Integrale dynamische modellering Afvalwaterketen Eindhoven: de rwzi in detail

Youri Amerlinck - UGent
Arjen van Nieuwenhuijzen - Witteveen+Bos
Ingmar Nopens - UGent
Victor Claessen - Waterschap de Dommel
Tony Flameling - Waterschap de Dommel
Stefan Weijers - Waterschap de Dommel
Jeroen Langeveld - TU Delft / Royal Haskoning

E-mail: a.vnieuwenhuijzen@witteveenbos.nl

Trefwoorden: Kallisto, riolering, rwzi, overstortsituatie, integrale ketenmodellering, waterkwaliteitsmodellering, de Dommel

Ondanks vele verbetermaatregelen staat de waterkwaliteit in de Dommel nog voortdurend onder druk door de effluentlozing vanuit de rwzi en de overstorten in verhouding tot de capaciteit van het ontvangende oppervlaktewater. Naast de knelpunten met de zuurstofhuishouding spelen vooral bij overstortsituaties in De Dommel hoge ammoniumpieken, die toxisch kunnen zijn voor de vispopulatie en ander aquatisch leven, een belangrijke beperkende rol voor de waterkwaliteit.
Geavanceerde dynamische wiskundige modellering geven meer inzicht in de huidige werking van de rwzi en de ruimte die er is voor verbetering van de installatie met de nadruk in eerste instantie op piekbelastingen. Het voor het Kallisto-project onwikkelde zuiverings- en ketenmodel wordt vervolgens in een nageschakelde analyse geïntegreerd in een model van de hele waterketen om deze maatregelen te toetsen met maatregelen elders in de keten. In deze bijdrage wordt dieper ingegaan op de modellering van de RWZI vanuit een integrale context.
Met het gekalibreerde model kunnen nu integrale ketenscenario's uitgevoerd en geëvalueerd worden. Het Kallisto-project resulteert uiteindelijk in een aantal integrale optimalisatiescenario's, die uitgewerkt zullen worden tot diverse realisatiemaatregelen. Dit kunnen fysieke maatregelen in de riolering, in het transportstelsel, op of achter de zuivering of in het oppervlaktewater zijn.

Inleiding

Onder het motto´Samen, Slim, Schoon´ ontwikkelen gemeenten, waterschappen en universiteiten innovatieve oplossingen voor een vernieuwende aanpak in de afvalwaterketen en het watersysteem. Geavanceerde modellering van procesonderdelen van de rwzi maakt onderdeel uit van het KRW-innovatieproject Kallisto dat bijdraagt aan een doelmatig en duurzaam schoner oppervlaktewater in rivier de Dommel. Dit onderzoeksproject wordt tot medio 2012 uitgevoerd in de regio Eindhoven (De Jonge, et al, 2011).

Achtergrond

De waterkwaliteit in de rivier de Dommel is momenteel ontoereikend voor een goede ecologische toestand voor het waterleven. Ingrijpende maatregelen zijn daarom vereist. De afgelopen jaren is al fors geïnvesteerd door Waterschap de Dommel en de gemeenten om de waterkwaliteit in de rivier De Dommel op een goed niveau te krijgen. In de afvalwaterketen is geïnvesteerd in de volledige renovatie van RWZI Eindhoven (750.000 i.e., figuur 1) in 2006 en de aanleg van een groot aantal randvoorzieningen en groene buffers achter de riooloverstorten. Daarnaast is een deel van de Dommel in natuurlijke staat (her)ingericht en uitgebaggerd.

WT • Afvalwater jaargang 12, nr 3, juni 2012

Figuur 1: RWZI Eindhoven.

www.wtafvalwater.net

Figuur 2 geeft een indruk van enerzijds het effect van het effluent van de rwzi en anderzijds het effec van stootbelastingen en bijhorende overstorten bij een aantal buien van augustus 2010 (dus na he nemen van de normale maatregelen in de afvalwaterketen), waarbij de zuurstofhuishouding in D Dommel flink verstoord raakt door met name de lozing vanuit de rwzi.

Figuur 2: Invloed van overstorten op de zuurstofhuishouding van de Dommel 2010.

Desondanks staat de waterkwaliteit in de Dommel nog voortdurend onder druk door de effluentlozing vanuit de rwzi en de overstorten in verhouding tot de capaciteit van het ontvangende oppervlaktewater. Naast de knelpunten met de zuurstofhuishouding spelen vooral bij overstortsituaties in de Dommel hoge ammoniumpieken, die toxisch kunnen zijn voor de vispopulatie en ander aquatisch leven, een belangrijke beperkende rol voor de waterkwaliteit.
Een actualisatie van online-monitoring en de modelvalidatie geeft een nog nauwkeuriger beeld van de zuurstofhuishouding in de Dommel (zie afbeelding 3).

Figuur 3: Geactualiseerde zuurstofhuishouding in de Dommel 2010.

Optimalisatie van de zuiveringsprocessen op de RWZI Eindhoven zijn dus van groot belang om de piekemissies naar de Dommel te voorkomen. Geavanceerde dynamische wiskundige modellering verschaffen meer inzicht in de huidige werking van de rwzi en de ruimte die er is voor verbetering van de installatie met de nadruk in eerste instantie op piekbelastingen. Verbeteringen worden enerzijds getoetst binnen de bestaande infrastructuur en anderzijds door het nemen van bijkomende structurele maatregelen. Dit model van de rwzi wordt vervolgens in een nageschakelde analyse geïntegreerd in een model van de hele waterketen om deze maatregelen te toetsen met maatregelen elders in de keten. In deze bijdrage wordt dieper ingegaan op de modellering van de rwzi vanuit een integrale context.

Dynamische modellering zuiveringsproces RWZI Eindhoven

Wiskundige modellen van de verschillende eenheidsprocessen in een rwzi zijn klassiek beschikbaar in commerciële softwarepaketten. Een model van RWZI Eindhoven werd geïmplementeerd in WEST (mikebydhi.com). Alvorens het model te kunnen gebruiken voor evaluatie van verschillende scenario's (scenario analyse) dient het eerst afdoende gekalibreerd te worden, teneinde een goede beschrijving (voorspelling) van de reële situatie te garanderen en vertrouwen te hebben in het model. Hiervoor werd gebruik gemaakt van het BIOMATH kalibratie protocol (VanRolleghem et al., 2003). Het is "good modelling practice" om tijdens de kalibratie zo weinig mogelijk modelparameters aan te passen (Rieger et al., 2012), aangezien dit de voorspellende kracht van het model beperkt (het model kan enkel de kalibratiesituatie

voorspellen, de voorspelling bij andere condities is zeer groot). De noodzaak om veel parameters te wijzigen tijdens een kalibratieproces duidt op het feit dat de modelstructuur niet correct is. Ook ligt de kwaliteit van de inputdata (influent) vaak aan de basis van overvloedige kalibratie. In deze context is de kalibratie oefening uitgevoerd voor RWZI Eindhoven op verschillende vlakken vernieuwend.
In eerste instantie werd aandacht besteed aan de kwaliteit van de inputdata. De influentfractionering gebeurde op de klassieke manier, maar er werd terdege aandacht besteed aan de frequentie (Cierkens et al., 2012). Hiervoor werd gebruik gemaakt van een online S::CAN sensor. Figuur 3 en 4 illustreren de impact van het gebruik van online versus offline data voor CZV_{totaal}. Er werd gebruik gemaakt van correlaties met debiet. In het geval van offline data werd data (24u mengmonster) gebruikt van 3 jaar (2 metingen per week) (figuur 2 en 3); bij de online data (meetfrequentie 1') werd data gebruikt van 3 dagen (figuur 2 en 3). De debietstijdsreeks was ook op minuutbasis beschikbaar. De correlatie op basis van de online meting is duidelijk superieur (figuur 4). Een input tijdsreeks voor het model werd op basis van beide aanpakken gegenereerd (figuur 4 en 5). Het valt op dat vooral tijdens hoge debieten de belasting die aan het model gevoed wordt sterk onderschat wordt door de regressie op basis van de offline data. Dit is een gevolg van de mengmonsters die piekgedrag sterk uitmiddelen. Uiteraard zal dit gevolgen hebben voor het gedrag en kalibratie van het model. Gelijke conclusies konden worden getrokken voor opgelost CZV- en drogestof-belastingen (niet getoond).

Figuur 4: Correlatie tussen debiet en CZV_{totaal} voor offline en online metingen.

Figuur 5: Input tijdsreeks voor CZV_{totaal} op basis van online en offline correlaties.

Op het vlak van modelstructuur werd aandacht besteed aan een meer gedetailleerde modellering van de beluchting (zowel de zuurstofoverdracht als de regeling) en de bezinkingsprocessen (zowel voor- als nabezinkers). Een correcte beschrijving van de beluchting is cruciaal voor een goede beschrijving van de ammoniumverwijdering. Klassiek worden modellen op basis van de zuurstofoverdrachtcoefficiënt kLa

gebruikt. In de modellering van RWZI Eindhoven was echter het luchtdebiet dat effectief werd ingebracht beschikbaar via SCADA. Er bestaan empirische modellen (klassiek een machtsfunctie) die het verband tussen kLa en luchtdebiet beschrijven. Hier werd echter geopteerd voor een meer rigoureus model op basis van de specifieke zuurstoftransfer efficiëntie (SOTE – Specific Oxygen Transfer efficiency, zie figuur 6), een meer fysisch proces gebaseerd model. Gebruik makend van dit model en het luchtdebiet gaf aanleiding tot zuurstof- en NH4 voorspellingen zoals getoond in figuur 7, zonder enige kalibratie van (bio)kinetiek.

Aangezien bij toekomstige voorspelling de luchtdebietdata niet voorhanden zijn werd ook de cascade NH4-DO regelaar in het model opgenomen. De voorspelling van het luchtdebiet wordt weergegeven in figuur 6. Het dient gezegd dat voor het bekomen van dit resultaat de voorspelde zuurstof wenswaarde door de slaafregelaar diende te worden gelogd in SCADA.

Figuur 6: Impact van accurate voorspelling van zuurstofconcentraties (links: simulaties - blauwe lijn, data - blauwe kruisen) op ammonium concentraties (rechts: simulaties - groene lijn, data - groene kruisen).

Figuur 7: Voorspelling van de luchtdebieten na afstellen van het model van de regelaar. De figuur toont de simulatie waarden(licht blauwe curve)t.o.v. de gemeten waarden (donker blauwe curve).

Naast de zuurstofhuishouding is ook de slibbalans belangrijk voor een goede voorspelling van zuiveringsrendementen (Plosz et al., 2011). Het in de modelleringwereld standaard ingeburgerde model van Takacs is hiervoor ontoereikend wegens incorrecte voorspelling van onderstroomconcentraties. Daarom werd een verbeterd bezinkingsmodel ontwikkeld dat nauwkeuriger is en compressie en dispersie in de voedingslaag meeneemt (Bürger et al., 2011).
Voor de beschrijving van de nitraat verwijdering is een goede voorspelling van de chemische zuurstofvraag (CZV) in het influent uiterst belangrijk. Hiervoor werd een meer gedetailleerd voorbezinktankmodel gebruikt en getoetst met meetresultaten uit meetcampagnes. Dit, samen met de eerder vermelde hogere fluctuatie van het influent, resulteerde in een opmerkelijke verbetering van de voorspelling van de nitraatverwijdering (figuur 8), zonder enige noodzaak aan kalibratie van de kinetiek.

Figuur 8: Vergelijking simulatie resultaten (roze lijn) t.o.v. metingen (rode kruisen) voor nitraat met standaard voorbezinktankmodel (links) en met meer gedetailleerd voorbezinktankmodel (rechts).

Testen van toekomstige scenario's en maatregelen op de rwzi

Met het terdege gekalibreerde model kunnen nu scenario's uitgevoerd en geëvalueerd worden. Aangezien binnen Kallisto de piekevents tijdens regenweer een belangrijke drijfveer zijn, lag de nadruk in eerste instantie op deze scenario's. Voor de evaluatie van deze scenario's lag de focus op ammonium concentratie (NH_4), Biologische zuurstofvraag (BZV) en opgeloste zuurstof (DO) in het effluent, of met andere woorden een vermindering van de effluentbelasting richting De Dommel. Als referentie van de scenarioanalyse werd het huidige model gebruikt in combinatie met een aantal gedefinieerde virtuele piekevents (klein, middelmatig en groot) als input, welke werden geselecteerd op basis van beschikbare

Tabel 1: Overzicht van de regenweer scenario's voor de huidige maximale hydraulische belasting (scenarioset 1).

GOAL	MEASURE	TECHNICAL
1. Nitrification	1.increase aeration capacity for nitrification	1. Additional packages
		2. Additional packages in anoxic tank
		3. Additional packages in both anoxic and anaerobic tank
2. BOD removal	1. tertiary treatment rain water	1. PST as buffer + DAF

gegevens over piekevents in de regio Eindhoven. De impact van mogelijke uitbreidingen (maatregelen inclusief wijzigingen aan de infrastructuur) voor de huidige hydraulische belasting (scenarioset 1) en een eventueel verhoogde belasting door meer water vanuit het rioolstelsel naar de rwzi te sturen (scenarioset 2) werden onderzocht. De eerste set behelst de uitbreiding van de beluchtingscapaciteit en het gebruik van een DAF-unit ter behandeling van het surplus debiet hoger dan de huidige hydraulische capaciteit (26.250 m³/h).

Tabel 2: Een overzicht van de prestaties van de verschillende scenario's en verbetering t.o.v. het referentie scenario.

	max BOD	max NH4	tot bod	tot NH4	tot BOD red	tot NH4 red
ref	20,09877	16,67679	7757,831	4176,154	0%	0%
1.1.1	14,26195	12,14258	6543,114	2263,672	16%	46%
1.1.2	14,1129	13,40753	6453,691	2424,373	17%	42%
1.1.3	13,92406	10,13661	6440,622	1836,633	17%	56%
2.1.1	8,587425	10,73832	4970	1818,298	36%	56%

Tabel 2 toont de resultaten van de scenario's. Scenario 2.1.1 scoort het beste. Het doel van dit scenario (zie schematische voorstelling in figuur 9) is het optimaliseren van de BZV verwijdering bij regenweer door het toepassen van flotatie (DAF) op de regenwaterlijn. De regen buffertank werd in dit scenario ingeschakeld als extra voorbezinktank en de beluchting is overgenomen uit scenario 1.1.3.

Figuur 9: Schematische voorstelling van scenario 2.1.1.

Het kon uiteraard worden verwacht dat dit scenario het beste scoort, maar het model stelt ons in staat om de impact van de respectievelijke maatregelen te kwantificeren en ook de gepaarde kost ermee in kaart te brengen (zowel CAPEX en OPEX). De impact wordt getoond in figuur 10 tot en met figuur 12. Enkel scenario 2.1.1 is in staat om alle criteria in positieve zin te beïnvloeden, zelfs voor het grote piekevent. Het enkel uitbreiden van beluchtingscapaciteit biedt geen oplossing voor BZV-piek in het effluent (wordt onbehandeld omgeleid naar effluent), daar waar de DAF hier een aanzienlijke reductie geeft.

Het volledig opvullen van de midden ring leidde tot een capaciteitsverhoging van N 58.333 m³/h (25.000 m³/h en 4 x 8.333m³/h). Dit scenario gaf gelijkaardige resultaten als scenario 1.1.3. betreffende ammonium concentratie en opgeloste zuurstof. Er werd echter een opmerkelijke verbetering vastgesteld qua BZV (figuur 12).

Figuur 10: NH4 concentraties voor scenario 2.1.1. (donker groene curve) t.o.v. de referentie situatie (licht groene curve).

Figuur 11: DO concentraties voor scenario 2.1.1. (donker blauwe curve) t.o.v. de referentie situatie (licht blauwe curve).

Figuur 12: BZV-concentraties voor scenario 2.1.1. (zwarte curve) t.o.v. de referentie situatie (grijze curve).

Duurzame Integrale Afvalwaterketen Eindhoven

Het Kallisto-project resulteert uiteindelijk in een aantal integrale optimalisatiescenario's, die uitgewerkt zullen worden tot diverse realisatiemaatregelen. Dit kunnen fysieke maatregelen in de riolering, in het transportstelsel, op of achter de zuivering of in het oppervlaktewater zijn. Tezamen met een kosteninschatting stellen de clusterpartners een gezamenlijk en onderbouwd investeringsprogramma op voor gemeenten en waterschap. Door het beschouwen van de afvalwaterketen als één geheel geeft het Kallisto-project concrete invulling aan een doelmatig afvalwaterketenbeheer zoals voorgesteld in het Bestuursakkoord Water.

De omvang van het onderzoeksproject en de diepgang waarmee in de volle breedte van de afvalwaterketen - zowel naar kwantiteit als kwaliteit - en het oppervlaktewater onderzoek wordt gedaan, is uniek voor Nederland en heeft daarnaast een sterke internationale uitstraling.

Dit artikel is tot stand gekomen in opdracht van STOWA als onderdeel van de kennisdeling binnen het Kallisto-project. De komende tijd zal de in het Kallisto-project opgedane kennis onder meer via een reeks artikelen in WT-Afvalwater worden gedeeld met de Nederlandse vakwereld.

Kallisto is mede mogelijk gemaakt door subsidie van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu via het Innovatieprogramma KRW van Agentschap NL. www.senternovem.nl/krw/. Voor meer informatie zie www.samenslimschoon.nl.

Referenties

- Bürger R., Diehl S. and Nopens I. (2011). A consistent modelling methodology for secondary settling tanks in wastewater treatment. Water Res., 45(6), 2247-2260.
- Cierkens K., Plano S., Benedetti L., Weijers S., de Jonge J. and Nopens I. (2012). Impact of in fluent data frequency and model structure on the quality of WWTP model calibration and uncertainty. Wat. Sci. Technol., 65(2), 233-242.
- De Jonge, J., Langeveld , J. en Van Nieuwenhuijzen, A.F. (2011), Samenwerking in afvalwaterketen rond Eindhoven voor een schonere Dommel, vakblad H2O, nummer 8, 2011
- Rieger, L., Gillot, S., Langergraber, G., Ohtsuki, T., Shaw, A., Tak´acs, I., Winkler, S.,2012. Guidelines for using Activated Sludge Models. IWA Scientific and Technical Report. Technical

Report. IWA Publishing. London.

- Plósz B.G., De Clercq J., Nopens I., Benedetti L. And Vanrolleghem P.A. (2011). Shall we upgrade one-dimensional secondary settler models used in WWTP simulators? Yes. Wat. Sci. Technol., 63(8), 1726-1738.
- Vanrolleghem P.A., Insel G., Petersen B., Sin G., De Pauw D., Nopens I., Doverman H., Weijers S. and Gernaey K. (2003). A comprehensive model calibration procedure for activated sludge models. In: Proceedings 76th Annual WEF Conference and Exposition. Los Angeles, USA, October 11-15, 2003.