.5
561005	17:57	20	20	101.4	43.1	93.1	101.4
570317	14:38	37	50	359.1	213.9	213.9	324.9

Tabel 6.3 Resultaten per overstort: volgorde gebeurtenissen chronologisch

<i>Term/afkorting</i>	<i>Toelichting</i>
netto duur	netto duur gebeurtenis (exl. tussenliggende pauzes), zie bijlage 6
bruto duur	bruto duur gebeurtenis (incl. tussenliggende pauzes), zie bijlage 6
hoeveelheid	totale overgestorte hoeveelheid (overstortingsvolume)
<i>maximale hoeveelheid per periode van x minuten</i>	<i>maximale overgestorte hoeveelheid gedurende x minuten, (maximumdebiet = maximale hoeveelheid per x minuten)</i>

Berekeningsresultaten van reeksrekeningen kunt u statistisch eenvoudig bewerken. In bijlage 7 vindt u hiervan een voorbeeld. De resultaten van dergelijke statistische bewerkingen kunt u in de rapportage opnemen.

Per gemaal rapporteert u minimaal de volgende gegevens:

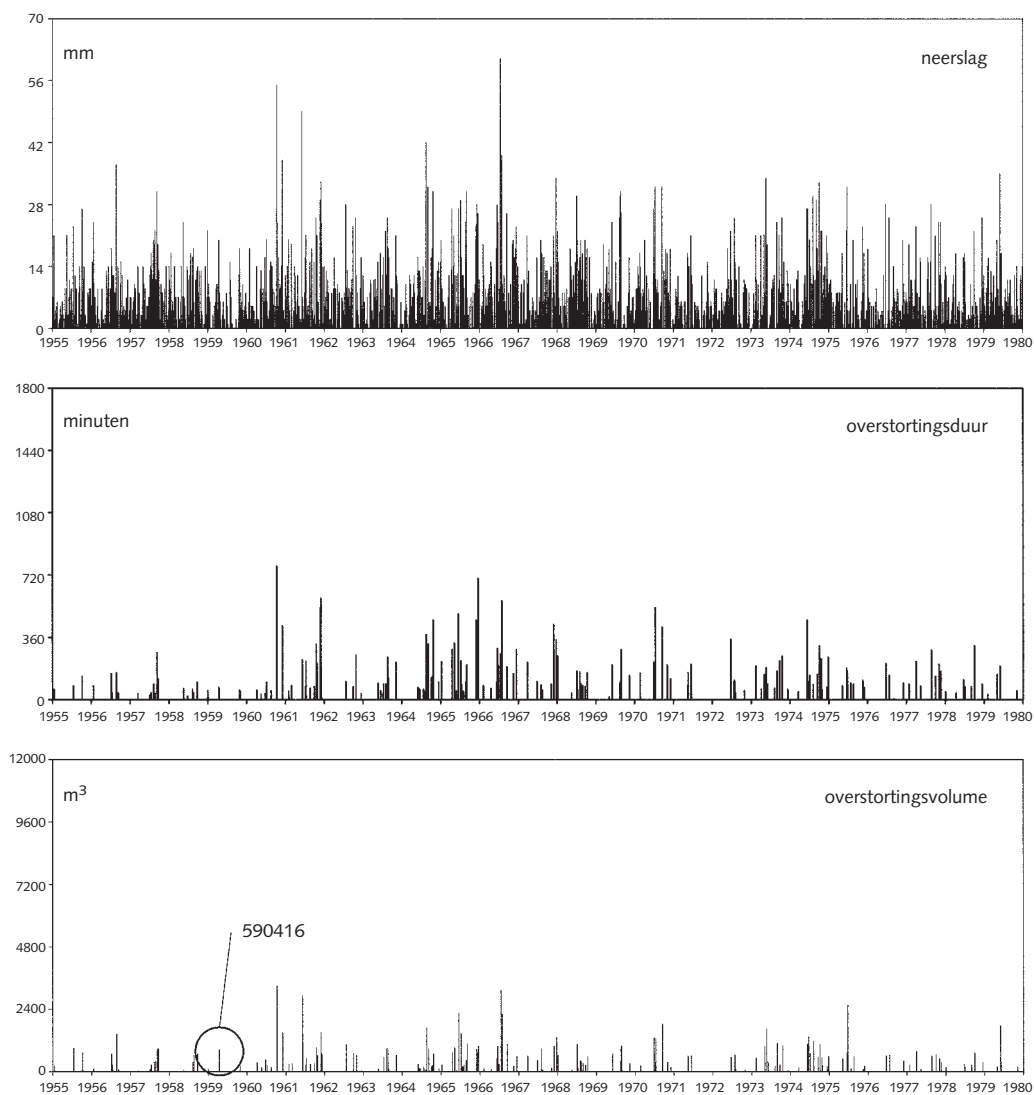
- gemiddeld jaarlijks verpompte hoeveelheid;
- per overstorting de volgende kentallen:
 - bruto en netto pompduur;
 - verpompte hoeveelheid.

U hoeft alleen het gedrag van gemalen tijdens overstortingen te rapporteren, omdat deze module vooral is gericht op de werking van gemalen in relatie tot het optreden van overstortingen. Als u ook gegevens wilt van het gedrag tijdens droogweerperioden, kunt u hiervoor [15] (zie hoofdstuk 9) gebruiken. Bijvoorbeeld om inzicht te krijgen in de ritmiek van het aanbod van afvalwater op de rwzi.

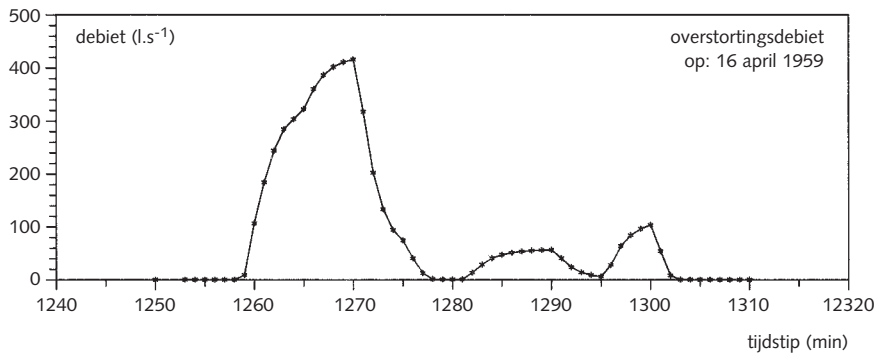
Grafische weergave rekenresultaten

Naast de uitvoer in tabelvorm neemt u in de rapportage een compacte grafische weergave van de rekenresultaten op. Door per overstort een dagsomgrafiek te maken, krijgt u snel een indruk van de werking van deze overstort. In figuur 6.3 staat daarvan een voorbeeld. In deze figuur is de dagsom van de neerslag getekend in een 25-jarige reeks (bovenste grafiek). Daaronder staan voor een overstort twee dagsomgrafieken bij deze reeks. Één dagsomgrafiek geeft de totale overstortingsduur weer, de ander het overstortingsvolume. Als een overstortingsgebeurtenis drie dagen duurt, presenteert u het alsof de gehele hoeveelheid op de eerste dag is overgestort. De dagsomgrafiek van de neerslag is anders gedefinieerd. Deze laat de hoeveelheid neerslag tijdens een etmaal zien. Dit verschilt omdat u met dagsomgrafieken van overstorten snel overstortingsgebeurtenissen met een grote overstortingshoeveelheid wilt herkennen.

Figuur 6.3 Dagsomgrafieken: neerslag, overstortingsduur en overstortingshoeveelheid



Figuur 6.4 geeft de omcirkelde overstrooming uit figuur 6.3 gedetailleerd weer. De grafiek laat het verloop van het overstortingsdebiet gedurende de dag zien.



Figuur 6.4 Voorbeeld detailverloop overstorting

6.3.3 Resultaten controleprocedure

Als u voor reeksberekeningen een aangepast model gebruikt, moet u dit model toetsen aan het hydraulisch functioneren van het volledige model (zie paragraaf 3.3). Als resultaten sterk van elkaar afwijken, moet u het aangepaste model opnieuw aanpassen. Deze paragraaf kwantificeert de maximaal toelaatbare afwijkingen tussen het volledige model en het aangepaste model. Bepaal deze afwijkingen voor de volgende standaardneerslaggebeurtenissen: 02, 04, 06, 08 en eventueel 09 of 10. Voor de toetsing vergelijkt u de overstortings-, uitlaat- en verpompte hoeveelheden. De hierna gegeven afwijkingen gelden voor iedere individuele constructie.

Per externe overstort, uitlaat en gemaal maakt u een tabel, waarin u per gebruikte neerslaggebeurtenis de hoeveelheid volgens beide gebruikte modellen noteert. Neem ook de vormfactor α_i in deze tabel op. Deze vormfactor is gelijk aan het absolute verschil tussen de twee berekende hoeveelheden, gerelateerd aan de totale hoeveelheid van het volledige model. In formulevorm wordt de vormfactor als volgt uitgedrukt:

$$\text{als } \int_{t_s}^{t_e} |Q_{vulli}(t)| dt \neq 0 \text{ dan } \alpha_i = 1 - \left| \frac{\int_{t_s}^{t_e} |Q_{vulli}(t) - Q_{aan_i}(t)| dt}{2 * \int_{t_s}^{t_e} Q_{vulli}(t) dt} \right| \quad (1)$$

$$\text{als } \int_{t_s}^{t_e} |Q_{vulli}(t)| dt = 0 \wedge \int_{t_s}^{t_e} |Q_{aan_i}(t)| dt \neq 0 \text{ dan } \alpha_i = 0 \quad (2)$$

$$\text{als } \int_{t_s}^{t_e} |Q_{vulli}(t)| dt \neq 0 \wedge \int_{t_s}^{t_e} |Q_{aan_i}(t)| dt = 0 \text{ dan } \alpha_i = 0 \quad (3)$$

$$\text{als } \int_{t_s}^{t_e} |Q_{vulli}(t)| dt = 0 \wedge \int_{t_s}^{t_e} |Q_{aan_i}(t)| dt = 0 \text{ dan } \alpha_i = 1 \quad (4)$$

waarin:

$$t_s = \min(t_{svoll}, t_{saan})$$

$$t_e = \max(t_{evoll}, t_{eaan})$$

en

Q_{voll} overstortingsdebit volledig model
 Q_{aan} overstortingsdebit aangepast model
i overstortidentificatie
 t_s starttijdstip
 t_e eindtijdstip

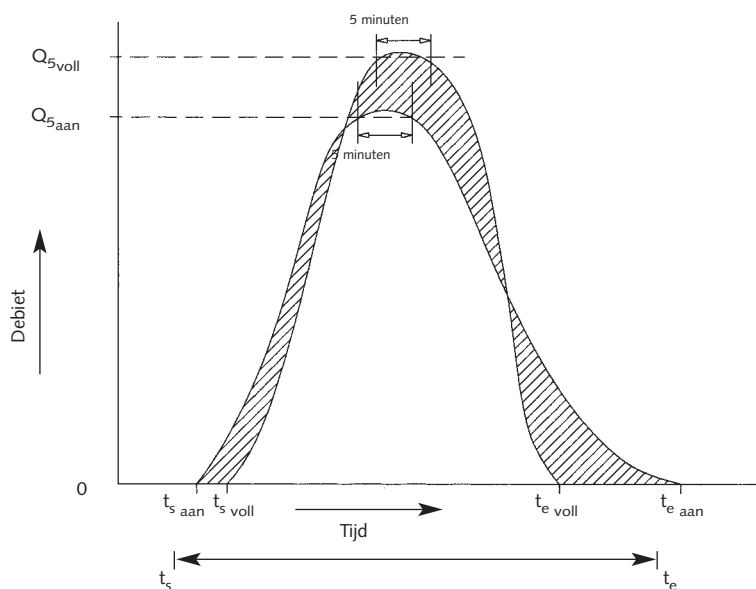
De vormfactor wijkt van de ideale waarde 1.0 af, zodra de vorm van het hydrogram tussen beide modellen niet identiek is of als er verschil is tussen de start en het eindtijdstip van de overstorting.

Figuur 6.5 licht de vormfactor (α_v) grafisch toe. Het gearceerde gedeelte is het absolute verschil tussen de twee berekende overstortingshoeveelheden. Rapporteer de verzamelde gegevens in een tabel. Hiervan geeft tabel 5 een voorbeeld. Het hydraulisch gedrag van het aangepaste model is correct als alle hiervoor aangegeven standaardneerslaggebeurtenissen voldoen aan: de vormfactor $\alpha_{vil} > 0.80$.

In de praktijk blijkt dat met name overstortingen met zeer kleine debieten en/of overstortingsvolumen minder makkelijk aan het gestelde criterium van de vormfactor voldoen. Incidenteel kunt u van de grenswaarde afwijken. Bijvoorbeeld bij overstorten (of uitlaten of gemalen) waarvan u aannemelijk kunt maken dat:

- het niet geheel correct weergeven van het gedrag geen grote invloed heeft op het functioneren van het gehele model;
- de betreffende constructie geen significante rol speelt bij waterkwaliteits- of waterkwantiteits-overwegingen.

Figuur 6.5 Vormfactor

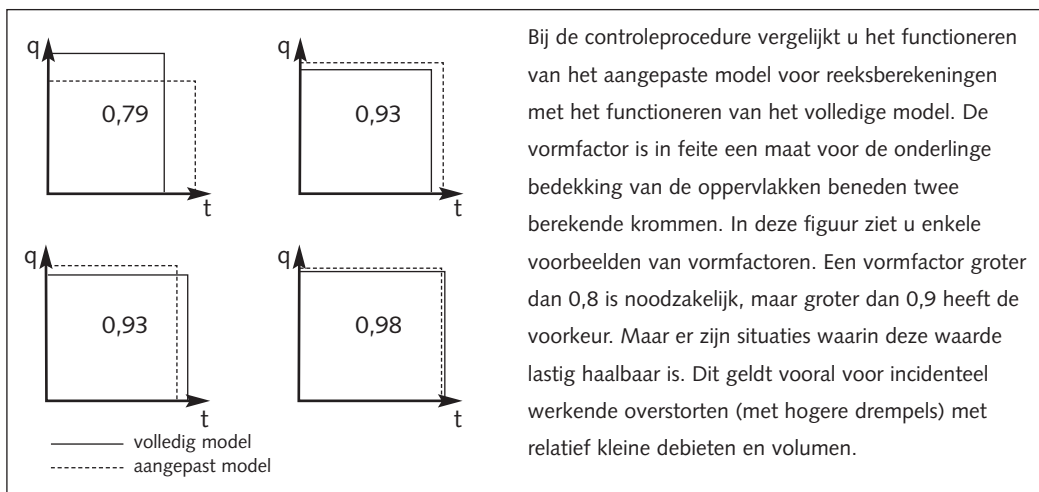


In de rapportage van de controleprocedure moet u in elk geval de vormfactor opnemen. Verder kunt u facultatief de kentallen (zoals in tabel 6.5) opnemen. Deze kentallen kunnen richtinggevend zijn voor een eventuele aanpassing van het aangepaste model, als de resultaten van dit model niet correct zijn.

Tabel 6.5 Resultaten
controleprocedure overstorten
voor neerslaggebeurtenis 07

Neerslagbelasting: Standaardneerslaggebeurtenis code 07 (T= 2 jaar, piek voorin)													
Situatie rioolstelsel: Didactisch rioolstelsel situatie 1995, inclusief randvoorzieningen													
Datum berekening: 950518													
gb1/ kn1 (-)	gb2/ kn2 (-)	begin- tijd (min)	hoeveel- heid		duur (min)		max. hoev. m ³		vorm- factor (-)	verhouding aangepast model/volledig model			
			m ³	(%)	netto	bruto	1 min	5 min		v	q1	q5	d
02013	-	19	298	11	27	27	24	107	.99	1.02	1.01	0.95	0.96
04003	-	27	9	0	9	9	2	6	.99	1.01	1.06	0.96	0.90
06004	-	22	123	5	49	49	5	26	.99	1.01	0.97	0.99	0.98
06006	-	22	123	5	49	49	5	26	.99	1.01	0.97	0.99	0.98
07004	-	30	132	5	46	49	5	28	.98	1.03	0.98	1.14	0.82
07005	-	21	83	3	42	56	4	18	.94	0.88	0.99	1.01	1.21
08002	-	32	1858	71	40	40	89	444	.98	1.04	0.97	0.98	1.00
09002	-												
10003	-												

<i>Term/afkorting</i>	<i>Toelichting</i>
gb1/kn1	gebied- en knoopcode knoop 1
gb2/kn1	gebied- en knoopcode knoop 2 (0 voor externe lozing)
begintijd t_s	tijdstip begin overstortingsgebeurtenis
hoeveelheid	totale hoeveelheid overstortingsgebeurtenis in m ³ en % van totaal volledig model
netto duur	netto duur overstortingsgebeurtenis (exclusief tussenliggende pauzes)
bruto duur	bruto duur overstortingsgebeurtenis (inclusief tussenliggende pauzes)
vormfactor	factor om het debietsverloop, berekend met het aangepaste en volledige model voor een gebeurtenis, onderling te kunnen vergelijken
v	verhouding totale overstortingshoeveelheid aangepast/volledig model
q1	verhouding maximumhoeveelheid per één minuut aangepast/volledig model
q5	verhouding maximumhoeveelheid per vijf minuten aangepast/volledig model
d	verhouding overstortingsduur aangepast/volledig model



Figuur 6.6 Voorbeelden
waarden vormfactor

6.3.4 Real time control

Bij actieve sturing van bepaalde voorzieningen in het rioleringsmodel moet u zich aan de volgende regels houden:

- Neem de gebruikte sturingsregels op in de rapportage.
- Als u een aangepast model gebruikt, moet u bij de controleprocedure elk element dat onder werking van de sturingsregels valt in dit model opnemen. Ook moet u de gehanteerde sturingsregels tijdens de controleprocedure ten minste eenmaal daadwerkelijk gebruiken.

7 Analyseren en toetsen

7.1 Consistentie

Bij de beoordeling van de consistentie van een berekening gaat u in feite na of u geen onzin hebt uitgerekend. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door een slechte schematisering, foutieve rekenparameters of fouten in de geometrie.

Voor de beoordeling van de consistentie van een berekening zijn geen algemene procedures die alle voorkomende praktijkgevallen dekken. Wel vindt u hier enkele aandachtspunten bij het doornemen en gebruiken van rekenresultaten:

- controleer met een grafische weergave de netwerkstructuur;
- controleer of alle aangesloten afvoerende oppervlakken zijn toegewezen aan knopen of verbindingen;
- controleer de schematisering van bijzondere constructies, zoals randvoorzieningen;
- maak een gevoeligheidsanalyse voor een parameter als deze (bijvoorbeeld een lokale verliesfactor) niet bekend is en vermoedelijk essentieel is voor de resultaten;
- controleer of en hoe gemalen hebben gefunctioneerd;
- controleer of en hoe in- en externe overstorten hebben gefunctioneerd;
- toets de rekenresultaten aan waarnemingen.

7.2 Nauwkeurigheid

Nauwkeurigheid is hier de interne nauwkeurigheid van de berekeningen, dus niet de juistheid in de zin van werkelijkheidsgehalte.

Op detailniveau is een niet-stationaire berekening een sterk iteratief rekenproces, dat wordt gekenmerkt door vele rekenkundige bewerkingen. Binnen elk rekenproces worden (af rondings)fouten gemaakt. In de praktijk blijkt dat deze fouten bij normaal verloopende berekeningen binnen kleine marges blijven. Treedt u daarbuiten, dan moet u de rekenresultaten kritisch bekijken. Meestal nemen fouten toe zodra bijvoorbeeld instabiliteiten optreden. Als praktische maat hanteert deze module de sluitfout in de waterbalans binnen de berekening. Dit is geen feilloze nauwkeurigheidscategorie, maar moet u zien als indicator voor fouten in het rekenproces of de invoergegevens. In de gebeurtenisberekeningen is de grens aan de toelaatbare fout in de waterbalans twee procent. Deze grens is op basis van praktijkervaring vastgesteld. De waterbalans is als volgt gedefinieerd:

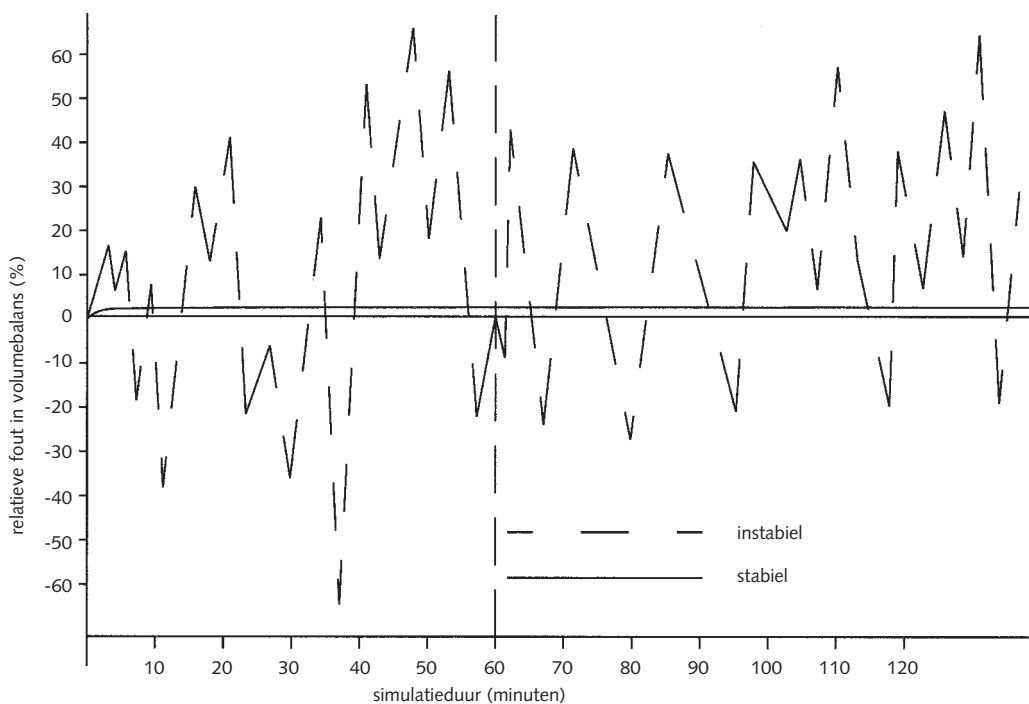
$$B = \frac{I - O - G - \Delta V}{I} * 100\%$$

Bij de beoordeling van de consistentie van berekeningen zijn grafische weergaven van de gebruikte gegevens praktisch onmisbaar. In hoofdstuk 6 vindt u hiervan voorbeelden.

waarin:

- B waterbalans
- I ingestroomde hoeveelheid
- O uitgestroomde hoeveelheid (externe overlaten, uitlaten etc.)
- G de verpompte hoeveelheid (externe gemalen)
- ΔV verschil tussen in het model en als 'water op straat' aanwezige water bij begin en einde van de berekening

Om globaal van een voldoende nauwkeurige berekening te kunnen spreken, moet de relatieve fout in principe minder dan twee procent bedragen. Maar verschillende onnauwkeurigheden kunnen elkaar in een totale berekening opheffen. Ook kan een relatieve fout aan het einde van een simulatie toevallig onder de twee procent liggen.



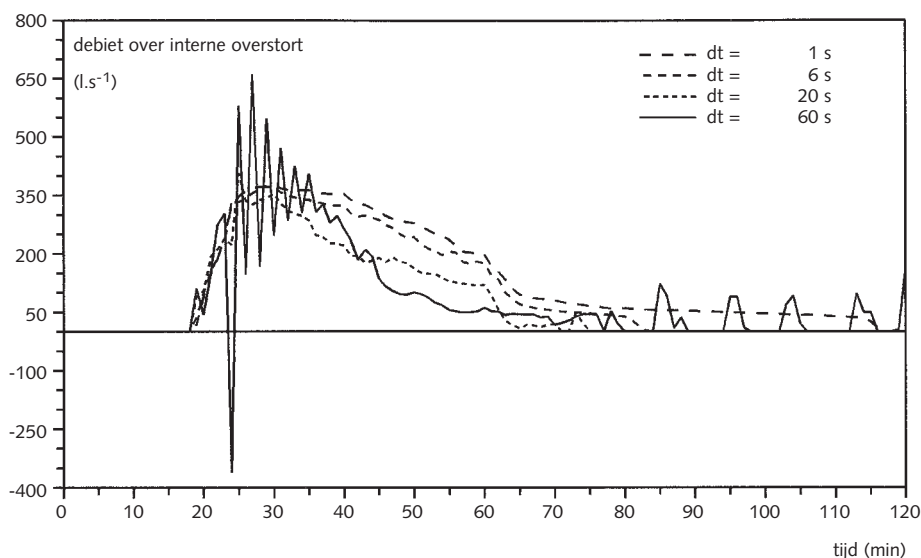
Figuur 7.1 Relatieve fout in de waterbalans als functie van de simulatieduur

In figuur 7.1 staat een voorbeeld van een instabiele berekening. Als u de berekening na zestig minuten simulatieduur afbreekt, is de relatieve fout toevallig nul procent. Terwijl de continue waterbalans van de berekening een uitermate instabiel verloop laat zien. Het is daarom verstandig een berekening op meer aspecten te controleren dan alleen de waterbalans aan het einde van de simulatie. U kunt het best het continue verloop van de waterbalans controleren voor het gehele stelsel of voor individuele knooppunten. De stabiliteit van waterstanden en debieten kunt u bijvoorbeeld steekproefsgewijs controleren voor strengen en overstorten.

Als u een berekening maakt bij twee in grootte verschillende rekentijdstappen, hebt u eenvoudig een schatting van de nauwkeurigheid. Ter illustratie staat in figuur 7.2 het resultaat van een berekening bij verschillende tijdstappen.

De invloed van de tijdstapgrootte is duidelijk zichtbaar. Bij tijdstappen van één, zes en twintig seconden zien de resultaten er geloofwaardig uit. Hoewel de resultaten van de berekening met een tijdstap van twintig seconden erg onnauwkeurig zijn en een begin van instabiliteit vertonen. Bij een tijdstap van zestig seconden treedt instabiliteit op.

Figuur 7.2 Invloed rekentijd-
stip op stabiliteit



7.3 Stabiliteit

Voor opsporing van numerieke instabiliteiten in de berekeningen is er geen algemene procedure die praktisch hanteerbaar is. Hiervoor zou u de waterstand/tijd-relatie van elke knoop en de debiet/tijd-relatie van elke verbinding moeten bestuderen. Bij opsporing van instabiliteiten zijn twee zaken van belang: waar en wanneer begint de instabiliteit?

Nauwkeurigheid en stabiliteit van een berekening hangen nauw met elkaar samen. Stabilisering van het rekenproces kan tot minder nauwkeurige resultaten leiden. Twee voorbeelden van beheersing van stabiliteitsproblemen zijn:

- versoepeling van de overgang van een gedeeltelijk naar een geheel gevulde toestand in een leiding;
- demping van sterke fluctuaties in waterstanden bij een overstort.

De belangrijkste factor in een berekening hierbij is de tijdstap. Een kleinere tijdstap maakt een berekening stabiel, maar duurt daardoor ook langer. Om een berekening sneller te maken, worden in het rekenmodel daarom vaak stabilisatoren ingebouwd. Dat kan op allerlei manieren:

1 Vergroting van het bergend oppervlak in inspectieputten.

Vooral bij overstorten met brede drempels speelt dit een rol, omdat een kleine variatie in de waterstand een grote variatie in het overstortende debiet kan geven. Ga daarom bij een overstortput uit van realistische afmetingen. Het begintijdstip van instabiliteit kunt u vaak bepalen door de cumulatieve waterbalans van de berekening te bestuderen. Geef tijdstippen waarop plotseling vrij grote veranderingen in de waterbalans optreden extra aandacht.

2 Controle van stroomsnelheden in een berekening.

Vaak zijn extreme stroomsnelheden de eerste signalen van stabiliteitsproblemen.

Deze methoden zijn niet onfeilbaar. Vertrouw daarom op de ervaring en het vakmanschap van degene die de berekeningen uitvoert en analyseert. Het is verstandig in elk geval bijzondere punten (zoals in- en externe overstorten en doorlaten) op stabiliteit te controleren. Zeker als de sluitfout in de waterbalans groter is dan twee procent.

Fysische instabiliteit

Naast numerieke instabiliteit bestaat er fysische instabiliteit. Die is niet altijd direct herkenbaar. Het meest sprekende voorbeeld is het zeer frequent in- en uitschakelen van pompen bij een te kleine pendelberging. Een hoge schakelfrequentie in een berekening kan een gevolg zijn van een foutief invoergegeven. Maar het kan ook werkelijk zo zijn. Ga daarom altijd na wat de oorzaak is.

7.4 Interpretatie

7.4.1 Algemeen

De bij de neerslaggebeurtenissen behorende herhalingsstijd geldt niet voor de herhalingsstijd van de rekenresultaten. Dit houdt in dat bijvoorbeeld een overstortingshoeveelheid van een neerslaggebeurtenis van één keer per twee jaar niet de overstortingshoeveelheid is die één keer per twee jaar voorkomt. Dit geldt ook voor 'water op straat'.

7.4.2 'Water op straat'

Bij interpretatie van 'water op straat' moet u alert zijn op de waarde van de rekenresultaten. Door stroming van water over straat kan een overlastsituatie op een andere locatie liggen dan waar de hydraulische overbelasting van het rioleringsmodel optreedt. De processen die zich afspelen als het water uit het rioolstelsel over het maaiveld stroomt, zijn niet in de berekening opgenomen. Rekenresultaten van duur en omvang van 'water op straat' zijn dus niet meer dan een indicatie voor mogelijk werkelijke wateroverlast.

7.4.3 Overstorten

Het tijdstip waarop overstorten gaan werken, is van belang als u de werking van een rioolstelsel analyseert. Vooral in relatie tot de werking van de gemalen. Vallen de tijdstippen van het in werking treden van overstorten of gemalen vrijwel samen of werkt een overstort eerder dan het gemaal? Zoek hiervoor dan een verklaring. Misschien hebt u een fout in de berekening gemaakt (deze kan zeer divers van aard zijn). Maar het kan ook zijn dat de werkelijkheid correct is weergegeven.

7.4.4 Gemalen

Een indicator van de werking van een gemaal is de berekende schakelfrequentie. Bij een te hoge schakelfrequentie moet u de oorzaak zoeken: foutief ingevoerde schakelpeilen of pendelberging. Als u zulke fouten niet kunt aantonen, gaat u na of de rekenresultaten stroken met de werkelijkheid. Voor het tijdstip van inslag verwijst deze module naar de opmerkingen over het functioneren van de overstorten. Het rekenen met pompovercapaciteit in plaats van pompcapaciteit in reeksberekeningen is een veelgemaakte fout. Dit is niet toelaatbaar.

7.5 Toetsing aan waarnemingen

Verschillen tussen waarnemingen en rekenresultaten worden onder andere veroorzaakt door:

- dat u de werkelijkheid nooit volledig kunt schematiseren;
- kleine onjuistheden in de invoer die grote effecten hebben op het rekenresultaat;
- onzekerheden in de hydraulische belasting. Denk aan definitie, bepaling en toedeling van afvoerende oppervlakken en de weergave van inloopprocessen;
- dat de geometrie van het werkelijke stelsel sterk afwijkt van de in de berekeningen aangenomen situatie. Bijvoorbeeld foutieve maaiveldhoogten, per ongeluk niet verwijderde hulpconstructies (schildmuren), effecten van verzakking of foutieve aansluitingen bij gescheiden stelsels.

De resultaten van zowel de gebeurtenisberekeningen voor 'water op straat' als de resultaten van de reeksberkening kunt u toetsen aan routinematige of doelgerichte waarnemingen. Gebruik daarbij

beschikbare waarnemingen waarmee u onjuistheden in de stelselgeometrie en de bepaling van het afvoerend oppervlak kunt opsporen. Meer informatie over waarnemingen vindt u in de module C2300.

8 Aanbevelingen

8.1 Interpretatie 'water op straat'

In het algemeen kunt u een rioelstelsel dat geen 'water op straat' vertoont bij een belasting met een neerslaggebeurtenis met een herhalingsdijd van twee jaar als voldoende veilig beschouwen. Het is verstandig na te gaan welke neerslaggebeurtenissen wel voor 'water op straat' zorgen. Zo lokaliseert u de 'zwakke plekken' in een rioelstelsel. (Zie bijlage 9.)

8.2 Aangesloten afvoerend oppervlak

Nauwkeurige bepaling van het aangesloten afvoerend oppervlak is van grote invloed op de waarde en de bruikbaarheid van de rekenresultaten. Meestal geven defaultinloopp parameters een veilige weergave van het functioneren van het stelsel. Met meer gedetailleerde informatie kunt u eventuele verbeteringsmaatregelen van een rioelstelsel beter onderbouwen. (Zie paragraaf 5.3 en bijlage 11.)

8.3 Hellende gebieden

Interpretatie van 'water op straat' in hellende gebieden is niet eenvoudig. Als regel wordt de afstroming over de straat niet in de berekeningen opgenomen. Als u aanwijzingen hebt dat deze afstroming significant optreedt, kunt u deze het best schematiseren en in de berekening opnemen. Soms moet u sterk hellende onverharde oppervlakken (zoals aangesloten afvoerend oppervlak) opnemen in de berekeningen. (Zie bijlage 9.)

8.4 Mate van detail van inventarisatie en schematisering

Zoek bij de inventarisatie en schematisering naar een evenwicht in de detaillering van de verschillende onderdelen. Het is bijvoorbeeld niet zinvol te discussiëren over een exacte hydraulische weerstand van een leiding, als u de in- en uitstroomverliezen niet nauwkeurig kent.

8.5 Blik vooruit

Er wordt steeds meer gewerkt vanuit een integrale benadering van watersystemen en rioelstelsels zijn daarvan een onderdeel. Beschouw deze module dan ook niet op zichzelf. Soms is het goed (ook op detailniveau) af te stemmen met berekeningen aan open waterlopen. Verder ligt de relatie met vuiluitworp berekeningen voor de hand in combinatie met berekeningen aan de werking van de rwzi. Zo hebt u een totaalbeeld van de werking van het watersysteem. Met zo'n benadering kunt u verbeteringsmaatregelen beter funderen. Deze module biedt een kader met minimumeisen die aan hydrodynamische rioleringsberekeningen worden gesteld. Binnen dit kader is ruimte voor de ontwikkelingen in het vakgebied.

8.6 Opleiding

Niet-stationaire berekeningen en de interpretatie van de rekenresultaten vragen om een behoorlijke theoretische kennis en praktisch inzicht. Ook is een zekere praktijkervaring nodig om met succes gebruik te kunnen maken van de gepresenteerde rekenmethodes. Als u niet-stationaire berekeningen uitvoert, besteed dan ook de nodige aandacht aan het op peil brengen en houden van het kennisniveau op dit gebied.

9 Literatuur

- 1 Abbot, M. B., Computational Hydraulics, Pitman, 1979.
- 2 Buishand, T. A. en Velds, C. A.; Klimaat van Nederland 1; Neerslag en verdam ping, KNMI, De Bilt, April 1980.
- 3 Chow, Ven te; Open-channel hydraulics, McGraw-Hill, New York, 1959.
- 4 Didactisch rioolstelsel, Voorbeeldberekeningen, Stichting RIONED, 1995.
- 5 Henderson, F. M.; Open channel flow, Mcmillan, New York, 1966.
- 6 Horton, R. E.; An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. In: Proceedings Soil conference science of America, Vol 5, 1940.
- 7 Huisman, L; Stromingsweerstand in leidingen, tweede druk, KIWA, Den Haag, 1969.
- 8 Koot, A. C. J.; Inzameling en transport van afvalwater, Waltman, Delft, 1979.
- 9 Nationale Werkgroep Riolerings en Waterkwaliteit; Neerslag, inloop, overstort model beschrijving en analyse, NWRW publicatie 4.3, Staatsuitgeverij, Den Haag, juni 1989.
- 10 Nikuradse, J.; Strömungsgesetze in rauhen Röhren; In Ver. Deut. Ing. Forschungsheft 361,1933.
- 11 Onderzoek Loenen, berekeningen en metingen, Stichting RIONED, 1995.
- 12 Onderzoek Maartensdijk, berekeningen en metingen, Stichting RIONED, 1995.
- 13 Pedersen, F. B. and Mark, O.; Head losses in storm sewer manholes: submerged jet theory. In: Journal of hydraulic engineering, vol 116 no. 11 nov. 1990, pp. 1317- 1328.
- 14 StandaarduitwisselingsFormaat HYDraulische rioleringsberekeningen, versie 1.00, gegevens, Stichting RIONED, 1995.
- 15 Standaarduitwisselings Formaat HYDraulische rioleringsberekeningen, versie 1.00, resultaten, Stichting RIONED, 1995.
- 16 Vereniging voor landinrichting; Cultuur technisch vademecum, 1992.
- 17 Xia, R and Yen, B. C.; Significance of averaging coefficients in open-channel flow equations . In: Journal of hydraulic engineering, vol. 120, no. 2 february 1994, pp. 169- 190.
- 18 GFO-Riolerings, Vereniging Nederlandse Gemeenten, 1996.
- 19 Rioolvremdwater; onderzoek naar hoeveelheden en oorsprong afvalwater, STOWA, 2003

Trefwoorden

A

afstromingsvertraging	6, 19, 29, 51, 52, 54, 55, 57, 80
afvoercapaciteit	14, 19, 74
afvoerend oppervlak	6, 7, 13, 14, 19, 21, 22, 23, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 46, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 60, 67, 68, 80, 92, 93, 95, 98

B

bedrijfsafvalwater	20, 21
berekeningen	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 24, 26, 28, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 42, 44, 45, 46, 49, 54, 62
berging	7, 11, 14, 19, 22, 24, 29, 45, 47, 49, 53, 55, 56
bevochtiging	51, 56
bewegingsvergelijking	11
bijzondere lozingen	26, 35, 67
bijzondere stroomvoerende constructies	26
bodemverhang	13, 23

C	
continuïteitsvergelijking	11
controleberekening	5
controleprocedure	17, 19, 39, 40, 42, 48, 97
D	
drainagewater	20, 21
droogweerafvoer	7, 13, 17, 20, 22, 35, 48
G	
gebeurtenisberekening	6, 9, 10, 11, 14, 17, 18, 20, 24, 35, 36, 42, 45, 48, 62, 86
gemalen	8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 21, 23, 34, 36, 37, 40, 42, 45, 60, 62, 63
H	
historische neerslagreeks	9, 10
huishoudelijk afvalwater	20
hydraulisch functioneren	5, 7, 8, 9, 14, 18, 22, 24, 27, 32, 39, 62, 68, 94, 96
hydraulische coëfficiënten	7, 21
hydraulische overbelasting	8, 10, 45
I	
infiltratie	27, 28, 29, 31, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 68, 69, 70, 71, 74, 98
inloophydrogram	6, 19, 29, 80
inloopmodel	6, 7, 11, 13, 19, 20, 51, 53, 55, 56, 70, 89, 98
inloopparameters	29, 46, 54, 56
K	
knoop	11, 14, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 41, 44, 61, 62, 66, 67, 68, 69, 70
L	
leidingen	19, 21, 22, 23, 24, 26, 47, 57, 58, 59, 60, 61, 67, 89, 91, 93, 94, 96
M	
modelleren oppervlaktewater	28
N	
neerslagbelasting	7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 35, 54, 74, 92, 94, 96
neerslaggebeurtenissen	6, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 29, 35, 39, 40, 45, 46, 49, 54, 72, 74, 80, 97
neerslagreeks	6, 7, 9, 11, 16, 17, 18, 20, 49, 72, 74, 86, 87, 88, 89, 97, 98

neerslagverlies	51, 53
NWRW 4.3	11, 19, 20, 49, 51, 54, 55, 80
O	
ontwerpberekening	5
onverharde oppervlakken	46, 51
oppervlakteberging	29, 53, 55, 56, 69, 70, 98
overstorten	8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 19, 24, 26, 28, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 45, 49, 60, 63, 67, 74, 90
overstortingen	36, 37, 40, 85, 91, 97
overstortingsfrequentie	7, 89, 90, 91, 97
overstortingshoeveelheid	38, 41, 45, 86, 88
P	
pendelen van pompen	24, 62
plasmovorming	51, 53, 56, 91
praktijkwaarnemingen	5, 8, 12
putten	21, 22, 23, 24, 28, 31, 32, 44, 49, 60, 61, 89, 96
R	
randvoorzieningen	19, 26, 34, 42, 66
rapportage	6, 14, 17, 27, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 98
reeksberekening	6, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 20, 24, 26, 33, 36, 45, 60, 62, 63, 67, 74, 85, 86, 97, 98
rekenmodel	7, 8, 9, 14, 15, 17, 21, 44
rekentijdstap	43, 85, 86
rioleringsberekeningen	5, 7, 10, 46, 47, 72
rioleringsmodel	7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 24, 26, 28, 32, 33, 34, 42, 45, 57, 66, 67
S	
schematiseren	13, 14, 26, 28, 45, 46, 64, 66, 67, 68, 69, 70
statistiek	19
statistische bewerking	7, 37, 86
steekproefkwantielen	72, 86, 88, 98
strickler	58
U	
uitlaten	8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 24, 34, 36, 40
uitstroomverliezen	23, 46, 59, 60
uitvoertijdstap	85, 86

V

verbinding	11, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 35, 42, 44, 62, 63, 65, 66, 67, 69, 70
verdamping	29, 51, 53, 56, 98
volledig model	9, 41, 98
vuiltransportberekening	5
vuiluitworpberekening	10, 46

W

waarnemingen	6, 12, 19, 42, 45, 46, 94, 96
water op straat	7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 18, 19, 26, 27, 32, 35, 36, 45, 46, 55, 67, 91, 92, 93, 94, 95, 96
wateroverlast	7, 8, 45, 91, 92, 93, 94
weerstandsverliezen	22, 61

Bijlage 1 Inloopmodel

Deze bijlage beschrijft het inloopmodel, zoals dit voor het NWRW 4.3-onderzoek is uitgewerkt (zie hoofdstuk 9, [9]). Dit model beschrijft de vervorming in de tijd van het verloop van de neerslag op het afvoerend oppervlak, naar de inloop in het rioelstelsel. De processen die hierbij een rol kunnen spelen, zijn:

- bevochtiging en plasvorming;
- infiltratie;
- verdamping;
- afstromingsvertraging.

1.1 Bevochtiging en plasvorming

Door bevochtiging en plasvorming wordt een deel van de neerslag tijdelijk geborgen op het oppervlak. Onder invloed van verdamping droogt het bevochtigde oppervlak op, terwijl de plasvorming door zowel verdamping als infiltratie kan verdwijnen. Met name de helling van het oppervlak en de toestand van de bestrating zijn van invloed op de plasvorming.

1.2 Verdamping

Verdamping speelt in het neerslagverlies een beperkte rol. Maar de plassen op ondoorlatende oppervlakken ledigen alleen via verdamping. Plassen op onverharde oppervlakken verdwijnen vooral door infiltratie. Voor de verdamping gaat het model uit van maandcijfers van het KNMI volgens Penman. Zo kunt u het seizoenseffect van de verdamping eenvoudig in het model meenemen. De verdampingsnelheid per maand is gelijkgesteld aan de gemiddelde langjarige maandsom, gedeeld door de tijdsduur van de betreffende maand.

Verdamping volgens Penman (mm.dag-1)			
Maand	Maandsom (mm)	Aantal dagen (-)	Verdamping (mm dag -1)
januari	5	31	0.16
februari	15	28	0.54
maart	40	31	1.29
april	70	30	2.33
mei	100	31	3.23
juni	120	30	4.00
juli	110	31	3.55
augustus	90	31	2.90
september	60	30	2.00
oktober	25	31	0.81
november	10	30	0.33
december	5	31	0.16

Tabel B1.1 Verdamping per maand volgens Penman

1.3 Infiltratie

Infiltratie van water in de bodem vindt plaats via doorlatende verharde oppervlakken (zoals klinkerverharding) en onverharde oppervlakken. Vooral de aard van het oppervlak en het vochtgehalte in de bodem bepalen de infiltratiecapaciteit. Ook andere factoren kunnen van belang zijn. Zo is de doorlatendheid van bijvoorbeeld klinkerverhardingen afhankelijk van de toestand van de voegen. De infiltratiecapaciteit van onverhard oppervlak wordt vooral bepaald door de aard van de begroeiing, grondsoort en het vochtgehalte in de bodem. Voor de beschrijving van het verloop van het infiltratieproces gaat deze module uit van Hortons benadering (zie hoofdstuk 9, [6]).

afname infiltratiecapaciteit: $f(t) = f_e + (f_b - f_e) e^{-k_a t}$

herstel infiltratiecapaciteit: $f(t) = f_e + (f_b - f_e) e^{-k_h t}$

waarin:

$f(t)$ infiltratiecapaciteit op tijdstip t ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

f_b maximale infiltratiecapaciteit ($t=0$) ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

f_e minimale infiltratiecapaciteit ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

k_a tijdsfactor afname infiltratiecapaciteit (h^{-1})

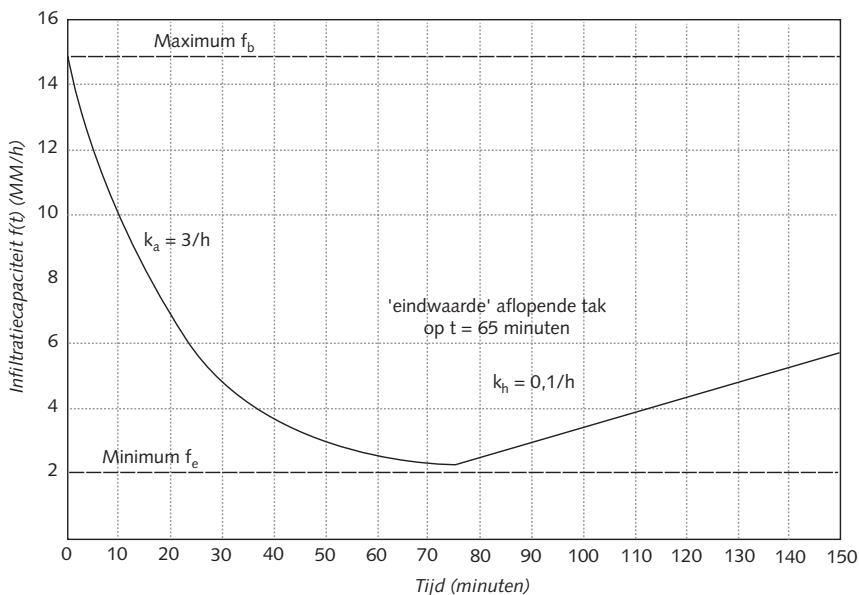
k_h tijdsfactor herstel infiltratiecapaciteit (h^{-1})

t tijd (h)

N.B. De module gaat ervan uit dat bij afname de begininfiltratie gelijk is aan f_e en bij toename de initiële waarde voor f gelijk is aan f_b . Figuur B1.1 geeft een voorbeeld. De eindtijd van de afnametak is 65 minuten. In dat geval bepaalt u het verloop van de infiltratiecapaciteit door:

$$f(t) = f_b - (f_b - f_{\text{eind}}) e^{-k_a (t - t_{\text{eind}})}$$

Figuur B1.1 Infiltratiecapaciteit volgens Horton, afname en herstel



Het tempo van afname en herstel van de infiltratiecapaciteit tussen de maximumwaarde f_b en de minimumwaarde f_e bepaalt u respectievelijk met de tijdsfactoren k_a en k_h .

1.4 Afstromingsvertraging

De afstromingsvertraging bepaalt u met de gemiddelde stromingsafstand tot een instroompunt (bijvoorbeeld een straatkolk), stuwing in goten en de helling en geometrie van het afvoerend oppervlak. Voor de afstroming over het oppervlak naar de riolering gaat deze module uit van de vergelijking:

$$q = c \cdot h$$

waarin:

q rioolloop ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)

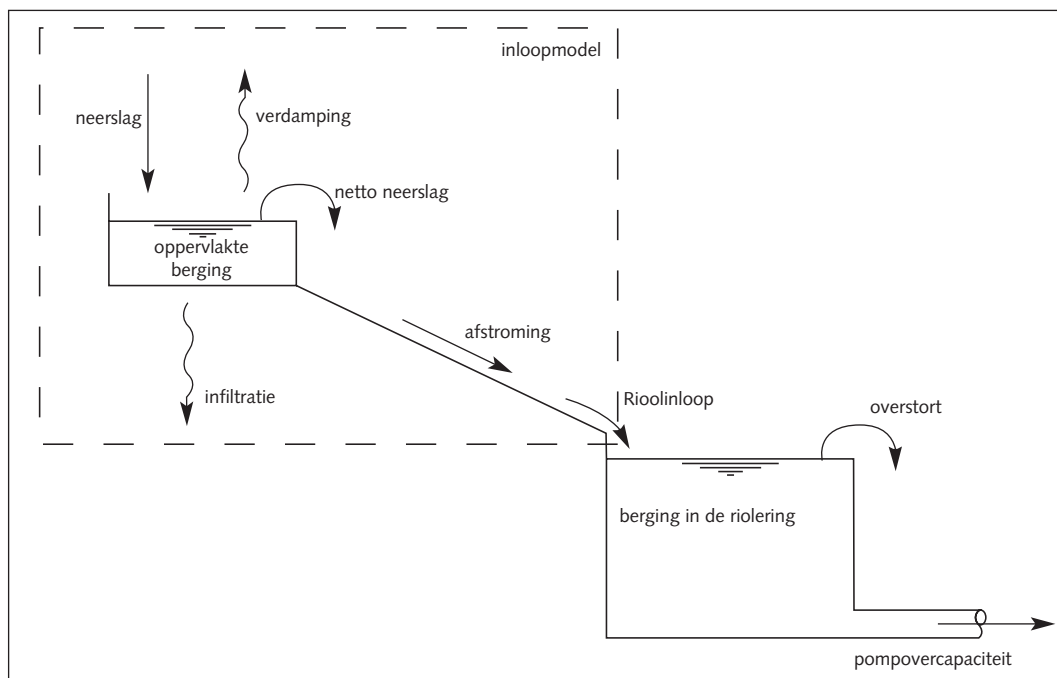
c afstromingsfactor (min^{-1})

h neerslag, dynamisch geborgen op het afvoerend oppervlak (mm)

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

1.5 Beschrijving model

In het inloopmodel schematiseert u de oppervlakteberging tot een reservoir. Hierin wordt de neerslag opgevangen en van hieruit vindt zowel infiltratie als verdamping plaats.



Figuur B1.2 Neerslag-inloop-overstortmodel NWRW 4.3

De overloop uit het reservoir van de oppervlakteberging stroomt af naar de riolering. De 'netto' neerslag die afstroomt, wordt vertraagd door dynamische berging op het afvoerend oppervlak voordat deze afstroomt naar de riolering. Figuur B1.2 geeft dit schematisch weer. Het inloopmodel kent twaalf reservoirs oppervlakteberging voor vier hoofdtypen oppervlak, elk onderverdeeld in drie typen afstroming.

1.6 Afvoerend oppervlak

De aard van het afvoerend oppervlak bepaalt voor een groot deel de effecten van infiltratie en oppervlakteberging. In klinkerbestrating kan bijvoorbeeld neerslag infiltreren, terwijl asfaltverharding zo goed als ondoorlatend is. In tegenstelling tot bijvoorbeeld hellende dakoppervlakken kan op een vlak dakoppervlak aanzienlijke plasvorming optreden. De infiltratie in de bodem vindt vooral plaats via doorlatende verharde oppervlakken (zoals klinkerverharding) en onverhard oppervlak.

Onderscheid voor schematisering van het neerslagverlies in het model vier hoofdtypen afvoerend oppervlak:

- gesloten verhard oppervlak;
- open verhard oppervlak;
- dakoppervlak;
- onverhard oppervlak.

Gesloten verhard oppervlak is een ondoorlatende wegverharding, zoals asfaltverharding. Open verhard oppervlak is doorlatende bestrating, zoals tegel- en klinkerverhardingen.

Onderscheid voor schematisering van de afstroming in het model drie typen afstroming:

- hellend oppervlak;
- vlak oppervlak;
- vlak uitgestrekt oppervlak.

Hellend oppervlak is een oppervlak met een helling groter dan vier procent. Als de afstroamlengte naar het lozingspunt op het rioolstelsel groter is dan 100 m, is er sprake van een uitgestrekt oppervlak. Als default gaat deze module uit van een gemiddelde afstromingsvertraging voor vlak oppervlak. Voor hellende gebieden en vlak uitgestrekt gebied kunt u met minder of meer vertraging rekenen.

1.7 Defaultwaarden inlooppparameters

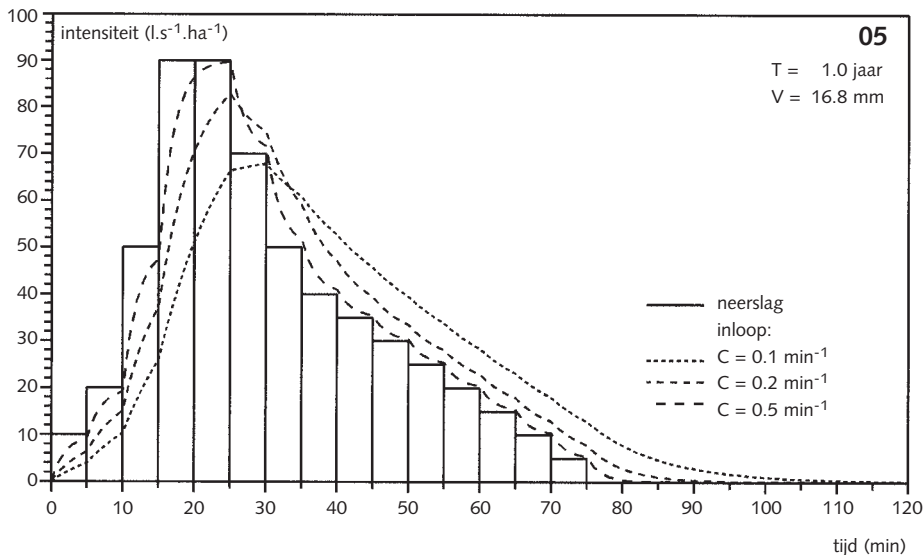
De defaultwaarden van de inlooppparameters zijn afgeleid van de literatuurwaarden, zoals aangegeven in het NWRW 4.3-rapport. Bij de vaststelling van de parameters zijn 'veilige' waarden gehanteerd om een te grote onderschatting van de inloop te voorkomen. Met name voor de infiltratieparameters is daarom afgeweken van literatuurwaarden. Tabel B1.2 geeft een overzicht van de default inlooppparameters.

Tabel B1.2 Overzicht van de default inlooppparameters.

Type oppervlak	Type afstroming	Afstromingsvertraging (min ⁻¹)	Oppervlakte berging (mm)	Infiltratie capaciteit (mm.h ⁻¹)		Tijdfactoren (h ⁻¹)	
				max.	min.	afname	herstel
gesloten verhard	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	0.5				
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0				
open verhard	hellend	0.5	0.0	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak	0.2	0.5	2.0	0.5	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	1.0	2.0	0.5	3.0	0.1
dak	hellend	0.5	0.0				
	vlak	0.2	2.0				
	vlak uitgestrekt	0.1	4.0				
onverhard	hellend	0.5	2.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak	0.2	4.0	5.0	1.0	3.0	0.1
	vlak uitgestrekt	0.1	6.0	5.0	1.0	3.0	0.1

De defaultwaarden zijn per type oppervlak en per type afstroming opgegeven. Verdeel bij berekening van de afstromingsvertraging het aangesloten afvoerend oppervlak in typen afstroming: hellend, vlak en vlak uitgestrekt gebied. De afstromingsvertraging kent geen verder onderscheid in hoofdtype oppervlak (verharding). Dit betekent dat u bij afvoerend oppervlak (zonder onderscheid in verschillende verhardingstypen) toch verschillende typen afstromingen kunt aanbrengen. Dit kunt u vaak globaal doen.

In meer traditionele belastingen (zoals een constante intensiteit van 60 l.s⁻¹.ha⁻¹) voor stationaire berekeningen verwerkt u het inloopeffect in de neerslagbelasting. Zonder inloopeffecten vormen de standaardneerslaggebeurtenissen (zoals in bijlage 3) een extreem zware belasting voor rioolstelsels in vlakke gebieden.



Figuur B1.3 Neerslag-inloopgebeurtenis 05

Schematisering van de afstromingsvertraging heeft vooral invloed op de rekenresultaten van 'water op straat' en de verdeling van overstortingshoeveelheden via lager en hoger gelegen overstortdrempels. In figuur B1.3 ziet u het effect van afstromingsvertraging bij een neerslaggebeurtenis met een herhalingsduur van $T = 1$ jaar. Het effect van de afstromingsvertraging voor hellend gebied ($C = 0.5 \text{ min}^{-1}$) is minimaal: een kleine vermindering van de maximumintensiteit en een inloopduur die nauwelijks groter is dan de neerslagduur. Voor vlak uitgestrekt gebied ($C = 0.1 \text{ min}^{-1}$) is er sprake van een duidelijke reductie (circa 25 procent) van de maximumintensiteit en van een inloopduur die ongeveer dertig minuten langer is dan de neerslagduur.

Oppervlakteberging

De oppervlakteberging is zowel gerelateerd aan het type oppervlak als aan het type afstroming. Vlakker gebied betekent meestal een grotere oppervlakteberging. Voor hellend gesloten of open verhard oppervlak en hellend dakoppervlak gaat deze module uit van een oppervlakteberging van 0 mm. Voor vlak dakoppervlak en onverhard oppervlak hanteert de module relatief grote waarden. In het inloopmodel voor de infiltrerbare oppervlakken schematiseert u de oppervlakteberging als reservoir, van waaruit infiltratie kan plaatsvinden.

Infiltratiecapaciteit

De infiltratiecapaciteiten voor open verhard oppervlak en onverhard oppervlak wijken af van de literatuurwaarden in het NWRW 4.3-rapport. Met name de minimuminfiltratiecapaciteit in open verhard oppervlak heeft grote invloed op de totale inloop in het rioelstelsel over een langere periode. Deze module stelt de minimuminfiltratiecapaciteit in open verharding op minder dan tien procent van de gemiddelde literatuurwaarden.

Voor de infiltratiecapaciteit van onverhard oppervlak gaat deze module uit van relatief lage waarden ten opzichte van de literatuurwaarden. Onverhard oppervlak inventariseert u feitelijk alleen als u afstroming van dat oppervlak naar de rioering verwacht. Daarbij gaat het vaak om een minder goed doorlatende ondergrond. In gebieden met een zeer slecht doorlatende ondergrond kunt u onverhard oppervlak het best als open verhard oppervlak beschouwen.

De tijdfactoren voor afname en herstel van de infiltratiecapaciteit geven aan hoe snel de infiltratiecapaciteit afneemt of herstelt, tussen de maximum- en minimuminfiltratiecapaciteit. Voor open verhard en onverhard oppervlak gaat de module uit van dezelfde tijdfactoren: circa 3.0 uur^{-1} voor de afname en 0.1 uur^{-1} voor het herstel van de infiltratiecapaciteit.

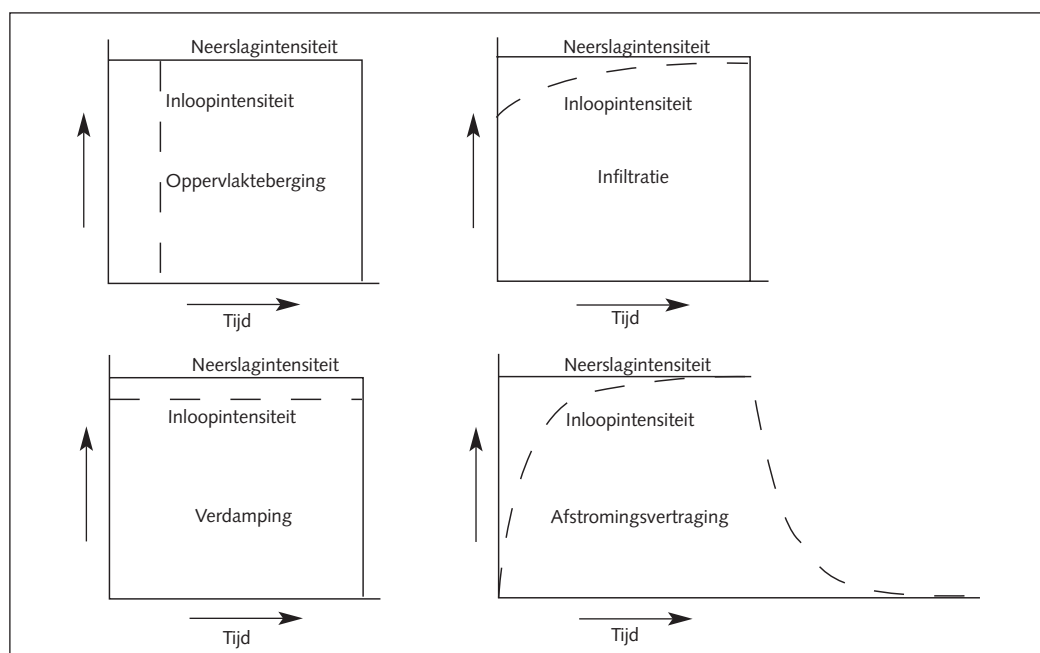
Als u rekening houdt met neerslagverlies in infiltrerbare oppervlakken, moet u ook het afvoerend oppervlak nauwkeurig en volledig inventariseren. Zo voorkomt u onderschatting van de inloop in het rioelstelsel. Inventariseer alle oppervlakken waarvan afstroming van neerslag naar het rioelstelsel kan plaatsvinden, zoals opritten en tuinverhardingen (zie ook paragraaf 5.3).

1.8 Effecten inlooppparameters

De defaultwaarden van de inlooppparameters zijn conservatief gekozen, omdat de inloop in een rioelstelsel gevoelig is voor instelling van parameters van bepaalde processen. Dit geldt vooral voor de oppervlakteberging en de infiltratie in open verhard oppervlak. In figuur B1.4 staat een overzicht van de effecten van de verschillende processen die een rol spelen in het inloopmodel.

De verdamping werkt continu, zowel in droge als natte perioden. De verdampingssnelheid varieert per maand. De belangrijkste functie van de verdamping is lediging van de oppervlakteberging. In bepaalde situaties wijkt de verdampingssnelheid aanzienlijk af van een veronderstelde gemiddelde waarde. Dit geldt vooral voor drukbereden wegen, waar het verkeer het water kan opwaaien. Van snelwegen met zeer open asfaltbeton (ZOAB) is bekend dat per jaar gemiddeld circa dertig procent van de neerslag tot afstroming komt.

Figuur B1.4 Effecten van neerslag-inlooppprocessen



Oppervlakteberging

De oppervlakteberging simuleert het effect van bevochtiging van en plasvorming op het afvoerend oppervlak. In de praktijk treedt deze plasvorming vaak alleen maar plaatselijk op. Het effect van de oppervlakteberging is een reductie van de inloop die groter is in de warme maanden van het jaar. De oppervlakteberging in deze periode wordt namelijk sneller geleidigd door de verdamping. Ook de infiltratie in de bodem vindt voor een belangrijk deel plaats vanuit de oppervlakteberging. Minder oppervlakteberging betekent minder infiltratie in de bodem. Op bepaalde oppervlakken is deze berging relatief groot. Denk aan platte daken die vaak relatief veel water vasthouden. In de herfst zijn platte daken vrijwel permanent nat door een lage verdampingssnelheid en korte opeenvolging van langdurige neerslagperiodes. In de zomer is de oppervlakteberging op platte daken relatief snel beschikbaar. Dit klopt met de praktijk.

Infiltratiecapaciteit

De infiltratiecapaciteit varieert tussen een maximum- en minimumwaarde. In een natte periode neemt de infiltratiecapaciteit af tot een minimumwaarde. In een droge periode herstelt de infiltratiecapaciteit zich geleidelijk tot de maximumwaarde. In het najaar kan de infiltratiecapaciteit zich in principe nauwelijks herstellen. Hierdoor infiltreert er minder neerslag in de bodem en wordt er meer water afgevoerd naar de riolering. Als u de totale inloop in een rioelstelsel bepaalt, zijn de mini-

muminfiltratiecapaciteit en tijdfactor voor het herstel van de infiltratiecapaciteit de belangrijkste procesparameters. Voor instelling van deze parameters kunt u het best over een lange periode meten.

Afstromingsfactoren

Niet elke druppel op het afvoerend oppervlak stroomt meteen af in de riolering. De afstromingsvertraging geeft een spreiding van de riolinloop in de tijd en een afvlakking van de piekbelasting. Bij kortdurende piekbelastingen (tot vijftien minuten) kan er een afvlakking van dertig procent optreden ten opzichte van de neerslagintensiteit. Voor hellend, vlak en vlak uitgestrekt gebied moet u met verschillende afstromingsfactoren rekenen. Deze zijn vergelijkbaar met de verschillende regenintensiteiten die traditioneel werden aangehouden voor hellend en vlak gebied (90 en 60 l.s⁻¹.ha⁻¹).

Praktijk

Het inloopmodel is de genuanceerde opvolger van het traditionele model. Het uitgangspunt is: volledige afvoer van verhard oppervlak (afvloeicoëfficiënt 1) en geen afvoer van onverhard oppervlak (afvloeicoëfficiënt 0). Het traditionele inloopmodel gaat ervan uit dat een niet volledige afvoer van verhard oppervlak wordt gecompenseerd door afvoer van onverhard oppervlak. In de praktijk bepalen de bodemgesteldheid en de capaciteit van de voegen in de bestrating de infiltratie in open verhard oppervlak. In nieuw gelegde klinkerbestrating is de infiltratiecapaciteit duidelijk groter dan in oude bestrating. Er is bijvoorbeeld ook een relatie met plasmvorming (oppervlakteberging) op het afvoerend oppervlak. Minder plasmvorm betekent in principe minder infiltratie en meer afstroming naar het riool.

Voorzichtig aanpassen

Bij het onderzoek aan rioelstelsels staat vermindering van de 'theoretische' inloop in de belangstelling. Onderschatting van de inloop van open verhard oppervlak kan in extreme omstandigheden 'water op straat' en eventueel 'wateroverlast' opleveren. Wees daarom voorzichtig bij aanpassing van het inloopmodel. Dat geldt ook als u op grond van meetgegevens afwijkende inloopparameters toepast. Het inloopmodel in deze module is geen volledig deterministisch model. Het is dus mogelijk dat processen elkaar impliciet compenseren, zoals in de traditionele benadering (α -verhard = 1, α -onverhard = 0). Relateer daarom een eenzijdige aanpassing van specifieke inloopparameters aan het totale effect van het inloopmodel op de belasting van het rioelstelsel.

De berekening van de belasting op een rioelstelsel wordt niet alleen bepaald door de modellering van inloopprocessen. Met name afwijkingen in de grootte en toedeling van het afvoerend oppervlak, en in de meting van de neerslagbelasting kunnen ook een rol spelen.

Bijlage 2 Rioleringsmodel

Deze bijlage gaat in op de schematisering van de verschillende rioelstelselonderdelen, het rioleringsmodel en enkele rekenparameters. Het gaat hierbij onder meer om hydraulische ruwheid en afvoercoëfficiënten van overlaten. U vindt hier de defaultwaarden voor deze parameters.

2.1 Leidingen

2.1.1 Ruwheidsmaten

De meest universeel toepasbare manier om hydraulische ruwheid aan te geven, is die volgens Nikuradse [10]. Uitgaande van deze maat kunt u enkele weerstandsformules gebruiken voor

Tabel B2.1 Defaultwaarden
ruwheidswaarden

Materiaal	Ruwheidswaarde (mm)
beton	3.0
Pvc	0.4
gres	0.5
gietijzer	2.0
metselwerk	5.0
HPE	0.4
LDPE	0.4
plaatijzer	2.0
staal	1.5

bepaling van de hydraulische weerstandscoefficiënt voor open en gesloten leidingen. In tabel B2.1 staan de gebruikte defaultwaarden per materiaal. Als u deze defaultwaarden gebruikt, moet u de stromingsverliezen verdisconteren in de leidingweerstand.

In de rioleringspraktijk hebt u (vrijwel) altijd te maken met een hydraulisch ruwe wand. Hierdoor kunt u de formule volgens White-Colebrook in vereenvoudigde vorm gebruiken:

$$C = 18 \log \frac{12 R}{K_n}$$

Een andere veelgebruikte formule is die volgens Strickler:

$$C = 25 \left[\frac{R}{K_n} \right]^{\frac{1}{6}}$$

waarin:

C Chézy-coëfficiënt ($m^{0.5} \cdot s^{-1}$)

K_n equivalente zandruwheid volgens Nikuradse (m)

R Hydraulische straal (m)

De formule van Strickler is een goede benadering voor White-Colebrook voor C-waarden tussen circa $40 m^{0.5} \cdot s^{-1}$ en $70 m^{0.5} \cdot s^{-1}$. Dit is in de rioleringspraktijk vrijwel altijd het geval.

Veel ruwheidswaarden (vooral van open waterlopen) worden opgegeven volgens de 'n' van Manning. U kunt deze waarde als volgt naar een Chézy-coëfficiënt omrekenen:

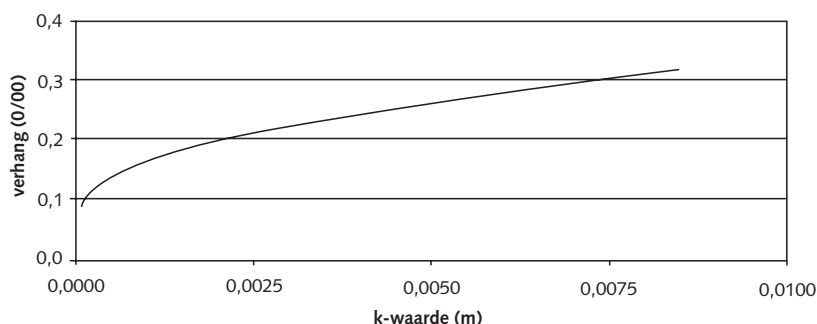
$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$$

waarin:

C Chézy-coëfficiënt ($m^{0.5} \cdot s^{-1}$)

n ruwheidsfactor volgens Manning ($m^{-1/3} s$)

R Hydraulische straal (m)



In deze module staan defaultwaarden voor de wandruwheid van leidingen (k-waarde) als functie van het materiaal van de buiswand. Voorbeelden hiervan zijn $k_{\text{beton}} = 3,0 \text{ mm}$ en $k_{\text{pvc}} = 0,8 \text{ mm}$. Uit figuur B2.1 blijkt dat een toename van de wandruwheid van 1,5 mm (traditionele waarde beton) naar 3,0 mm (defaultwaarde beton) leidt tot een toename van het theoretisch hydraulisch verhang met circa twintig procent. Maar de wandruwheid van een leiding is meer dan de ruwheid van de buiswand. Bij stroming door een rioolleiding is er niet alleen sprake van wandwrijving, maar ook van in- en uitstroomverliezen (bij hogere stroomsnelheden) en extra weerstand door huis- en kolkaansluitingen. Dit is mede een reden waarom de waarde van wandruwheid van beton in deze module is verhoogd van 1,5 naar 3,0 mm.

Figuur B2.1 Berekening hydraulisch verhang als functie van de wandruwheid, volgens Colebrook-White (term hydraulisch ruw) voor een debiet van $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ en een leidingdiameter van 500 mm

Het is gebruikelijk de invloed van onder meer in- en uitstroomverliezen, bochten en voegen te verdisconteren in de ruwheidsmaat van de leidingen. Als u deze verliezen expliciet gebruikt, mag u de ruwheidswaarden verlagen en moet u deze relateren aan het materiaal volgens standaardtabellen (zie bijvoorbeeld hoofdstuk 9, [7] en tabel B2.2).

Tabel B2.2 Indicatie hydraulische ruwheden

Materiaal	k-waarde (in mm)
<ul style="list-style-type: none"> PVC-buis van kleine diameter geasfalteerde asbest-cement buis centrifugaal geasfalteerde gecentrifugeerde gietijzeren en naadloos stalen buis 	0.01
<ul style="list-style-type: none"> PVC-bekleding geasfalteerde getrokken stalen buis gladde asbest-cement buis 	0.02
<ul style="list-style-type: none"> nieuwe naadloos stalen buis spanbetonbuis volgens Freyssinet geasfalteerde gecentrifugeerde gietijzeren en gelaste stalen buis PVC-buis van grote diameter 	0.05
<ul style="list-style-type: none"> asbest-cement buis geschuurde cement nieuwe verzinkt stalen buis geasfalteerde gietijzeren buis 	0.1
<ul style="list-style-type: none"> licht geroest naadloos stalen buis nieuwe gelaste stalen buis gresbuis nieuwe gecentrifugeerde gietijzeren buis spanbeton gladde rioolbuis, recht en zonder aansluitingen 	0.2
<ul style="list-style-type: none"> matig geroeste naadloos stalen buis gecentrifugeerde cementbekleding gecentrifugeerde betonbuis nieuwe gietijzeren buis gladde beton matig geroeste gelaste stalen buis 	0.5

Materiaal	k-waarde (in mm)
<ul style="list-style-type: none"> • betonbuis • gladde draineerleidingbeton • nieuwe geklonken stalen leiding • sterk geroeste naadloos stalen buis • gietijzeren buis met lichte pokvorming • goed metselwerk (baksteen) 	1
<ul style="list-style-type: none"> • sterk geroeste gelaste stalen buis • poreuze betonnen draineerleiding • nieuwe geklonken stalen leiding met overlap • ruw beton • sterk geroeste geklonken stalen leiding • gietijzeren buis met sterke pokvorming • oud hout • bewerkt natuursteen 	2
<ul style="list-style-type: none"> • sterk geroeste geklonken stalen leiding met overlap • gietijzeren buis met zeer sterke pokvorming • slecht metselwerk (baksteen) 	5

2.1.2 In- en uitstroomverliezen

Stromingsverliezen treden op bij overgangen van leiding naar put, bochten, knikken en andere wijzigingen van de stromingsrichting of het stromingsprofiel. In 'normale' gevallen brengt u deze verliezen niet afzonderlijk in rekening. U verdisconteert ze in de defaultrouwheidswaarden van de leidingen (zie ook tabel B2.1). Als u expliciet met deze lokale verliezen rekening houdt, kunt u de verliescoëfficiënten (zie figuur B2.1) gebruiken. U bepaalt het hydraulisch verlies dan via:

$$\Delta H = \xi \frac{v^2}{2g}$$

waarin:

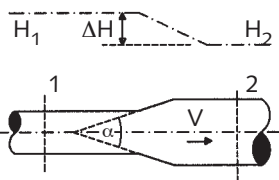
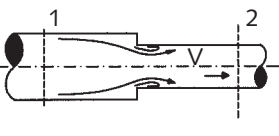
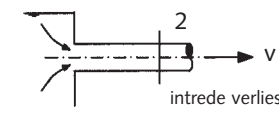
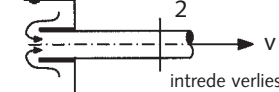
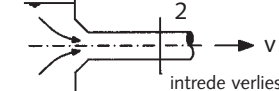
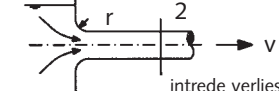
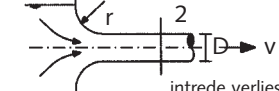
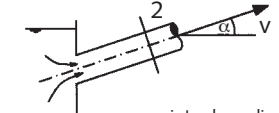
- v stroomsnelheid (m.s⁻¹)
- g zwaartekrachtversnelling (9.81) (m.s⁻²)
- ξ lokale verliescoëfficiënt (-)

2.1.3 Samenvoegen leidingen

Als u voor een berekening een rioelstelsel schematiseert, kunt u onder bepaalde condities zogenaamde tussenputten weglaten. Dit wordt overigens in het algemeen ontraden. U mag een tussenput weglaten als:

- de hydraulische kenmerken van leiding 1 en 2 identiek zijn (profiel, materiaal, bodemhelling);
- aan de tussenput weinig of geen afvoerend oppervlak is toegekend;
- er op de put geen (grote) afvalwaterlozing plaatsvindt;
- u bij een reeksrekening kunt aantonen dat de schematisering niet afwijkt van de geaccepteerde grenzen van de werking van onder meer overstorten en gemalen. (Zie ook figuur B2.2.)

Figuur B2.1 Veelvoorkomende lokale verliezen

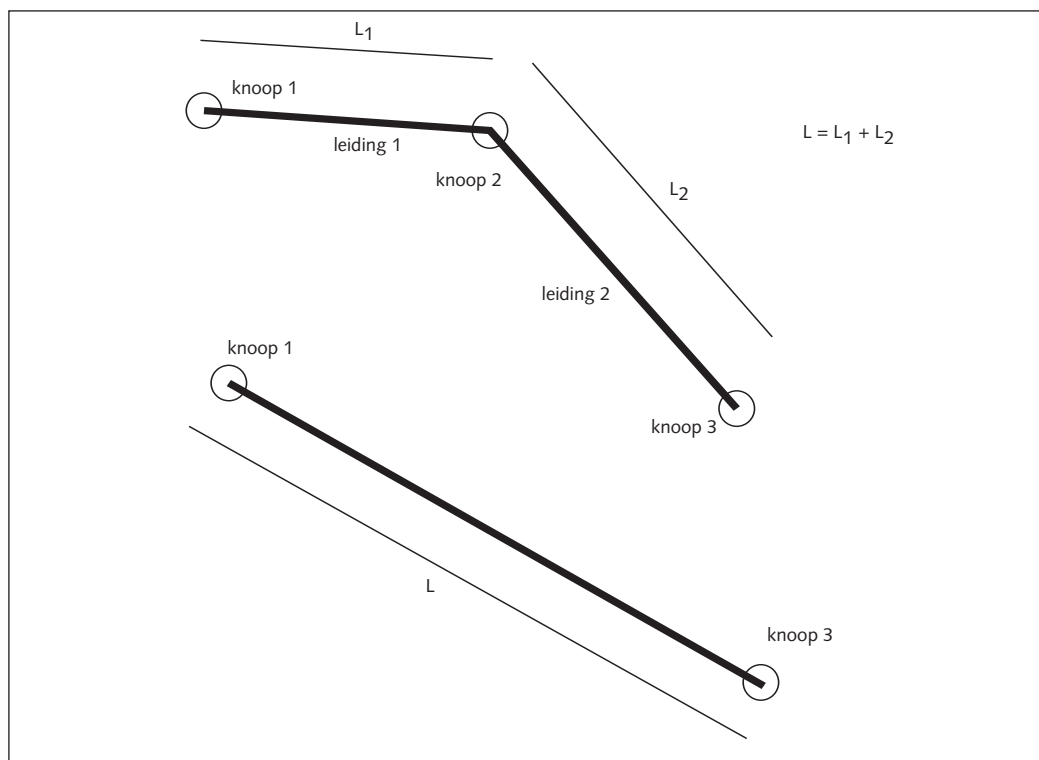
TYPE VERLIES	AFVOERFORMULE / VERLIESCOËFFICIËNT																								
 <p>verwijding</p>	$\Delta H = \xi_i \frac{v^2}{2g} \quad \xi_i = n \left[\frac{A_1}{A_2} \right]^2$ <p>A_1 = oppervlakte doorsnede 1 A_2 = oppervlakte doorsnede 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D_1/D_2</th> <th>6°</th> <th>10°</th> <th>15°</th> <th>20°</th> <th>30°</th> <th>40°</th> <th>50°</th> <th>60°</th> <th>70°</th> <th>80°</th> <th>90°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>n</td> <td>0,14</td> <td>0,20</td> <td>0,30</td> <td>0,40</td> <td>0,70</td> <td>0,90</td> <td>1,00</td> <td>1,10</td> <td>1,10</td> <td>1,10</td> <td>1,10</td> </tr> </tbody> </table>	D_1/D_2	6°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	n	0,14	0,20	0,30	0,40	0,70	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10
D_1/D_2	6°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°														
n	0,14	0,20	0,30	0,40	0,70	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10														
 <p>vernauwing</p>	<p>D_1 = diameter doorsnede 1 D_2 = diameter doorsnede 2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>D_1/D_2</th> <th>4,0</th> <th>3,5</th> <th>3,0</th> <th>2,5</th> <th>2,0</th> <th>1,5</th> <th>1,3</th> <th>1,1</th> <th>1,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>xa</td> <td>0,45</td> <td>0,43</td> <td>0,42</td> <td>0,40</td> <td>0,37</td> <td>0,28</td> <td>0,20</td> <td>0,01</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	D_1/D_2	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	xa	0,45	0,43	0,42	0,40	0,37	0,28	0,20	0,01	0				
D_1/D_2	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0																
xa	0,45	0,43	0,42	0,40	0,37	0,28	0,20	0,01	0																
 <p>intrede verlies</p>	<p>scherpe hoek $\xi_i = 0,4$ à $0,5$</p>																								
 <p>intrede verlies</p>	<p>naar binnen uitstekend $\xi_i = 0,8$ à $1,0$</p>																								
 <p>intrede verlies</p>	<p>afgeschuinde hoek $\xi_i = 0,2$ à $0,3$</p>																								
 <p>intrede verlies</p>	<p>afroning met kleine straal $\xi_i = 0,1$</p>																								
 <p>intrede verlies</p>	<p>afroning met grote straal ($r > 1/4D$) $\xi_i = 0,00$</p>																								
 <p>intrede verlies</p>	<p>scherp en scheef onder een hoek α $\xi_i = 0,3\cos(\alpha) + 0,2\cos^2(\alpha) \approx 0,5$</p>																								

2.2 Putten

Een put schematiseert u als een knoop. Hydraulisch gezien kunt u de putten als bergingsreservoir beschrijven. De stromingsverschijnselen in de put beschrijft u niet in detail. De weerstandsverliezen door in- en uitstromingsverschijnselen verdisconteert u default in de hydraulische weerstand van aansluitende leidingen. Omdat u alleen bij eenvoudige putgeometrieën een goede schatting van deze verliezen kunt maken (zie hoofdstuk 9, [13]).

Een eerste benadering voor de intreeverliescoëfficiënt is een waarde van 1.0 en voor de uittreeverliescoëfficiënt 0.5. Deze waarden voor putten met een stroomprofiel en een rechtdoorgaande stroom zijn aan de hoge kant. Terwijl voor andere situaties (zoals meerdere aansluitende leidingen en sterk verschillende BOB's) de genoemde waarden misschien te laag zijn. Experimentele gegevens ontbreken nagenoeg, terwijl een praktisch hanteerbare theoretische benadering niet voorhanden is.

Figuur B2.2 Verwijderen tussenput

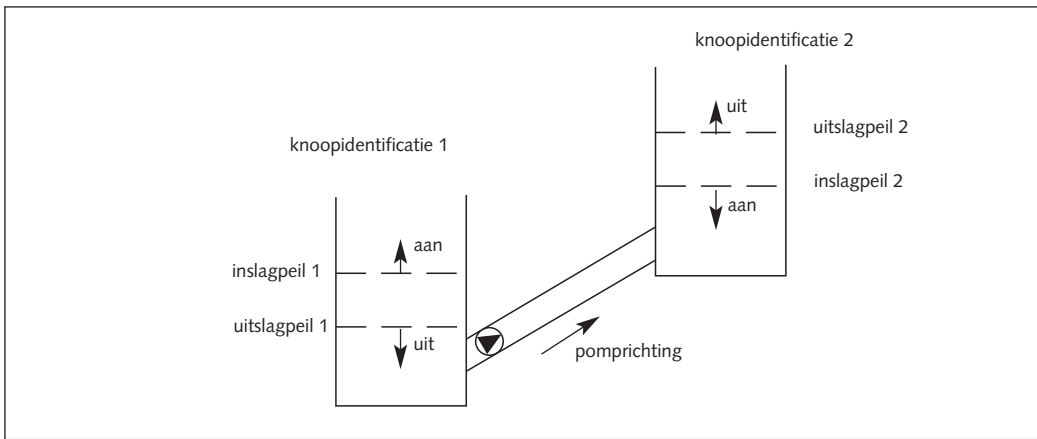


2.3 Rioolgemalen

Een rioolgemaal schematiseert u als twee knopen (ontvangkelder en lozingspunt) met de tussenliggende verbinding. Het gemaal bestaat uit één of meer pompstellingen. De afmetingen van de ontvangkelder spelen een belangrijke rol. De feitelijke afmetingen van de ontvangkelder, de werkelijke pompcapaciteit en de werkelijke schakelpeilen moet u opnemen in de modellering. Ontbreekt deze informatie? Let dan op het pendelen van pompen. De in de berekeningen aan te brengen pendelberging (in m^3) in de ontvangkelder is dan circa vijftien procent van de gemaalcapaciteit uitgedrukt in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Bij gebeurtenisberekeningen is een beschrijving per pompeenheid van een eenvoudige pompaansluiting met één in- en uitschakelpeil en een constante waarde voor de pompcapaciteit genoeg. Bij reeksberekeningen is het misschien noodzakelijk het pompgedrag meer in detail te beschrijven. Gebruik dan in de berekeningen een beschrijving van het hydraulisch functioneren van het gemaal in de vorm van de $Q-\Delta H$ -relatie. Naast de knoopengegevens aan weerszijden moet u van een gemaal minimaal het volgende weten:

- aantal pompen;
- in- en uitschakelpeilen;
- pompcapaciteiten;
- pomprichting;
- $Q-\Delta H$ -relatie van de pompen.



Figuur B2.3 Schematisering tussen gemaal

Zodra aan de benedenstroomse zijde een hoge of lage waterstand optreedt, starten of stoppen de benedenstroomse in- en uitslagpeilen het gemaal. Een dergelijke schakeling komt voornamelijk voor bij interne gemalen. Als u een berekening start en het bovenstroomse waterpeil ligt tussen het in- en uitslagpeil, staat de pomp waarschijnlijk uit. Naast deze klassieke peilgergelde gemalen worden ook gemalen gebruikt, waarin via bijvoorbeeld toerenregeling een streefpeil zolang mogelijk wordt gehandhaafd. Als u zo'n gemaal gebruikt, neem dit dan met de sturingsregels in de berekeningen op. Bij reeksberekeningen moet u met de totale pompcapaciteit rekenen, dus niet alleen met de pompovercapaciteit.

2.4 Overstorten

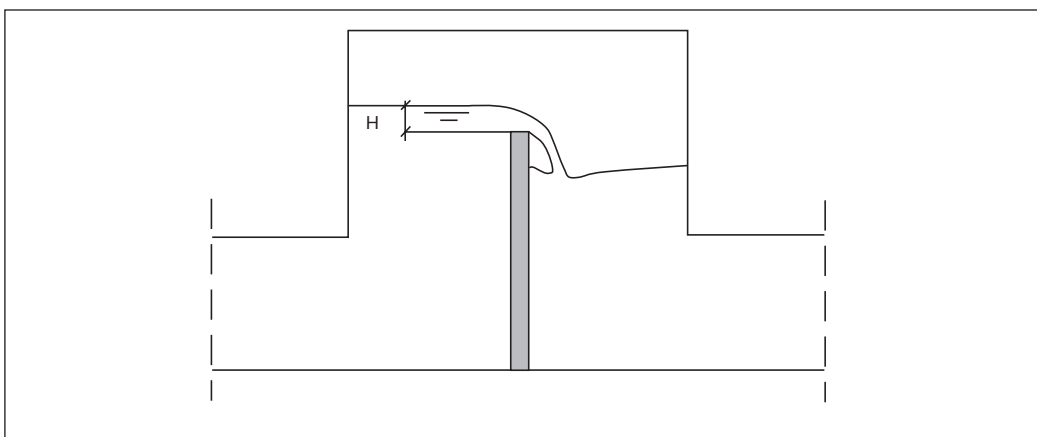
Een overstort (in- of extern) schematiseert u als twee knopen met tussenliggende verbinding (korte overlaat). Relateer bij volkomen korte overlaten het debiet aan de waterstand met de volgende formule:

$$Q = mb \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}g} H^{\frac{3}{2}} = 1,7 mbh^{\frac{3}{2}}$$

waarin:

- b breedte van de drempel (m)
- H energieniveau t.o.v. drempelniveau (m)
- g zwaartekrachtversnelling (9.81) (m.s⁻²)
- m afvoercoëfficiënt (-)

Gebruik als defaultwaarde voor de afvoercoëfficiënt 0.8.



Figuur B2.4 Volkomen overlaat

Vaak is de waarde voor H vrijwel gelijk aan de waterdiepte van het drempelniveau. Voor onvolkomen overlaten geldt:

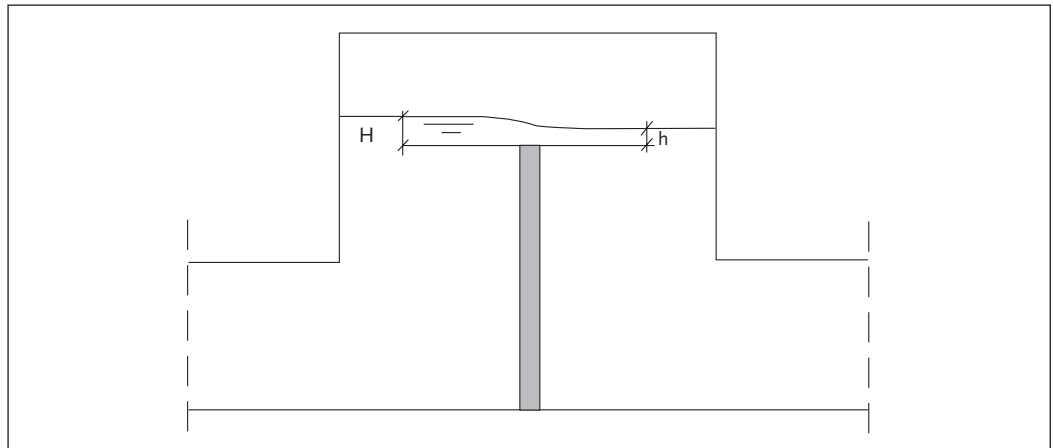
$$Q = mbH \sqrt{2g(H-h)}$$

waarin:

- b breedte van de drempel (m)
- g zwaartekrachtversnelling (9.81) (m.s⁻²)
- H energiehogte van het drempelniveau aan de bovenstroomse zijde (m)
- h piëzometrisch niveau van het drempelniveau aan de benedenstroomse zijde (m)
- m afvoercoëfficiënt (-)

Gebruik ook hier 0.8 als defaultwaarde voor m.

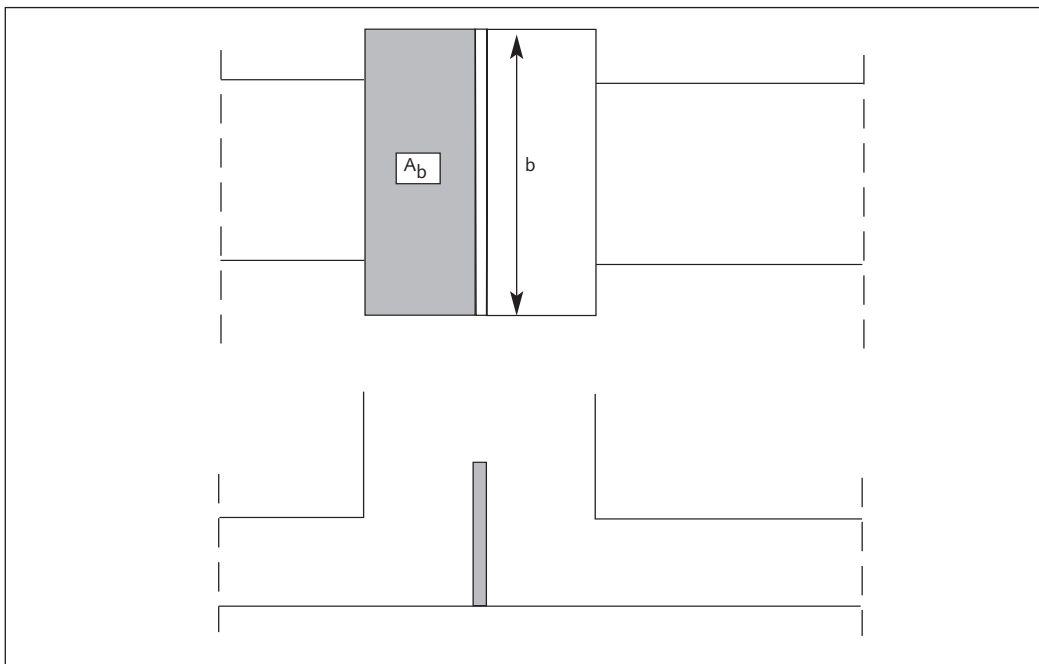
Figuur B2.5 Onvolkomen overlaat



In een berekening kan de stromingstoestand van een overlaat van volkomen stromingstoestand onvolkomen worden en vice versa. Ook kan bij een onvolkomen overlaat de stroomrichting om-draaien. In dit soort gevallen kunt u strikt genomen niet werken met de genoemde formules en defaultwaarden voor de afvoercoëfficiënt. U kunt dan als volgt schematiseren:

De overgang van volkomen naar onvolkomen overlaat vindt plaats als h gelijk is aan 2/3 H. Bij waarden voor h > 2/3 H is sprake van een onvolkomen overlaat. De m-waarden voor volkomen en onvolkomen overlaat zijn hierbij gelijk.

In diverse handboeken (bijvoorbeeld [16] in hoofdstuk 9) vindt u meer specifieke gegevens over afvoercoëfficiënten. Ga bij schematisering van overlaten uit van detailinformatie van de constructie, zoals wijze van aanstromen en vormgeving. Als u niet over deze gegevens beschikt, ga dan uit van een volkomen korte overlaat met de gegeven defaultafvoercoëfficiënt. Denk daarbij aan de schematisering van de putafmetingen waarin de overstort ligt. Een te kleine berging kan leiden tot instabiliteit. Beschikt u niet over afmetingen van de betreffende put? Gebruik dan de volgende defaultbenadering:



Figuur B2.6 Bergend oppervlak overstortput

De put is verticaal (tussen laagste BOB en maaiveld) prismatisch van vorm met een bergend oppervlak van:

$$a_b = 1 + 1,5b$$

waarin:

A_b bergend oppervlak (m^2)

b ontwikkelde drempelbreedte (m)

In hydraulische zin komen lange overlagen in de riolering praktisch niet voor en worden daarom in deze module verder niet behandeld. Hierover vindt u meer in de literatuur (zie hoofdstuk 9, [5]).

2.5 Doorlaten

Een doorlaat schematiseert u als twee knopen met een tussenliggende verbinding. Een doorlaat wordt vaak gebruikt als element van een stuwconstructie. De hydraulische weerstand van een doorlaat bepaalt u met de volgende formule:

$$\Delta H = \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \frac{v^2}{2g}$$

waarin:

v stroomsnelheid in de doorlaat ($m \cdot s^{-1}$)

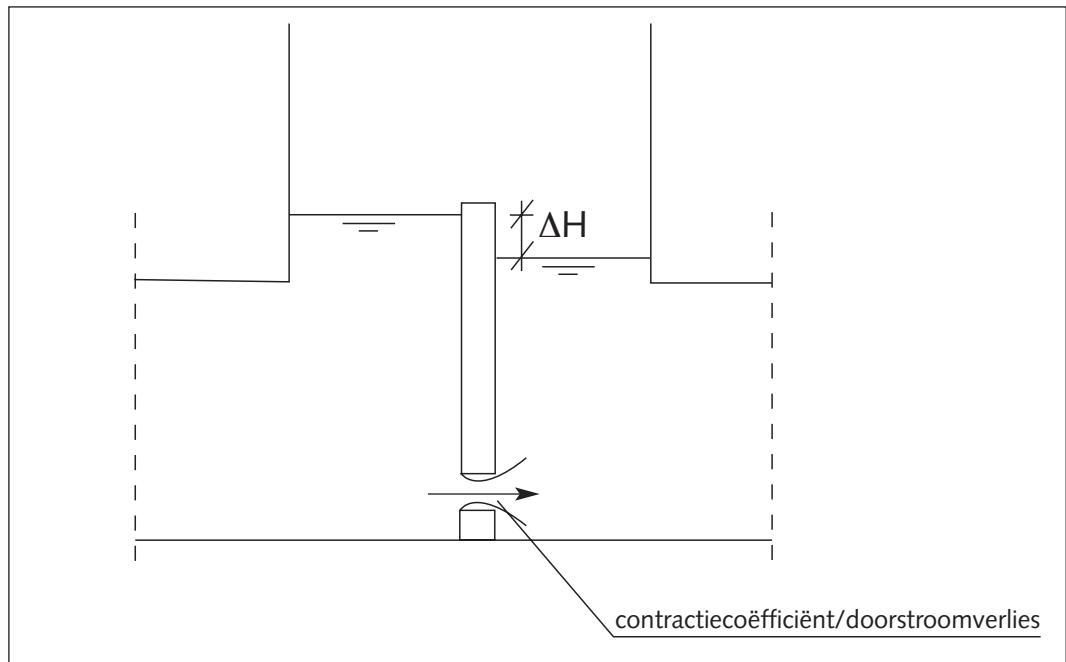
g zwaartekrachtversnelling (9.81) ($m \cdot s^{-2}$)

ΔH verlies van energiehogte over de doorlaat (m)

μ contractiecoëfficiënt (-)

De waarde voor de contractiecoëfficiënt hangt onder meer af van de vorm van de doorlaat en de wijze van aanstromen. Default kunt u uitgaan van een ronde vorm met een contractiecoëfficiënt van 0.6.

Figuur B2.7 Doorlaat in stuwput

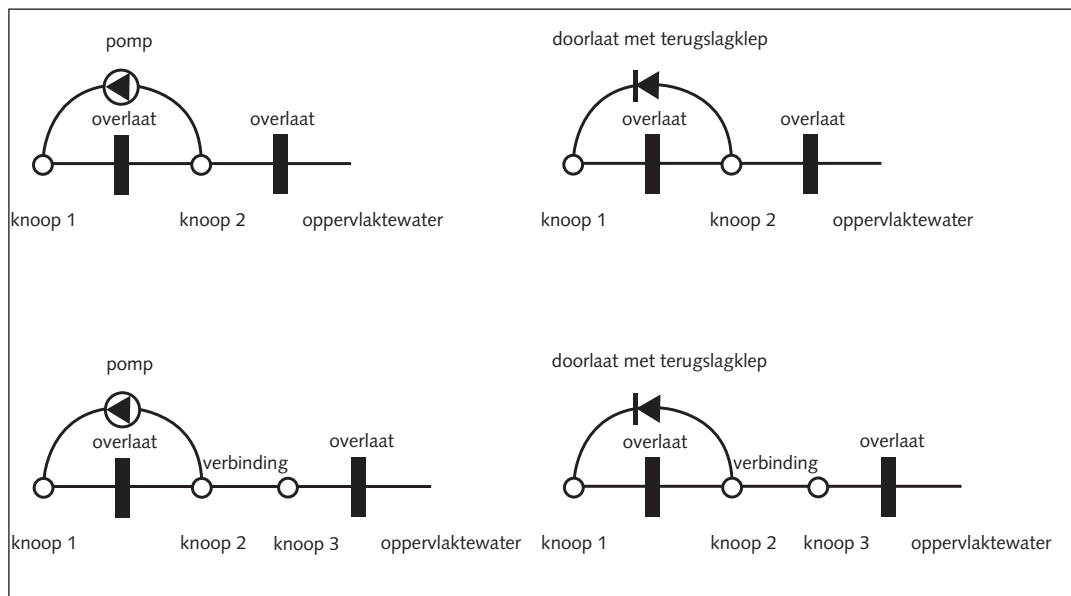


2.6 Randvoorzieningen

Een randvoorziening kunt op een aantal manieren schematiseren. Figuur B2.8 geeft de vier meestvoorkomende schematiseringen weer.

Als de hydraulische weerstand niet van belang is, voldoen overlagen als verbinding en toekenning van de berging aan de knopen. Is de hydraulische weerstand van de randvoorziening wel van belang, kies dan een schematisering met een extra verbinding. Bijvoorbeeld als randvoorzieningen zijn voorzien van diffusiewanden, drijfslaagschotten en dergelijke.

Figuur B2.8 Mogelijke schematisering van een randvoorziening



Lediging van de randvoorziening gebeurt bijvoorbeeld door leegpompen (intern gemaal) of onder vrijval via een doorlaat met keerklep. Figuur B2.8 geeft aan dat het gemaal van knoop 2 naar knoop 1 pompt. Uiteraard kan naar elke willekeurige andere knoop in het rioleringsmodel worden verpompt. De schematisering van de afzonderlijke elementen van een randvoorziening, staat in de vorige paragrafen.

De stromingsweerstand van een randvoorziening bestaat uit:

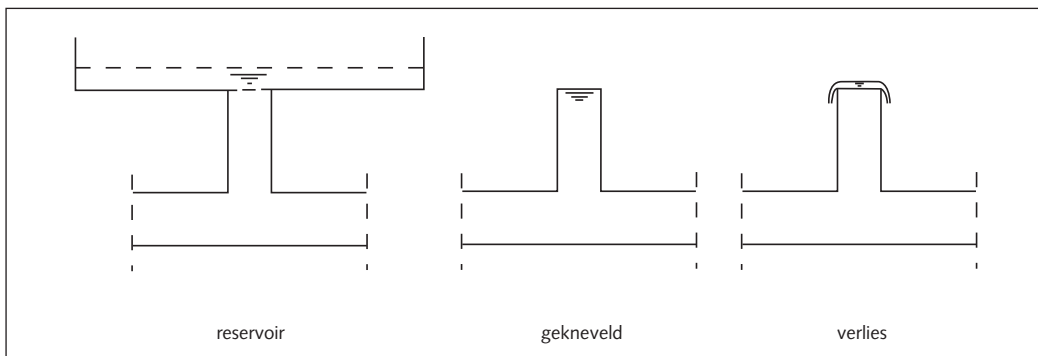
- in- en uitstroomverlies van de inloopconstructie;
- weerstandsverlies over de eventueel aanwezige diffusiewand en drijfslaagschotten;
- wrijvingsverlies door de wanden van de constructie.

U kunt de weerstand van een diffusiewand zien als een doorlaat.

2.7 Simulatie 'water op straat'

U kunt 'water op straat' op drie manieren schematiseren:

- Het uittredende water kan zich verdelen over het maaiveld en daarna terugstromen naar het rioolstelsel. U definieert een reservoir boven de knoop. Van dit reservoir geeft u het bergend oppervlak op.
- De put is gekneveld. Het water stroomt niet uit de put naar het maaiveld, maar zorgt alleen voor drukopbouw.
- Al het water komt op het maaiveld terecht en kan niet terugstromen naar het rioolstelsel.



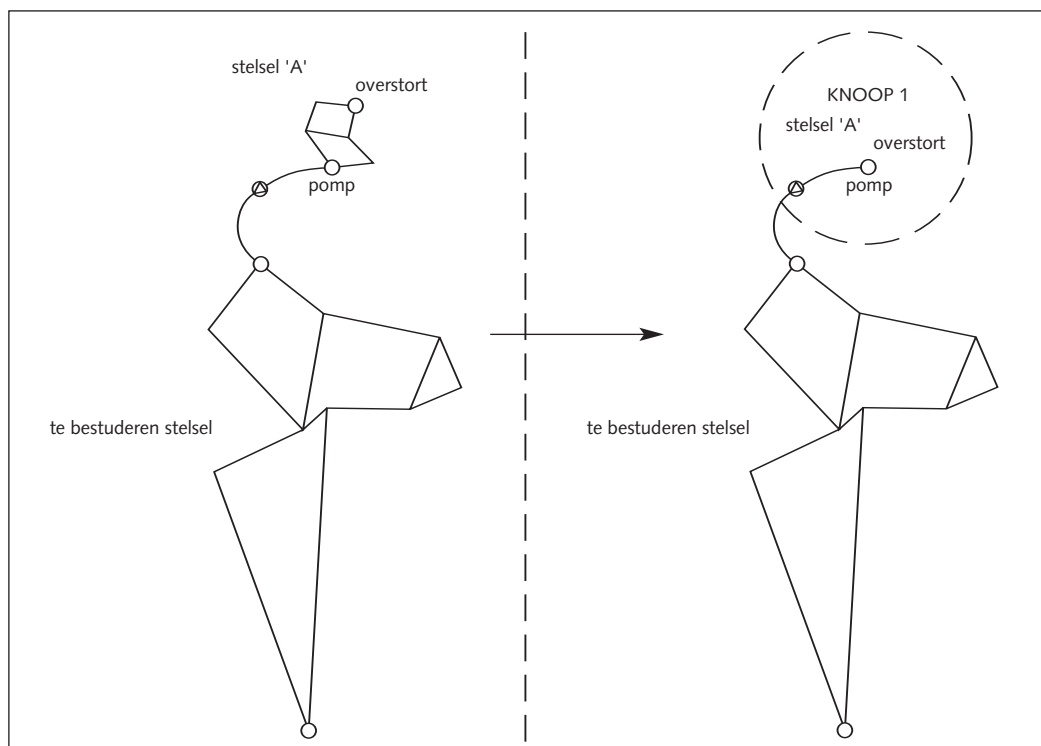
Figuur B2.9 Schematisering van 'water op straat'

Gebruik als default de eerste optie: een reservoir boven de knoop waar het water kan in- en uitstromen. Voor het bergend oppervlak van het reservoir hanteert u als defaultwaarde de omvang van het op de betreffende knoop aangesloten verhard oppervlak met een minimum van 100 m².

2.8 Bijzondere lozingen

Een rioolstelsel kan verbonden zijn met andere rioolstelsels die u niet volledig in het rioleringsmodel opneemt. Neem wel lozingen vanuit deze rioolstelsels (bijvoorbeeld via persleidingen of interne overstorten) in de berekening op. In de reeksberekeningen moet u een dergelijk rioolstelsel ten minste als een knoop (reservoir) en een verbinding schematiseren. De verbinding sluit aan op een knoop van het stelsel waarop u de reeksberekening uitvoert. Het reservoir wordt belast via afvoerend oppervlak en DWA, en is voorzien van een overstort en een pompcapaciteit. Figuur B2.10 geeft een voorbeeld van de schematisering.

Figuur B2.10 Schematisering lozing vanuit een ander rioelstelsel



Stelsel 'A' loost via een pomp op het te bestuderen stelsel. Stelsel 'A' schematiseert u tot één enkele knoop (knoop 1) waarop afvoerend oppervlak en dwa lozen. Deze knoop heeft een dusdanig bergend oppervlak tussen putbodem en maaiveld, dat de berging in stelsel 'A' correct is beschreven. Vanuit knoop 1 wordt water verpompt naar het te bestuderen stelsel. Knoop 1 heeft ook een overstort.

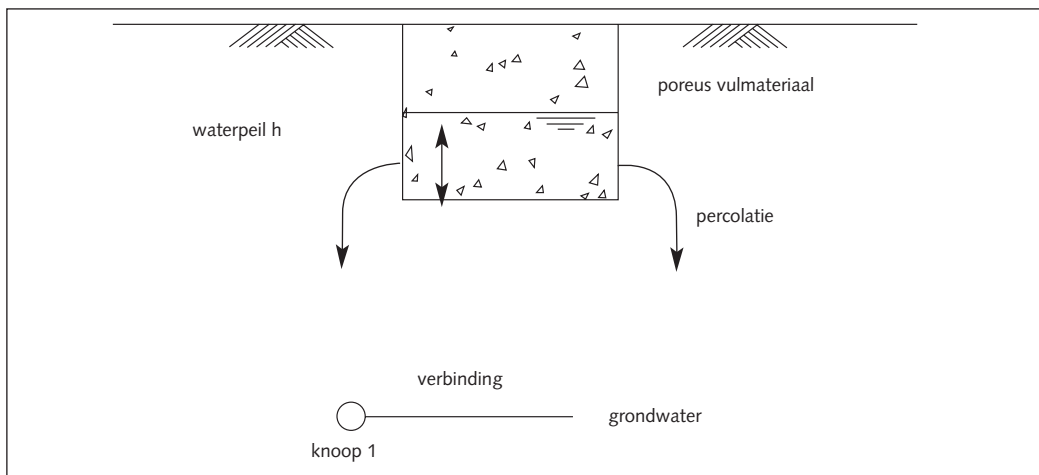
2.9 Infiltratievoorzieningen

Met name als u een koppeling legt tussen infiltratievoorzieningen en (bestaande) riolering, is het belangrijk dat u het hydraulisch functioneren van het systeem als geheel berekent. Deze bijlage gaat in op de schematisering van drie typen infiltratievoorzieningen:

- 1 de infiltratiesleuf;
- 2 de wadi;
- 3 het infiltratieriool.

Infiltratiesleuf

Een infiltratiesleuf (figuur B2.11 en B2.12) kunt u schematiseren tot een knoop (put, reservoir) met een bergings/hogte-relatie. De infiltratie als functie van de tijd kunt u beschrijven als een q-h-relatie, die afhankelijk is van de doorlatendheid van de bodem en het oppervlak waardoor kan worden geïnfiltreerd.



Figuur B2.11 Principe infiltratiesleuf

Figuur B2.12 Schematisering infiltratiesleuf

De berging in de sleuf kunt u schematiseren als een knoop met een op te geven geometrie als functie van de hoogte (zie hoofdstuk 9, [14]). Voor de bepaling van de berging in de infiltratiesleuf moet u rekening houden met de porositeit van het vulmateriaal van de sleuf. De afvoer vanuit de infiltratiesleuf naar het grondwater kunt u schematiseren door een verbinding tussen de sleuf (knoop 1) en een lozingspunt te maken. Met de karakteristieken van de bodem waarin wordt geïnfiltreerd, geeft u een afvoerrelatie voor deze verbinding op. Zo is de grootte van de afvoer afhankelijk van de vulling van de infiltratiesleuf.

Een voorbeeld van de beschrijving van het infiltratiedebiet is een eenvoudige q-h-afvoerrelatie:

$$q = 2 \cdot k \cdot L \cdot h$$

waarin:

- q infiltratiedebiet ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- k doorlatendheid bodem onverzadigde zone ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- L lengte infiltratiesleuf (m)
- h waterstand in infiltratiesleuf (m)

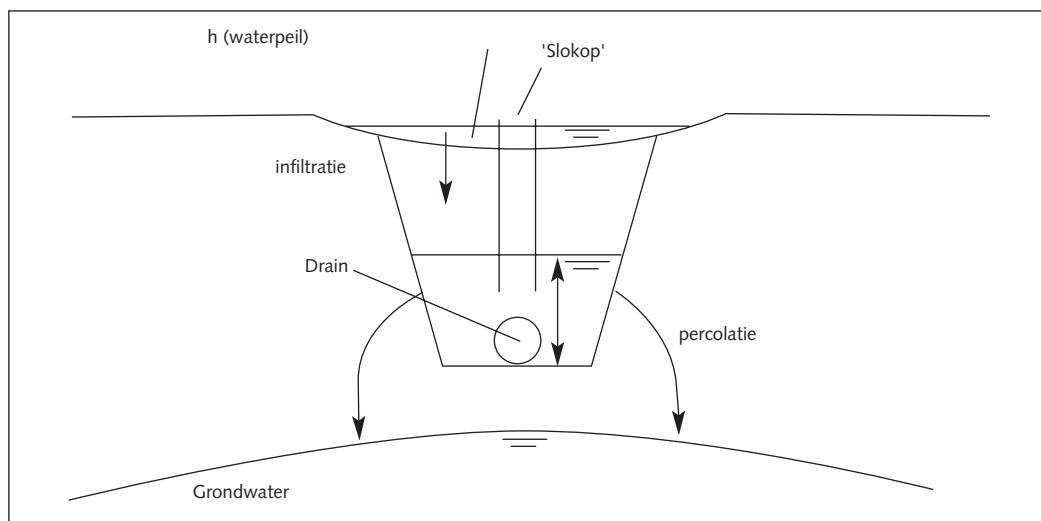
Deze relatie gaat uit van infiltratie in de (langs)wanden van de sleuf. De doorlatendheid van het vulmateriaal in de sleuf is hierbij geen beperkende factor in het infiltratieproces vanuit de infiltratiesleuf naar het grondwater. Om rekening te houden met eventuele dichtslibbing, is de infiltratie in de bodem van de sleuf verwaarloosd. Het (natte) infiltratieoppervlak van de (langs)wanden van de infiltratiesleuf en de doorlatendheid van de grond bepalen het infiltratiedebiet. Hierbij kunt u aannemen dat (een variatie in) de grondwaterstand geen invloed heeft op het infiltratieproces. Voor de doorlatendheid van de bodem kunt u uitgaan van de (bij voorkeur gemeten) waarde voor de onverzadigde zone.

Wadi

Een wadi omvat de volgende vier elementen (zie figuur B2.13):

- ondiepe greppel (oppervlakteberging);
- infiltratiesleuf;
- drain;
- overlaat (ook wel 'slokop' genoemd).

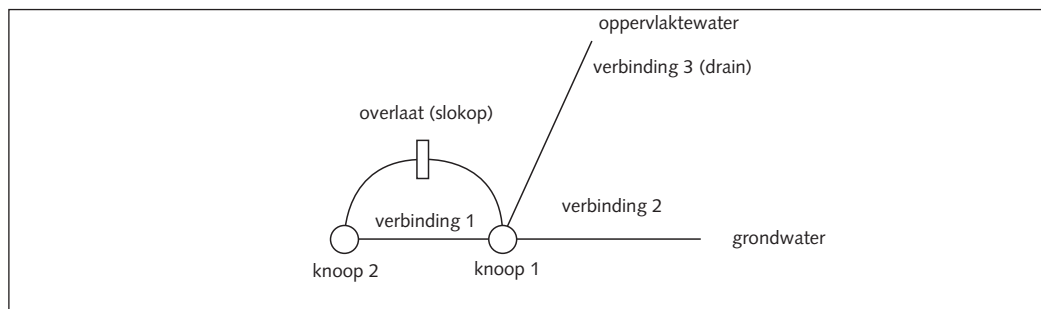
Figuur B2.13 Principe van een wadi



U kunt een wadi als volgt schematiseren:

- In de greppel wordt water bovengronds geborgen. Uit deze greppel kan het water infiltreren in de infiltratiesleuf. Het inloopmodel voor onverhard oppervlak kunt u gebruiken voor bijvoorbeeld de beschrijving van dit infiltratieproces (formule van Horton, zie bijlage 1). De greppel funktioneert hierbij als oppervlakteberging.
- De infiltratie vanuit de infiltratiesleuf naar het grondwater beschrijft u met een q/h -relatie, zoals aangegeven voor de infiltratiesleuf.
- De afvoer van de drain berekent u als leiding, waarbij de belasting varieert. Dit is afhankelijk van de waterstand in de infiltratiesleuf.
- De 'slokop' modelleert u als een interne overlaat die direct loost op de drain.

Figuur B2.14 Schematisering van een Wadi

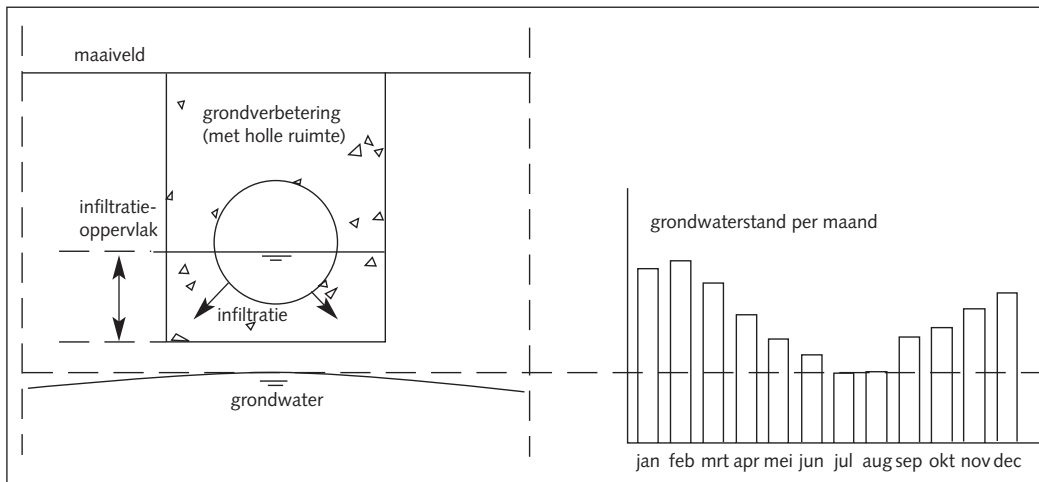


In figuur B2.14 staat het schema van een wadi. Knoop 2 is het bovengrondsgelegen onderdeel van de wadi (greppel). Vanuit dit gedeelte wordt water geïnfiltreerd naar het ondergelegen gedeelte. Dit ondergelegen gedeelte schematiseert u als een infiltratiesleuf met een afvoer vanuit de sleuf via een drain naar oppervlaktewater. De 'slokop' modelleert u als een overlaat die vanuit knoop 2 direct kan lozen op de drain. De afvoerrelaties voor de verbindingen 1 en 2 leidt u af uit de eigenschappen van het aanwezige bodem- en vulmateriaal. De knopen 1 en 2 zijn reservoirs met een op te geven geometrie als functie van de hoogte. Hierbij is de berging in knoop 2 mede afhankelijk van de porositeit van het vulmateriaal.

Infiltratieriool

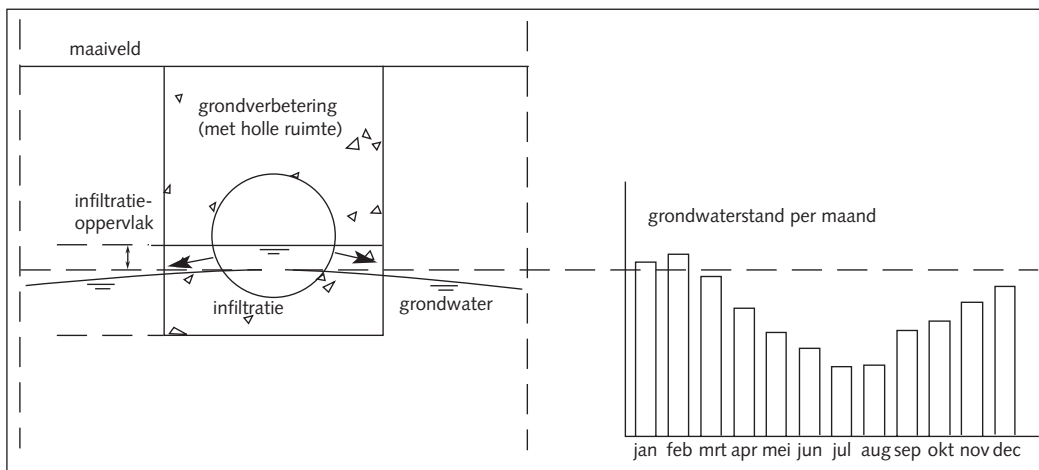
Een infiltratieriool is een geperforeerde buis waaruit water kan infiltreren naar het grondwater én kan worden afgevoerd. Bijvoorbeeld via een overstort naar oppervlaktewater. Een infiltratieriool heeft een bergende, afvoerende en infiltratiefunctie. De schematisering van een infiltratieriool is identiek aan een 'normaal' riool. Wel moet u de infiltratiefunctie toevoegen. Bijvoorbeeld door een verbinding met het grondwater te maken aan een of twee knopen die verbonden zijn aan het infiltratieriool. Zo hebt u een analoge schematisering, zoals is aangegeven voor de infiltratiesleuf.

In de figuren B2.15 en B2.16 staan voorbeelden van de schematisering van een infiltratieleiding en een per maand variërende grondwaterstand.



Figuur B2.15 Infiltratieleiding boven grondwaterstand van mei tot september

Het maandelijkse verloop van de grondwaterstand kunt u afleiden uit peilbuismetingen. De doorlatendheid van de bodem is afhankelijk van de bodemopbouw. De doorlatendheid kunt u met een zekere veiligheidsmarge inschatten op basis van bodemkaarten, boorprofielen of beter nog op basis van infiltratiemetingen.



Figuur B2.16 Schematisering infiltratieleiding in het grondwater

In figuur B2.16 wordt de hoogte van het infiltratieoppervlak mede bepaald door het peil van de grondwaterstand. Bij een grondwaterstand boven de bodem van de infiltratiesleuf bepaalt het peilverschil tussen de waterstand in de infiltratiesleuf en de grondwaterstand het infiltratieoppervlak. De schematisering van de infiltratiesleuf beschrijft de situatie van een grondwaterstand onder de bodem van de infiltratiesleuf. Deze benadering veronderstelt dat de doorlatendheid van het infiltratierool en die van de grondverbetering geen beperkende factoren zijn in het infiltratieproces. De beschikbare berging in het infiltratierool en in de (holle ruimte van de) grondverbetering zijn ook afhankelijk van het peil van de grondwaterstand. De infiltratiecapaciteit wordt bepaald door:

- de doorlatendheid van de grond;
- het beschikbare infiltratieoppervlak (afhankelijk van de grondwaterstand);
- de vulling van de berging in het infiltratierool en in de holle ruimte van de grondverbetering.

Bijlage 3 Neerslaggebeurtenissen

3.1 Kenmerken

Er zijn tien standaardneerslaggebeurtenissen afgeleid uit de vijftien minuten neerslagreeks, die is waargenomen in De Bilt van 1955 tot 1979. Bij de samenstelling van deze gebeurtenissen is uitgegaan van zes verschillende herhalingstijden en twee verschillende vormen. De codering van deze standaardneerslaggebeurtenissen staat in tabel B3.1.

Tabel B3.1 Codering standaardneerslaggebeurtenissen

Code	Herhalingstijd (jaar)	piek voorin (v) of achterin (a)
01	0.25	v
02	0.25	a
03	0.50	v
04	0.50	a
05	1.00	v
06	1.00	a
07	2.00	v
08	2.00	a
09	5.00	v
10	10.00	v

Bij de analyse van de neerslagreeks is een neerslaggebeurtenis gedefinieerd als een aaneengesloten periode waarbinnen geen droge perioden van langer dan vijf uur voorkomen. De extreme gebeurtenissen zijn uit de neerslagreeks geselecteerd op grond van de maximale neerslaghoeveelheid gedurende vijftien minuten. Deze neerslaghoeveelheid is gekoppeld aan een herhalingstijd via de methode van de steekproefkwantielen. Hierbij zijn de extreme neerslaggebeurtenissen gesorteerd op neerslaghoeveelheid per vijftien minuten. Volgens de methode van de steekproefkwantielen kunt u een herhalingstijd aan de uit de gesorteerde lijst van gebeurtenissen koppelen. De vijfde gebeurtenis (volgnummer) uit de resultaten van een neerslagreeks met een duur van 25 jaar heeft een herhalingstijd (kans van optreden) van één keer per vijf jaar (25 vijfde gebeurtenis). De 25e gebeurtenis uit de reeks heeft een herhalingstijd van één keer per jaar.

Veel neerslaggebeurtenissen hebben een langdurige 'staart' die voor een gebeurtenisberekening voor hydraulische rioleringsberekeningen niet zo interessant is. Om zeer lange simulaties van neerslag te voorkomen, is de duur van neerslaggebeurtenissen beperkt tot de tijd waarin 85 procent van de totale neerslaghoeveelheid van die gebeurtenissen is gevallen. De duur van de standaardneerslaggebeurtenissen is bepaald als de gemiddelde duur van alle uit de gesorteerde reeks geselecteerde gebeurtenissen die extremer zijn dan de betreffende herhalingstijd (extreem in de zin van neerslaghoeveelheid in vijftien minuten). De neerslaghoeveelheid per standaardgebeurtenis is bepaald als gemiddelde van een serie van negen omliggende gebeurtenissen uit de reeks, vier meer extreem (boven) en vier minder extreem (onder) rondom de gebeurtenis van de betreffende herhalingstijd. Voor de herhalingstijden $T=0.25, 0.5, 1.0$ en 2.0 zijn twee vormen gedefinieerd met eenzelfde duur, totale neerslaginhoud en maximale intensiteit. Maar wel met een ander tijdsverloop. Het verschil zit in het moment dat de maximale inlooptintensiteit optreedt: piek voor- of achterin de gebeurtenis. Er is steeds uitgegaan van een piekduur van tien minuten.

Neerslaghoeveelheid (mm)										
Tijdvak (min)	Herhalingstijd (jaar) en buinummer									
	v 0.25 a		v 0.5 a		v 1.0 a		v 2.0 a		5.0	10.0
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
0-5	.30	.15	.30	.15	.30	.15	.60	.30	1.50	1.80
5-10	.60	.15	.60	.30	.60	.30	1.20	.60	2.70	3.60
10-15	.90	.15	.90	.45	1.50	.45	2.10	.90	4.80	6.30
15-20	1.20	.30	1.50	.60	2.70	.60	3.30	1.20	4.80	6.30
20-25	1.50	.45	2.10	.75	2.70	.75	3.30	1.50	4.20	5.70
25-30	1.50	.60	2.10	.90	2.10	.90	2.70	2.10	3.30	4.80
30-35	1.05	.75	1.50	1.05	1.50	1.05	2.10	2.70	2.70	3.60
35-40	.90	.90	1.20	1.20	1.20	1.20	1.50	3.30	2.10	2.40
40-45	.75	1.05	1.05	1.50	1.05R	1.50	1.20	3.30	1.50	1.20
45-50	.60	1.50	.90	2.10	.90	2.10	.90	2.10	.90	
50-55	.45	1.50	.75	2.10	.75	2.70	.60	1.20	.60	
55-60	.30	1.20	.60	1.50	.60	2.70	.30	.60	.30	
60-65	.15	.90	.45	.90	.45	1.50				
65-70	.15	.60	.30	.60	.30	.60				
70-75	.15	.30	.15	.30	.15	.30				
totaal	10.50		14.40		16.80		19.80		29.40	35.70

Tabel B3.2 Standaardneerslag-gebeurtenissen (verloop in mm/5 minuten), piek voor- (v) of achterin (a) de gebeurtenis

Neerslagintensiteit ($l.s^{-1}.ha^{-1}$)										
Tijdvak (min)	Herhalingstijd (jaar) en buinummer									
	v 0.25 a		v 0.5 a		v 1.0 a		v 2.0 a		5.0	10.0
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
0-5	10	5	10	5	10	5	20	10	50	60
5-10	20	5	20	10	20	10	40	20	90	120
10-15	30	5	30	15	50	15	70	30	160	210
15-20	40	10	50	20	90	20	110	40	160	210
20-25	50	15	70	25	90	25	110	50	140	190
25-30	50	20	70	30	70	30	90	70	110	160
30-35	35	25	50	35	50	35	70	90	90	120
35-40	30	30	40	40	40	40	50	110	70	80
40-45	25	35	35	50	35	50	40	110	50	40
45-50	20	50	30	70	30	70	30	70	30	
50-55	15	50	25	70	25	90	20	40	20	
55-60	10	40	20	50	20	90	10	20	10	
60-65	5	30	15	30	15	50				
65-70	5	20	10	20	10	20				
70-75	5	10	5	10	5	10				

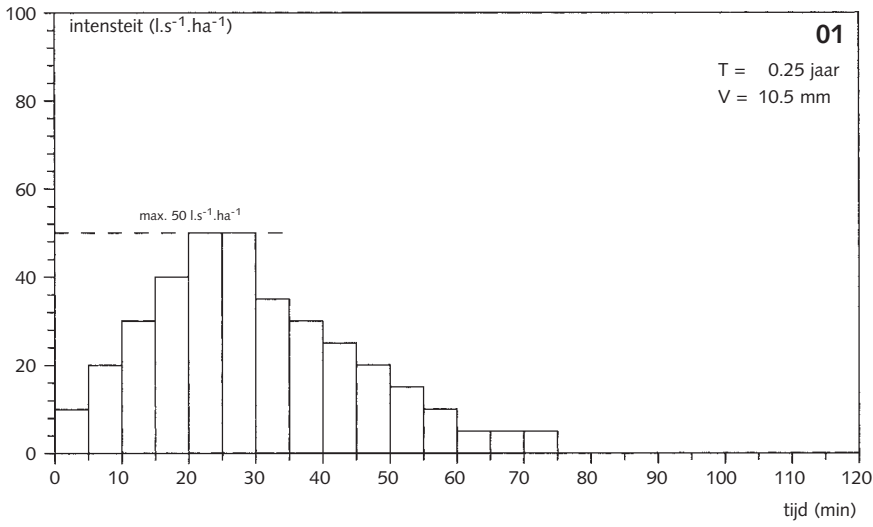
Controle afvoercapaciteit

Met deze module kunt u het functioneren van een rioolstelsel (op termijn) volledig op strengniveau met een meerjarige neerslagbelasting berekenen. De reken capaciteit is op dat punt soms nog een beperking. Voor de controle van het functioneren van de afvoercapaciteit van een stelsel is daarom een set neerslaggebeurtenissen bepaald (nummers 01 t/m 10). Hiermee controleert u de afvoer van water naar de overstorten tijdens extreme regen. Naast de controle van de afvoercapaciteit van een stelsel kunt u deze gebeurtenissen gebruiken voor de controle van het functioneren van een aangepast model voor reeksberekeningen. Bij de gebeurtenissen is onderscheid gemaakt in een piekintensiteit voor- en achterin de bui. Ervaring leert dat een piek achterin de bui in vrijwel elke situatie maatgevend is voor de afvoercapaciteit van een stelsel. Dit heeft vooral te maken met de vulling van het systeem, voorafgaand aan de piekintensiteit.

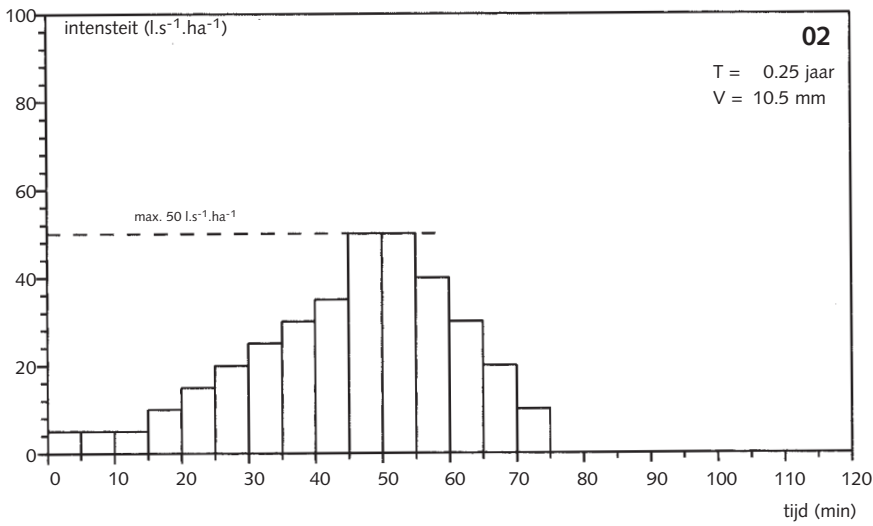
In de praktijk worden de standaardneerslaggebeurtenissen niet alleen gebruikt voor de controle van de afvoercapaciteit van een stelsel of de controle van het aangepaste model. Maar bijvoorbeeld ook voor de bepaling van effecten van lozingen op oppervlaktewater, bergingscapaciteit van infiltratievoorzieningen en bergingscapaciteit van oppervlaktewater. Voor de bergingscapaciteit van een systeem kunnen andere gebeurtenissen maatgevend zijn dan voor de afvoercapaciteit. Voor de controle van de afvoercapaciteit van een rioolstelsel zijn korte hevige buien vaak maatgevend.

Maar extreme overstortingshoeveelheden zijn niet alleen het gevolg van korte en hevige onweersbuien in de zomer. Ze kunnen ook in de herfst voorkomen na langdurige en/of opeenvolgende neerslaggebeurtenissen. Ga daarom bij controle van de bergingscapaciteit van een systeem en het bepalen van herhalingstijden van lozingen naar oppervlaktewater uit van een berekening met een meerjarige neerslagreeks.

3.2 Herhalingstijd 0.25 jaar



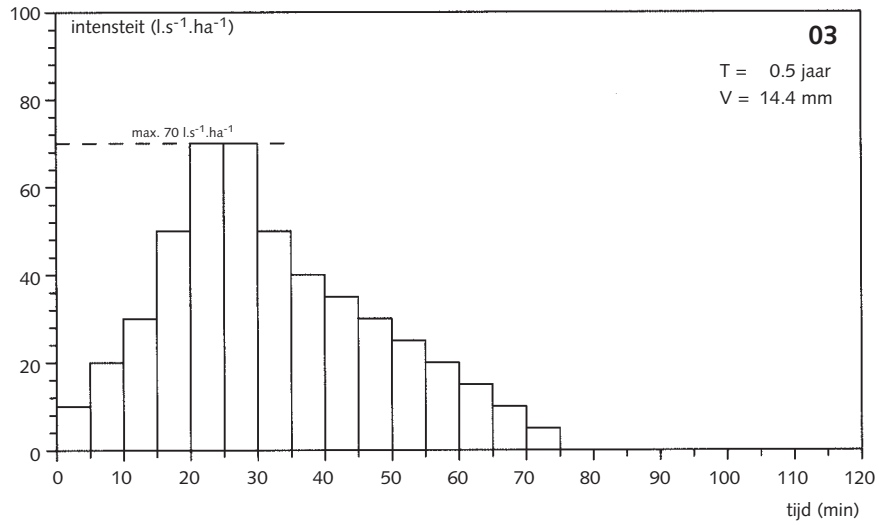
Figuur B3.1
Neerslaggebeurtenis 01



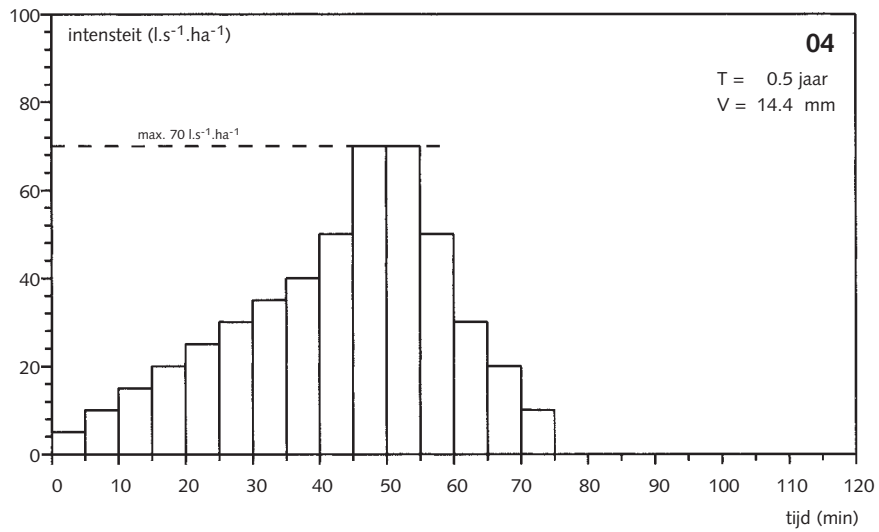
Figuur B3.2
Neerslaggebeurtenis 02

3.3 Herhalingstijd 0.5 jaar

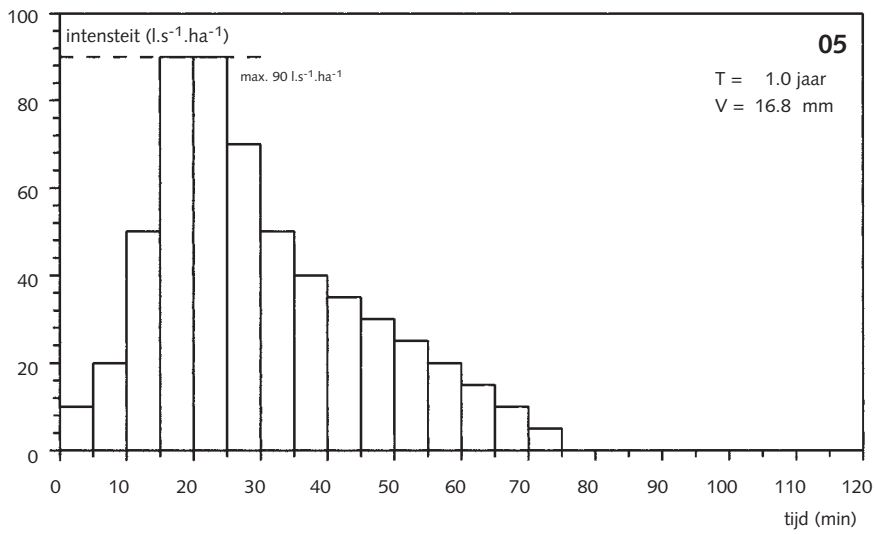
Figuur B3.3
Neerslaggebeurtenis 03



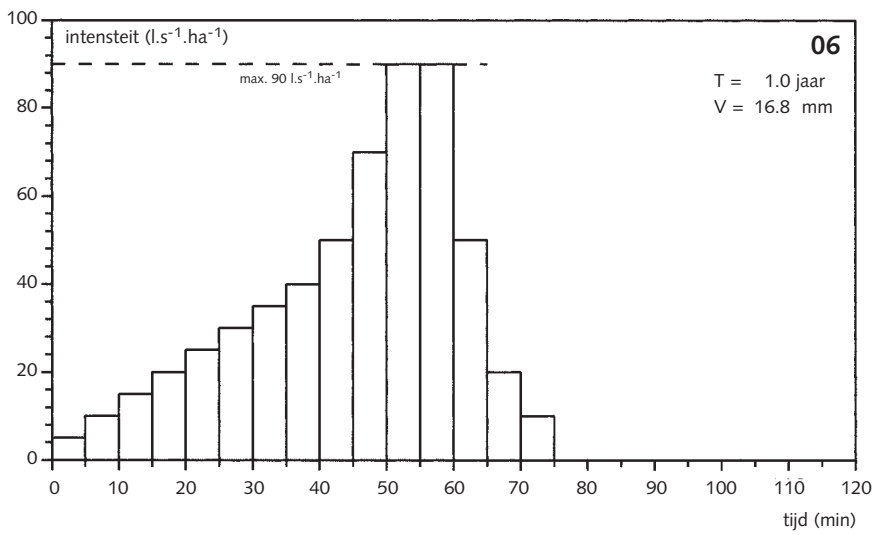
Figuur B3.4
Neerslaggebeurtenis 04



3.4 Herhalingstijd 1.0 jaar



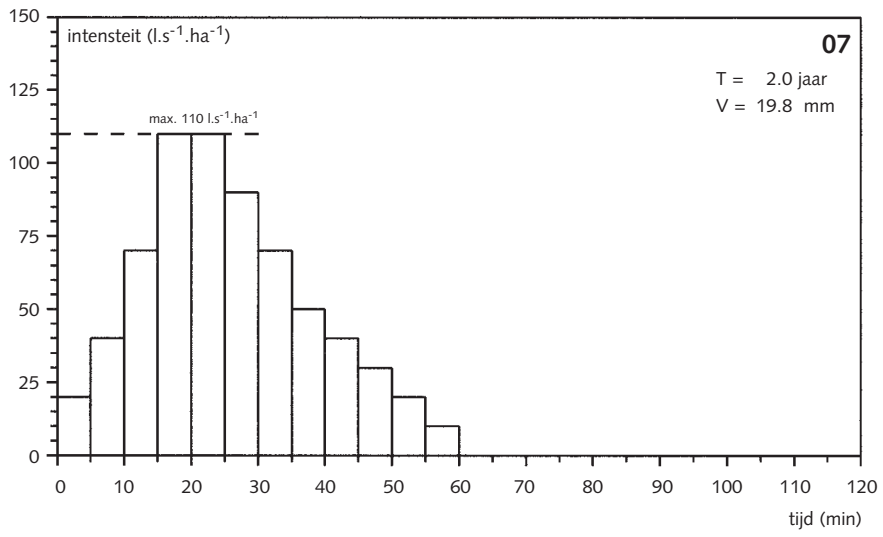
Figuur B3.5
Neerslaggebeurtenis 05



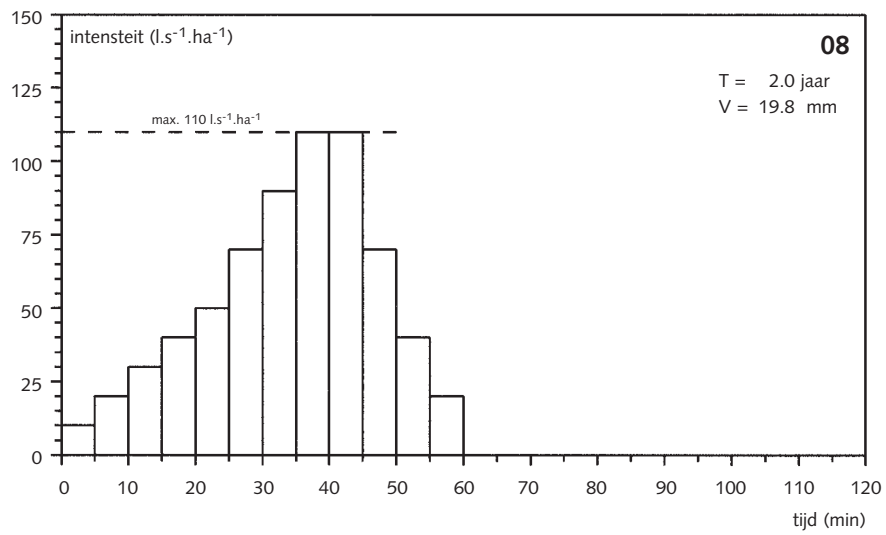
Figuur B3.6
Neerslaggebeurtenis 06

3.5 Herhalingstijd 2.0 jaar

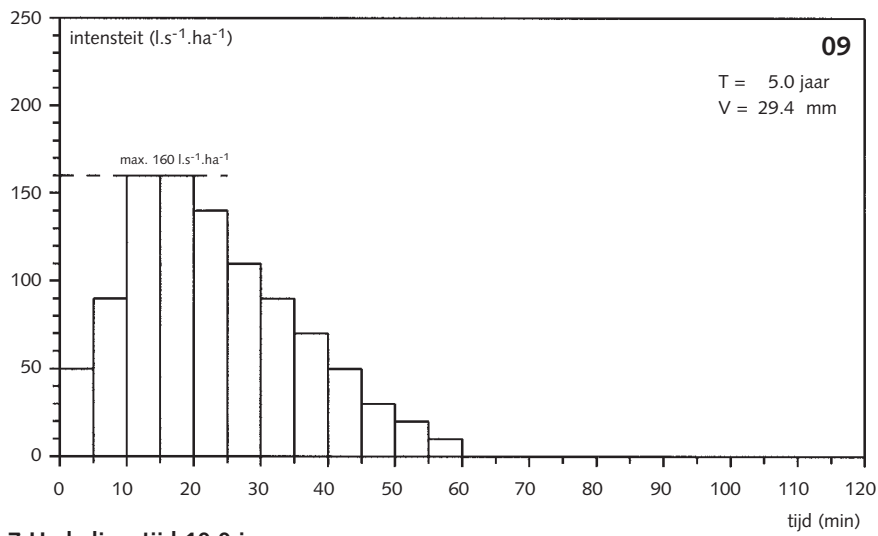
Figuur B3.7
Neerslaggebeurtenis 07



Figuur B3.8
Neerslaggebeurtenis 08

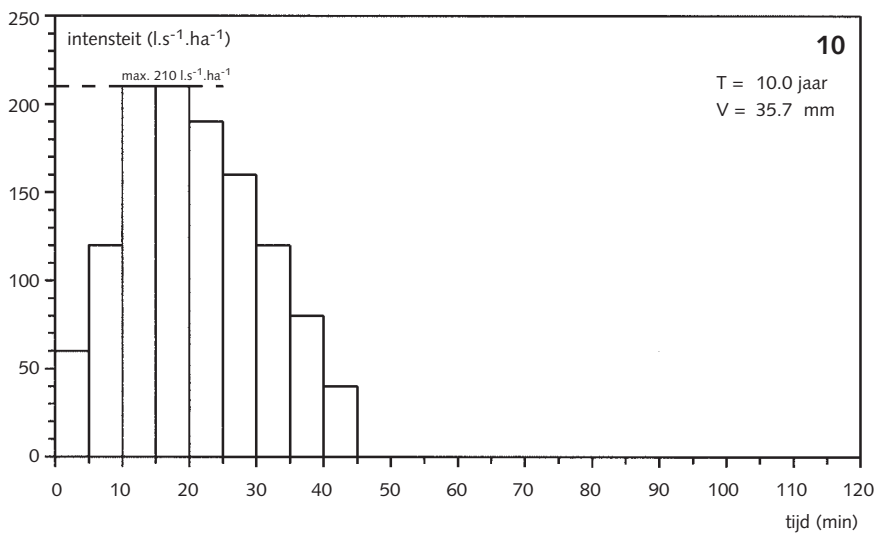


3.6 Herhalingstijd 5.0 jaar



Figuur B3.9
Neerslaggebeurtenis 09

3.7 Herhalingstijd 10.0 jaar



Figuur B3.10
Neerslaggebeurtenis 10

Bijlage 4 Inloophydrogrammen

4.1 Kenmerken

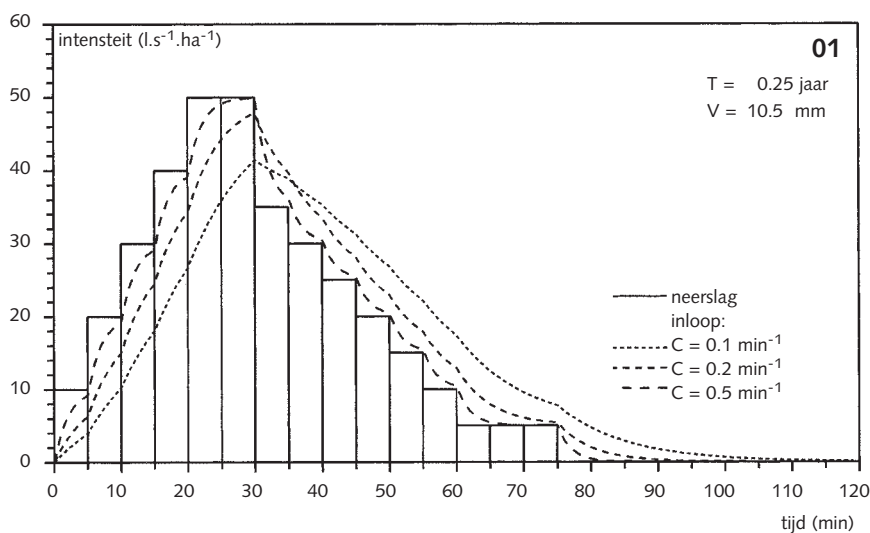
De defaultinstelling van het NWRW 4.3-model betreft vlak oppervlak waarbij alleen afstromingsvertraging in rekening is gebracht. Deze bijlage geeft het effect weer van afstromingsvertraging op de vervorming van neerslag naar inloop (op basis van de standaardneerslaggebeurtenissen in bijlage 3). Hierbij is de schematisering voor hellend, vlak en vlak uitgestrekt oppervlak gebruikt.

Tabel B4.1
Afstromingsvertraging

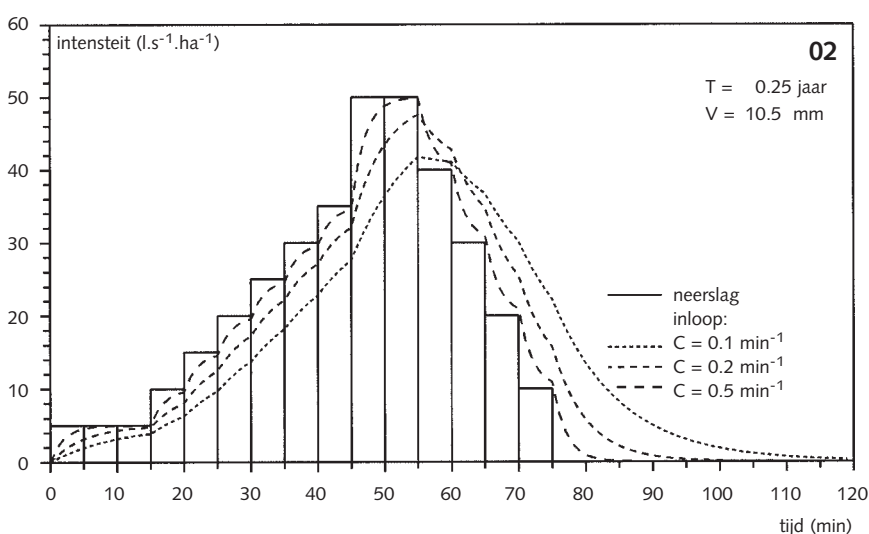
Type oppervlak	Afstromingsvertraging (min^{-1})
Hellend oppervlak	0.5
Vlak oppervlak	0.2
Vlak uitgestrekt oppervlak	0.1

Als u bij de schematisering van aangesloten afvoerend oppervlak alleen verhard oppervlak in rekening brengt (zie paragraaf 5.3.2), moet u als afstromingsvertraging 0.2 min^{-1} hanteren.

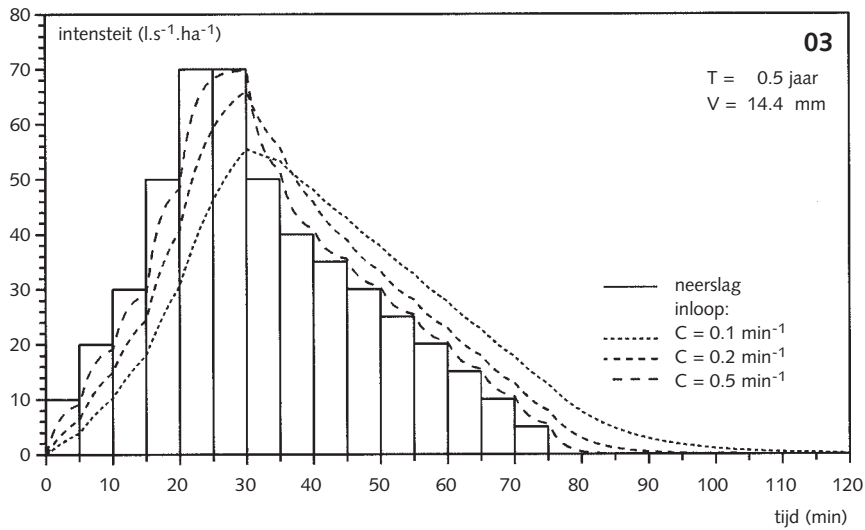
Figuur B4.1 Afstromingsvertraging bij neerslaggebeurtenis 01



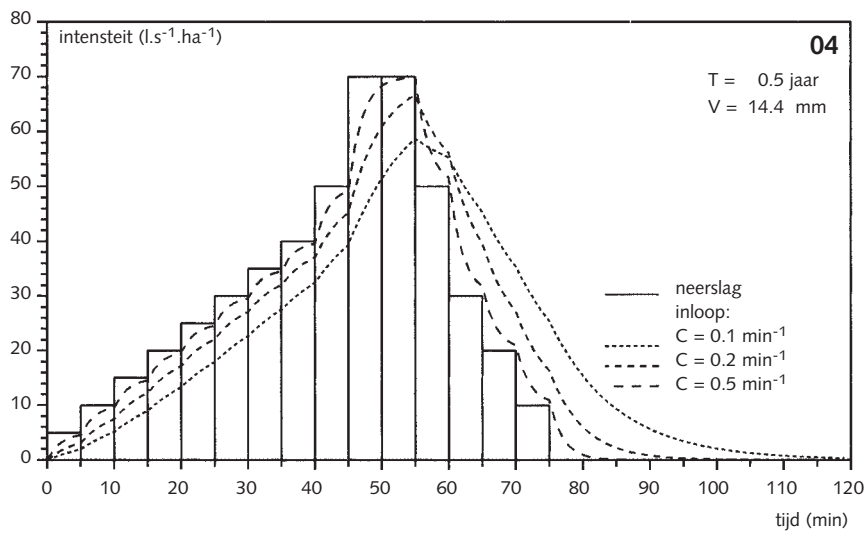
Figuur B4.2 Afstromingsvertraging bij neerslaggebeurtenis 02



4.3 Herhalingstijd 0.5 jaar



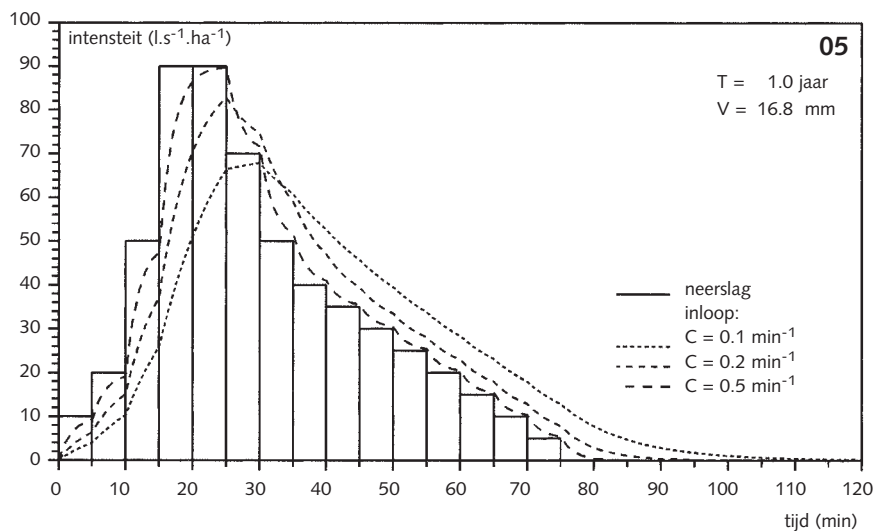
Figuur B4.3
 Afstromingsvertraging bij
 neerslaggebeurtenis 03



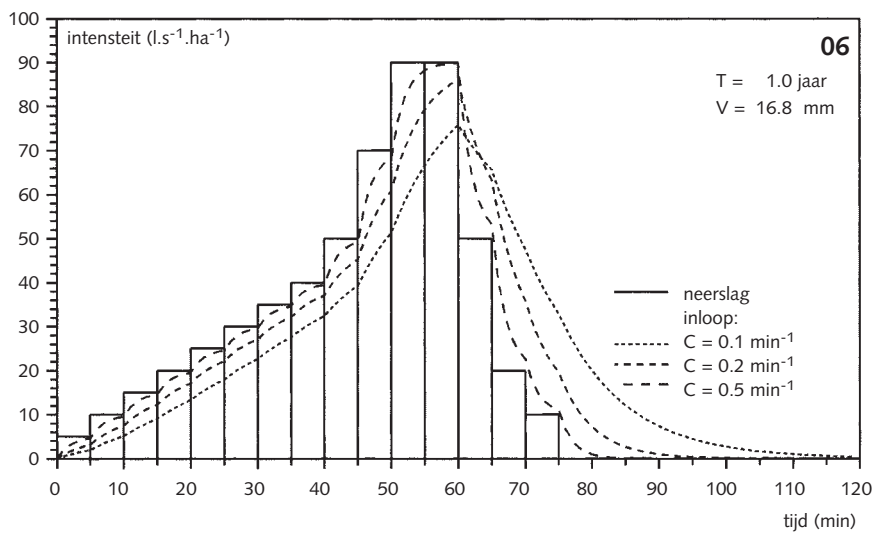
Figuur B4.4
 Afstromingsvertraging bij
 neerslaggebeurtenis 04

Figuur B4.5 Afstromingsvertraging bij neerslaggebeurtenis 05

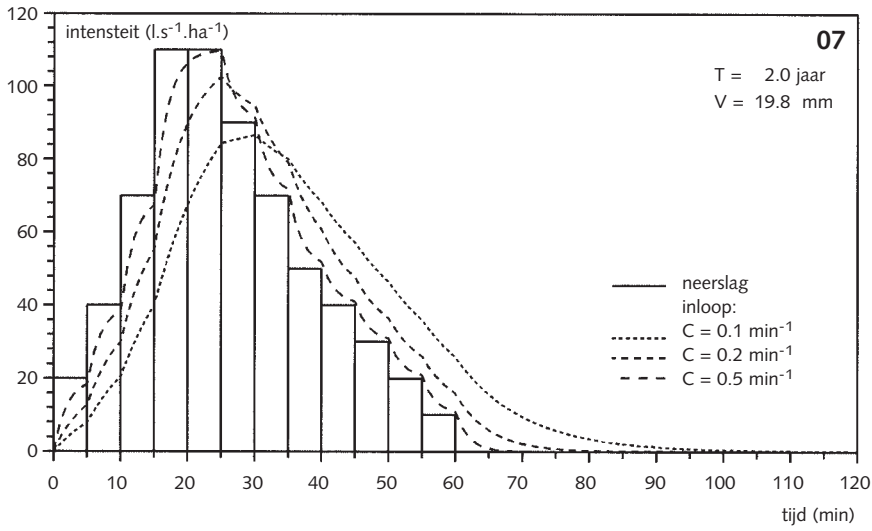
4.4 Herhalingsstijd 1.0 jaar



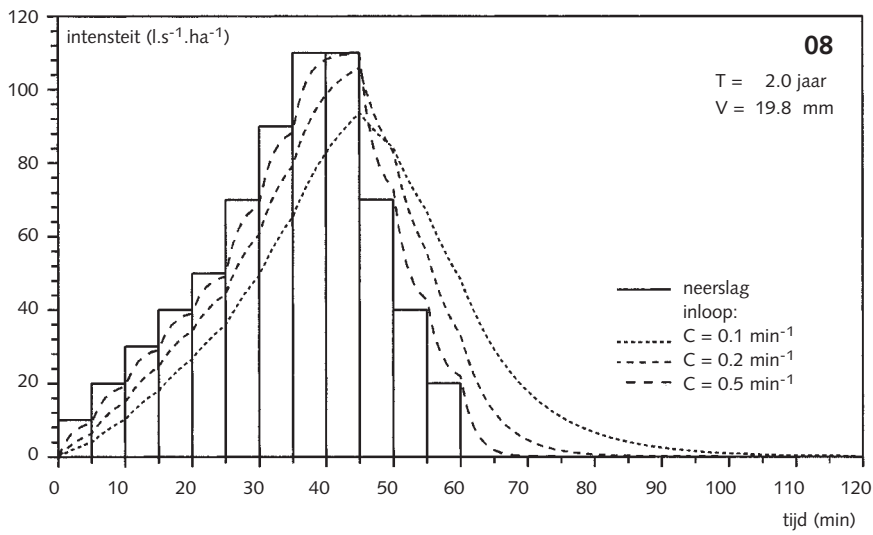
Figuur B4.6 Afstromingsvertraging bij neerslaggebeurtenis 06



4.5 Herhalingstijd 2.0 jaar



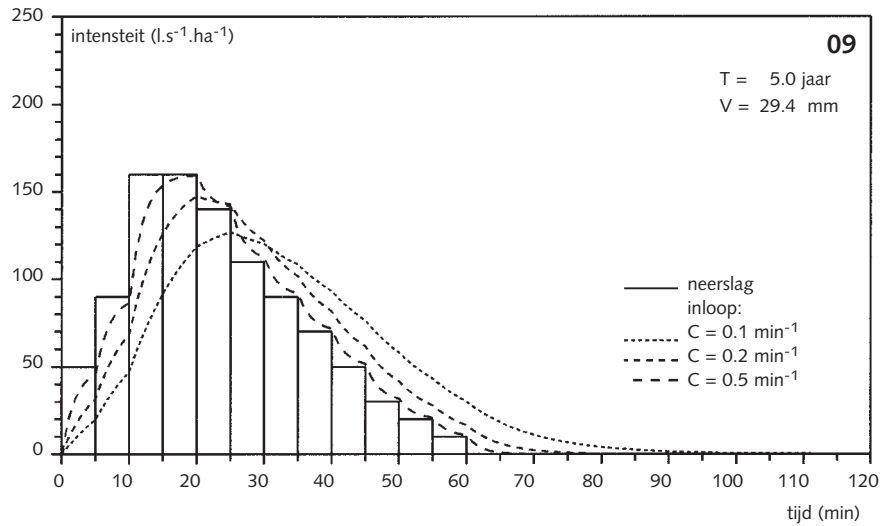
Figuur B4.7 Afstromingsvertraging bij neerslaggebeurtenis 07



Figuur B4.8 Afstromingsvertraging bij neerslaggebeurtenis 08

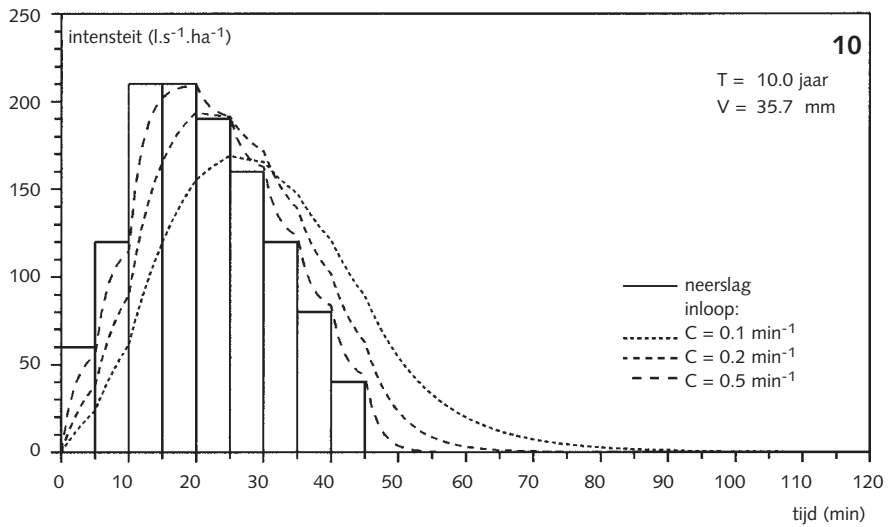
Figuur B4.9
Afstromingsvertraging bij
neerslaggebeurtenis 09

4.6 Herhalingstijd 5.0 jaar



Figuur B4.10
Afstromingsvertraging bij
neerslaggebeurtenis 10

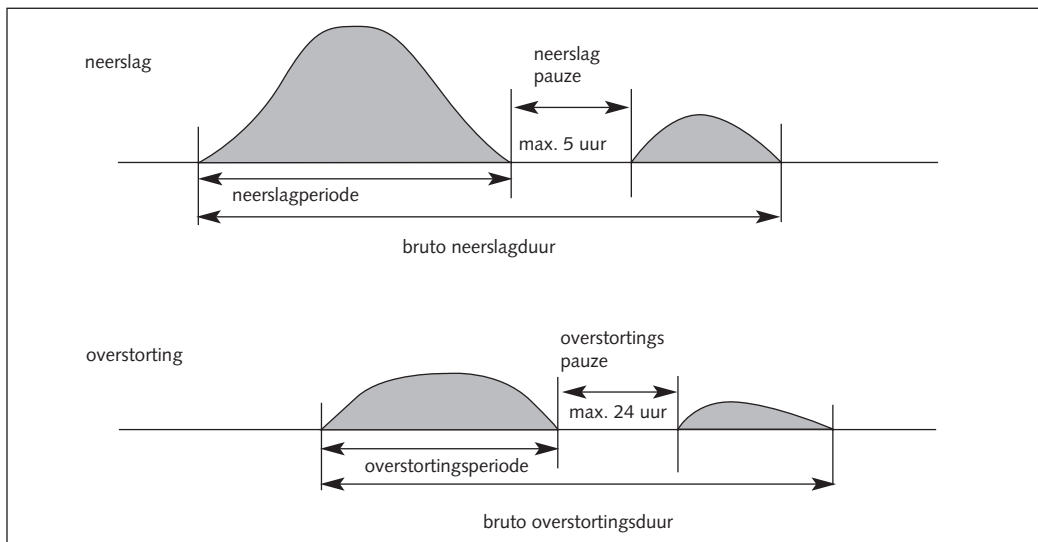
4.7 Herhalingstijd 10.0 jaar



Bijlage 5 Definitie neerslag- en overstortingsgebeurtenissen

Zowel bij neerslag als bij overstortingen is de bruto duur van de geregistreerde gebeurtenissen van belang. Het NWRW-onderzoek 'Loenen' en het onderzoek 'Maartensdijk' gaan voor de definitie van een neerslaggebeurtenis uit van een maximale neerslagpauze van vijf uur. Deze benadering is gekozen om te voorkomen dat u bij een relatief korte pauze tussen neerslagperioden onderscheid moet maken tussen twee of meer verschillende gebeurtenissen. Het NWRW-onderzoek geeft geen aparte definitie van een overstortingsgebeurtenis. Deze is hierin gerelateerd aan die van de neerslaggebeurtenis. De (deel-)overstortingen na een (gedefinieerde) neerslaggebeurtenis worden samen als één overstortingsgebeurtenis beschouwd.

Voor de bewerking van de reeksberekeningenresultaten hanteert deze module voor een overstortingsgebeurtenis een enigszins afwijkende definitie. Die definitie is daarbij losgekoppeld van het neerslagverloop. Analoog aan een neerslaggebeurtenis gaat deze module voor de definitie van de overstortingspauze uit van een overstortingsgebeurtenis van maximaal 24 uur. Voordeel hiervan is dat u in een reeks van overstortingsdebieten per locatie op dezelfde manier onderscheid kunt maken in overstortingsgebeurtenissen. Bovendien kunt u hierbij het neerslagverloop buiten beschouwing laten.



Figuur B5.1 Definitie neerslag en overstortingsgebeurtenis

De terminologie van bruto of netto neerslags- en overstortingsduur staat in relatie tot eerdergenoemde definities. De netto duur omvat alleen de 'natte' duur van een neerslag- of overstortingsgebeurtenis. De bruto duur omvat de netto duur én de tussenliggende neerslag- of overstortingspauze(s).

Bijlage 6 Stuurparameters rekenproces

Naast beschrijvende parameters van de hydraulische processen hebt u enkele parameters nodig om de berekeningen daadwerkelijk uit te voeren. De waarde van deze parameters hangt af van de gebruikte niet-stationaire rekenmethode. Daarom beschrijft deze bijlage alleen de twee belangrijke stuurparameters van het rekenproces: de rekentijdstap en de uitvoertijdstap.

Rekentijdstep

Bij gebruik van de programmatuur moet u vaak de discrete rekestijdstep opgeven. De keuze van de tijdstap heeft directe invloed op de:

- nauwkeurigheid van de berekening;
- stabiliteit van de berekening;
- rekestijd.

In het algemeen betekent een kleine tijdstap een grote nauwkeurigheid en stabiliteit, maar ook een relatief lange rekestijd.

Uitvoertijdstep

De gewenste nauwkeurigheid van het tijdsafhankelijke verloop van debieten en waterstanden én de daarvoor benodigde rekestijd en opslagcapaciteit bepalen de grootte van de uitvoertijdstep. Een te grote uitvoertijdstep is gevaarlijk, omdat instabiliteiten dan niet meer herkenbaar zijn. Hanteer daarom voor uitvoer tijdens neerslag en/of overstorting een uitvoertijdstep van maximaal een minuut in gebeurtenisberekeningen en maximaal vijf minuten in reeksberekeningen. Na controle op de stabiliteit van het rekenproces kunt u onder dwa-condities (bijvoorbeeld in reeksberekeningen) een grotere uitvoertijdstep gebruiken.

Bijlage 7 Voorbeeld statistische bewerking van reeks-berekeningsresultaten

Op de resultaten van een reeksrekening kunt u eenvoudige statistische bewerkingen toepassen. Deze bijlage geeft hiervan een voorbeeld.

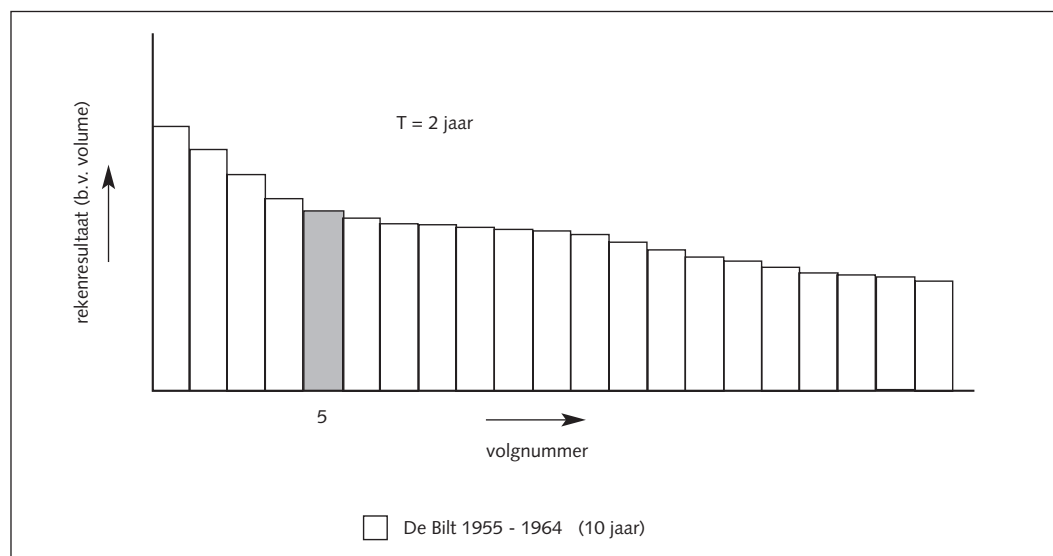
Methode van de steekproefkwantielen

Sorteer de lijst van overstortingsgebeurtenissen op afnemende grootte van de totale overstortingshoeveelheid per gebeurtenis. Volgens de methode van de steekproefkwantielen kunt u vervolgens aan de x^e -gebeurtenis uit een reeks van gebeurtenissen over één jaar een herhalingstijd T (kans van optreden) koppelen volgens:

$$T = \frac{n}{x^e \text{ gebeurtenis}}$$

Zo heeft de vijfde gebeurtenis (volnummer) uit de neerslagreeksresultaten met een lengte van tien jaar een herhalingstijd van één keer per twee jaar (5 jaar/10e gebeurtenis).

Figuur B7.1 Resultaat reeksrekening gesorteerd op volume, bewerking resultaat $T = 2$ jaar



Als u een neerslagreeks met een lengte van 25 jaar gebruikt, heeft de 25e gebeurtenis een herhalingstijd van één keer per jaar. Het volume voor een herhalingstijd van T= 2 jaar berekent u als het gemiddelde van de twaalfde en dertiende gebeurtenis bij een reeks van 25 jaar, ofwel:

$$\text{Volume}_{T=2} = \text{Volume}_{12\text{e gebeurtenis}} - 0.5 (\text{Volume}_{12\text{e gebeurtenis}} - \text{Volume}_{13\text{e gebeurtenis}})$$

Een overstortingsgebeurtenis is gedefinieerd als een samengevoegde serie van deeloverstortingen met een maximale overstortingspauze van 24 uur tussen twee deeloverstortingen. In twee variantberekeningen van een systeem kan sprake zijn van een verschillende samenvoeging van deel-overstortingen. Dit effect is van invloed op de statistiek van de extremen, maar niet op de gemiddelde hoeveelheden per jaar.

In tabel B7.1 staan de resultaten van de simulatie van een neerslagreeks van 25 jaar, gesorteerd op volume per gebeurtenis.

Neerslagbelasting: De Bilt, vijftien minuten 1955-1979					
Situatie rioelstelsel: Didactisch rioelstelsel situatie 1995, inclusief randvoorzieningen					
Overstortlocatie: 09002					
Datum berekening: 950525					
herhalingstijd (jr)	volgnummer (-)	datum (jjmdd)	tijd (hh:mm)	volume (m ³)	volume (m ³)
10	1	601012	00:22	8493	7150
	2	660719	03:25	7298	
	2,5				
	3	610606	22:00	7002	
5	4	650616	20:57	6514	5395
	5	601203	19:43	5395	
	6	790530	21:41	5089	
	7	700916	02:30	4098	
	8	660731	02:24	3996	
2	9	730521	16:27	3871	3634
	10	640819	04:37	3823	
	11	560825	05:19	3650	
	12	740804	19:06	3642	
	12,5				
	13	750623	21:46	3626	
	14	650903	06:25	3600	
	15	650708	03:10	3332	
	16	740617	16:52	3322	
	17	671223	02:19	3123	
	18	741004	04:05	2967	
	19	660618	18:11	2740	
1	20	660915	05:07	2634	2263
	21	620726	15:06	2616	
	22	680706	13:37	2523	
	23	690820	09:00	2463	
	24	690824	06:14	2398	
	25	621002	20:00	2263	

Tabel B7.1 Resultaten per overstort, gesorteerd op overstortingshoeveelheid per gebeurtenis, neerslagreeks 1955-1979

De overstortingshoeveelheden voor de verschillende herhalingstijden zijn met de methode van de steekproefkwantielen bepaald. Interpreteer de bepaalde volumens met de herhalingstijden $T = 10$ en 25 jaar voorzichtig, want deze zijn minder betrouwbaar.

Correctie voor grote herhalingstijden bij reeks van tien jaar

Als vuistregel kunt u aanhouden dat u de herhalingstijd tot $T = \sqrt{n}$ jaar met voldoende betrouwbaarheid kunt bepalen (waarbij n gelijk is aan het aantal jaren in de reeks). De betrouwbaarheid van de bepaling van de overstortingshoeveelheid met een herhalingstijd van één keer per vijf of tien jaar op basis van de resultaten van een neerslagreeks van tien jaar, neemt dus sterk af. In de praktijk wordt daarom ook wel gesproken van de 'één keer per tien jaar gebeurtenis' voor de betreffende reeks van tien jaar. Om deze onbetrouwbaarheid bij gebruik van een reeks van tien jaar te ondervangen, is gezocht naar een correctie voor $T = 5$ en $T = 10$ jaar. Zodat deze beter corresponderen met de resultaten uit de bewerking volgens de methode van de steekproefkwantielen voor $T = 5$ en $T = 10$ jaar bij een reeks van 25 jaar.

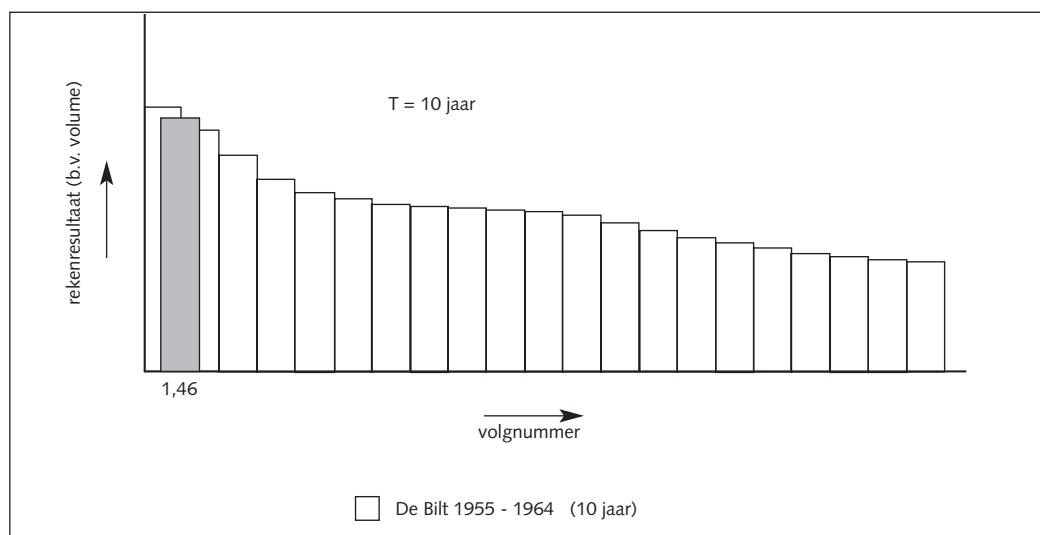
Als u de overstortingshoeveelheden van een reeks van tien jaar sorteert naar afnemende grootte, geeft de volgende correctie een betere benadering:

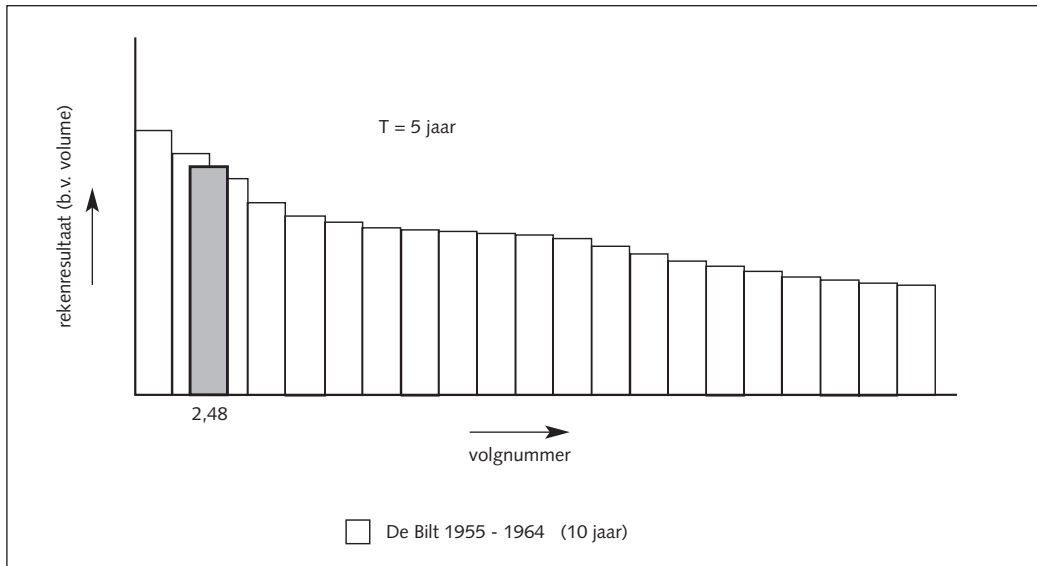
$$\text{Volume}_{T=10} = \text{Volume}_{1\text{e gebeurtenis}} - 0.46 (\text{Volume}_{1\text{e gebeurtenis}} - \text{Volume}_{2\text{e gebeurtenis}})$$

$$\text{Volume}_{T=5} = \text{Volume}_{2\text{e gebeurtenis}} - 0.48 (\text{Volume}_{2\text{e gebeurtenis}} - \text{Volume}_{3\text{e gebeurtenis}})$$

De '1.46e gebeurtenis' heeft dus een herhalingstijd van één keer per tien jaar en de '2.48e gebeurtenis' een herhalingstijd van één keer per vijf jaar. Voor dezelfde overstortings situatie als in tabel 7.1 staan in tabel 7.2 de resultaten van de neerslagreeks van tien jaar. Hierbij is gebruikgemaakt van de eerder omschreven correctie voor $T = 5$ en $T = 10$ jaar.

Figuur B7.2 Resultaat reeks-berekening gesorteerd op volume, bewerking resultaat $T = 10$ jaar





Figuur B7.3 Resultaat reeks-berekening gesorteerd op volume, bewerking resultaat T= 5 jaar

Neerslagbelasting: De Bilt, vijftien minuten 1955-1979					
Situatie rioelstelsel: Didactisch rioelstelsel situatie 1995, inclusief randvoorzieningen					
Overstortlocatie: 09002					
Datum berekening: 950525					
herhalings-tijd (jr)	volgnummer (-)	datum (jjmmdd)	tijd (hh:mm)	volume (m ³)	volume (m ³)
10	1	601012	00:22	8493	7809
	1.46				
5	2	610606	22:00	7002	6231
	2.48				
	3	601203	19:43	5395	
	4	640819	04:37	3823	
	5	560825	05:19	3650	

Tabel B7.2 Resultaten per overstort, gesorteerd op overstortingshoeveelheid per gebeurtenis, neerslagreeks 1955-1964

Bijlage 8 Traditionele benadering berging, pompoevercapaciteit en overstortingsfrequentie

De benadering van deze module wijkt op enkele punten af van de traditionele benadering. Een belangrijk uitgangspunt is een zo goed mogelijke benadering van de werkelijkheid. Voor de modellering van een rioelstelsel betekent dit een meer genuanceerde en realistischere benadering dan de traditionele aanpak. Met name door de toepassing van een meerjarige neerslagreeks, regengebeurtenissen met een tijdsafhankelijk verloop, een inloopmodel om het proces van afstroming van neerslag naar de rioelring te beschrijven en niet-stationaire stromingsmodellen.

Berging

Een begrip dat traditioneel een essentiële rol heeft gespeeld in de rioelringstechniek en in deze module niet meer voorkomt, is de berging van een rioelstelsel. Traditioneel is de berging de inhoud van het leidingensysteem beneden het niveau van de laagste overstortdrempel. De berging in de inspectieputten werd niet meegeteld in de berging van het stelsel en het volume van de dwa-stroom werd niet in mindering gebracht op de berging van het stelsel.

In 1972 heeft de Commissie Riolering en Waterverontreiniging van de afdeling Gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs (KIVI) zich onder meer gebogen over het begrip dynamische berging. De dynamische berging in een rioolstelsel betekent (vrij vertaald) de hoeveelheid water die boven het niveau van de laagste overstortdrempel onderweg is naar het rioolgemaal en ook door het rioolgemaal kan worden afgevoerd.

Sindsdien zijn resultaten geproduceerd die, voor rioolstelsels zonder specifieke stuwconstructies, met een statische berekening uitkwamen op een dynamische berging van 1.5 mm. Volgens de definitie betekent dit dat een deel van het water in het systeem de zwaartekracht ruim twee uur moet trotseren, om niet tot overstorting te komen. Want bij een pompovercapaciteit van $0.7 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ kan in twee uur 1.4 mm water worden weggepompt. In werkelijkheid zal de dynamische berging vaak niet meer dan 0.2 tot 0.3 mm bedragen.

Sinds de introductie van het begrip dynamische berging wordt de inhoud van het stelsel beneden de laagste overstortdrempel statische berging (of onderdrempelberging) genoemd.

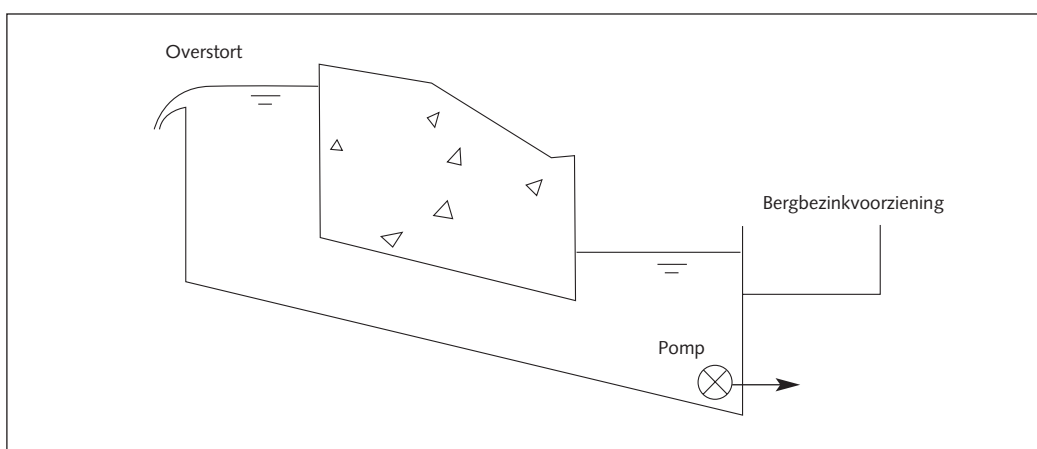
Pompovercapaciteit

Pompovercapaciteit is de gemiddelde capaciteit die na afloop van een bui beschikbaar is voor lediging van een rioolstelsel. Vaak komt dat neer op de bruto pompcapaciteit minus de permanente belasting, zoals dwa en andere lozingen.

Overstortingsfrequentie

De bergings- en pompovercapaciteit vormden traditioneel de basis van een vereenvoudigde beschrijving van een rioolstelsel. Deze beschrijving moest een eenduidige indruk geven van de overstortingsfrequentie van een rioolstelsel. Deze benadering is beschreven als de methode Kuipers en maakt gebruik van de bekende 'stippengrafiek'. Het belangrijkste kenmerk van de overstortingsfrequentie volgens Kuipers is de eenvoud van de maatstaf. Deze maatstaf was destijds vooral bedoeld om in Nederland systemen aan te leggen met vergelijkbare bergingscapaciteit. Een nadeel van de overstortingsfrequentie volgens Kuipers is de afwijking met de werkelijkheid. Bovendien is het toepassingsgebied beperkt tot rioolstelsels met één overstort. Er zijn situaties dat u een overstortingsfrequentie op basis van bergings- en pompovercapaciteit niet eenduidig kunt bepalen. Dit geldt voor rioolstelsels verdeeld in stuwgebieden die zijn gekoppeld via interne overstorten en stuwopeningen (wervelventielen). En ook voor systemen die zich bij hevige regen ongelijkmatig vullen (zie figuur B8.1).

Figuur B8.1 Ongelijkmatige vulling berging met effect op de overstortingsfrequentie van lage drempel naar bergbezinkvoorziening



Door ongelijkmatige vulling van het stelsel bij hevige regen, kan de hoger gelegen overstortdrempel eerder werken dan de interne overstort naar de bergbezinkvoorziening. De overstortingsfrequentie wordt hierbij niet alleen bepaald door de bergingscapaciteit van het stelsel, maar ook door de afvoercapaciteit van bepaalde (knijpende) leidingen.

Vanaf de jaren zestig zijn diverse benaderingen gepresenteerd om de bepaling van bergingscapaciteit van een rioolstelsel te verfijnen. Hierdoor werden begrippen als dynamische berging en verloren berging (als tegenhanger) geïntroduceerd. Het NWRW-onderzoek concludeert dat de overstortingsfrequentie ongeschikt is als maatstaf voor de beoordeling van het milieutechnisch functioneren (vuiluitworp) van een rioolstelsel.

Meer gericht op functioneren dan kenmerken

In deze module komen begrippen als statische en dynamische bergings- en pompoevercapaciteit niet meer voor. Terwijl deze begrippen soms nog wel zijn opgenomen in de maatstaven van waterbeheerders. De basisinspanning voor (nieuwe) rioolstelsels was in 1998 gerelateerd aan de bergings- en pompoevercapaciteit van een referentiestelsel. Deze module is meer gericht op het functioneren van een stelsel dan op specifieke kenmerken, zoals bergings- en pompoevercapaciteit. Een maatstaf voor de basisinspanning uitgedrukt in de emissie van een rioolstelsel, past beter bij deze meetmethode. Met een hydraulische berekening volgens deze module berekent u het verloop van het overstortingsdebiet per locatie voor een meerjarige periode. Uit deze reeks van overstortingsdebieten kunt u per locatie diverse kengetallen afleiden. Bijvoorbeeld het gemiddelde overstortingsvolume per jaar of seizoen, de herhalingsstijd van het overstortingsvolume of het gemiddeld aantal overstortingen per jaar.

Bijlage 9 Water op straat en wateroverlast

Bij de beoordeling van het functioneren van een rioolstelsel bij 'water op straat' bestaat onderscheid tussen de begrippen 'water op straat' en 'wateroverlast'. 'Water op straat' is een (berekend) waterstands niveau dat hoger is dan het plaatselijke maaiveld of putdekselniveau. In de praktijk is 'water op straat' vaak plasvorming van een beperkte omvang en duur. In principe worden woningen ruim boven straatpeil gebouwd om bij 'water op straat' overlast van water in woningen te voorkomen.

'Wateroverlast' is 'water op straat' waarbij overlast optreedt, zoals opdrijvende putdeksels, water in woningen en langdurig grote waterhoeveelheden op het maaiveld. Een paar keer per jaar 'water op straat' is in Nederland een geaccepteerd verschijnsel en zorgt alleen onder specifieke omstandigheden voor overlast. Wateroverlast is uiteraard ongewenst. Voorkoming hiervan heeft meestal meer te maken met de hoogteligging van het maaiveld dan met de afvoercapaciteit van het rioolstelsel.

Afgenomen veiligheid

Door de aanscherping van de eisen voor vuiluitworp uit rioolstelsels zijn de afgelopen jaren maatregelen getroffen om de beschikbare berging effectiever te benutten. Denk aan realisatie van stuwputten en beperking van het aantal overstorten. Ondanks dat rekentechnisch wordt voldaan aan de maatstaven voor 'water op straat', is het zeer waarschijnlijk dat de veiligheid van systemen op dit punt is afgenomen. De verzekeringswereld geeft (nog) geen duidelijke toename van het aantal schademeldingen aan. Maar de vasthoudendheid van de claimende burger is aanzienlijk groter geworden. Soms wordt incidenteel optredende overlast geaccepteerd. Maar acceptatie vanuit een historische gewenning kan omslaan in een nul-tolerantie.

9.1 Theorie en praktijk

De voorspellende waarde van een hydraulische berekening van 'water op straat' bij een rioelstelsel is vaak beperkt. Want u kunt maar een deel van de optredende processen in een berekening meenemen. Het ontbreken van bepaalde processen in een berekening kan zowel een versterkend als reducerend effect hebben op de voorspelling van 'water op straat'. Als u de berekeningsresultaten met praktijksituaties vergelijkt, kan er daarom sprake zijn van structurele en toevallige overeenkomsten en verschillen. In het algemeen blijken knelpunten die uit berekeningen naar voren komen ook in de praktijk op te treden. Soms met verstrekkende gevolgen. In deze bijlage vindt u voorbeelden van mogelijke verschillen tussen theorie en praktijk van 'water op straat'.

Inventarisatie

De nauwkeurigheid van de berekeningsresultaten wordt vooral bepaald door de:

- nauwkeurigheid van de inventarisatie van de rioelstelselgeometrie;
- grootte van het afvoerend oppervlak;
- verdeling van het afvoerend oppervlak.

Neerslagbelasting

Afwijkingen tussen berekeningsresultaten en waargenomen praktijkverschijnselen kunnen door weersomstandigheden ontstaan. Bijvoorbeeld het zogenaamde gebiedsgrootte-effect. In de berekeningen veronderstelt u dat een regenbelasting met een gelijkmatige spreiding op het stelsel valt. In de praktijk kan bijvoorbeeld een onweersbui op een deel van het gebied vallen of zich over het gebied verplaatsen. Ook kunnen gebeurtenissen elkaar snel opvolgen, waardoor het stelsel nog een zekere voorvulling heeft op het moment dat de volgende bui begint.

Het gebiedsgrootte-effect heeft in het algemeen een reducerend effect op de belasting van een systeem. De grootte van het gebied is hierbij een belangrijke factor. Buien met extreme neerslagintensiteiten vallen vaak zeer plaatselijk, terwijl langdurige matige regens vaak in de vorm van een breed front een gebied passeren.

Een korte opeenvolging van gebeurtenissen heeft in het algemeen een versterkend effect op het optreden van wateroverlast. Vooral bij rioelstelsels met veel berging in vlak gebied. In de praktijk is een (uitzonderlijke) samenloop van omstandigheden mogelijk, met een versterkend effect op wateroverlast. Houd hiermee rekening bij de analyse van wateroverlastgevoelige systemen. Denk aan een neerslagbelasting op een nog niet leeggepompt stelsel.

Afvoer van water over straat

Een belangrijke afwijking tussen theorie en praktijk is dat in de berekeningen het transport van water over straat niet wordt meegenomen. In de praktijk kunnen daarom 'water op straat'-locaties voorkomen, die niet in de resultaten van een berekening zijn terug te vinden.

Verband 'water op straat' en 'wateroverlast'

Het verband tussen berekende locaties van 'water op straat' en de daadwerkelijke 'wateroverlast' is vaak lastig te voorspellen. Een belangrijk effect hierbij is het plaatselijke verloop van het maaiveld. Plaatsen waar veel water verzameld kan worden (laagste punt van een omgeving), vormen een ernstig risico en kunt u beter vermijden. Laaggelegen kelders of tunnels zijn zwakke punten die u moet dimensioneren op zwaardere neerslagbelastingen. Belangrijk is het water zoveel mogelijk via het maaiveld af te leiden naar geschikte locaties. Of te spreiden over een zo groot mogelijk (vlak) oppervlak.

Afvoer onverhard oppervlak

De afvoer uit buitengebied en van onverhard oppervlak wordt in het algemeen beperkt in berekeningen meegenomen. Met name in hellend gebied moet u rekening houden met een bijdrage van het onverhard oppervlak.

Toestand rioolstelsel

'Water op straat' en overlast op plaatsen waar volgens de berekeningen geen knelpunten zijn, worden vaak veroorzaakt door vervuiling of verstopping van leidingen en vooral kolken (in de herfst). Vervuilde leidingen beperken het doorstroomprofiel, waardoor de afvoercapaciteit van een leiding vermindert. In hellend gebied is de kans op vervuiling van riolen in het algemeen kleiner dan in vlak gebied. Om dit soort knelpunten te signaleren, moet u het rioolstelsel periodiek (laten) inspecteren.

9.2 Voorbeelden wateroverlast

Voorbeeld A: wateroverlast in kelders

Een gebouw krijgt een ruime inrit (hellingbaan) naar een ruimte onder de begane grondvloer. De capaciteit van het systeem wordt gecontroleerd met bui 08 uit de Leidraad Riolering, aangegeven herhalingsstijd $T = 2$ jaar. Er komen meer parkeerplaatsen op het terrein, waardoor de capaciteit van de terreinriolering te beperkt wordt. Dit hoeft onder normale omstandigheden geen probleem te zijn, het veroorzaakt slechts wat vaker 'water op straat'. De vrijerval afvoercapaciteit van de riolering van de hellingbaan is voldoende om bui 08 te kunnen verwerken. Bovendien wordt een geleidelijke overgang van de weg naar de hellingbaan aangelegd. In de situatie kort na de bouw zijn de taluds naar de hellingbaan nog niet begroeid.

Bij de eerste zware regenbui gaat het fors mis. De capaciteit van de terreinriolering is beperkt. Het overtollige water van de weg stroomt naar de hellingbaan en de onverharde taluds voeren ook af. De riolering van de hellingbaan krijgt daardoor naar verhouding veel meer water (afvoerend oppervlak) te verwerken dan in de berekening is aangenomen. Bovendien is de herhalingsstijd van de regenbelasting, waarmee het functioneren van de hellingbaan is gecontroleerd, veel te beperkt. 'Water op straat' bij de hellingbaan betekent vrijwel onmiddellijk water in het gebouw.

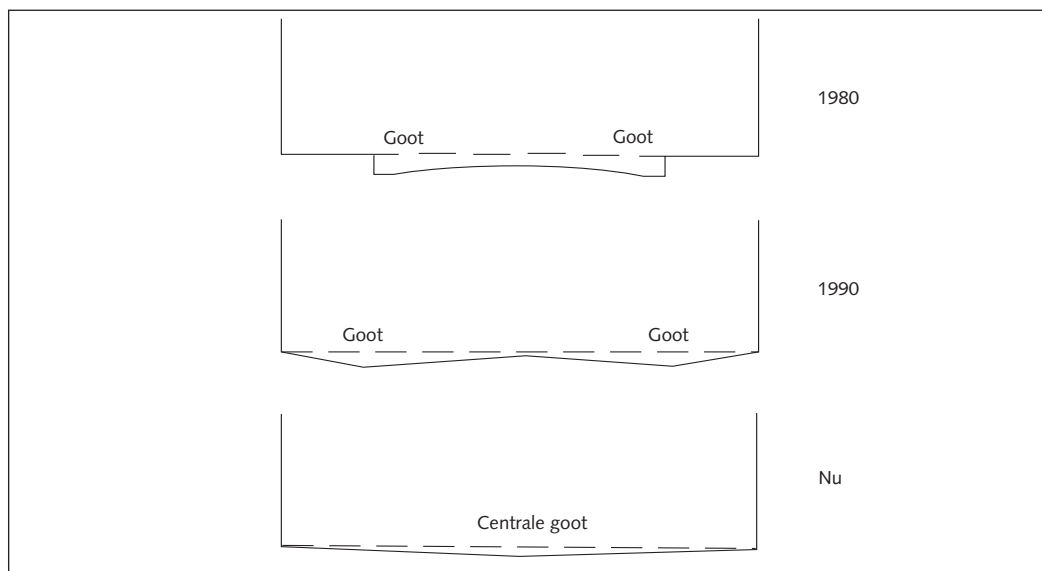
Bij de oplossing van dit probleem zijn de volgende aspecten belangrijk:

- beperk de watertoestroom van de weg naar de hellingbaan;
- neem de onverharde taluds (1:1) als volledig verhard mee in de berekening;
- ga voor voor de belasting van de hellingbaan uit van een aanzienlijk zwaardere bui (bijvoorbeeld 09 of 10).

Voorbeeld B: wateroverlast na herbestrating

In veel binnensteden is de laatste jaren het profiel van de bestrating aangepast (figuur B9.1) om winkelpromenades te verfraaien. Omdat er alleen voetgangers komen, worden stoepen verwijderd en in een later stadium straatgoten gecamoufleerd. Om de entree van winkels te verbeteren, worden drempels verwijderd.

Figuur B9.1 Ontwikkeling straatprofiel voetgangersgebied 1980-heden



In dergelijke situaties zijn de bergings- en afvoercapaciteit van het straatprofiel geleidelijk afgenomen. Samen met een niet al te ruime afvoercapaciteit van de riolering (bijvoorbeeld $60 \text{ l. s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) zijn dit potentiële probleemsituaties. Bij de beoordeling van het functioneren van een rioelstelsel wordt in het algemeen te weinig rekening gehouden met de gevolgen van 'water op straat'. In Nederland gaat het vaak (per ongeluk) goed. In vlak gebied is er nauwelijks sprake van overlast, omdat het water zich over een groot oppervlak kan verdelen. Er zijn situaties met een aanzienlijke afstroming van water over straat, omdat de afvoercapaciteit van het rioel relatief beperkt is. Dan leidt geleidelijke vermindering van het straatprofiel soms plotseling tot overlast. Voldoende hoogteverschil tussen de ingang van het drempelniveau naar de winkel en het niveau van de bestrating kan dit voorkomen.

9.3 Maatstaf functioneren rioelstelsel

Onzekerheden in de voorspellende waarde van hydraulische berekeningsresultaten hebben invloed op de beoordeling van het functioneren van het rioelstelsel. Hierbij moet u de berekeningsresultaten samen met waarnemingen uit de praktijk interpreteren. Het nemen van maatregelen bij wateroverlast is daarom meer dan het voorkomen van 'water op straat' in het resultaat van een hydraulische berekening met een maatgevende neerslagbelasting.

Leidraad Riolerings, module C2100

Deze module geeft een richting aan voor bredere beoordeling van het hydraulisch functioneren van een rioelstelsel. De module introduceert hiervoor het gebruik van meerdere neerslagbelastingen. Met deze methode hebt u meer inzicht in de werking van een stelsel dan met de traditionele benadering. Bovendien kunt u de effectiviteit van maatregelen breder beoordelen.

Europese richtlijn CEN/TC 165

De Europese richtlijnen hanteren voor de beoordeling van het hydraulisch functioneren van een rioelstelsel bij 'water op straat' een andere benadering. Ze gaan uit van herhalingstijden voor het volledig gevuld raken (vollopen) van leidingen (surcharge) en 'water op straat' (flooding).

		Herhalingstijd gebeurtenis met gestuwde afvoer 1 keer per n jaar (Surcharge)	Herhalingstijd gebeurtenis met 'water op straat' 1 keer per n jaar (Flooding)
Landelijk bebouwd gebied	Rural areas	1	10
Stedelijk gebied	Residential areas	2	20
Stadscentra, industriële en commerciële gebieden	City centers/Industrial/ Commercial areas	2 of 5*	30
Tunnels, kelders, lokaal lage maaivelden	Underground railway and underpasses	10	50
* als geen controle van 'water op straat' wordt uitgevoerd.			

Tabel B9.1 Europese maat-
staven afvoercapaciteit
rioolstelsels

Deze maatstaven gelden voor situaties waarvoor plaatselijke autoriteiten geen eigen maatstaven hebben geformuleerd. De te hanteren regenintensiteit wordt bepaald door factoren als concentratietijd, afvoerend oppervlak en de analyse van de lokale regengegevens. De maatgevende belasting wordt daarbij berekend als:

$$Q = \psi \cdot i \cdot A$$

waarbij

Q = maatgevende regenintensiteit (l. s⁻¹)

ψ = inloopcoëfficiënt (een waarde tussen 0.0 – 1.0)

i = maatgevende regenintensiteit (l. s⁻¹. ha⁻¹)

A = afvoerend oppervlak (area receiving rainfall) (ha).

Opmerkelijk is dat u de grootte van afvoerend oppervlak horizontaal moet meten. De inloopcoëfficiënt is afhankelijk van de aard van het oppervlak.

Aard aangesloten oppervlak	Inloopcoëfficiënt	Opmerkingen
Gesloten verhard oppervlak	0,9 – 1,0	Afhankelijk van oppervlakteberging
Grote vlakke daken	0,5	> 10.000 m ²
Kleine vlakke daken	1,0	< 100 m ²
Open oppervlak	0,0 – 0,3	Afhankelijk van helling maaiveld en type oppervlak (verhard, onverhard)

Tabel B9.2 Inloopcoëfficiënt
(runoff)

Bij een open oppervlak (verhard of onverhard) moet u met een lage inloopcoëfficiënt rekenen.

Berekeningsresultaten

Duidelijk is dat de herhalingstijden in Europa aanzienlijk veiliger zijn gekozen dan in Nederland. Bovendien wordt onderscheid gemaakt in controle van 'water op straat' en de afvoercapaciteit van een leiding. Als u deze systematiek in de Nederlandse situatie toepast, zal de afvoercapaciteit van de meeste systemen ruim onvoldoende zijn.

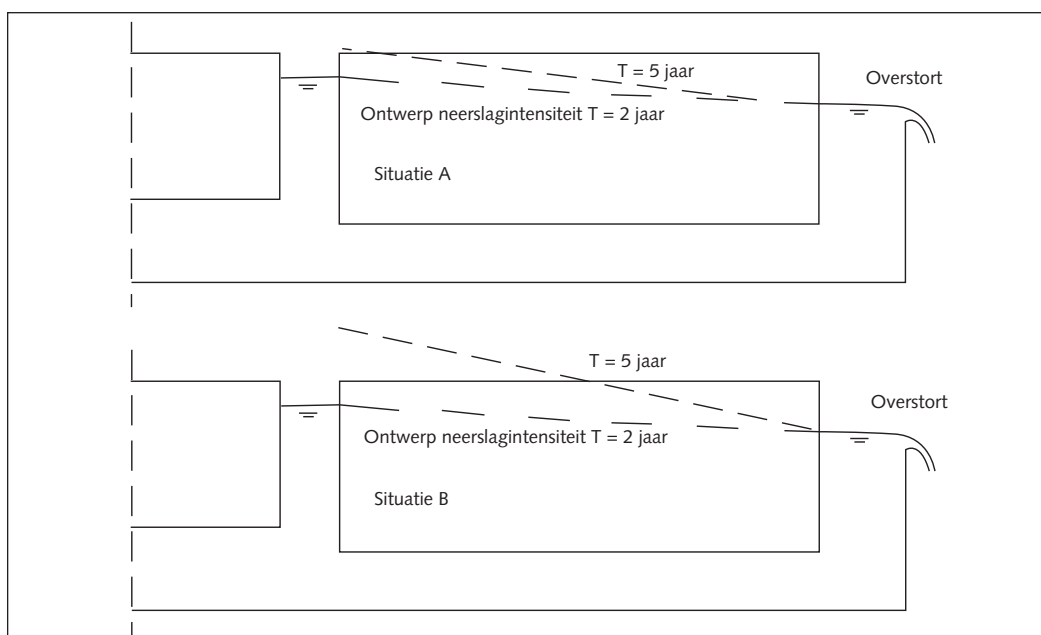
In Nederland is vanuit de historie een andere benadering gevolgd. Traditioneel werd gerekend met een maatgevende regenintensiteit van 60 l. s⁻¹. ha⁻¹ voor vlak gebied en 90 l. s⁻¹. ha⁻¹ voor hellend gebied. De maatstaf was een minimale waking van 0,2 m (waking = maaiveldniveau minus de maximale waterstand). De reden was dat een berekening met 'water op straat' niet betrouwbaar zou zijn.

Aan het kwantificeren van berging van 'water op straat' wordt opmerkelijk veel aandacht besteed. De waterstand op straat, het volume van water op straat en het bijbehorende equivalente oppervlak van water op straat zijn nauwelijks relevante resultaten. Een interessanter en eenvoudiger te genereren resultaat van een dynamische berekening is de duur van 'water op straat'. Het is interessant om te weten of water op straat met een duur van een minuut of de duur van de regenbeurtenis is berekend. Zo hebt u meer informatie dan alleen de waterhoogte op straat.

Maatstaf 'water op straat'

In Nederland wordt het hydraulisch functioneren van een rioelstelsel primair beoordeeld op de maximale waterstanden in een put bij een neerslagbelasting met een herhalingsdij van twee jaar. 1 mm beneden maaiveld is goed, 1 mm boven maaiveld is fout. Daarnaast moet een waterstand boven het maaiveld (berekend voor de bestaande situatie) door waarnemingen worden bevestigd, voordat het stelsel wordt aangepast. In figuur B9.2 is een vergelijking gemaakt tussen twee situaties die beide voldoen aan de maatstaf geen 'water op straat' bij bui 08. Met een extremere belasting komen duidelijke verschillen in veiligheid bij 'water op straat' naar voren.

Figuur B9.2 Controle 'water op straat', met bui 08 en 09



Leren van Europese benadering

Een beoordeling op basis van maximale waterstanden in putten geeft een snel maar eenzijdig en onvolledig beeld van 'water op straat'. Bij de Europese benadering wordt primair aandacht besteed aan de afvoercapaciteit van een leiding (surcharge frequency). Aan waterstanden boven maaiveld zijn zeer strenge eisen gesteld. In Nederland zou een stap gezet kunnen worden richting deze Europese benadering door grenzen te stellen aan de opstuwing in leidingen. Deze zouden bijvoorbeeld kunnen worden gerelateerd aan het maaiveldverhang.

Bijlage 10 Neerslagreeks De Bilt 1955-1979

In Nederland zijn de volgende neerslagreeksen beschikbaar:

Station	Tijdinterval	Periode
De Bilt	vijf minuten	1928, 1932, 1951-1960
De Bilt	vijftien minuten	1955-1979
Beek	vijftien minuten	1955-1979
Eelde	vijftien minuten	1955-1979
Lelystad	vijf minuten	1968-1980

De vijftien minutenreeksen van de meteorologische hoofdstations Beek, De Bilt en Eelde bevatten kwalitatief de best beschikbare informatie. Deze reeksen zijn uitgebreid gecontroleerd op basis van beschikbare uursommen en synoptische weerrapporten. Van de vijf minutenreeks van De Bilt bestaan meerdere versies. De reeks van Lelystad ligt in een klimatologisch minder representatief gebied en heeft bovendien een beperkte lengte.

In deze module geldt de vijftien minutenreeks van De Bilt als defaultreeks. Er is gekozen voor een combinatie van kwaliteit van de informatie, niet te grove tijdsresolutie en voldoende reekslengte. De reeksen van Beek en Eelde zijn buiten beschouwing gebleven, omdat de verschillen met de reeks van De Bilt statistisch gezien niet significant zijn. In Nederland zijn er plaatselijke verschillen in neerslag. Voor de meteorologische hoofdstations waar voldoende gedetailleerde informatie beschikbaar is, zijn deze verschillen dus niet significant genoeg om daarin onderscheid te maken.

Klimaat

De vijftien minutenneerslagreeks van De Bilt heeft betrekking op de periode 1955-1979. De nauwkeurigheid van de voorspelling van extreme gebeurtenissen wordt niet alleen bepaald door de statistische spelregels. Ook door eventuele ontwikkelingen van het klimaat. De termijn waarop klimatologische ontwikkelingen zich afspelen, is aanzienlijk ruimer dan de lengte van de reeks. Daarom is er nog geen aanleiding voor bijvoorbeeld meer recente informatie. Bovendien bevat de vijftien minutenreeks van de aaneengesloten periode 1955-1979 vooralsnog kwalitatief de best beschikbare informatie.

Reeksberekening

De basis van deze module is de berekening van het functioneren van een rioelstelsel onder invloed van de meerjarige neerslagreeks van De Bilt, periode 1955-1979. De huidige rekencapaciteit geeft hierbij nog beperkingen bij het doorrekenen van grote systemen. U kunt op verschillende manieren tot resultaten komen. Rekenen met een:

- aangepast model, na controleprocedure;
- uitgedunde neerslagreeks van relevante gebeurtenissen;
- kortere reeks De Bilt, 1955-1964.

In deze module staat hoe u rekent met een aangepast model, met een kortere reeks en met het overslaan van droge perioden tussen neerslaggebeurtenissen. De module beschrijft niet hoe u rekent met een beperkte set relevante gebeurtenissen. Bij deze methode worden alleen de gebeurtenissen gebruikt met een kans op overstortingen uit een stelsel. Bij een systeem met een grote bergingscapaciteit worden minder gebeurtenissen doorgerekend dan bij een systeem met weinig berging en een grote overstortingsfrequentie. Als u niet-relevante neerslaggebeurtenissen overslaat, moet u rekening houden met het doorlopen van andere belastingen op het systeem en doorlopende

processen. Bijvoorbeeld de verdamping uit de oppervlakteberging en het herstel van infiltratiecapaciteit in het inloopmodel.

U kunt vraagtekens zetten bij het voorschrijven van een standaardreekslengte. De nauwkeurigheid van de voorspellende waarde van reeksberkeningsresultaten is mede afhankelijk van de reekslengte. Afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid of de vergelijkbaarheid van resultaten, kunt u bijvoorbeeld voor een bepaalde reekslengte kiezen. Bij een reekslengte van 25 jaar kunt u met de methode van de steekproefkwantelen redelijk nauwkeurige voorspellingen doen tot herhalingstijden van vijf jaar. Bij een reekslengte van tien jaar is de herhalingstijd twee jaar. De reken capaciteit kan nog een beperkende factor zijn bij reeksberkeningen. Rekenen met een volledig model en een verkorte neerslagreeks, De Bilt 1955-1964 heeft dan de voorkeur.

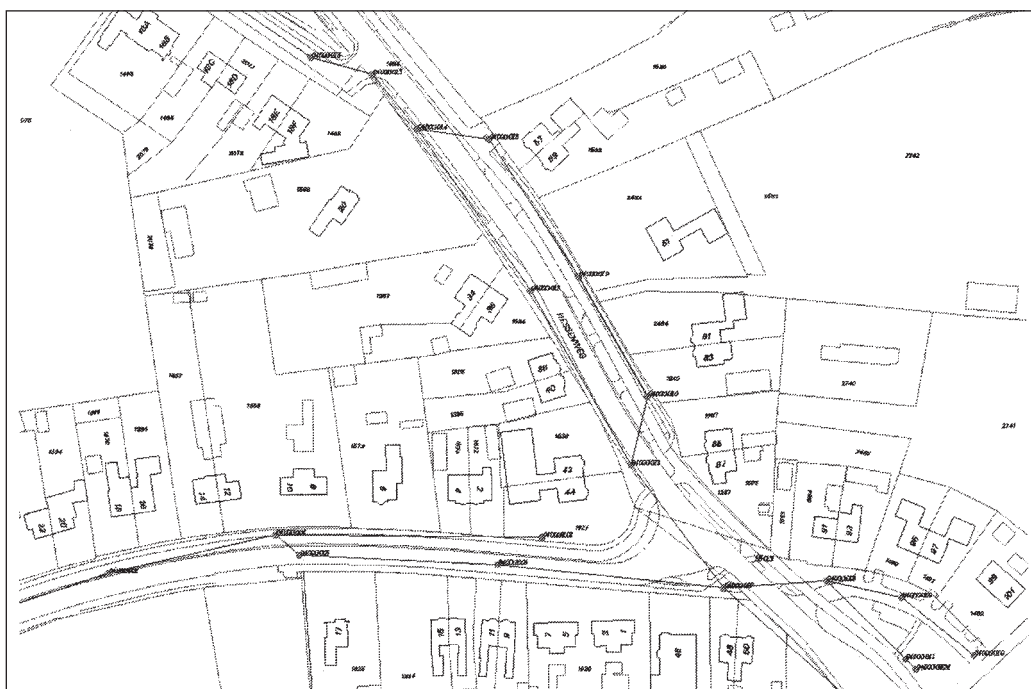
Bijlage 11 Afvoerend oppervlak digitaal

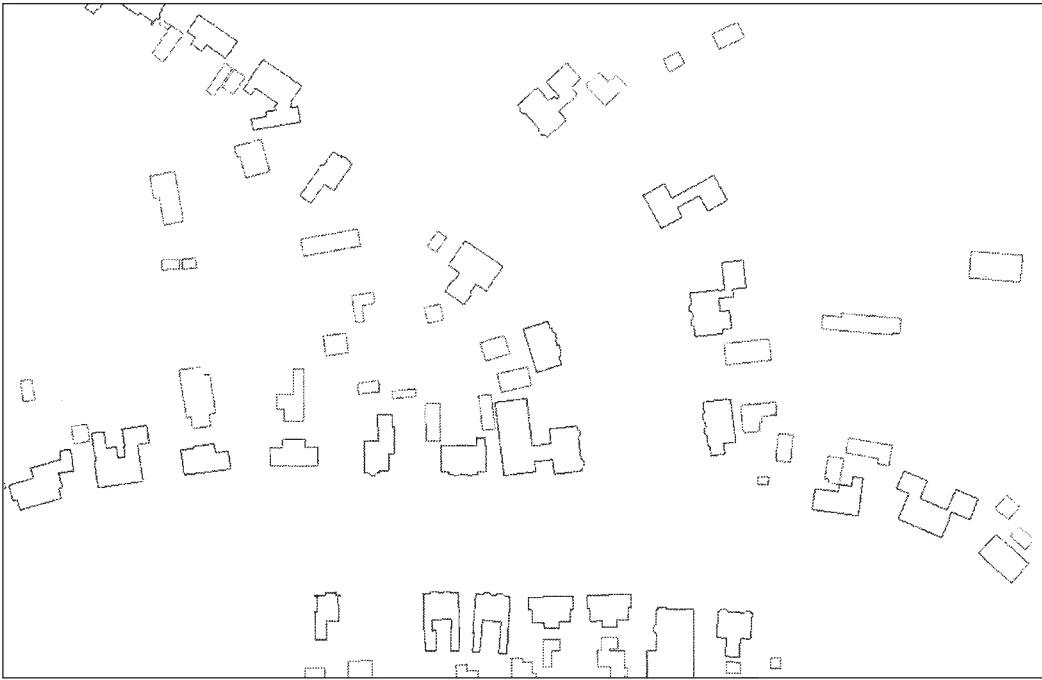
Om een digitale GBKN naar bruikbare gegevens om te zetten, doorloopt u de volgende stappen:

- verwijder niet-relevante informatie (bijvoorbeeld perceelsgrenzen en huisnummers);
- sluit eventueel vlakken;
- ken aan onderscheiden oppervlakken per type oppervlak een attribuut toe;
- voeg de structuur van het rioelstelsel toe;
- ken elk individueel oppervlak toe aan een put of leiding.

De figuren B11.1 tot en met B11.5 laten deze stappen zien. Het resulterende kaartmateriaal kunt u gebruiken voor uw rapportage.

Figuur B11.1 De basiskaart





Figuur B11.2 Verwijderen van niet relevante informatie



Figuur B11.3 Sluiten vlakken en toekennen van een attribuut (met een bepaalde arcering) per type oppervlak

Figuur B11.14 Toevoegen van de structuur van het rioolstelsel en toedeling van oppervlakken aan putten via polygonen



Figuur B11.5 Als figuur B11.4, maar met toekenning van oppervlakken aan leidingen met loodlijnen

