

STORM, de toepassing van een computersimulatie op het rioolstelsel van Enschede

1. Inleiding

De afvoer van rioolwater is sinds de Tweede Wereldoorlog een belangrijk aspect geworden van de problematiek van de verontreiniging van het milieu. De toename van de welvaart, de sterke bevolkingsgroei en de daarmee samenhangende uitbreiding van het verharde afwaterende oppervlak van wegen, straten en daken in de steden, hebben gemaakt dat de eisen aan de afvoer zowel voor wat betreft de waterkwantiteit als de waterkwaliteit steeds zwaarder zijn geworden.



IR. S. GROOT
Waterloopkundig Laboratorium
Afd. Milieuhydrodynamica



IR. J. D. LEENEN *
Landbouwhogeschool
vakgroep Hydraulica en
Afvoerhydrologie



IR. W. C. J. TEN HEUVEL
Dienst Openbare
Werken Enschede

Vlak na de oorlog gold voor rioleringen volgens het gemengde stelsel het zogenaamde 3 DWA-systeem. Al spoedig zag men in dat vooral aan het begin van een overstort na een lange periode van droogte grote vervuiling van het oppervlaktewater kon optreden. Als gevolg hiervan, werd daarna veel aandacht gegeven aan de eis, de frequentie van deze noodzakelijke overstortingen te beperken [1].

In het jongste verleden werd ook de overstortfrequentie echter te beperkt geacht als criterium voor de vuilemissie vanuit een rioolstelsel naar het oppervlaktewater.

Met de opkomst van de zuiveringschappen in de zestiger jaren heeft iedere gemeente in Nederland met de hierboven beschreven problematiek te maken gekregen. Zo ook Enschede, waar reeds een lange geschiedenis geschreven is over dit onderwerp. Genoemd kunnen worden:

1. Het gerechtelijk proces van de eigenaar van het landgoed Twickel in Delden tegen de gemeente Enschede omstreeks 1900 en de slepende afwikkeling van deze zaak tot

het moment dat de gemeente Enschede een gecentraliseerd rioolstelsel met een eigen rioolwaterzuiveringsinstallatie gaat bouwen in 1937.

2. De Regge-rapporten uit de twintiger en dertiger jaren over de ernstige vervuiling van waterlopen in Twente en het zoeken naar oplossingen hiervoor.

3. Het zogenaamde bekenplan Hengelo over de opheffing van water- en vuiloverlast, uitgevoerd in de zestiger jaren. Ten aanzien van Enschede is deze materie onder andere omschreven in het Technische Gemeenteblad van 3 sept. 1963 [2].

Deze intensief meebeleefde historie is door de dienst Openbare Werken van de gemeente Enschede steeds in beschouwing genomen bij haar verdere plannen. Eerst in diverse kleinere uitbreidingsplannen waar het gescheiden rioolstelsel is ingevoerd (omstreeks 1960), later in de problematiek van een geheel in het zuiden van de gemeente gelegen nieuwe uitleg met gescheiden riolering (1960 tot 1970) en tenslotte in de sanering van de bestaande gemengde riolering van de oude stad.

Omdat de gemeente Enschede al sinds vele jaren uitvoerige metingen verricht van de neerslag op en de afvoer van het rioleringsgebied, kon een vruchtbare samenwerking totstandkomen met het Laboratorium van Hydraulica en Afvoerhydrologie van de Landbouwhogeschool en de afdeling Milieuhydrodynamica van het Waterloopkundig Laboratorium waar gezocht werd naar toepassingsmogelijkheden van computersimulaties van het neerslag-afvoerproces, zowel in termen van kwantiteit als van kwaliteit.

Met dergelijke simulaties kunnen uitspraken gedaan worden over de belasting van het rioolstelsel op het oppervlaktewater, zowel voor wat betreft de waterkwantiteit als de waterkwaliteit. Het computermodel dat hiervoor gebruikt werd, is gebaseerd op het in de Verenigde Staten ontwikkelde model STORM (STORM, TREATMENT, OVERFLOW, RUNOFF MODEL).

In deze publicatie wordt de toepassing van het waterkwantiteitsgedeelte van STORM op een deel van het Enschedese rioolstelsel beschreven.

2. Het model STORM (Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model)

STORM is een model waarbij zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het rioolwater afkomstig van neerslag en afvalwaterproductie in beschouwing wordt genomen.

In STORM wordt het rioolwatersysteem

met de daarin optredende processen op een vrij elementaire wijze beschreven met behulp van wiskundige relaties; het model kan dan ook worden opgevat als een deterministisch model. Het voordeel van deze beschrijving is dat ingrepen in het rioolstelsel, zoals vergroting van de bergings- of zuiveringscapaciteit, eenvoudig in het model kunnen worden gebracht. De effecten van dergelijke maatregelen kunnen in het algemeen vrij snel worden gesimuleerd.

Een belangrijke eigenschap van STORM is dat er een werkelijke reeks buien wordt beschouwd over een zodanig lange tijd dat een calibratie van de waterkwantiteit en waterkwaliteit kan worden uitgevoerd. Deze beschouwing maakt het mogelijk de resultaten van model en praktijk direct met elkaar te vergelijken. Bovendien kan de gedetailleerdheid van het model worden aangepast aan de omvang en kwaliteit van de beschikbare gegevens.

2.1. Nadere beschrijving van het model

De resultaten die met het simulatiemodel worden verkregen, kunnen grofweg in twee onderdelen worden gesplitst:

- informatie over de effectiviteit van het rioolwatersysteem, t.w. de dimensionering, berging of zuiveringscapaciteit
- informatie over de omvang en kwaliteit van de afvoer en de belasting van het oppervlaktewater.

Zowel de concentratie als de belasting van (op dit moment) een zestal essentiële waterkwaliteitsvariabelen worden gesimuleerd, nl. opgeloste stoffen, zwevend stof, het biochemisch zuurstofverbruik, totaal stikstof, orthofosfaat en totaal coli.

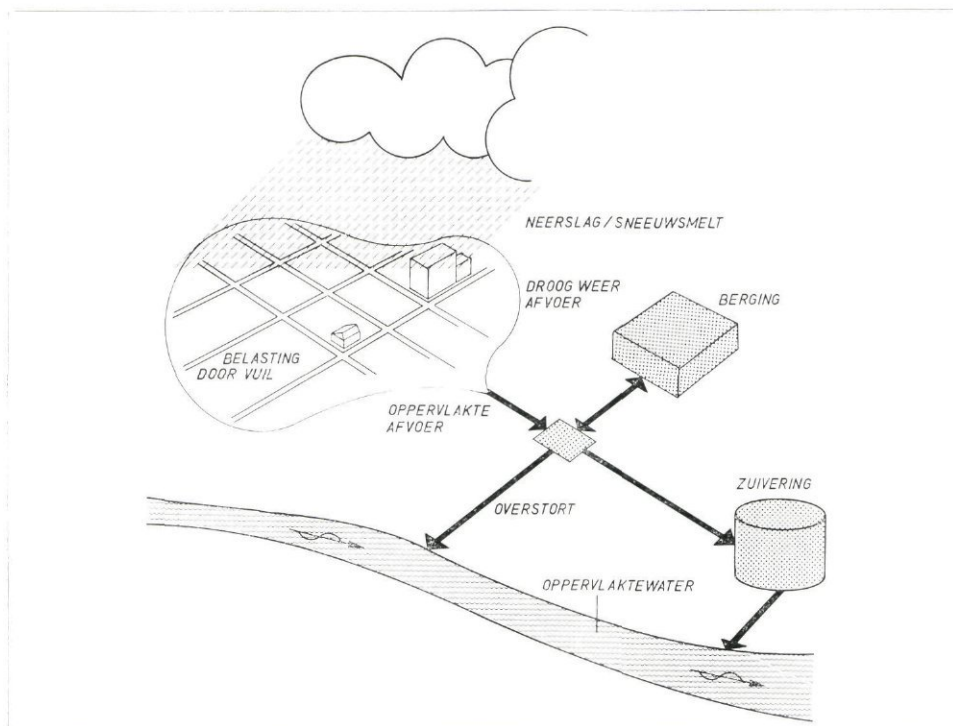
STORM beschouwt de volgende elementen:

- de hoeveelheid neerslag (en eventueel ook sneeuwsmeelt)
- de afvoerbare neerslag
- de grootte van de afvalwaterproductie
- de belasting van het oppervlaktewater door overstorten.

Het rioolwatersysteem wordt daarbij met name gekenmerkt door:

- de aanwezige bergingsbassins
- de geschatte depressie berging
- de beschikbare zuiveringscapaciteit
- de aanwezige overstorten
- het percentage verhard oppervlak
- de aard van het stroomgebied (o.a. helling).

* Momenteel RID, Leidschendam.



Afb. 1 - Door STORM gemodelleerde processen.

Een overzicht van de belangrijkste elementen van STORM is weergegeven in afb. 1.

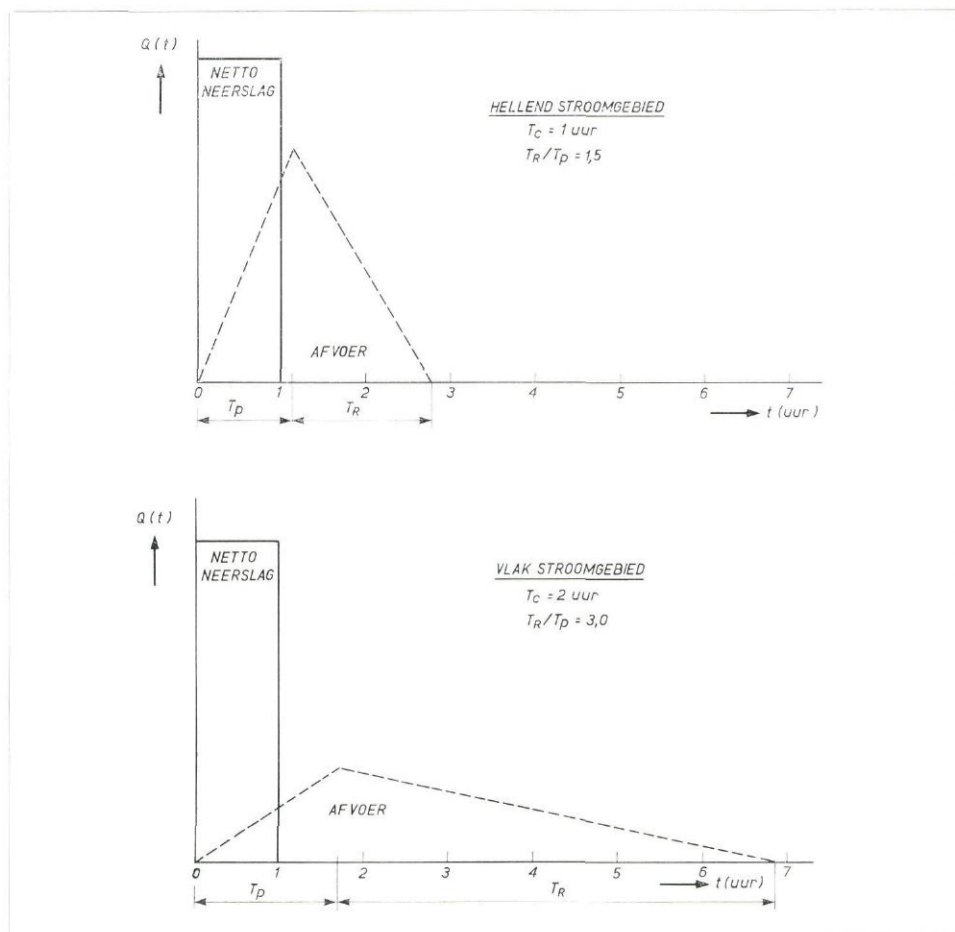
2.2. Beschouwing van de waterkwantiteit in STORM

Uitgaande van een reeks neerslaggegevens, berekent STORM de resulterende afvoer, waarbij voor verharde (stedelijke) gebieden gebruik wordt gemaakt van de zgn. rationele methode en voor onverharde (landelijke) gebieden van de zgn. curve number techniek, beide bekende methoden in de hydrologie en uitvoerig beschreven in [4, 5]. Voor de beschrijving van de afvoer als functie van de tijd wordt gebruik gemaakt van een driehoekige unit-hydrograph of een door de gebruiker zelf opgegeven hydrograph van willekeurige vorm (afb. 2).

De berekeningen worden uitgevoerd met tijdstappen van een uur. Hiermee kan het tijdsafhankelijke karakter van het neerslag-afvoerproces op verantwoorde wijze worden weergegeven. Nadat transformatie van regen in afvoer heeft plaatsgevonden en de oppervlakteberging is opgevuld, vergelijkt het model de afvoer met de capaciteit van de zuiveringsinstallatie. Is de afvoer geringer dan de maximale zuiveringscapaciteit, dan wordt de totale afvoer via de zuiveringsinstallatie op het oppervlaktewater geloosd en blijft de bergingscapaciteit in het rioolstelsel voor 100 % beschikbaar. Overschrijdt de afvoer de maximale zuiveringscapaciteit dan komt het overtollige water in de berging terecht; wordt bovendien de bergingscapaciteit van het riool

overschreden, dan vindt overstort plaats, waarbij het overtollige water buiten de

Afb. 2 - De door STORM gebruikte unit-hydrograph.



zuiveringsinstallaties om op het oppervlaktewater wordt geloosd.

Wanneer de afvoer na verloop van tijd weer daalt tot beneden de maximale zuiveringscapaciteit, vindt voor zover mogelijk aanvulling vanuit de (riool-)berging plaats. Perioden zonder neerslag worden o.a. gebruikt voor het weer op peil komen van de bergingscapaciteit in de bodem en in het rioolwatersysteem. Bovenstaande beschrijving is gekozen om in een tijdreeks met neerslaggegevens een aantal op zichzelf staande 'gebeurtenissen' te kunnen onderscheiden. Of twee buien als twee afzonderlijke gebeurtenissen of als één moeten worden beschouwd, hangt volledig af van de wijze waarop het afvoersysteem op deze buien reageert. Een gebeurtenis wordt in dit verband gedefinieerd als de tijd waarin continu gebruik wordt gemaakt van de bergingscapaciteit in het rioolwatersysteem. Dit houdt in dat, indien de afvoer (inclusief de droogweerafvoer) de zuiveringscapaciteit niet overschrijdt, er geen gebeurtenis plaatsvindt.

2.3. Beschouwing van de waterkwaliteit in STORM

STORM maakt voor de beschouwing van

de belasting met verontreinigingen onderscheid tussen verharde- en onverharde gebieden. Voor overwegend onverharde gebieden wordt, uitgaande van een gemiddelde dagelijkse belasting, voor elke waterkwaliteitsvariabele de resulterende belasting op het rioolstelsel berekend. Voor overwegend verharde stroomgebieden is een methode beschikbaar welke, uitgaande van een constante samenstelling van de verontreinigingen, de fractie van deze verontreinigende stoffen bepaalt die uiteindelijk in het rioolstelsel en vervolgens in de zuiveringsinstallatie of rechtstreeks in het ontvangende water terechtkomt. Deze fractie wordt in STORM afhankelijk verondersteld van o.a. de neerslagintensiteit, de afvoercoëfficiënt, de belasting van het stroomgebied met verontreinigende stoffen en de frequentie en effectiviteit waarmee de straten in het verharde deel van het stroomgebied worden gereinigd. Op dit moment wordt de fractie echter nog onafhankelijk verondersteld van de frequentie en effectiviteit waarmee de rioolbuizen worden gereinigd.

Het industriële- en huishoudelijke afvalwater kan als droogweerafvoer bij de beschouwingen worden betrokken. De specifieke eigenschappen van de industrie of huishoudens kunnen op eenvoudige wijze worden verdisconteerd in de omvang en samenstelling van het afvalwater.

Belangrijk is, dat de huidige versie van STORM ervan uitgaat dat gedurende de berging in het rioolwatersysteem geen afbraakprocessen plaatsvinden en dat de

zuiveringsinstallatie de aanwezige verontreinigingen voor 100 % verwijdt. Bekend is echter dat de effectiviteit van een zuiveringsinstallatie veel kleiner kan zijn dan 100 % en bovendien verschilt per waterkwaliteitsvariabele. Zo varieert de BOD-zuiveringseffectiviteit van ongeveer 35 % voor mechanische tot 90 % voor biologisch-oxydatieve zuivering. Daarnaast veronderstelt STORM geen afbraak van verontreinigingen gedurende de berging in het rioolwatersysteem, terwijl dit in de praktijk-situatie zeker een rol speelt.

Ondanks de veronderstellingen in het huidige STORM-model is het toch mogelijk met behulp van dit model uitspraken te doen over rioolwatersystemen met een zuiveringseffectiviteit kleiner dan 100 % en een zekere afbraak in de berging. In toekomstige versies van STORM zullen genoemde effectiviteit en afbraakprocessen in rekening worden gebracht.

3. Het beschouwde stroomgebied

Het Enschedese rioolstelsel, opgebouwd volgens het gemengde stelsel, bestaat uit een aantal districten met oost-west lopende hoofdriolen welke uitmonden op een tweetal noord-zuid lopende riolen.

Waar deze samenkomen, is een lang transportriool gelegd naar de destijds ver buiten de bebouwde kom gesitueerde rioolwater-zuiveringsinstallatie. Ten einde STORM op een min of meer op zichzelf staand onderdeel van het rioolstelsel te kunnen toepassen, is het noordelijke deel van de stad gekozen. In dit stadsdeel zijn twee vrij grote

riooldistricten van ieder ca. 150 ha welke tezamen uitmonden in de noordelijke hoofdleiding. Tevens bevindt zich op die plaats een bergingsbassin van 15.000 m³ inhoud. In het betreffende gebied worden de neerslag, de waterhoogten in de doorgaande hoofdleiding en overstortleiding, alsmede de vulling van het bergingsbassin en het pompregime van de bemaling continu geregistreerd. Afb. 3 geeft in hoofdlijnen de situatie van het gehele Enschede stroomgebied weer. Met behulp van deze meetgegevens was het mogelijk STORM in eerste instantie op zijn waterkwantiteitsaspecten te beoordelen.

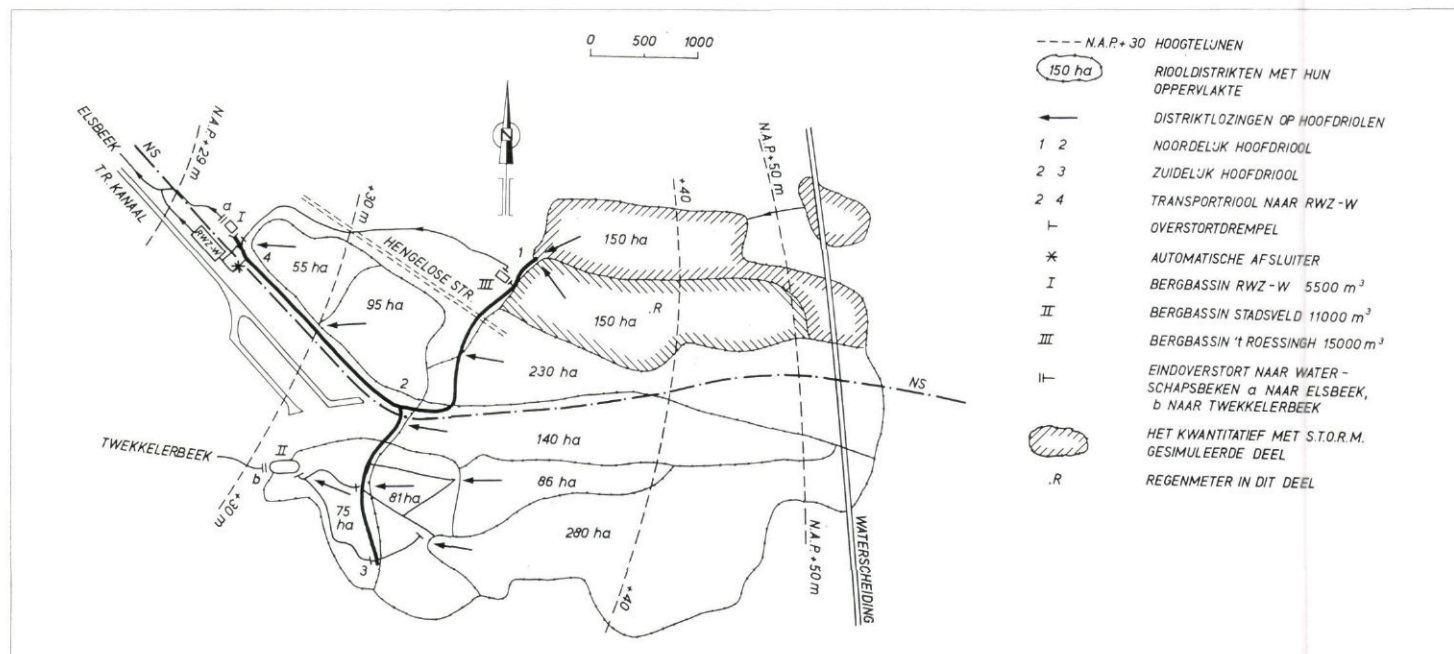
4. Calibratie van de waterkwantiteit

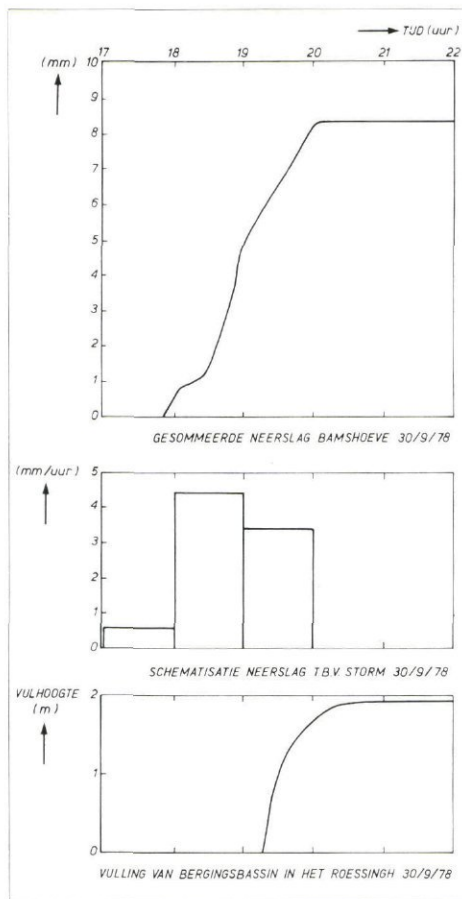
4.1. Beschikbare gegevens

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van een driejarige reeks neerslagcijfers, afkomstig van een regenmeter binnen het beschouwde gebied. Deze gegevens zijn in verband met de tijdstap vooraf in het model omgerekend tot uursommen (afb. 4). De uit het gebied afkomstige afvoer kan geschat worden met behulp van de peilregistraties van het bergingsreservoir aan de Roessinghbleekweg (afb. 4) en de transportcapaciteit van het hoofdriool. Deze transportcapaciteit wordt door de gemeente Enschede geschat op 0,6 m³ per seconde, maar is wegens de onzekerheid hierin als een te calibreren parameter van het model beschouwd.

De resultaten van het model worden sterk beïnvloed door de zogenaamde samengestelde afvoercoëfficiënt van het beschouwde gebied, welke onder andere afhangt van het

Afb. 3 - Overzicht riolering Enschede.





Afb. 4 - Voorbeeld neerslagschematisatie en het gemeten waterpeil in het bergingsbassin.

percentage verhard oppervlak. Op grond van recentelijk verkregen luchtfoto's is dit vastgesteld op 50 %.

Voor de verdamping zijn literatuurgegevens gebruikt (maandgemiddelden), terwijl voor de depressiebergings een veel gehanteerde waarde van één millimeter is aangehouden.

4.2. Uitvoering van de calibratie

Calibratie van STORM voor het noordelijk deel van Enschede is uitgevoerd met behulp van de gemeten en berekende overstort vanuit het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg. Daarvoor zijn die onafhankelijke buien uit de beschikbare driejarige neerslagreeks gekozen, welke een meetbare berging in het genoemde reservoir tot gevolg hebben gehad.

STORM bepaalt uit de neerslaggegevens bij een gegeven zuiverings-, transport- en bergingscapaciteit, de hoeveelheid water die overstort. Aangezien het reservoir aan de Roessinghbleekweg in de praktijk echter zelden overstort, was het onmogelijk STORM op basis van een werkelijke hoeveelheid overstortend water te calibreren. Om één en ander te ondervangen is door de onderzoekers als kunstgreep een fictieve berging aangenomen die kleiner is dan die van het reservoir. Hierdoor kan het verschil

met de werkelijke berging als overstort beschouwd worden (afb. 5). Deze fictieve overstort kan vergroot worden door de fictieve berging te verkleinen. Ten behoeve van de calibratie is de fictieve berging bepaald op 750 m³ bij een totale reservoircapaciteit van 15.000 m³. Door deze benadering is een verantwoorde calibratie mogelijk geworden.

Mede doordat de meetapparatuur (regometer en peilregistratie) niet altijd goed gefunctioneerd heeft in de beschouwde jaren, is de calibratie uiteindelijk uitgevoerd met vier buien en de verificatie met een vijfde bui.

De parameters waarmee het model is gecalibreerd zijn:

- de afvoercoëfficiënt van het onverharde oppervlak
- de afvoercoëfficiënt van het verharde oppervlak
- de recessietijd ($= T_r$), de piektijd ($= T_p$). (Zie afb. 2)
- de concentratietijd ($= T_c$)
- transportcapaciteit van het hoofdriool.

De laatste twee parameters hebben betrekking op de vorm van de unit hydrograph. Bij variaties van de parameters bleek de grote gevoeligheid van de eindresultaten voor de twee afvoercoëfficiënten. Aangezien over de werkelijke grootte van deze parameters weinig bekend is, zijn literatuurwaarden gekozen van 0,15 voor de afvoercoëfficiënt van het onverharde oppervlak en van 0,90 voor die van het verharde oppervlak [4].

Voor wat betreft de verhouding T_r/T_p

bleek een waarde van 3,0 resultaten in de goede orde van grootte te geven en is in de verdere verfijning constant gehouden.

Uiteindelijk zijn de concentratietijd T_c van de driehoekige unit-hydrograph en de transportcapaciteit geoptimaliseerd, waarbij als uitgangspunt gold dat de keuze van de parameterwaarden fysisch acceptabel diende te zijn. De optimalisatie van de laatste twee parameters is uitgevoerd door van de vier gekozen buien de fictieve overstort te vergelijken met de door STORM berekende overstort voor verschillende waarden van T_c en de transportcapaciteit. Als optimalisatiecriterium is gesteld dat de gemiddelde absolute relatieve afwijking zo klein mogelijk moet zijn. De absolute relatieve afwijking $|\Delta|$ is als volgt gedefinieerd:

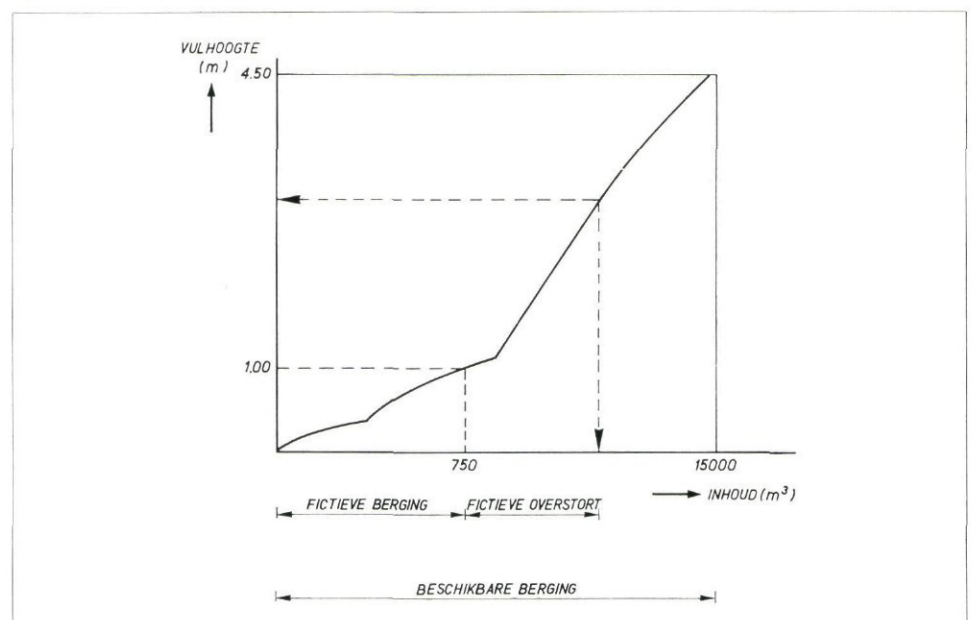
$$|\Delta| = \frac{|\text{gemeten fictieve overstort} - \text{door STORM berekende overstort}|}{\text{gemeten fictieve overstort}}$$

Dit criterium houdt in, dat aan elke regenbui een gelijk gewicht wordt toegekend. Bij de calibratie is de gemiddelde absolute relatieve afwijking $|\Delta|$ van de 4 beschouwde buien geminimaliseerd.

4.3. Resultaten, verificatie en interpretatie

Met behulp van de beschikbare neerslag en afvoergegevens zijn in een eerste calibratie een aantal waterkwantiteitsparameters van STORM geoptimaliseerd. Op basis van de relatieve afwijking van de hoeveelheid overstortend water, dat als optimalisatiecriterium is gebruikt, blijkt dat voor het kwantitatieve deel van STORM de grootste overeenkomst tussen model en prototype bereikt wordt voor zowel een concentratietijd van 2,0 uur

Afb. 5 - Volume-diepte relatie van het bergingsbassin Roessinghbleekweg.



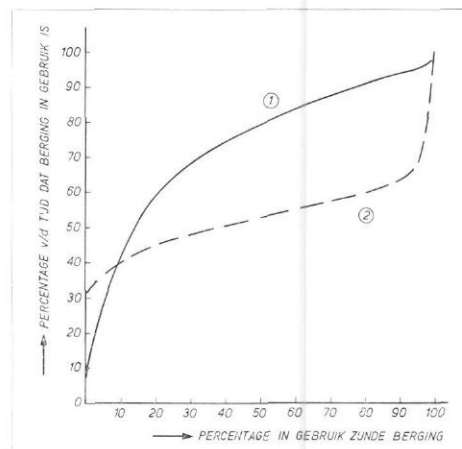
met een transportcapaciteit van $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ als voor een concentratietijd van 1,9 uur met een transportcapaciteit van $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$. In beide gevallen bedraagt de gemiddelde absolute waarde van de relatieve afwijkingen ongeveer 20 % (afb. 6). Van de twee combinaties heeft de laatste een transportcapaciteit die het dichtst bij de door de gemeente Enschede geschatte waarde ligt; reden waarom uiteindelijk voor deze laatste combinatie werd gekozen. De vrij hoge gemiddelde relatieve afwijking in de hoeveelheid overstortend water na deze eerste calibratie kan verkleind worden door bij een uitgebreide calibratie de overige waterkwaliteitsparameters zoals de verhouding T_r/T_p en de afvoercoëfficiënten bij de optimalisatie te betrekken. Daarnaast werd gebruik gemaakt van slechts één regenmeter in een gebied van 3 km^2 , hetgeen niet voldoende is om de gemiddelde neerslag over dat gebied te bepalen. In het model wordt aangenomen dat de gemeten neerslag homogeen verdeeld is over het beschouwde stroomgebied. Door de helling van het Enschedese stroomgebied blijkt het afvoerloop afhankelijk te zijn van de richting waarin een bui zich over de stad beweegt. De bergingsbassins bevinden zich in het westen van de stad, waardoor buien bij westenwind in het algemeen een geringer gebruik van de berging tot gevolg hebben dan buien bij oostenwind. Tenslotte kan nog als verklaring voor de afwijkingen worden aangevoerd dat in STORM wordt uitgegaan van één unit-hydrograph voor alle omstandigheden waarin het systeem verkeert. Er wordt daarmee verondersteld dat het systeem lineair reageert, terwijl de werkelijke situatie niet-lineair kan zijn. Het op basis van de hoeveelheid overstortend water geoptimaliseerde model berekende voor het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg een gemiddeld aantal overstortingen van 1,7 per

jaar. Dit komt overeen met het in de praktijk optredende aantal overstortingen van 1 à 2 per jaar.

Nadat de resultaten van STORM voor een aantal parameters werden geoptimaliseerd, werd met behulp van één onafhankelijke bui een verificatie uitgevoerd, resulterend in een relatieve afwijking in de hoeveelheid overstortend water van 30 %. De hoeveelheid gegevens die ter beschikking stond bleek echter te gering voor het uitvoeren van een gedegen verificatie. Nadere verificatie op een langere onafhankelijke reeks buien is dan ook gewenst nadat een algehele calibratie, d.w.z. kwantiteit en kwaliteit, van het model heeft plaatsgevonden.

4.4. Toepassingsmogelijkheden

Nadat een calibratie en verificatie van het waterkwaliteitsgedeelte van het model zijn uitgevoerd, kan met behulp van STORM onder andere statistische informatie worden verkregen betreffende het gemiddeld aantal overstorten per jaar en het percentage van de tijd dat een bepaald gedeelte van de beschikbare berging benut wordt. Met dit laatste kan een uitspraak worden gedaan over de afstemming van de bergings-, zuiverings- en transportcapaciteit op elkaar. Ter illustratie is in afb. 7 (curve 1) onder andere het gebruik van het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg weergegeven, zoals die met behulp van het gecalibreerde STORM-model werd bepaald. De dimensionering van de berging blijkt afgestemd op de transportcapaciteit: de berging staat slechts zelden helemaal leeg en stort weinig over. Een algemeen voorbeeld van een slechte dimensionering van de berging en een slechte afstemming op de transport- of zuiveringscapaciteit wordt gegeven door curve 2 van afb. 7. Deze berging is vaak onbenut (30 %) en stort bijzonder snel over. Indien de afvalwaterkwaliteit kan worden beschreven door gemiddelde concentraties,



Afb. 7 - Het gebruik van het bergingsbassin Roessinghbleekweg, zoals berekend door STORM.

is de huidige versie van STORM nu reeds een bruikbaar instrument ten behoeve van het kwaliteitsbeheer van het oppervlaktewater (bijv. mede in het kader van de waterkwaliteitsplannen). STORM kan, gekoppeld aan een waterkwaliteitsmodel van het oppervlaktewater zoals het reeds bij het Waterloopkundig Laboratorium operationele model MODQUAL [3], de effecten van overstorten op de kwaliteit van het ontvangende water beschrijven c.q. voorspellen.

5. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

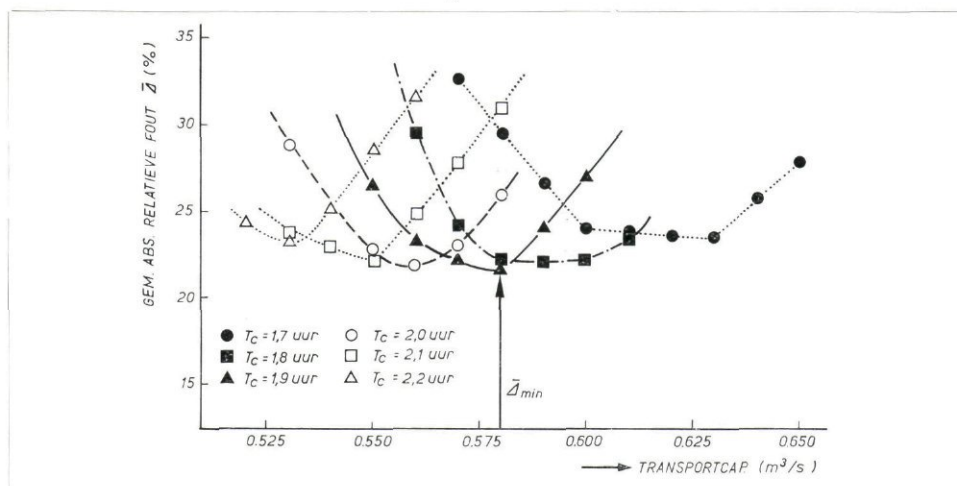
5.1. Samenvatting

Het STORM-model is een computermodel, waarmee de waterkwaliteit en kwaliteit van het rioolwater uit stedelijke gebieden geanalyseerd kan worden. Het model kan als een waardevol hulpmiddel worden beschouwd bij de bestudering van alternatieven waarvoor de waterbeheerder zich geplaatst ziet om de afvoer en de verwerking van het rioolwater van het afwaterende gebied te verbeteren. Een belangrijk aspect van het model is dat niet alleen de duur en de intensiteit, maar ook de verspreiding van de buien in de tijd in beschouwing wordt genomen. Een aantal waterkwaliteitsparameters van STORM werden voor een Nederlandse situatie (Enschede-Noord) geoptimaliseerd aan de hand van de beschikbare neerslag en afvoergegevens over een periode van 3 jaar.

5.2. Conclusies

- Voor Enschede-Noord kan met behulp van STORM het verloop van de afvoer ten gevolge van neerslag als functie van de tijd redelijk worden beschreven.
- Calibratie van een gedeelte van de kwantiteitsparameters met behulp van vier onafhankelijke buien resulteerde in een gemiddelde relatieve afwijking van de

Afb. 6 - Optimalisatie van de concentratietijd T_c en de transportcapaciteit.



hoeveelheid overstortend water van ongeveer 20 %. Nadere calibratie met de resterende parameters en een groter aantal onafhankelijke buien levert naar verwachting een aanzienlijk geringere afwijking op.

- De waarden van de gecalibreerde parameters komen overeen met de waarden die hiervoor uit de literatuur bekend zijn.
- STORM berekent voor het bergingsbassin aan de Roessinghbleekweg een gemiddeld aantal overstorten van 1,7 per jaar, hetgeen overeenkomt met het in de praktijk situatie optredende aantal overstorten van 1 à 2 maal per jaar.
- De grootste overeenkomst tussen prototype en model werd bereikt voor een concentratietijd van ongeveer 2 uur en een riooltransportcapaciteit van 0,56 à 0,58 m³ per seconde. De schatting van de gemeente Enschede voor deze transportcapaciteit bedroeg 0,6 m³ per seconde.

5.3. Aanbevelingen voor nader onderzoek

- Voor een goede calibratie van de kwantiteit zijn registraties van neerslag, vulling van het bergingsbassin en het aantal overstorten per jaar onvoldoende. Registratie van het debiet op verschillende plaatsen in het rioolwatersysteem wordt dan ook aanbevolen.
- Calibratie van de waterkwaliteitsparameters van STORM voor Enschede-Noord bleek door de zeer geringe hoeveelheid waterkwaliteitsgegevens niet mogelijk. De huidige, eenmaal per twee weken door het waterschap bij de RWZI genomen verzamelingen zijn ontoereikend voor een bepaling van de kwaliteit van het aanvoerde afvalwater. Tevens dient de kwaliteit op meer plaatsen dan alleen de RWZI-West te worden bepaald om na te gaan welke kwaliteitsverandering optreedt door het verblijf in het rioolstelsel inclusief de bergingsbassins.
- Indien uitbreiding van de bepalingen m.b.t. de waterkwaliteit niet mogelijk is, dient te worden nagegaan of (en zo ja in welke mate) de kwaliteit van het afvalwater kan worden beschreven door gemiddelde concentraties.
- Als de afvalwaterkwaliteit kan worden beschreven door gemiddelde concentraties, is het kwantitatieve gedeelte van STORM reeds nu een bruikbaar instrument ten behoeve van het oppervlaktewaterkwaliteitsbeheer, mede omdat STORM kan worden gekoppeld aan een waterkwaliteitsmodel voor oppervlaktewater, zoals het reeds bij het Waterloopkundig Laboratorium operationele model MODQUAL [3]. Met behulp van STORM en MODQUAL kunnen de gevolgen voor het oppervlaktewater worden

bepaald voor wat betreft de waterkwantiteit en -kwaliteit.

Literatuur

1. Ribbius, F. J. *Waterverontreiniging door regenoverstorten*. Publieke Werken Enschede, 1951.
2. Ten Heuvel, W. *Enschede op het hoogste punt in het waterschap de Regge*. Technisch Gemeentebblad Enschede, sept. 1963.
3. Klomp, R. en Pagee, J. A. van. *Een modelmatige benadering van de waterkwaliteit van de Rijn*. H₂O (16) 1980, pp. 365 - 371.
4. Sautier, W. L. and Deleur, W. J. *Calibration and sensitivity analysis of the continuous runoff simulation model 'STORM'*. Purdue University, Water Resources Research Centre, West Lafayette, Indiana, IGR no. 144, Aug. 1978.
5. Chow, V. T., 1964. *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill.



Metalen ruimtevakwerken

- Slot van pagina 261

aanzienlijk hoger zijn dan de siliciumlegeringen.

De kostprijs van een aluminium koepel kan het dubbele zijn van een geconserveerde stalen koepel. De gewichtsreductie bij gebruik van aluminium kan 40 % bedragen, maar kan teruglopen tot 20 % indien het voor een kegel wordt gebruikt die een lagere hellingshoek heeft dan 20°. Van de bekende ruimtevakwerksystemen kunnen *Mero* en *Octacube* worden uitgevoerd in roestvast staal, en *Triodetic* en *Octacube* in aluminium. De drie systemen kunnen alle in gewoon staal worden uitgevoerd.

15. Conclusie

Voor het overdekken van onderdelen van rioolwaterzuiveringsinrichtingen is een aantal combinaties van kunststof afsluitende huiden en metalen ruimtevakwerken als dragende skeletten mogelijk:

1. een ronde of rechthoekige plattegrond;
2. in doorsnede plat dak, kegel- of koepelvormig;
3. ruimtevakwerk in aluminium, staal of roestvast staal;
4. de kunststof huid boven of onder het skelet;
5. huid van PVC gecoat polyester weefsel of van glasvezel gewapende polyester panelen.



Anisotropie

- Slot van pagina 267

alsof uitsluitend de R van de richting Θ afhankelijk is.

Voor semi-spanningswater geldt geheel analoog

$$\lambda = \lambda' / \sqrt{\left(\frac{\cos \Theta}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sin \Theta}{b}\right)^2} \quad (37)$$

Voor instationaire stroming geldt in het getransformeerde, isotrope medium:

$$s = \frac{Q}{4 \pi k' H} W(u') \quad (38)$$

met

$$u' = \frac{(r')^2 \mu'}{4k' H} \quad (39)$$

(39) is, analoog aan bovenstaande, te schrijven als:

$$u' = \frac{r^2 \mu}{4k' H} \quad (40)$$

met

$$\mu = \mu' \left\{ \left(\frac{\cos \Theta}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sin \Theta}{b}\right)^2 \right\} \quad (41)$$

zodat bij de interpretatie uitsluitend een van de oriëntatie afhankelijke bergingscoëfficiënt wordt verkregen.

Bij instationair, semi-spanningswater zijn zowel de verkregen bergingscoëfficiënt als de λ -waarde afhankelijk van de richting waarin de ene rij peilputten toevallig is geplaatst. Het feit dat in alle gevallen van anisotropie de juiste $k'H$ -waarde wordt gevonden, mag geen aanleiding zijn het probleem als onbelangrijk van de hand te doen. Immers de cirkels die men trekt, op grond van weliswaar goede $k'H$ maar verkeerde, toevallig verkregen waarden van R' , λ' en μ' , kunnen aanzienlijk afwijken van de ellipsen die men eigenlijk zou moeten trekken.

De conclusies die dan aan de cirkels worden verbonden kunnen dan ook ronduit verkeerd zijn, met name waar voorspellingen worden gedaan over de te verwachten grondwaterstandsverlagen op specifieke plaatsen als natuurterreintjes en dergelijke. Het is dan ook van harte aan te bevelen pompproeven zodanig op te zetten dat een eventuele anisotropie kan worden achterhaald.

Literatuur

- Hantush, M. S. *Hydraulics of Wells in Adv. in Hydroscience*, 1964.
- Huisman, L. and Olsthoorn, T. N. *Artificial Groundwater recharge*. Pitman inc., 1982 (in press).
- Verruijt, A. *Theory of Groundwater Flow*. Macmillan New York etc., 1970.
- Kruseman, G. P. and Ridder, N. A. de. *Analysis and evaluation of pumping test data*. Int. Inst. for land reclamation and improvement, Wageningen, the Netherlands, 1970, Bulletin 11.

