

Inleiding

Dynamische simulatie is de laatste jaren gemeengoed geworden binnen het vakgebied afvalwaterzuivering. Mede door de stimulerende werking van de STOWA zijn waterkwaliteitsbeheerders, ingenieursbureaus en universiteiten met het computerprogramma SIMBA aan de slag gegaan. De nadruk bij de toepassing van dit programma ligt hierbij vooral op het simuleren van maatregelen ter optimalisatie van de werking van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's).

Samenvatting

Dynamische simulatie van biologische processen in rwzi's heeft de afgelopen jaren een steeds belangrijkere rol vervuld. Was in eerste instantie de toepassing nog sterk theoretisch gericht, de afgelopen jaren werden de resultaten in de praktijk geïmplementeerd en kon de waarde van simulatiemodellen worden getoetst. In een eerste artikel uit een reeks van drie wordt hiervan een exposé gegeven en worden verschillende toepassingsmogelijkheden gepresenteerd. Aan de hand van praktijkvoorbeelden wordt ingegaan op de toepassing van dynamische simulatie voor optimalisatie- en ontwerpdoeleinden. Daarmee lijkt dynamische simulatie een definitieve plaats binnen de afvalwaterzuiveringspraktijk te hebben ingenomen.



IR. K. MEINEMA
DHV Water BV



IR. K. M. VAN SCHAGEN
DHV Water BV



IR. H. F. VAN DER ROEST
DHV Water BV



IR. A. M. J. VEERSMA
DHV Water BV

Inmiddels zijn op vele rwzi's de met behulp van simulatie verkregen resultaten in de praktijk geïmplementeerd. Hierdoor is het mogelijk geworden de waarde van dynamische simulatie te toetsen.

In een eerder gepubliceerde reeks van drie artikelen [1-3] zijn diverse mogelijkheden voor de toepassing van dynamische simulatie theoretisch weergegeven. Het voorliggende artikel is het eerste van een nieuw drieluik, waarbij de nadruk ligt op de waarde van dynamische simulatie voor de praktijk. Aan de hand van verschillende voorbeelden wordt hiervan een globaal overzicht geboden. In het tweede artikel worden resultaten van de eerste praktijktoepassing van een multivariabele regelaar gepresenteerd. Tenslotte wordt in het derde artikel ingegaan op het afvalwatersysteem, waarbij niet alleen de rwzi in beschouwing wordt genomen, maar ook de riolering en het transportsysteem worden gesimuleerd.

Praktijk en theorie

Reeds begin jaren zeventig is onderzoek verricht naar het modelleren van actiefslibsystemen. Vooral de Universiteit van Kaapstad heeft op dit vlak baanbrekend werk verricht. De in de praktijk waargenomen processen (CZV-, stikstof en fosfaatverwijdering) werden in een theoretisch model vastgelegd. Dit resulteerde in eerste instantie in het UCT-model en later in het IAWQ-model nr. 1. Sindsdien hebben ook andere universiteiten zich gericht op uitbreiding en aanpassing van dit model.

In de loop der jaren zijn vele publicaties verschenen en zijn onder meer het IAWQ-model nr. 2 en het TU Delft model geïntroduceerd [4, 5]. Deze en andere modellen zijn in een groot aantal dynamische simulatieprogramma's geïmplementeerd. Zoals aangegeven is in Nederland gekozen voor het simulatieprogramma SIMBA (IfAK, Magdeburg). Sedert 1995 heeft de toepassing ervan geleid tot een duidelijke toename van de theoretische kennis van afvalwaterzuiveringsprocessen. Aan de hand van diverse voorbeelden kan nu de praktische waarde worden belicht.

Optimalisatie en ontwerp

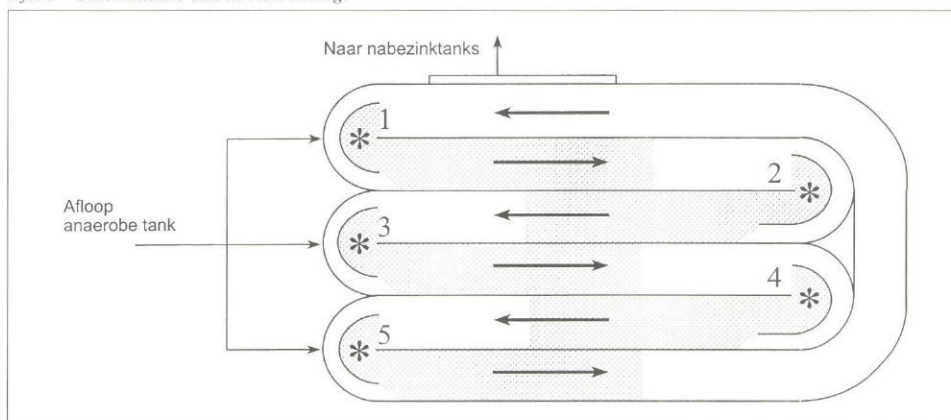
Dynamische simulatie wordt vaak toegepast voor het optimaliseren van een beluchttingsregeling. Door de hedendaagse effluenteisen moet rekening worden

gehouden met nitrificatie, denitrificatie en (biologische) fosfaatverwijdering. Ook energieverbruik en mechanische aspecten spelen een belangrijke rol. Met een adequate regeling moet kunnen worden ingespeeld op de dynamiek van het afvalwaterzuiveringssysteem, en moet onnodige slijtage aan mechanische beluchttingsapparatuur worden voorkomen.

Als voorbeeld van een optimalisatieproject kan de rwzi Elburg (Waterschap Veluwe) dienen. Deze rwzi is begin jaren negentig uitgebreid tot een capaciteit van 120.000 v.e. (à 136 g TZV) en 2.850 m³/h. De waterlijn bestaat uit 2 voorbezinktanks, een selector/anaërobe tank, een aëratietank van het type Carrousel en 4 nabezinktanks. Het fosfaat wordt voor een klein deel chemisch gebonden, maar wordt hoofdzakelijk biologisch verwijderd. Het afvalwater uit de anaërobe tank kan op een drietal locaties de Carrousel worden ingevoerd, terwijl de zuurstofinbreng plaatsvindt met een vijftal oppervlaktebeluchters (zie afb. 1).

In het oorspronkelijke ontwerp werd het afvalwater op drie locaties ingebracht, en werden met behulp van drie zuurstofopnemers de puntbeluchters 2, 4 en 5 separaat aangestuurd. De puntbeluchters 1 en 3 waren continu in bedrijf. Deze situatie gaf in de praktijk een interferentie te zien tussen de regelbare beluchters. Mede daardoor ontstond een sterk variërend nitraatgehalte, wat negatieve

Afb. 1 - Schematisatie van de rwzi Elburg.



gevolgen had voor het biologische fosfaat-verwijderingsproces.

Op basis van simulatieberekeningen is voorgesteld om het afvalwater op één plaats de Carrousel in te brengen en alle vijf beluchters te regelen op basis van slechts één zuurstofsignaal. Om de hoeveelheid nitraat naar de anaërobe tank te beperken en daardoor het biologisch fosfaatverwijderingsproces te bevorderen, wordt het zuurstofsetpoint beïnvloed door het nitraatgehalte.

In tabel I zijn de effluentgegevens over de jaren 1993-1995 weergegeven. Hieruit kan worden afgeleid dat na implementatie van de voorgestelde aanpassingen medio 1994 de effluentkwaliteit aanzienlijk is verbeterd. Bovendien kon de aanvullende chemicaliëndosering significant worden gereduceerd en een rustiger schakelpatroon worden verkregen.

TABEL I – Effluentgegevens rwzi Elburg.

	1993	1994	1995
NKj (mg/l)	3,9	3,9	3,4
NO ₃ -N (mg/l)	9,4	4,1	1,9
P _{totaal} (mg/l)	1,0	1,5	0,7

De kennis die bij dergelijke praktijkprojecten wordt opgedaan kan ook worden ingezet bij het ontwerp van rwzi's. Ofschoon in vele situaties de influentsamenstelling niet bekend is en derhalve de biokinetische parameters voor het dynamisch model niet kunnen worden vastgesteld, is het op grond van ervaring toch mogelijk om gefundeerde uitspraken te doen over ontwerpaspecten, die samenhangen met bijvoorbeeld de beluchting. Dit is onder meer gebleken bij het ontwerp van de rwzi's Vinkel en Asten (Waterschap de Aa). Bij beide rwzi's is een aëratietank van het type Carrousel-2000 voorzien, waarbij drie oppervlaktebeluchters de zuurstofinbreng verzorgen. In deze configuratie bleek een cascaderегeling op basis van zuurstof, ammonium en nitraat uitermate geschikt om de puntbeluchters aan te sturen. Het noodzakelijke zuurstofinbrengbereik en een grote mate van flexibiliteit konden worden bereikt door één beluchter te voorzien van een FO, één van een tweetoeren motor en één van een motor met vast toerental.

Regelaar en proces

Voor het aansturen van de beluchting verdient naast de regeling ook de regelaar de nodige aandacht. Bij de veel toegepaste PID-regelaar dienen de P, I en D-constanten (proportioneel, integrerend en differentiërend) te worden vastgesteld. Door deze te wijzigen kan een regeling sneller of juist langzamer, heftig of gematigd inspelen op de geconstateerde afwijking. Als de



Afb. 2 – Schema van de rwzi Ljuberetsky.

constanten niet goed zijn ingesteld kan dit implicaties hebben voor de effluentkwaliteit, het energieverbruik en het schakelpatroon van het beluchtingssysteem. Dit kwam naar voren tijdens het STOWA-onderzoek 'Regelen van P- en N-verwijderingsprocessen in de praktijk', waarbij een groot aantal regelingen onder praktijkcondities is getest. Ter ondersteuning zijn voor verschillende omstandigheden dynamische simulaties uitgevoerd. Bij het implementeren van de resultaten van een dergelijke simulatiestudie in de praktijk werden door een communicatiestoring foutieve waarden voor de P- en I-constante in de PLC geprogrammeerd. Vooral bij een sterk variërende belasting kwamen de consequenties naar voren, en bleek het beluchtingssysteem te traag te reageren. Bij een sterke belastingtoename duurde het zes uur voordat de volledige beluchtingscapaciteit kon worden ingezet. Bij een sterke belastingafname gebeurde hetzelfde in omgekeerde richting. Dit resulteerde in (te) hoge ammoniumgehalten bij piekafvoeren en (te) hoge nitraatgehalten bij lage afvoeren. Na een grondige analyse met behulp van dynamische simulatie en een inspectie ter plaatse werd de fout ontdekt en gecorrigeerd.

Naast het ontwerp van regelaars wordt dynamische simulatie ook aangewend voor de aanpassing van zuiveringsprocessen. Vooral bij de uitbreiding van bestaande rwzi's wordt simulatie toegepast, om inzicht te krijgen in de invloed van procesmaatregelen, zoals de dosering van een C-bron, de separate behandeling van rejectiewater

en de introductie van een voordennitrificatieruimte. Inmiddels zijn de voorbeelden van de rwzi's Kralingseveer en Utrecht genoegzaam bekend [6, 7, 8].

Nationaal en internationaal

Minder bekend zijn voorbeelden buiten Nederland, waarbij met toepassing van dynamische simulatie interessante resultaten zijn verkregen. Een voorbeeld betreft de rwzi Ljuberetsky met een capaciteit van 7,5 miljoen i.e. en 43,5 m³/s. In deze rwzi wordt ongeveer 40% van het afvalwateraanbod uit de regio Moskou gezuiverd. De huidige rwzi bestaat uit twee verschillende delen (Ljuberetsky I en II). Een derde deel wordt gerealiseerd en de uitbreiding voor het vierde deel is in voorbereiding. Elk deel bestaat uit een aantal straten met voorbezinktanks, aëratietanks van het type propstroom met slibregeneratie (50% van het volume) en nabezinktanks. Voor een idee van de omvang van de huidige rwzi wordt verwezen naar afbeelding 2. Met het oog op een toekomstige uitbreiding van de hydraulische capaciteit tot 53 m³/s

TABEL II – In- en effluentgegevens rwzi Ljuberetsky.

	Ljuberetsky I	Ljuberetsky II
Influent		
NH ₄ -N (mg/l)	19,0	17,3
NO ₃ -N (mg/l)	1,0	1,0
Effluent		
NH ₄ -N (mg/l)	4,7	3,6
NO ₃ -N (mg/l)	9,6	10,3
Effluenteisen		
BZV (mg/l)	3,0	
NH ₄ -N (mg/l)	0,39	
NO ₃ -N (mg/l)	9,1	

en een aanscherping van de effluenteisen is met behulp van simulatie onderzocht in hoeverre de bestaande installatie kan worden geoptimaliseerd om geplande uitbreidingen te minimaliseren.

In tabel II zijn de influent- en effluentgegevens, alsmede de nieuwe effluenteisen weergegeven. Hieruit blijkt dat de influentconcentraties voor Ljuberetsky I en II niet gelijk zijn. Dit wordt veroorzaakt door een niet optimale menging van de verschillende influentstromen. Uit tabel II blijkt verder dat de effluenteisen niet worden bereikt en het stikstofverwijderingspercentage slechts 26% bedraagt, ondanks het feit dat er sprake is van een watertemperatuur tussen 15 en 24 °C.

Op grond van de uitgevoerde simulaties is een combinatie van diverse aanpassingen en maatregelen voorgesteld. Door verplaatsing van het influentpunt naar het begin van de aërietetank (waardoor geen slibregeneratie meer plaatsvindt), het verhogen van het slibgehalte (dat mogelijk is bij de bestaande nabezinkcapaciteit) en het creëren van een zone voor voordennitrificatie kunnen de gestelde effluenteisen worden bereikt zonder de uitbreiding van de rwzi met het vierde deel. De realisatie van 4 voorbezinktanks met een diameter elk van 40 m, aëratievolume van circa 300.000 m³ en 6 nabezinktanks met een diameter elk van 54 m worden hiermee voorkomen, waarmee een aanzienlijke beperking van de investeringskosten kan worden bereikt.

Garanties in de praktijk

De waarde van dynamische simulatie komt ook tot uiting in situaties, waarin sprake is van garanties met betrekking tot de 'performance' van een rwzi. Deze situatie komt vooral voor bij turn-key projecten. Op basis van statische berekeningen is niet altijd een dergelijke garantie af te geven en moeten de uitkomsten worden onderbouwd met dynamische simulatie berekeningen. Het volgende voorbeeld van de rwzi Valenton in Parijs is gebaseerd op een aanbieding, waarbij de effluentkwaliteit tijdens RWA-omstandigheden moest worden gegarandeerd.

De bestaande rwzi heeft een capaciteit van 1,3 miljoen i.e. en 5,2 m³/s en moet worden uitgebreid tot 3,8 miljoen i.e. en 21 m³/s. Hiervan wordt maximaal 14,2 m³/s behandeld, terwijl het overige deel na een primaire behandeling wordt geloosd. De voorgestelde zuiveringsconfiguratie bestond uit een voorbezinkingsproces (préprecipitatie), een aërietetank van het type propstroom met voordennitrificatie en interne recirculatie, en nabezinking. Garanties dienden te worden afgegeven voor de effluentkwaliteit voor ammonium en zwevendstof tijdens rwa. Bedacht moet worden dat onder rwa condities slechts een deel van het afvalwater wordt gezuiverd, maar dat het totale effluentdebiet aan de eisen diende te voldoen. Vooral de overgang van normaal dwa via een situatie met verhoogde concentraties bij dwa-aanvoer naar rwa was van belang.

Hiertoe is een aantal simulaties uitgevoerd bij verschillende watertemperaturen en een

maatgevend aanvoerpatroon van 21 dagen, te weten 1 dag dwa, 7 dagen piek-dwa, 3 dagen rwa en 10 dagen dwa.

Op basis van de simulaties kon worden geconcludeerd dat met het ontwerp aan de gestelde effluenteisen kon worden voldaan. Wel bleek dat onder de maatgevende aanvoercondities in lichte mate uitspoeling van nitrificeerders zou optreden.

Afsluiting

In dit artikel is aan de hand van een aantal voorbeelden een breed scala aan toepassingsmogelijkheden van dynamische simulatie getoond. Anders dan de meer theoretische benadering in een eerder verschenen drieluik is hierbij de nadruk gelegd op voorbeelden uit de dagelijkse praktijk. Tegenwoordig wordt dynamische simulatie binnen en buiten Nederland toegepast voor zowel optimalisatie- als ontwerpdoel-einden. Gebleken is dat hiermee in vele gevallen aanzienlijke kostenbesparingen zijn bereikt. Het is mede hierom dat dynamische simulatie nu een belangrijke plaats heeft ingenomen in de afvalwaterzuiveringspraktijk.

In het tweede artikel uit deze reeks zal sterk worden 'ingezoomd' op de regelaar van een beluchtingsstelsel.

Daartoe zullen de resultaten worden gepresenteerd van een vergelijkend onderzoek naar de praktijktoepassing van een multivariabele regelaar. De aanzet voor deze toepassing werd gegeven in het afsluitende artikel van het vorige drieluik.

Literatuur

1. Veersma, A. M. J., Roest, H. F. van der en Meinema, K. (1995). 'Stationaire berekeningen met een dynamisch model?'. H₂O (28) 1995, nr. 14.
2. Meinema, K., Roest, H. F. van der en Schagen, K. M. van (1995). 'Zuurstofregeling uit de tijd?'. H₂O (28) 1995, nr. 15.
3. Schagen, K. M. van, Veersma, A. M. J., Meinema, K. en Roest, H. F. van der (1995). 'Multivariabele: de nieuwe generatie?'. H₂O (28) 1995, nr. 16.
4. Gujer, W. et al. (1995). 'The activated sludge model no. 2: Biological phosphorus removal'. Water, Science and Technology Vol. 31, no. 2.
5. Smolders, G. J. F., Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J. (1995). 'A metabolic model for the biological phosphorus removal process'. Water, Science and Technology Vol. 31, no. 2.
6. Kuij, R. J. van der, Bentem, A. G. N. van en Breukelen, F. T. van (1993). 'Simulatie: spel of realiteit?'. H₂O (26) 1993, nr. 20.
7. Bentem, A. G. N. van en Sengers, A. H. M. (1994). 'Simulatie: speelse realiteit?'. H₂O (27) 1994, nr. 14.
8. Roest, H. F. van der and C. A. Uijterlinde (1996). 'Model answer'. Water Quality International, maart/april.

Afb. 3 - Artistieke impressie van de rwzi Valenton.

