

Ontwikkeling van een structurele aanpak voor het continue gebruik van actief slibmodellen in het dagelijks beheer van RWZI's

Gürkan Sin*, Dirk De Pauw*, Stefan Weijers**, Peter A. Vanrolleghem***, en Ingmar Nopens*

* BIOMATH, Universiteit Gent, Coupure Links 653, B-9000 Gent, België

** Waterschap De Dommel, P.O. Box 10.001, 5280 DA Boxtel, Nederland

*** modelEAU, Dépt. Génie Civil, Pavillon Pouliot, Université Laval, Québec G1K 7P4, Canada

e-mail: ingmar.nopens@ugent.be

Trefwoorden: ASM2d, calibratie, dynamische modellen, efficiëntie, modellering, RWZI

Een structurele aanpak voor het continue gebruik van dynamische slibmodellen in het dagelijks beheer en bedrijfsvoering van RWZI's werd ontwikkeld en geëvalueerd. Het globale doel is om kennis en in-huis competentie te genereren voor het betrouwbaar gebruik van dynamische modellen in de praktijk (Waterschap De Dommel).

Om dit te bereiken werd uitgegaan van de totale levenscyclus van een RWZI, waarbij de verschillende fasen voorkomend in zijn levensloop in acht worden genomen. Gezien deze aanpak het continue gebruik van actief slibmodellen toelaat, is dit een duurzame besteding van investeringsgeld en werkracht, in vergelijking met de traditionele aanpak, waarbij steeds een nieuw model wordt gemaakt wanneer dit nodig blijkt.

De methodologie werd succesvol toegepast op een 50.000 IE huishoudelijke EBPR zuivering (Haaren). Er werd aangetoond dat het continue gebruik en aanpassing van modellen kennis en ervaring genereert met betrekking tot de modellering die zich uiteindelijk vertaalt naar een betere kwaliteit en efficiëntere benutting van modellen. Deze modellen kunnen worden gebruikt voor procesoptimalisatie, controle en ketenoptimalisatie.

Tijdens het laatste decennium zijn de effluentnormen wereldwijd steeds strenger geworden. Dit is de drijfveer voor het steeds complexer worden van afvalwaterzuiveringsconfiguraties. Vandaag de dag zijn de meeste huishoudelijke RWZI's in staat zowel koolstof, stikstof als fosfor biologisch te verwijderen. Het begrijpen van deze processen wordt steeds uitdagender, gezien de complexe interacties van de voornoemde processen. Een handige, ondersteunende tool is hierbij het gebruik van actief slibmodellen en meer bepaald de dynamische variant hiervan, dit om beter inzicht te verkrijgen in deze complexe processen (Henze *et al.*, 2000).

Tot dusver werden de meeste van dergelijke modeltoepassingen voornamelijk uitgevoerd door universiteiten en ingenieursbureaus (Hulsbeek *et*

al., 2002; Vanrolleghem *et al.*, 2003; Langergraber *et al.*, 2003; Melcer *et al.*, 2003; Sin *et al.*, 2005). Er zijn echter ook bedrijven en organisaties die modellen in het dagelijks beheer van RWZI's inzetten, zoals bijvoorbeeld Waterschap De Dommel. In samenwerking met de onderzoeksgroep BIOMATH van Universiteit Gent (België) werd een project opgezet om het gebruik van modellen als een ondersteunend instrument voor het dagelijks afvalwaterbeheer te beoordelen.

Om in een bedrijfsomgeving betrouwbaar met een model te werken, moet aan een aantal belangrijke voorwaarden worden voldaan. Ten eerste is proceskennis alsook toereikende kennis met betrekking tot modelleringsmethodologiën onontbeerlijk. Ten tweede dient de eerder lage efficiëntie van het klassieke modelleringsproces verbeterd te worden.

Dit laatste is algemeen te wijten aan een gebrek aan standardisatie (bv. datacollectie, calibratieprotocollen, et cetera) en automatisering (i.e. toereikende softwareondersteuning). Ten derde dient de beoogde modelkwaliteit afgestemd worden op het uiteindelijke doel van de modelleeroefening.

Sommige beslissingen vergen een hogere modelkwaliteit dan andere. Zo zal het uittesten van een nieuwe controlestrategie een gedetailleerd dynamisch model vereisen, terwijl het ontwerpen van extra reactorvolume wellicht met een eenvoudige statische simulatie kan worden beoordeeld. Om sommige van deze zaken aan te kaarten, wordt in deze bijdrage een methodologie voorgesteld die toelaat de nodige kennis en competentie op te bouwen, die het continue gebruik van dynamische modellen in de praktijk kunnen bewerkstelligen.

De uiteindelijke doelstelling van dit alles is om te allen tijde een model beschikbaar te hebben voor verdere procesoptimalisatie, het ontwikkelen van regelstrategieën en uiteindelijk optimalisatie van de gehele waterketen door RWZI's optimaal te gaan bedrijven. En dat gekoppeld aan de vuilvracht komende uit het rioleringsnetwerk en de normen die gelden voor het lozen op het ontvangende water. Figuur 1 illustreert waarom modelleren hierbij zo nuttig is, gezien dit sneller en efficiënter tot een optimaal systeem leidt.

Methodologie

De huidige trend in het praktische gebruik van modellen situeert zich in het eenmalig ontwikkelen en gebruik van een wiskundig model. Na de ont-

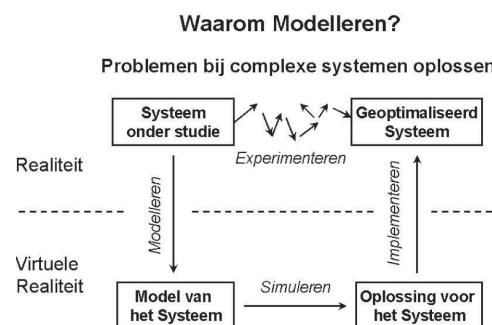
wikkeling en het gebruik van het model voor een specifiek doel wordt het model vaak vergeten en niet verder gebruikt. Dit is jammer gezien een aanzienlijke hoeveelheid mankracht en financiële middelen werden geïnvesteerd bij de ontwikkeling ervan. Het feit dat de unieke kennis en ervaringen opgedaan tijdens het ontwikkelingsproces vaak niet gedocumenteerd worden en aldus verloren gaan, is van even groot belang. Om deze situatie te verbeteren, wordt een voorstel geformuleerd om efficiënter modellen te bouwen en hergerubiken.

De basisgedachte is het modelleren van de gehele levenscyclus van een zuivering. RWZI's gaan allemaal door een reeks van fasen zoals bv. ontwerp, constructie, opstart, bedrijfsvoering en aanpassing. Traditioneel worden voor elk van deze fasen nieuwe modellen ontwikkeld om specifieke vragen te beantwoorden. Het zou echter veel nuttiger zijn om de modellen gebruikt in de ontwerpfase te hergebruiken bij de opstart en bedrijfsvoering van de zuivering.

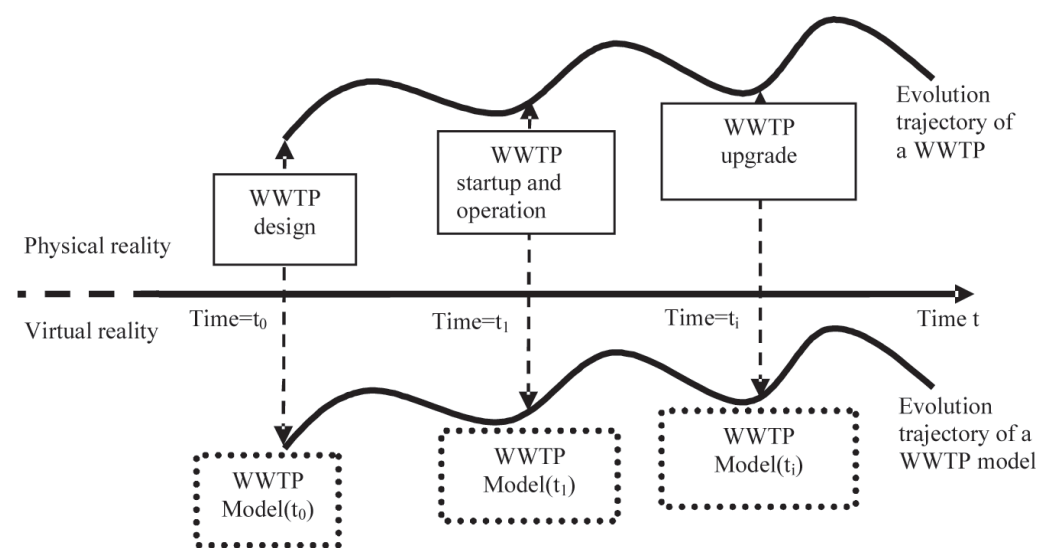
Uiteraard zal het model dienen aangepast te worden, wanneer de zuivering van de ene fase in de andere overgaat. De investering zal echter aanzienlijk minder zijn wanneer eerder vergaarde kennis en ervaring op een efficiënte manier kan worden aangewend om het model voor de nieuwe fase gebruiksklaar te maken. Er wordt bovendien optimaal gebruik gemaakt van de eerder gedane investeringen voor het modelleren van de RWZI.

Figuur 2 illustreert deze aanpak voor een zuivering die evolueert van ontwerp over opstart, bedrijfsvoering en uiteindelijk een significante aanpassing. In plaats van voor elke fase een nieuw model te ontwikkelen, wordt een model continu gebruikt en aangepast op een zodanige manier dat het steeds representatief is voor de huidige toestand van de zuivering.

Door gebruik te maken van deze aanpak wordt gestreefd naar een continue en systematische vergaring van kennis en ervaring, die tot doel heeft de kwaliteit van het gehele modelleerproces en de efficiëntie ervan te verbeteren en uitiem de RWZI verder te doorgronden en alzo de performantie verder te verbeteren. Zowel bij opstart als dagdagelijkse bedrijfsvoering van de RWZI. Deze kennis



Figuur 1: Modelleren leidt sneller en efficiënter tot optimalisatie van een systeem.



Figuur 2: Levenscyclus modelleerconcept: RWZI levenscyclus in de realiteit (boven) en levenscyclus van het model in de virtuele realiteit (onder). t staat voor tijd, de index i voor de verschillende fasen die een RWZI doorloopt tijdens haar levensloop.

zal bovendien ook aangewend kunnen worden om andere RWZI's onder hetzelfde beheer te modelleren en daarbij de investering aanzienlijk te reduceren.

Toepassing van modellen voor onder meer de volgende objectieven vereisen een accurate beschrijving van de actuele dynamica van N en P in de zuivering: (1) vaststellen van de prestatiegrenzen; (2) vinden van optimale regelaarinstellingen, zoals setpoints; (3) toepassing in (modelgebaseerde) RTC en (4) ondersteuning van de bedrijfsvoering, door middel van procesanalyse of in een adviserend systeem.

In de praktijk komt het er op neer het schema van Figuur 3 te volgen. Deze laatste omvat de verschillende fasen in de bestaanscyclus van een mathematisch model.

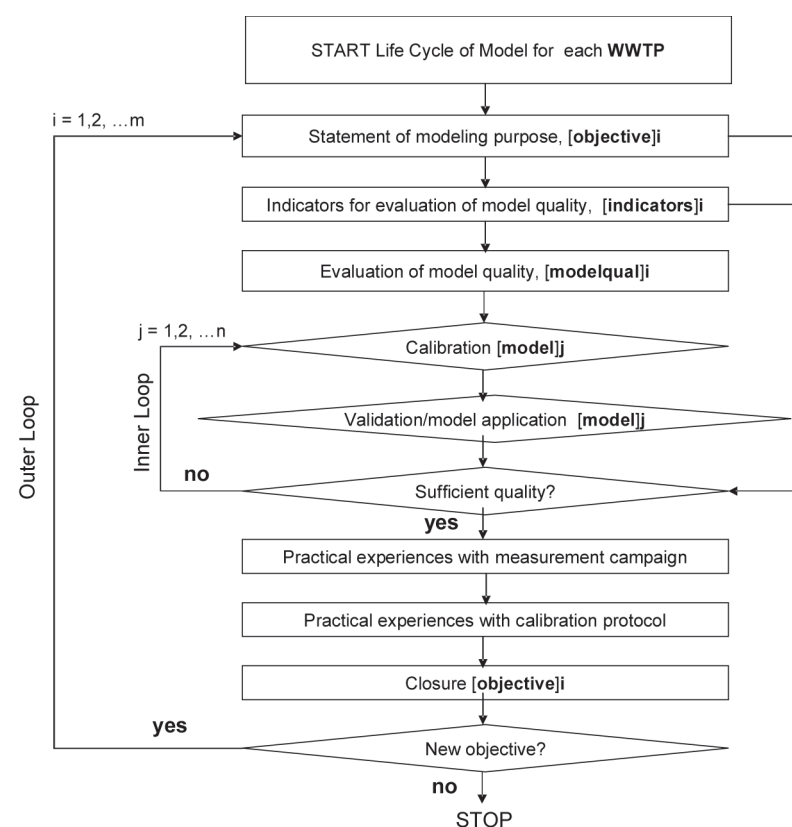
1. Doel van de modellering: initieert het modelbouwproces voor de RWZI onder studie;
2. Modelbouw: Selectie en calibratie van een model dat de RWZI virtueel beschrijft;
3. Validatie en toepassing van het model: confrontatie van het model met de werkelijkheid;
4. Kringsluiting: evaluatie van de toereikendheid

van het model met betrekking tot het beoogde doel. Deze stap duidt het einde van de levenscyclus van het model aan. Hierna kan echter een nieuwe iteratie doorlopen worden met een ander doel, wat aanleiding geeft tot een ander model.

Het doorlopen van deze stappen resulteert in een leerproces, waarbij kennis en ervaring accumuleert. Twee iteratielussen worden onderscheiden, respectievelijk een binnenste en buitenste lus. Algemeen genomen is de buitenste lus gerelateerd aan het doel van de modelleeroefening.

Voorbeelden van objectieven zijn: (1) accurate beschrijving van de dynamica van N en P in de zuivering; (2) evaluatie van zuiveringscapaciteit of (3) analyse van de interactie tussen de zuivering en het rioleringsnetwerk.

De binnenste lus wordt doorlopen om de kwaliteit van het gecalibreerde model voor een bepaalde RWZI te verbeteren. Dit gebeurt door een eerste gecalibreerd model te confronteren met de werkelijkheid, i.e. modelvalidatie. Indien nodig kan het model verder worden gecalibreerd en gevalideerd met verschillende data sets om het vertrouwen in het model verder te verbeteren.



Figuur 3: Overzicht van de verschillende stappen in de levenscyclus van een model.

De binnenste lus wordt verlaten op basis van een beoordeling vanuit het management, dan wel door toedoen van een modelexpert, waarbij de modelkwaliteit met betrekking tot het gedefinieerde objectief als drijfveer wordt gebruikt. Na het verlaten van de binnenste lus worden de opgedane ervaringen gedocumenteerd, vooral toegespitst op dataverzamelingsaspecten (vb. meetcampagne indien toepasselijk) en/of het kalibratieprotocol op zich dat gebruikt werd om het objectief te bereiken.

Materiaal en methoden

RWZI Haaren

De RWZI Haaren werd gebruikt als testcase om de voorgestelde aanpak te testen en evalueren. De zuivering bevindt zich in Haaren (Noord-Brabant), is van het carousel type en behandelt het afvalwater van 50.000 IE bij een gemiddeld droog weer

debiet van 10000 m³/d. De slibverbleeftijd bedraagt 22 dagen, de hydraulische retentietijd 1.8d. De fysische en virtuele lay-out van de zuivering in WEST (MOSTforWATER, Kortrijk, België) wordt weergegeven in Figuur 4. Voor meer gedetailleerde gegevens wordt verwezen naar Sin *et al.* (2007).

Haaren RWZI model

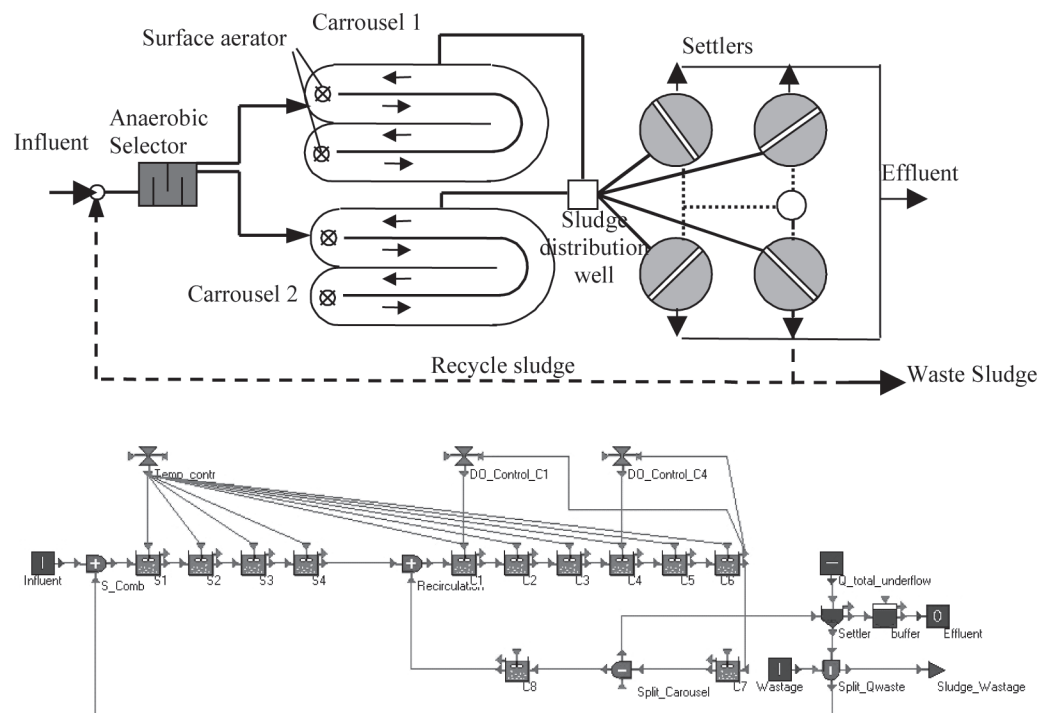
In de virtuele beschrijving van de zuivering wordt het hydraulische menggedrag nagebootst door een tanks-in-series aanpak, terwijl een ideale puntbezinker wordt gebruikt (Figuur 3, onder). Het ASM2d model van Henze *et al.* (2000) werd gebruikt voor de beschrijving van de biologische N en P verwijdering. Drie verschillende kalibraties van het Haaren model werden uitgevoerd en dat gaf aanleiding tot respectievelijk model 1, 2 en 3. Een intensieve meetcampagne in juli 2000 werd

gebruikt voor de kalibratie van model 1 (Vanrolleghem *et al.*, 2003). Een meetcampagne uitgevoerd drie jaar later (juni 2003) werd gebruikt om model 1 te confronteren met werkelijke data. Dit gaf aanleiding tot een kleine hercalibratie (Sin, 2004). Model 3 tenslotte was het resultaat van een rekaliibratie gebruik makend van lange termijn on-line meetdata van $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$ in de carroussels (15 feb tot 11 april 2004). Bij deze laatste kalibratie werd gebruik gemaakt van een Monte Carlo gebaseerde kalibratieprocedure (Sin *et al.*, 2007). Het BIOMATH-protocol (Vanrolleghem *et al.*, 2003) werd gebruikt voor de verschillende modelleersteps, i.e. objectiefdefinitie, dataverzameling en kwaliteitscontrole, wiskundige formulering van de eenheidsprocessen van de zuivering en influentkarakterisatie.

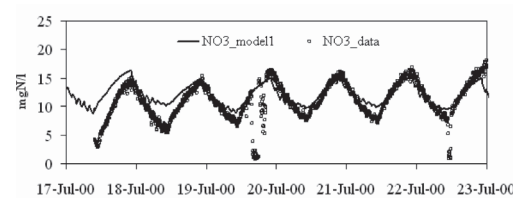
Resultaten en discussie

Alvorens de resultaten te geven, wordt gewezen op het feit dat het hier niet de bedoeling is de modelhergebruik aanpak diepgaand te evalueren voor de studie op Haaren. Dit zal later gebeuren op

de 700.000 IE zuivering van Eindhoven (eveneens onder beheer van Waterschap De Dommel). In deze bijdrage wordt de aanpak geïllustreerd op een reeds in gebruik zijnde zuivering, namelijk die van Haaren. Verder wordt er vooral aandacht besteed aan de kwaliteit en efficiëntie van het modelleerproces en hoe dit kan worden verbeterd door systematisch hergebruik van modellen binnen de gedefinieerde methodologie. Het doel van de modelleeroefening was ambitieus: een dynamisch model ontwikkelen dat betrouwbare voorspellingen geeft van nitraat, ammonium en fosfaat in het effluent. Het model wordt geacht de zuivering te beschrijven, zoals bemeaten door on-line sensoren en dit op een tijdschaal van minuten. De modelkwaliteit wordt gedefinieerd als de modelvaliditeit over een langere tijdschaal (maanden, jaren). De modefficiëntie wordt gedefinieerd als de totale tijd die benodigd is om een gekalibreerd model te bekomen. De resultaten van de modelleeroefening op de zuivering van Haaren wordt hieronder verder toegelicht.



Figuur 4: Plattegrond van de zuivering Haaren: fysisch (boven), virtueel in WEST (onder)



Figuur 5: Nitraatpredicties door model 1 in de carrousel tijdens de kalibratieperiode (juli 2000).

Iteratie 1 van de binnenste lus: Ontwikkeling en kalibratie van Haaren model 1

Het doel van het model is een accurate beschrijving van de zuivering 3 jaar na de kalibratie en dit tijdens eenzelfde seizoen (zomer). Dit zou het vertrouwen in de langdurige bruikbaarheid van een ASM2d type model versterken. De confrontatie van model 1 met on-line NH_4 data (minutenschaal) wordt getoond in Figuur 6 (links)

Het eerste dynamische model voor de zuivering Haaren (model 1) werd gekalibreerd op basis van de data uit 2000 en het BIOMATH protocol (Vanrolleghem *et al.*, 2003) en gebeurde grotendeels door een expert-gebaseerde parametersselectie en fijnregeling van deze laatste. Het model werd gekalibreerd met behulp van dagelijkse metingen van effluent ortho-fosfaat, effluent ammonium en on-line nitraatmetingen. De nitraatvoorspellingen van model 1 worden weergegeven in Figuur 5 en werd als toereikend beoordeeld.

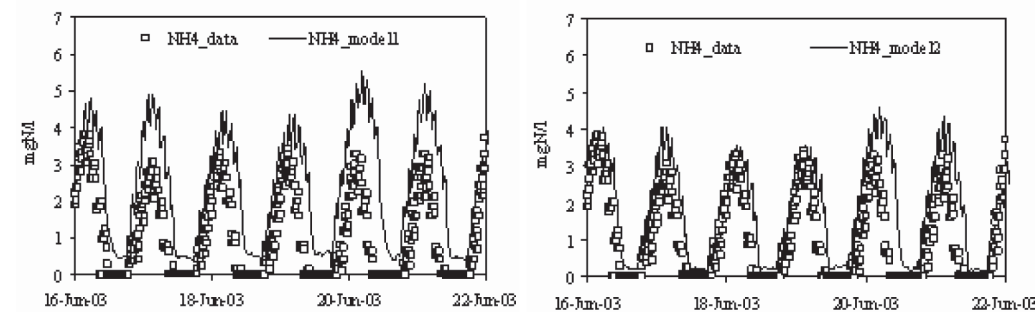
Dit eerste model gaf aanleiding tot volgende concrete kennis: (1) N-verwijdering kan verbeterd

worden met beluchtinstellingen; (2) het nut van de voortstuwers werd onderbouwd en (3) inzicht werd verworven in de bio-P verwijdering (kan tijdelijk verminderen na regenbui).

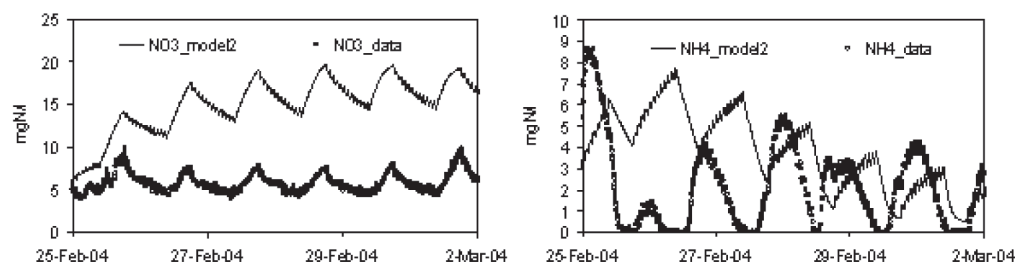
Iteratie 2 van de binnenste lus: Verificatie van lange termijn validiteit van Haaren model 1

Tijdens deze iteratie werd nadruk gelegd op de bruikbaarheid van model 1 (een gekalibreerd ASM2d model) voor het beschrijven van het dynamisch gedrag van de zuivering 3 jaar na de kalibratie en dit tijdens eenzelfde seizoen (zomer). Dit zou het vertrouwen in de langdurige bruikbaarheid van een ASM2d type model versterken. De confrontatie van model 1 met on-line NH_4 data (minutenschaal) wordt getoond in Figuur 6 (links) Hoewel de algemene trends worden gevolgd worden de pieken met meer dan 40% overschat. Het model voorspelde nitraat grotendeels goed, maar overschatte ook de fosfaatvrijstelling in de selector (Sin, 2004). Alles bij mekaar was deze lange termijn modelvalidatie hoopgevend en geeft meer vertrouwen voor de toepasbaarheid van dynamische modellen. Het bevestigt ook dat modellen die voorheen werden ontwikkeld, kunnen worden hergebruikt in een latere fase van de levensloop van een zuivering.

Om model 1 verder te verbeteren op het vlak van ammonium- en fosfaat-voorspellingen werd het geherkalibreerd door aanpassing van slechts drie parameters (Sin, 2004). Dit resulteerde in model 2, waarvan de predicties worden weergegeven in Figuur 6 (rechts).



Figuur 6: Validatie van model 1 drie jaar na haar kalibratie (juni 2003) (links). Model 2 (rekaliibratie model 1) (rechts)



Figuur 7: Confrontatie van model 2 met wintergegevens (februari 2004).

De belangrijkste les die we hieruit leren, is dat slechts een relatief gering aantal aanpassingen nodig waren voor een succesvol hergebruik van een reeds bestaand model.

Iteratie 3 binnenste lus: Nagaan seizoensgebonden validiteit Haaren model 2

De voorgaande twee modellen werden beiden gekalibreerd en gevalideerd met data uit zomerperiodes (juli 2000, juni 2003). Tijdens deze iteratie werd een optimale instelling van de belichtingsregelaar gevonden en in de praktijk geïmplementeerd. Vervolgens werd het model op de proef gesteld om het gedrag in een winterperiode te laten beschrijven, significant verschillend van de kalibratieperiode. Hiervoor werd het model geconfronteerd met influentbelasting, temperatuurprofiel en bedrijfsvoeringdata van februari 2004.

Voorspellingen van model 2 worden weergegeven in Figuur 7. Zoals blijkt wijkt model 2 significant af van de geobserveerde data, waardoor het niet meer als geldig kan worden beschouwd. De afwijkingen leren dat het model de nitrificatiecapaciteit overschat, terwijl de denitrificatiecapaciteit wordt onderschat. Dit is echter niet onbegrijpelijk gezien geen temperatuursafhankelijkheid van de kinetische processen aanwezig was in model 1 en 2.

Inbouwen hiervan leverde nog geen accuraat model. Dit komt door een tweede oorzaak, namelijk dat de initiële condities voor biommassaomstelling onjuist zijn, door verschil in voorgeschiedenis in winter- en zomercondities.

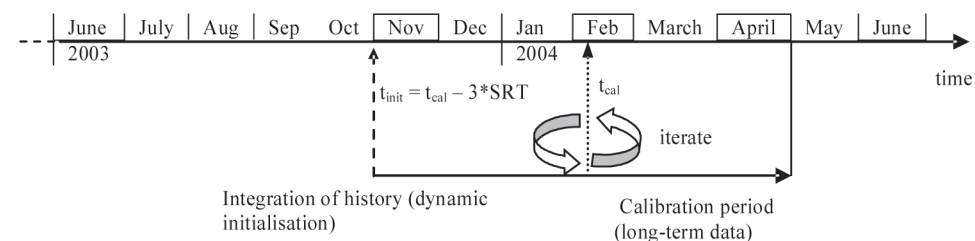
Een derde factor voor de seizoensgebonden variatie die mogelijk het falen van het model kan verklaren is het feit dat de modelgebaseerde optima-

lisatie van de regelaars aanleiding gaf tot de installatie van propellers om de nodige menging tijdens de anoxische fase van de intermitterende beluchting te bewerkstelligen. Voorheen werden oppervlaktebeluchters gebruikt om het slib in suspensie te houden tijdens de anoxische fase wat een aanzienlijke hoeveelheid lucht introduceerde. Vanuit een ingenieursstandpunt zullen dit soort wijzigingen een impact hebben op het gedrag van de zuivering wat niet in rekening werd gebracht in model 2.

Iteratie 4 van de binnenste lus: Uitbreiding van kalibratieperiode van korte naar lange termijn

Om de bovenvermelde problemen, die voornamelijk impact hebben op een degelijke initialisatie van het model, aan te pakken moet de geschiedenis van de zuivering terdege in rekening worden gebracht en dient de korte tijdschaal van de kalibratie (momenteel overwegend gebruikt) worden uitgebreid. Dit zal toelaten langdurig dynamisch gedrag van een zuivering met een model te beschrijven.

Bovendien dient de geschiedenis, die reeds lang als belangrijk wordt aanzien, effectief worden vervat in de modelleerroutine. Deze concepten worden weergegeven in Figuur 8. Een kalibratieprocedure wordt voorafgegaan door een simulatie van drie keer de gekozen slijbleeftijd om biomassa initialisatie toe te laten. Met deze wijziging van de kalibratiepraktijk wordt verwacht dat langere termijndynamica kan worden beschreven met een model dat noodzakelijk is voor het vertrouwen dat erin wordt gesteld voor het gebruik voor de totale levenscyclus van de zuivering.



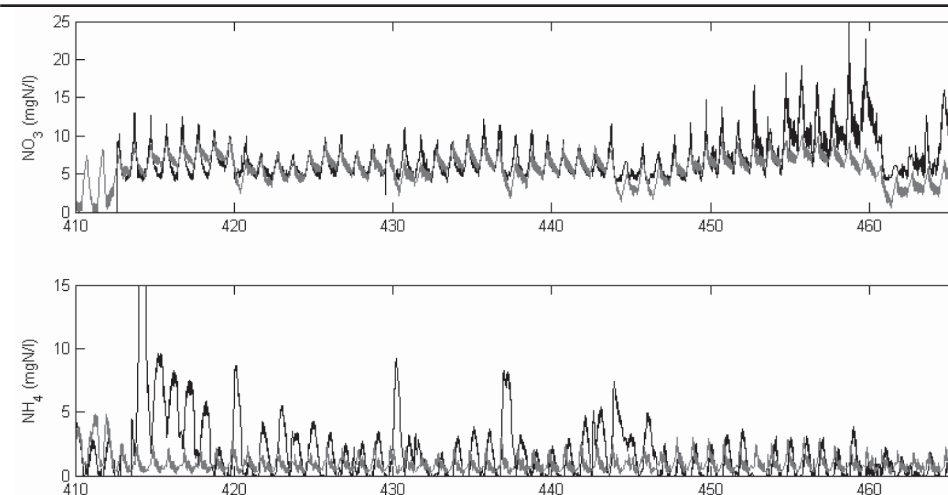
Figuur 8: Illustratie van de lange termijn kalibratie inclusief de dynamische integratie van de geschiedenis van de zuivering.

Keerzijde van de medaille is dat een dergelijke routine een significant stijging van de benodigde reken capaciteit creëert. Deze stijging in rekenkost bemoeilijkt ook de manuele (en expert gedreven) fijnregeling van parameters. Ter illustratie, de korte kalibratie van model 1 en 2 vergde ongeveer tien dagen waarbij de modelleerder manueel één parameter per keer aanpaste en de modelvoorspellingen confronteerde met vier dagen kalibratiedata. Met de nieuwe aanpak breidt deze kalibratie dataset makkelijk uit naar enkele maanden. De benodigde rekenkracht verhindert in deze de manuele expert gedreven kalibratie. Ter illustratie, het kost ongeveer 45' op een Pentium IV om vijf maanden zuivering te simuleren.

Om dit probleem te omzeilen, werd een nieuwe en overwegend automatische fijnregelingprocedure ontwikkeld die in een specifieke softwaretool werd

geïmplementeerd (MOREsoft). Hierbij wordt de gebruiker ontlast van de manuele kalibratie. De achterliggende idee is om de taak van de expert te vertalen in een stuk software. De nieuwe methode is pragmatisch en gebaseerd op een Monte Carlo aanpak, die gebaseerd is op een hele reeks simulaties die worden geselecteerd uit een voorgedefinieerde, op expertise gebaseerde parameter ruimte.

Deze reeks van simulaties levert op zijn minst één aanvaardbaar model op dat de data ter dege beschrijft (Sin et al., 2007). De methode werd met succes toegepast voor de herkalibratie van model 2, gebruikmakend van de lange termijn data van februari-april 2004. Het resulterend model is model 3 en de voorspellingen worden weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Drie maanden kalibratiedataset voor model 3: voorspellingen voor nitraat (boven) en ammonium (onder) in grijs; data in zwart.

De resultaten tonen aan dat een gekalibreerd model kan worden bekomen dat nitraatdynamica over een periode van 2,5 maand kan beschrijven. De ammoniumvoorspellingen zijn over het algemeen goed, op enkele sporadische uitzonderingen na, waar ze afwijken van de realiteit. Deze afwijkingen vloeien vermoedelijk voort uit variaties van de influentbelasting, die werd geïnterpoleerd uit de wekelijks beschikbare metingen op de zuivering. De les die we hieruit leren is dat, om over lange periode modelkalibratie en -validatie mogelijk te maken voor een kleine tijdschaal, betere informatie nodig is over de werkelijke influentbelasting. Deze is op dit moment limiterend voor de haalbare modelkwaliteit. Meer gedetailleerde metingen aan het influent, zowel qua CZV-vracht (die we gaan meten door middel van UV-VIS sensoren) als ammonium zullen de onzekerheid in de influent data verminderen, waardoor verwacht wordt dat de modelkwaliteit verder zal verbeteren. Gezien het verschil tussen modelvoorspelling en effluentmetingen te beperkend is voor het doel dat we voor ogen hebben, namelijk gebruik van het model voor de dagelijkse exploitatie van de zuivering, is dit momenteel de volgende stap in de iteratie die wordt onderzocht (Figuur 3).

Wat betreft de efficiëntie van de modelbouwvoering werd veel tijd geïnvesteerd om de inputdata voor te bereiden (influentbelasting en bedrijfsvoeringsdata). Het fijnregelen zelf werd automatisch uitgevoerd door een PC, dat twee weken in beslag nam. Dit reduceert aanzienlijk de tijd die de modelleerder moet investeren en maakt op die manier het globale modelleerwerk aanzienlijk efficiënter. Naar de toekomst toe wordt gewerkt aan de automatisatie van het genereren van de inputgegevens wat ook deze belangrijke stap in het modelleerproces moet versnellen.

Conclusies en perspectieven

Een nieuwe aanpak waarbij hergebruik van modellen doorheen de levenscyclus van een RWZI wordt nagestreefd, werd voorgesteld. Verwacht wordt dat de aanpak op een betere manier de geschiedenis van een zuivering kan bijhouden in vergelijking met de traditionele aanpak (event driven, i.e. telkens een nieuw model bouwen wanneer dit nodig blijkt).

Dit door het feit dat de geïnduceerde leercyclus resulteert in het feit dat (1) systematisch ervaren met modellen worden bijgehouden, wat resulteert in een betere kwaliteit en efficiëntie van de modelleeroefening; (2) beter gebruik wordt gemaakt van geïnvesteerde tijd en middelen, aangezien modellen worden hergebruikt doorheen de levenscyclus van de zuivering en (3) een continue validatie wordt bewerkstelligt, omdat het model continu met data wordt geconfronteerd. Op deze manier raakt men vertrouwd met de geldigheidsgrenzen van modellen, waardoor ze in de praktijk beter kunnen worden ingezet. Het is echter wel zo dat het onderhoud van de RWZI modellen, i.e. modellen synchroniseren met de realiteit, een voortdurende aanpassing van de modellen impliceert, wat ook tijd en middelen vergt. Hier dient gewerkt te worden aan het efficiënter maken van de modelleerprocedure om deze investering tot een aanvaardbaar niveau te herleiden.

Anderzijds worden traditioneel modellen op een ad hoc basis ontwikkeld, zonder gebruik te maken van eerdere kennis en ervaringen. Op deze manier blijft de kennis met betrekking tot het modelleerproces en het begrijpen van het systeem onder studie eerder beperkt. Aangezien deze kennis typisch niet wordt gedocumenteerd, limiteert dit het uitbouwen van interne modelleercompetentie wat modelleren een blijvend kostelijke zaak maakt.

Het gebruik van modellen in een continue cyclus, zoals hier voorgesteld zal aldus bijdragen de initiële methodologie m.b.t. modelkwaliteit en modelleerefficiëntie te verbeteren. Dit cyclisch gebruik van modellen resulteert in een graduele accumulatie van modelleerervaring en -kennis, wat zich vertaalt in verbeterde interne modelleermethodologie en -competentie.

Op dit moment ontwikkelen we gezamenlijk methoden om de modelleer-efficiency te verhogen. Toepassing van de methodologie op andere RWZI's wordt daarmee voorbereid waarbij kennisdeling en -borging expliciet aandacht krijgt.

Deze laatste methodologie laat toe om modellen te gaan gebruiken voor het verder optimaliseren van RWZI's of optimale aanpassingen te gaan doen,

om de steeds strengere effluentnormen te kunnen blijven garanderen, controlestrategieën te ontwikkelen en uiteindelijk de bedrijfsvoering zodanig af te stellen dat de hele waterketen wordt geoptimaliseerd. ■

Referenties

Henze M., Gujer W., Mino T. and van Loosdrecht M.C.M. (2000). Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. IWA Scientific and Technical Report n°9 IWA. London.

Hulsbeek J.J.W., Kruit J., Roeleveld P.J. and van Loosdrecht M.C.M. (2002) A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems. Wat. Sci. Tech. 45 (6), 127-136.

Langergraber G., Rieger L., Winkler S., Alex J., Wiese J., Owerdieck C., Ahnert M., Simon J. and Maurer M. (2003). A guideline for simulation studies of wastewater treatment plants. Wat. Sci. Tech. 50(7), 131-138.

Melcer H., Dold P.L., Jones R.M., Bye C.M., Takacs I., Stensel H.D., Wilson A.W., Sun P and Bury S. (2003). Methods for wastewater characterisation in activated sludge modelling. Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria, VA, USA.

Sin G. (2004). Systematic calibration of activated sludge models. PhD. Thesis. Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences. Ghent University. pp. 372.

Sin G., Van Hulle S.W.H., De Pauw D.J.W., van Griensven A., and Vanrolleghem P.A. (2005) A critical comparison of systematic calibration protocols for activated sludge models: A SWOT analysis. Wat. Res. 39, 2459-2474.

Sin G., De Pauw D., Weijers S. and Vanrolleghem P.A., (2007) A Monte Carlo-based global calibration methodology for activated sludge models. Water research.

Vanrolleghem P.A., Insel G., Petersen B., Sin G., De Pauw D., Nopens I., Weijers S. and Gernaey K. (2003). A comprehensive model calibration

procedure for activated sludge models. In Proceedings: WEFTEC 2003: 76th Annual Technical Exhibition & Conference. October 11 - 15, 2003, Los Angeles, California U.S.A. (on CD-ROM).