



Arie de Niet, Witteveen+Bos
 Rennie Neef, Waternet
 Ed Brandt, Waternet
 Peter Koenders, Witteveen+Bos

Modelgebaseerde besturing van rwzi Westpoort

Sinds voorjaar 2007 functioneert de rwzi Westpoort - na een aantal ingrijpende aanpassingen - in de huidige configuratie. Aanpassing van de zuivering was nodig om het afvalwater van Zaanstad en Amsterdam gezamenlijk te kunnen behandelen in één zuivering. Nu behandelt de zuivering het afvalwater van circa 400.000 inwoners. De maximale capaciteit bedraagt ruim 500.000 i.e. Het gemiddelde influent is ongeveer 50.000 kubieke meter per dag. De zuivering is van het mUCT-type, dat wil zeggen biologische verwijdering van stikstof en fosfaat met aanvullende ijzerchloridedosering. De zuivering is opgebouwd uit grofzuivering, voorbezinking, beluchting en nabezinking.

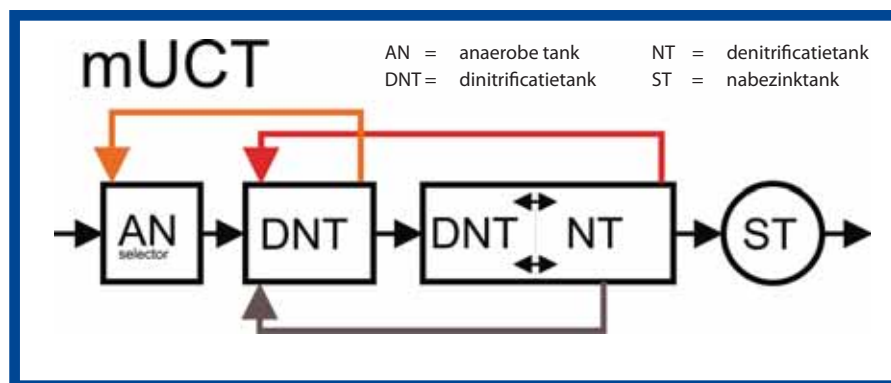
Effluentnormen eisen een gemiddelde (jaar)concentratie aan stikstof (N_{tot}) van minder dan tien miligram per liter en aan fosfaat (P_{tot}) minder dan één miligram per liter (voortschrijdend gemiddeld van tien opeenvolgende monsters) Om te voldoen aan deze normen wordt N_{tot} gereduceerd door middel van biologische nitrificatie en denitrificatie. Dit proces wordt beheerst door beluchting van de actief slib tank. Ammonium en nitraat leveren de grootste bijdrage aan N_{tot} . De theoretische afhankelijkheid van ammonium en nitraat als functie van de zuurstofconcentratie is weergegeven in afbeelding 2. Dit geldt alleen voor een ideaal (statisch) geval bij een constante temperatuur. De afbeelding laat de effluentconcentraties aan ammonium en nitraat zien voor een statische situatie in een carrouselstelsel. Het is duidelijk dat een lage zuurstofconcentratie leidt tot een lage nitraatconcentratie en een hoge ammoniumconcentratie. Daarentegen geven hoge zuurstofconcentraties aanleiding tot hoge nitraatconcentraties en een lage ammoniumconcentratie. De minimale waarde voor N_{tot} geeft het optimale zuurstofsetpoint voor stikstofverwijdering. De afbeelding laat ook zien dat de vereiste zuurstofconcentratie afhangt van de temperatuur.

In dit artikel bespreken wij een algoritme dat op een effectieve manier N_{tot} controleert via het zuurstofsetpoint. Zodoende wordt de effluentconcentratie van stikstof continu geoptimaliseerd, zodat zowel energie als chemicaliën worden bespaard. Het algoritme bepaalt op ieder tijdstap een zuurstofsetpoint voor de nitrificatietank, op basis waarvan de beluchtingscompressoren

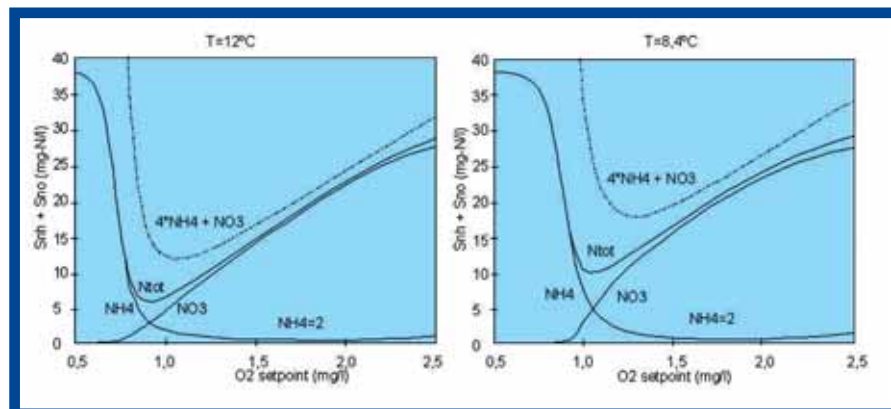
op- of aftoeren. Optimale besturing van de actief slibtank is echter lastig vanwege de complexiteit van het proces. Dit is namelijk niet-lineair en hangt af van een groot aantal variabelen. Daarnaast moet de controle van

N_{tot} kunnen omgaan met sterk wisselende omstandigheden van droogweer tot regenweer. Aangezien er geen generieke methode bestaat voor het ontwerp van dit soort niet-lineaire controllers, worden in

Afb. 1: Schema zuiveringsproces rwzi Westpoort.



Afb. 2: Relatie tussen N_{tot} en het zuurstofsetpoint.





Rioolwaterzuiveringsinstallatie Westpoort.

de praktijk vaak suboptimale (bijvoorbeeld lineaire of discrete) controllers toegepast.

Besturing op basis van een 'beslistabel'

Momenteel wordt de keuze van het zuurstofsetpoint gebaseerd op een 'beslistabel' en hangt af van zowel de meting van ammonium als de meting van nitraat in de beluchtingstank. De tabel laat zien hoe de beluchting in de tank geregeld wordt. Na meting en evaluatie van de effluentkwaliteit kunnen de concentraties ammonium en nitraat automatisch gestuurd worden.

De resultaten van de huidige besturing zijn goed. Er wordt een jaargemiddelde (2007) waarde voor N_{tot} en P_{tot} bereikt van respectievelijk 4,7 miligram per liter en 0,6 miligram per liter. Goede resultaten, maar er is nog ruimte voor verbetering, in het bijzonder met betrekking tot een stabiel proces, lagere stikstof- en fosfaatconcentraties, lagere zuurstofconcentratie in de beluchting en daarmee besparing op energie en chemicaliën. De nadruk zal daarbij met name op energiebesparing liggen.

Besturing op basis van een model

De verwachting is dat in de actief slibtank de overall efficiency kan worden verhoogd. Het state-of-the art IAWQ-model (International Association on Water Quality) voor actief slibprocessen is voor real-time control toepassing erg complex. Daarom

is gekozen voor een statistisch model om de processen te beschrijven, zodat de MBC (Model Based Controls) geprogrammeerd kan worden in de lokale programmeerbare logische eenheid (PLC). Om dit model op te stellen, zijn meetdata uit één van de actief slibtanks van rwzi Westpoort geanalyseerd. Zoals afbeelding 2 laat zien is N_{tot} min of meer kwadratisch afhankelijk - in ieder geval rondom het minimum - van het zuurstofsetpoint. Daarom is ervoor gekozen de verandering van N_{tot} te beschrijven met een lineair model.

Een statisch model is gebouwd dat de toe- of afname van N_{tot} in de volgende tijdstap voorspelt. De modelinvoer bestaat uit influentdebiet van de voorbezinker, de temperatuur in de actief slibtank en de concentraties van ammonium, nitraat, zuurstof en N_{tot} in de nitrificatietank. De meetgegevens zijn per half uur geaggregeerd. De keuze van de modelparameters en het aggregatieniveau is gebaseerd op een statistische analyse. De resultaten laten zien dat de voorspelde verandering van N_{tot} sterk gecorreleerd is aan de waargenomen veranderingen (ongeveer 75 procent correlatie).

Vanwege de lineariteit kan met het model eenvoudig een nieuw zuurstofsetpoint bepaald worden. De minimale waarde voor N_{tot} wordt namelijk bereikt wanneer de afgeleide ervan gelijk is aan nul. Computersimulaties laten zien dat het model in de

meeste gevallen een lager setpoint kiest dan in de huidige regeling het geval is. Deze test is uitgevoerd door met historische data op basis van het algoritme een nieuw zuurstofsetpoint te bepalen. Aangezien het historische data betreft, kon het werkelijke setpoint niet aangepast worden aan het modelmatig bepaalde setpoint.

Kalmanfilter voor modelaanpassing

Tijdens de metingen was het proces onderworpen aan de traditionele besturing op basis van een 'beslistabel' of zelfs handmatige besturing. Hierdoor werd het zuurstofsetpoint aan de veilige kant gekozen, dus iets te hoog. Onderschatting van het setpoint zou kunnen leiden tot hoge concentraties ammonium en N_{tot} . Dit is zichtbaar in de metingen vanwege het feit dat lage nitraatconcentraties in combinatie met hoge ammoniumconcentraties nauwelijks voorkomen. Omdat het nieuwe besturingsalgoritme kan leiden tot andere procesomstandigheden, kan de actief slibtank in een toestand terechtkomen waarvan nog geen metingen beschikbaar waren bij de modelformulering. Dit kan leiden tot onbetrouwbare resultaten van het algoritme.

Om onbetrouwbare voorspellingen te voorkomen, wordt het model continu geactualiseerd met behulp van een Kalmanfilter. Het filter wordt gebruikt om de coëfficiënten in het statistische model aan te passen. Met het Kalmanfilter worden, telkens wanneer nieuwe metingen beschikbaar komen, de modelparameters enigszins gewijzigd. Dit is het gevolg van het verschil tussen voorspelde en waargenomen veranderingen van N_{tot} . Als het proces naar een nieuwe toestand gaat, volgt het model automatisch.

Resultaten

Modelberekeningen laten zien dat het mogelijk is om de N_{tot} -concentratie in het effluent te verlagen bij een lager zuurstofsetpoint. Dit leidt tot een lager energieverbruik. Hiervoor is een optimalisatiealgoritme ontworpen op basis van een statistisch model in combinatie met een Kalmanfilter. Dit algoritme wordt momenteel geïmplementeerd in het SCADA-systeem om de PLC van de beluchting op Westpoort te besturen. De modelgebaseerde sturing zal actief zijn in het tweede kwartaal van dit jaar.

'Beslistabel' voor bepaling van het zuurstofsetpoint.

hoog (4 mg NH_4/l)	↑↑	↑↑	↑
acceptabel	↑↑	o	↓
laag (1 mg NH_4/l)	0	↓	↓↓↓
	laag (1 mg NO_3/l)	acceptabel	hoog (6 mg NO_3/l)

↑ = één stap omhoog oftewel 0,1 mg O_2/l
 ↓ = één stap omlaag oftewel 0,1 mg O_2/l