

## Modelleren en Sturing van Actief-slib processen

### Algemeen

Op 22-24 augustus 1994 werd in Kopenhagen een seminar georganiseerd door de IAWQ met als onderwerp modelleren en procescontrole van actief-slibprocessen. Het aantal deelnemers bedroeg 110, waarvan 11 mensen uit Nederland. Hoewel de aanwezigen afkomstig waren van wereldwijd, overheersten de deelnemers uit West-Europa.

Het symposium was primair opgezet om het vernieuwde model (no. 2) voor actief-slibprocessen van het IAWQ te presenteren. Dit model beschrijft onder andere de biologische verwijdering van stikstof en fosfaat uit afvalwater. Daarnaast werd ook aandacht besteed aan andere modellen voor stikstof en/of fosfaatverwijdering. Behalve modelleren van actief-slibprocessen werd in diverse sessies ingegaan op parameterschatting, modelleren van het bezinkproces alsmede van lichtslibvorming.

### Modelleren van CZV en nutriëntenverwijdering

Het IAWQ model no. 2 is het vervolg op model no. 1. Dit model no. 1 werd ontwikkeld door de specialistische 'task group' van het IAWQ en werd rond 1986 gepresenteerd. Het is inmiddels mogelijk gebleken om met dit model de processen in rwzi's met betrekking tot de omzettingen van CZV en stikstofverbindingen goed te beschrijven. Hoewel kalibratie van diverse parameters in het model de meest onzekere factor is, gaat men er steeds meer van uit dat het werken met default waarden voor een groot aantal parameters goede representatieve resultaten oplevert voor rioolwaterzuiveringsinstallaties. Bij model no. 2 is het voornoemde model uitgebreid met biologische fosfaatverwijdering. Ten opzichte van model no. 1 is het aantal modelcomponenten voor de beschrijving van het afvalwater en het slib verder uitgebreid van 13 tot 17. Voorts is het aantal kinetische en stoichiometrische parameters uitgebreid van 23 tot 61 (exclusief coëfficiënten voor de beschrijving van de temperatuurafhankelijkheid). Het aantal processen is uitgebreid van 8 tot 17. Daarnaast zal in de eindrapportage chemische precipitatie in het model worden opgenomen.

De status van model no. 2 moet worden gezien als een tussenfase. Vooral voor het aantal parameters, alsmede de waarde daarvan moet nog verder onderzoek worden gedaan om het model algemeen toepasbaar te maken en geaccepteerd te krijgen.

Het model werd ontwikkeld door Gujer (EAWAG Zwitserland), Henze (Techni-

sche Universiteit Denemarken), Wentzel (Universiteit Kaapstad) en Mino (Universiteit van Tokio). In de presentaties van deze samenstellers van het model werden niet slechts de nieuwe aspecten gepresenteerd, maar ook de tekortkomingen. Het model werkt met algemene groepen van bacteriën (autotrofe ofwel nitrificerende bacteriën, heterotrofe bacteriën en bio-P bacteriën). Specifieke bacteriegroepen, zoals G-bacteriën en denitrificerende P-bacteriën zijn vooralsnog niet in het model opgenomen. G-bacteriën verbruiken acetaat onder anaërobe omstandigheden evenals fosfaatverwijderende bacteriën, maar vertonen geen fosfaatafgifte en -opname. Denitrificerende bio-P bacteriën vertonen onder (nitraatrijke) anoxische omstandigheden fosfaatopname in plaats van fosfaatafgifte.

In een bijdrage van Isaacs (Technische Universiteit Denemarken) werden modelberekeningen van model no. 2 gepresenteerd in vergelijking met resultaten die met een proefinstallatie werden behaald. Een zeer goede correlatie tussen beide resultaten bleek mogelijk. In één van zijn gegevensreeksen bleek een goede correlatie echter slechts mogelijk nadat denitrificerende defosfaterende bacteriën aan het model waren toegevoegd. Hij kon met behulp van de modelberekeningen de trage opstart van de fosfaatopname in zijn proefinstallatie volgen, en kon op basis van deze berekeningen hiervoor verklaringen aandragen.

Door diverse andere sprekers werden modelbenaderingen gepresenteerd die zich doorgaans toespitsen op één aspect van het actief-slibproces. Hierbij worden deze processen doorgaans meer gedetailleerd. Volstaan wordt in dit verslag met enkele voorbeelden.

Een modelbenadering voor denitrificatie werd gepresenteerd door Wild (EAWAG, Zwitserland). In tegenstelling tot het IAWQ model wordt de denitrificatie hierbij niet als één proces beschreven, maar wordt nitraat in deelprocessen via nitriet en  $N_2O$  afgebroken. Diverse enzymsystemen kunnen door de tussenprodukten worden geremd. Met behulp van batchexperimenten is getracht om het model te kalibreren, echter diverse parameters blijven vooralsnog onzeker. Een model gebaseerd op biosorptie van opgelost CZV werd gepresenteerd door Novák (Instituut voor Chemische Technologie Praag). Hierbij is een poging gedaan om de groei van draadvormers en vlok-vormers van elkaar te onderscheiden,

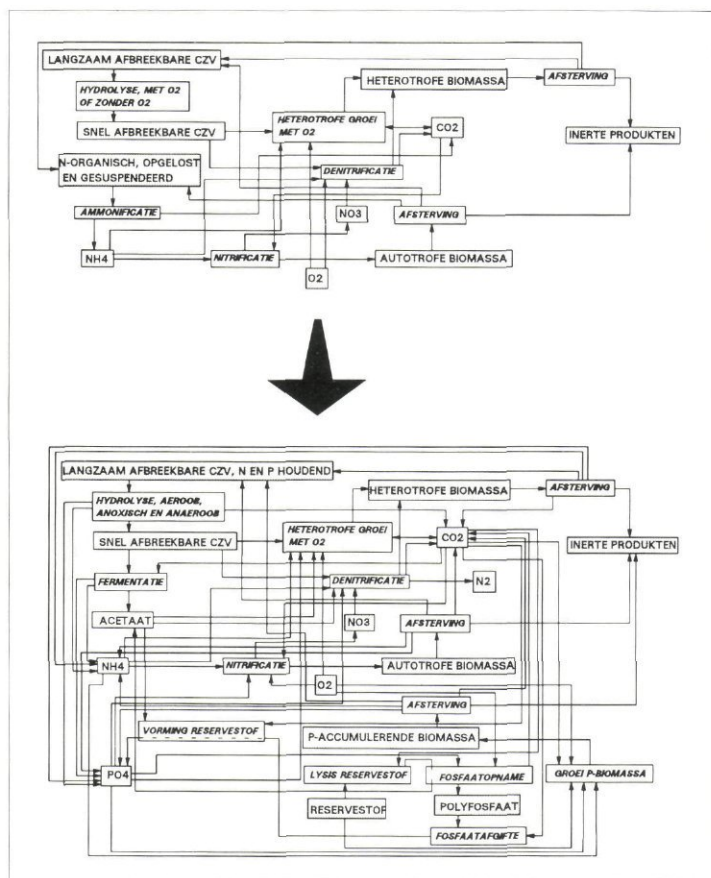
echter vooralsnog zonder veel resultaat. Smolders (TU Delft) presenteerde een model voor biologische fosfaatverwijdering met celmetabolisme als basis. Daarbij wordt onder andere gebruik gemaakt van de energiebalansen in de cel (ATP e.d.). Hij toonde dat een dergelijk model minder invoerparameters nodig heeft dan bij andere modellen het geval is. Het voordeel van dit model boven het IAWQ-model is, dat meer beperkende factoren in de fosfaatverwijdering kunnen worden aangetoond. Soms blijft de fosfaatverwijdering achter bij de verwachtingen door een tekort aan bepaalde componenten in de cel (glycogeen, PHB). Het model no. 2 onderkent deze beperkingen niet. De grootte van diverse parameters zijn ontleend aan onderzoek op laboratoriumschaal.

### Parameteridentificatie

Een aantal onderzoekers richten hun aandacht op parameteridentificatie. Diverse technieken zijn in ontwikkeling, en deels beschikbaar om automatisch parameters te schatten op basis van praktijkresultaten. Daarbij worden problemen van verschillende aard ondervonden. Bijvoorbeeld de representativiteit van monsternamen, de frequentie van bemonsteren en de nauwkeurigheid van analysetechnieken bemoeilijken een goede kalibratie.

Ook bij de parameteridentificatie zelf kunnen diverse moeilijkheden worden ondervonden. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat meerdere combinaties van parameters onder de gegeven omstandigheden tot dezelfde resultaten leiden, waarbij doorgaans slechts één combinatie de juiste is. Soms zijn parameters tijdens de kalibratie niet identificeerbaar omdat de gevoeligheid van deze parameters op de uitkomst van de modelberekeningen bij wijzigingen te gering is. Ook kunnen verschillende parameters onderling gekoppeld zijn, waarbij ze in een vaste onderlinge verhouding dezelfde resultaten geven. Wanneer vervolgens na de parameteridentificatie modelberekeningen worden uitgevoerd voor andere procesomstandigheden, kan de betekenis van de diverse parameters voor de praktijk verschillend zijn in vergelijking met de omstandigheden tijdens de kalibratie. Parameterschatting werd toegelicht bij diverse onderzoekresultaten. Steeds vaker wordt getracht om de resultaten van on-line metingen in de automatische kalibratie te betrekken. Regelmatig wordt ook respirometrie genoemd als hulpmiddel in de kalibratie van modellen voor actief slib, onder andere in bijdragen van Spanjers van de LU Wageningen en Vanrolleghem





*Belangrijkste modelcomponenten en processen in de IAWQ modellen nr. 1 en nr. 2 worden steeds complexer!*

bestrijding. Aërobe selectoren en strikt anaërobe selectoren zouden een beter resultaat geven. Dit model is nu nog niet gevalideerd.

Een veelbelovende maar premature ontwikkeling werd gepresenteerd door Takács (Hydromantis, Canada). Zijn model beschreef de benutting van diverse CZV componenten met behulp van zuurstof, waarbij diffusielimitatie in de actief-slibvlokken werd geïntroduceerd. Het model was gebaseerd op populatiedynamica. Hij onderscheidde daarbij vlokvormers en draadvormers. Met modelberekeningen werd getoond onder welke omstandigheden draadvormers tot licht-slibvorming kunnen leiden. Ook werden resultaten getoond bij omstandigheden waarbij draadvormers wel aanwezig waren, maar niet tot lichtslibvorming leidden.

### Relevantie voor de praktijk

Tot slot is op het symposium ingegaan op de betekenis van modelleren voor de praktijk.

Tijdens verschillende demonstraties is getoond dat steeds meer programma's een vrijheid bieden voor de modellen die kunnen worden gebruikt. Het is daarbij mogelijk om combinaties te maken van bijvoorbeeld het IAWQ-model, gekoppeld aan een model voor nabezinking. Een groot nadeel daarbij kan wel zijn dat daarbij de rekentijd de beperkende factor wordt. Sommige programma's zijn om deze reden ontwikkeld voor toepassing op computers met het snellere 'Unix' systeem in plaats van gewone PC's.

Toepassing direct op rwzi's zal in de toekomst ook mogelijk zijn, maar bedrijfsvoerders van rwzi's staan momenteel nog ver af van het gebruik hiervan. De modellen zijn in het algemeen nog te ingewikkeld, en de resultaten die kunnen worden bereikt zijn in de regel nog niet concreet genoeg. Een positieve uitzondering hierop was een voorbeeld van een zuiveringsinstallatie in Denemarken waar een externe koolstofbron wordt gedoseerd voor denitrificatie. Met een betere regeling, ontwikkeld met behulp van modellen, kon de denitrificatie met behulp van BZV uit het influent worden verbeterd en hoefde er minder van de externe koolstofbron te worden gedoseerd. Er bleek hiermee 40% besparing op de energiekosten mogelijk.

### Conclusie

Concluderend kan worden gesteld dat vele ontwikkelingen op het gebied van modellen gaande zijn. In geval van het IAWQ-model nr. 1 kan worden gesproken van een algemeen aanvaard en toegepast

van de universiteit Gent.

Opgemerkt moet worden dat veel onderzoek is verricht met systemen waarbij duidelijke fluctuaties in de concentraties op relatief korte termijn kunnen worden waargenomen, zoals batchgewijze processen of het alternerende Biedenipho systeem. De toepasbaarheid van de resultaten in meer continu bedreven systemen, zoals een carrousel, zal naar verwachting minder eenvoudig zijn wegens de afname in identificeerbaarheid van parameters.

### Modelleren van slibbezinking

Een gehele sessie werd gewijd aan modelleren van slibbezinking. Hierbij zijn ééndimensionale modellen het beste ontwikkeld. Tweedimensionale modellen zijn ingewikkelder, en bevinden zich nog in een vroeg stadium. Hoewel er weinig aandacht aan wordt besteed, kan men zich afvragen of de toepassing van de ééndimensionale modellen voor ronde nabezinktanks goed mogelijk is. Veel voorbeelden betroffen rechthoekige nabezinktanks.

Meerlaagsmodellen zijn ééndimensionale modellen waarbij de bezinking van slib is opgedeeld in lagen. Slibtransport vindt plaats van laag tot laag. Grijspeerd (Universiteit Gent) gebruikte diverse modellen en toetste de resultaten met data uit de praktijk. In elk van de gevallen

bleek tenminste één laag niet aan de praktijk te voldoen. Het model van Takács (gepubliceerd in 1991) bleek uiteindelijk het beste.

In de meeste presentaties werd slechts aandacht besteed aan het bezinkingsgedrag, resulterend in een bepaalde verblijftijd van het slib in de nabezinktank. Dupont (Krüger, Kopenhagen) trachtte daarnaast voorspellingen te doen voor de concentraties van gesuspendeerd materiaal in het effluent. Geconcludeerd werd dat simulatie hiervan mogelijk is, maar dat het gehanteerde model verder moet worden uitgedetailleerd.

Hoewel de modellen in zijn algemeenheid een redelijke voorspelling lijken te geven, geeft dit voorbeeld aan dat bezinkingsmodellen nog niet zijn uitontwikkeld.

### Modelleren van lichtslib

In enkele presentaties werd ingegaan op de modellering van lichtslib. Dit aspect wordt in het IAWQ-model nog niet meegenomen.

Kappeler (Böhringer Ltd, Zwitserland) presenteerde een modelmatige opzet voor lichtslibvorming in laagbelaste systemen. Intermediären bij denitrificatie zijn als verdacht aangemerkt. Kleine anoxische selectoren met onvolledige denitrificatie werken daarom onvoldoende in lichtslib-



## Desinfectie van afvalwater

model, in veel gevallen echter is er sprake van een ontwikkelingstraject. Wellicht kunnen in de toekomst de voordelen van diverse separate ontwikkelingen worden verenigd. Toepassing van modellen in de praktijk zal steeds vaker een *hulpmiddel* worden, zowel voor de ontwerper van een rwzi, voor de technoloog als voor de bedrijfsvoerder.

**ir. J.W. Mulder,**  
Grontmij Advies en Techniek BV

• • •

### Nederland steekt 5 miljoen gulden in Roemeense waterbedrijven

De Nederlandse regering stelt f 5 miljoen beschikbaar voor de verbetering van de watervoorziening en de riolering in acht Roemeense gemeenten. Het ministerie van ontwikkelingssamenwerking werkt daarbij samen met de Oost-Europabank, die onlangs is gestart met een soortgelijk project in vijf grote Roemeense steden. De problemen zijn groot, zo stelt een bij het project betrokken ambtenaar. De prijs die Roemenen voor hun water betalen is te laag. Ook de afvoer is te goedkoop. Daardoor krijgen de lokale waterleidingbedrijven te weinig inkomsten binnen. Ook hebben woningen geen meters. Het schrijven van rekeningen met het juiste bedrag is hierdoor onmogelijk. De Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) gaat vanaf deze zomer opleidingen verzorgen voor de Roemeense waterleidingbedrijven die tot voor kort onder de centrale overheid vielen, maar nu in handen zijn van de gemeenten. Ze leren hoe aan voldoende inkomsten te komen en het geld op een verantwoorde manier te besteden. Ook het maken van investeringsplannen komt in de opleiding aan de orde. Na afloop moeten de Roemenen zelf in staat zijn een goed ondernemingsplan samen te stellen. Als dat op tafel ligt, zal de Oost-Europabank een lening verstrekken voor de uitwerking ervan. Dat zal naar verwachting eind volgend jaar zijn. (ANP)

### 3e Jaarcongres Riolering

Het Nederlands Studie Centrum organiseert het 3e 'Jaarcongres Riolering. Van Gemeentelijk Rioleringsplan tot duurzaam waterbeheer in de praktijk'. Het jaarcongres vindt plaats op 31 mei 1995 in het World Trade Center in Rotterdam. Nadere inlichtingen: Nederlands Studie Centrum, Postbus 330, 3130 AH Vlaardingen, telefoon 010-434 99 66.

### Inleiding

Op 4 oktober 1994 werd door de Duitse ATV een symposium georganiseerd in München met als onderwerp desinfectie van afvalwater. Het symposium werd bijgewoond door ruim 60 mensen, afkomstig uit Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland. De deelname uit Nederland bleef beperkt tot één persoon.

Het doel van het symposium was het toelichten van de recente ATV richtlijnen inzake desinfectie. Algemeen kan worden gesteld dat daarbij nog geen standaardmethode voor desinfectie wordt geadviseerd. Voor de kosten voor desinfectie, de effectiviteit en neveneffecten zijn er nog diverse onzekerheden. Op het symposium werden verschillende technieken gepresenteerd, veelal ondersteund door onderzoekresultaten.

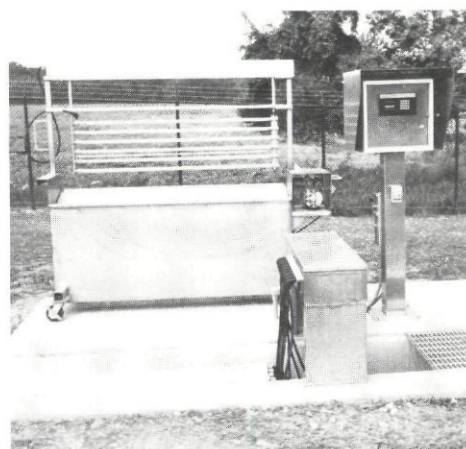
In dit verslag wordt een impressie gegeven van het symposium, alsmede de relevantie ervan voor de Nederlandse situatie.

### Noodzaak tot desinfectie

In bijdragen van Popp (onderzoekinstituut in München) en Schindler (Beierse onderzoekafdeling voor Volksgezondheid) werd aangegeven dat de noodzaak voor het uitvoeren van desinfectie sterk afhangt van herkomst van het afvalwater en functie van het ontvangende oppervlaktewater. Als voorbeeld van de herkomst werd onder andere afvalwater van een ziekenhuis genoemd. Als voorbeeld van de functie van het ontvangende water is recreatie het meest algemene voorbeeld. Geschat wordt dat niet-zwimmers gemiddeld 30 ml water per bad binnenkrijgen, terwijl dit voor zwimmers 50 ml bedraagt. Voor de beoordeling van zwemwater zijn EG-richtlijnen geformuleerd, waarbij grenswaarden en (strengere) streefwaarden zijn gegeven voor verschillende typen micro-organismen. Afhankelijk van de kwaliteit van het zwemwater na lozing van effluent, zou moeten worden beoordeeld of desinfectie noodzakelijk is.

### Van chloorbleekloog naar nieuwe technieken

Voorheen werd op diverse rwzi's desinfectie toegepast met behulp van chloorbleekloog. Aan deze desinfectietechniek zijn verschillende nadelen verbonden. Bij desinfectie met chloorbleekloog kunnen diverse schadelijke microverontreinigingen worden gevormd. Daarnaast is deze methode niet voor alle micro-organismen even effectief. Voor de meest algemene darmbacterie E.coli geldt dat deze relatief gemakkelijk kan worden gedood. Deze bacterie wordt echter vaak als indicator gebruikt. Om die reden is de



Installatie voor UV-desinfectie van het effluent van een rwzi.

informatie over het werkelijke effect van diverse desinfectietechnieken beperkt. Andere bacteriën en virussen kunnen anders reageren op diverse technieken.

Op dit moment bestaat nog onzekerheid over de wijze van desinfectie die in de toekomst het beste kan worden ingezet. In Nederland bestaat momenteel een voorkeur voor UV-desinfectie, ingegeven door kosten, effectiviteit en het ontbreken van neveneffecten. Hoewel diverse desinfectietechnieken werden gepresenteerd, was deze voorkeur voor UV-desinfectie ook op het symposium in München te bespeuren.

### Desinfectie met ozon

Shadiakhy (Schmidding, ozonproducent) ging in op de toepassing van ozon voor desinfectie. Het voordeel van ozon is dat het een zeer sterke oxydator is, met een hogere redoxpotentiaal dan andere desinfectiemiddelen. Bovendien wordt het produkt ter plaatse geproduceerd, zodat er geen transport nodig is en geen verontreinigingen in het produkt aanwezig zijn. Behalve voor desinfectie van afvalwater worden tal van andere toepassingsgebieden genoemd. Restconcentraties van ozon in de afgassen na behandeling van het water moeten worden verwijderd, bijvoorbeeld door thermische afbraak, actieve-kooladsorptie of katalyse. Als kostenindicatie voor ozonbehandeling werd een bedrag van 0,1 tot 0,35 DM per m<sup>3</sup> afvalwater genoemd.

### Chloordioxyde, waterstofperoxyde, perazijnzuur

Schulte (Degussa AG, producent diverse desinfecteermiddelen) presenteerde de mogelijkheden voor toepassing van de produkten chloordioxyde, waterstofperoxyde en perazijnzuur. Bij toepassing van deze produkten is tot nu toe nog geen