

Het transport van opgeloste stoffen in de riolering: een vergelijking van beschikbare modellen

JEROEN LANGEVELD, TU DELFT

FRANÇOIS CLEMENS, TU DELFT

In het kader van de Kaderrichtlijn Water zal in de komende jaren de nodige aandacht uitgaan naar de ecologische en chemische kwaliteit van het oppervlaktewater. Voor het waarborgen van een goede waterkwaliteit is het in een aantal gevallen noodzakelijk om de lozingen vanuit het afvalwatersysteem, bestaande uit riolering en afvalwaterzuivering, vergaand te beperken. Onderzoek aan de TU Delft laat zien dat fluctuaties in de samenstelling van het rioolwater zowel van invloed is op de via de overstorten als via het effluent geloosde vuilvracht. Om rekening te kunnen houden met het effect van deze fluctuaties in afvalwatersamenstelling bij het beoordelen van maatregelen ter beperking van de vanuit het afvalwatersysteem geloosde vuilvracht is het noodzakelijk om met behulp van modellen een inschatting te kunnen maken van deze fluctuaties. In dit artikel wordt aan de hand van de modelpakketten Hydroworks en SOBEK een illustratie gegeven van de 'state of the art' bij het modelleren van het meest elementaire waterkwaliteitsproces: het transport van opgeloste stof.

Binnen de riolering speelt zich een groot aantal fysische, chemische en biologische processen af, die elk een specifieke invloed hebben op het afvalwater. In de literatuur wordt doorgaans onderscheid gemaakt in vier hoofdprocessen:

- hydrodynamica
- advection-dispersie
- sediment transport
- biochemische omzettingen,

waarbij geldt dat de hydrodynamica en de advection-dispersie noodzakelijke voorwaarden zijn voor het kunnen beschrijven van het sedimenttransport en de biochemische omzettingen.

Aan één van deze voorwaarden, het modelleren van het hydrodynamisch functioneren van een rioolstelsel, is met de huidige, commercieel verkrijgbare modellen, zoals Hydroworks en SOBEK, in principe goed te voldoen. In hoeverre met deze twee modellen in de praktijk ook aan de tweede voorwaarde kan worden voldaan wordt beschreven in dit artikel.

Het transport van niet-afbreekbare opgeloste stof in de riolering wordt gedomineerd door twee processen:

- advection (meevoering met de waterstroom)
- dispersie (opmenging in lengterichting, zich uitend in het afvlakken van pieken).

Dit transport wordt doorgaans beschreven met behulp van vergelijking 1. Hierbij wordt aangenomen dat de stroming één-dimensionaal is, de opgeloste stof volledig gemengd is over de doorsnede en bovendien dat het transport plaatsvindt met de gemiddelde lokale stroomsnelheid.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} - K \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = 0$$

waarbij:

c = concentratie (kg/m^3)

u = stroomsnelheid (m/s)

t = tijd (s)

x = ruimtecoördinaat (m)

K = dispersiecoëfficiënt (m^2/s)

Het advection transport wordt beschreven door de eerste twee termen uit vergelijking 1 en kan worden bepaald zodra de stroomsnelheid van het rioolwater bekend is uit metingen of een goed gekalibreerd hydrodynamisch model. Het dispersief transport wordt beschre-

ven door de derde term uit vergelijking 1. De dispersiecoëfficiënt K geldt hierbij als de te kalibreren parameter, waarbij de grootte afhangt van lokale omstandigheden zoals de vorm van rioolputten, afzettingen van rioolslib en overgangen tussen verschillende buisdiameters.

Binnen de onderzochte modelpakketten is de advection-dispersie vergelijking op verschillende manieren geïmplementeerd:

- Hydroworks neemt in de modellering alleen de eerste twee termen uit vergelijking 1 mee, met puur advection transport (propstrooming) in de buizen en volledige menging in de putten. Zowel het reken-schema als de tijd- en ruimtestap (dt en dx) zijn hierbij niet door de modelleur in te stellen.
- Sobek neemt in principe alle termen uit vergelijking 1 mee, waarbij de dispersiecoëfficiënt voor alle strengen in het model gelijk is. Bij het modelleren kan gebruik worden gemaakt van twee verschillende combinaties van modules:
 - sewer flow in combinatie met de water quality module
 - sewer flow, gecombineerd met channel flow en de water quality module.

In beide combinaties kan een selectie worden gemaakt uit verschillende rekenschema's en kan de tijdstap onafhankelijk van de tijdstap van de hydrodynamica worden ingesteld. Het wezenlijke onderscheid tussen beide combinaties zit in de te selecteren ruimtestap. In de eerste combinatie, sewer flow en water quality, ligt de ruimtestap vast op de lengte van de streng, terwijl in de tweede combinatie de ruimtestap kan worden gevarieerd.

Vergelijking modellen

Voor het vergelijken van de beschrijving van het advection en dispersief transport in beide modellen is gebruik gemaakt van twee cases:

- meetresultaten vorig jaar uitgevoerd tracerexperiment in het rioolstelsel van Loenen
- gemeten variatie in ammoniumconcentratie in influent van AWZI Katwoude. In een lopend afstudeeronderzoek van Jeroen Stok (TU Delft) is i.s.m. het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier gedurende drie maanden onder meer het verloop van de ammoniumconcentratie continu on-line gemeten.

De eerste case is zeer geschikt voor het onderzoeken of de advection-dispersie vergelijking in principe goed is geïmplementeerd in de software, terwijl de tweede case informatie geeft op de vraag in hoeverre gangbare variaties in concentraties in het afvalwater kunnen worden beschreven.

Case 1: tracerexperiment

Afbeelding 1 geeft een schematisch overzicht van het tracerexperiment. De leiding heeft over de gehele lengte van 454 meter een diameter van 500 mm, bij een gemiddeld bodemverhang van 1.4 promille. In de leiding bevinden zich 8 tussenputten op onderlinge afstanden variërend van 17 tot 80 meter. In de doseerput is zout water gedoseerd, waarna in de beide meetputten het verloop van de geleidbaarheid is gemeten. De in het bovenstroomse meetpunt gemeten waarden zijn vervolgens als modelinvoer gebruikt.

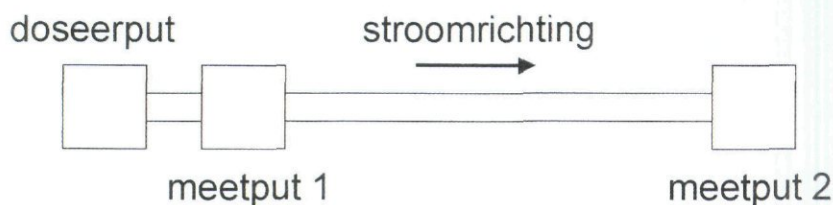
Afbeelding 2 geeft een overzicht van de resultaten zoals deze met Hydroworks en met de meest eenvoudige variant binnen SOBEK, de combinatie van de sewer flow en water quality module, berekend zijn. Om een juiste vergelijking mogelijk te maken is in SOBEK de dispersie uitgeschakeld door een dispersiecoëfficiënt van 0 aan te nemen.

Beide modellen blijken het gemetenverloop niet goed te kunnen reproduceren. Hydroworks beschrijft het moment waarop de piek langskomt redelijk, maar geeft een grote onderschatting van de maximaal optredende waarde. Dit wordt deels veroorzaakt doordat de minimale tijdstap in zowel de invoer als de uitvoer in Hydroworks 15 seconden bedraagt en deels door numerieke diffusie. Het moment waarop de piek langskomt wordt bepaald door de stroomsnelheid in het model. Aangezien deze stroomsnelheid afhankelijk is van het invoerdebiet en dit in m^3/s met maximaal drie decimalen moet worden ingegeven, bleek het in dit geval niet mogelijk om het moment van de piek exact goed te krijgen.

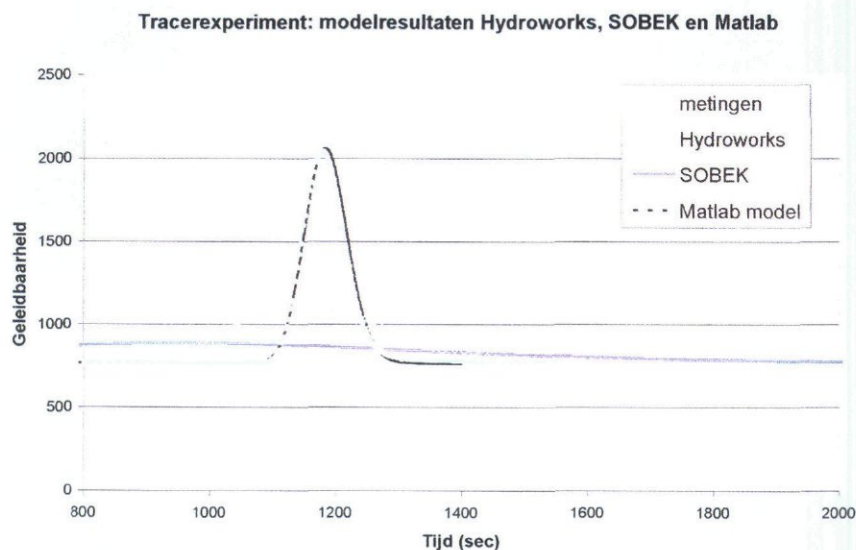
In het modelresultaat van SOBEK is met moeite nog een piek te herkennen. Terwijl SOBEK de eerder genoemde beperkingen van Hydroworks niet kent, het aantal decimalen bij de invoer van het debiet is ruim voldoende en de instelbare minimale tijdstap bedraagt één seconde, vormt in dit geval het feit dat de ruimtestap gelijk is aan de lengte van de buis de bottleneck. Het gevolg is een zeer grote numerieke dispersie.

Afbeelding 3 geeft de resultaten van simulaties met behulp van de tweede beschikbare variant binnen SOBEK, de combinatie van de modules sewer flow, channel flow en water quality. Hierbij is een tweetal rekenschema's, 'Fully implicit iterative method' en 'Modified flux corrected transport' doorgerekend met verschillende ruimtestappen.

In vergelijking met de vorige variant valt op dat de berekende piekwaardes veel beter overeenkomen met de gemeten waarden, maar dat het moment van de piek afhankelijk blijkt



Afb. 1: Schematisch overzicht tracerexperiment.



Afb. 2: Vergelijking Hydroworks en SOBEK, modules sewer flow en water quality met metingen en Matlab model.

te zijn van de gekozen ruimtestap! Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat aan de rekenpunten in het model een oppervlak wordt toegekend, waardoor in feite de totale leiding een stukje langer wordt. Met een dx van één meter levert dit op deze streng van 454 meter een extra vertraging op van ongeveer zeven minuten. Omgerekend naar een compleet rioolstelsel, waarin transportafstanden bijvoorbeeld 2 km bedragen, levert dit al snel een fout op van bijna een half uur, hetgeen voor bijvoorbeeld RTC toepassingen tot significante fouten kan leiden.

Case 2. Berekening gangbaar concentratieverloop

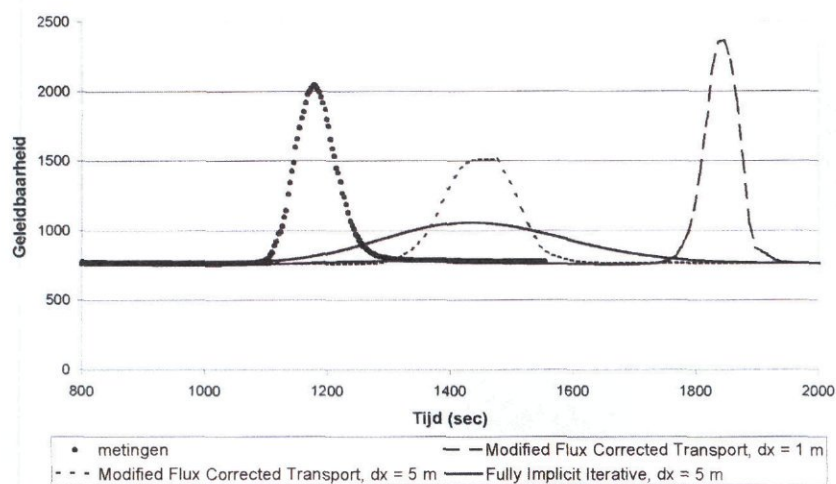
In de praktijk treden variaties in de concentratie van het afvalwater zoals in het tracerexperiment (een toename van de concentratie met een factor 6 binnen 30 seconden) nauwelijks op. Hierdoor is het niet mogelijk om alleen op basis van de resultaten van het tracerexperiment een uitspraak te doen over de bruikbaarheid van Hydroworks en SOBEK voor het beschrijven van normaal optredende variaties in het afvalwater. De wijze waarop een gangbaar concentratieverloop wordt beschreven levert in dit verband meer informatie op. Zoals reeds is aangegeven is op AWZI Katwoude een tijd lang het verloop van de ammoni-

umconcentratie in het influent gemeten. Dit concentratieverloop geeft een aardig beeld van werkelijk te verwachten fluctuaties in de concentratie, hoewel moet worden aangetekend dat dit concentratieverloop reeds het gevolg is van de in de riolering optredende afvlakking.

Om SOBEK en Hydroworks ook voor gangbare variaties in concentraties te testen is een gemeten concentratieverloop als inloop genomen voor dezelfde leiding als in de eerste case. Vervolgens is geanalyseerd in hoeverre de resultaten van SOBEK (de variant met alleen de sewer flow en water quality module) en Hydroworks verschillen van de waarden van een Matlab model met een op basis van het tracerexperiment gekalibreerde dispersiecoëfficiënt ($0,15 m^2/s$ (afbeelding 2)). De resultaten uit afbeelding 4 laten zien dat de afvlakking bij SOBEK (maximaal $2,5 mg NH_4/l$, ofwel 7%) evenals bij case 1 een stuk groter is dan bij Hydroworks (maximaal $0,7 mg NH_4/l$ ofwel 3%).

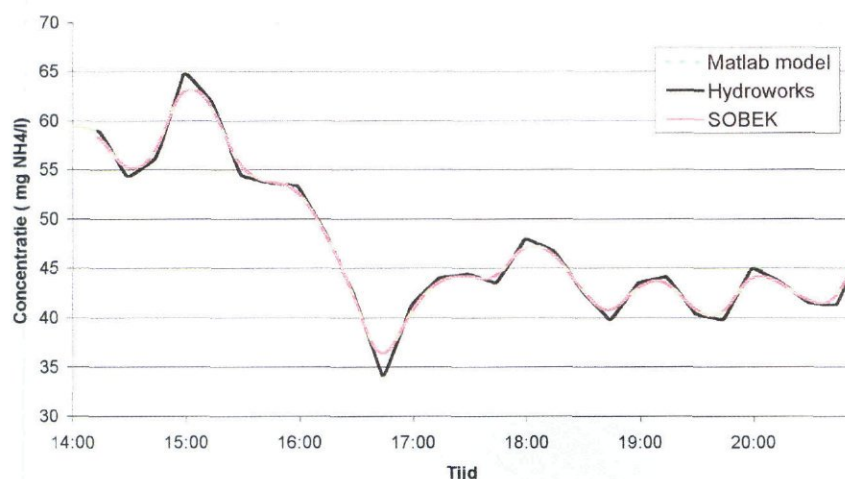
Hydroworks blijkt hiermee in staat om de gangbare variaties in afvalwatersamenstelling behoorlijk te kunnen doorrekenen, terwijl de SOBEK modules sewer flow en water quality hiertoe minder in staat zijn.

Modellering transport opgeloste stof met SOBEK



Afb. 3: Tracerexperiment, resultaten SOBEK (modules sewer flow, channel flow en water quality).

Vergelijking Hydroworks en SOBEK



Afb. 4: Vergelijking SOBEK en Hydroworks bij gangbare fluctuaties in het afvalwater.

Conclusies

Het onderling en met meetwaarden vergelijken van het transport van opgeloste stof door de riolering heeft voor de gangbare rioleringspakketten Hydroworks en SOBEK een helder beeld opgeleverd:

- met Hydroworks is het transport van opgeloste stof niet in te stellen, maar kunnen in praktijksituaties, afhankelijk van de toepassing, toch goede resultaten worden behaald;
- met SOBEK kan in principe elke denkbare parameter worden ingesteld, variërend van rekenschema, tijd- en ruimtestap tot dispersiecoëfficiënt. Hoewel dit voor de toekomst veel beloofd, is op dit moment de

bruikbaarheid nog onder de maat doordat de keuze nu beperkt is tot ofwel een relatief grote afvlakking danwel een ongewenste tijdsvertraging.

Desondanks is het op dit moment met beide pakketten wel mogelijk om een indruk te krijgen van het transport van opgeloste stof en in te schatten welk effect maatregelen aan de riolering kunnen hebben op de concentratie aan opgeloste stoffen in het overstortende water en in het influent. Als basis voor de beschrijving van het sedimenttransport lijken beide pakketten nog niet geschikt, vooral omdat hierbij door opwoeling lokaal grote gradiënten in de concentraties kunnen optreden. 

LITERATUUR

- Ashley R., T. Hvitved-Jacobsen en J.-L. Bertrand-Krajewski, (1998): Quo vadis sewer process modelling? UDM'98 4th Int. Conf. On Developments in Urban Drainage Modelling.
- Clemens F. (2001): Hydrodynamic models in urban drainage: application and calibration. PhD-thesis TU Delft.
- Langeveld J. en F. Clemens (2002). Meten in de riolering: het transport van opgeloste stoffen in gedeeltelijk gevulde leidingen. Rioleringswetenschap en techniek nr 6.
- Langeveld J. en T. Schuit (2002). Meten in de riolering: het transport van opgeloste stoffen. H₂O nr 4.