

Multivariabel: de nieuwe generatie?

Inleiding

Dynamische simulatie van afvalwater-zuiveringsprocessen wordt steeds vaker toegepast. Aan de verschillende mogelijkheden van dynamische modelsimulatie is een drieluik gewijd. Het artikel 'Stationaire berekeningen met dynamische modellen?' [1] toonde enkele voorbeelden, waarin dynamische simulatie wordt toegepast als hulpmiddel bij het procestechnisch ontwerp van een rwzi.



IR. K. M. VAN SCHAGEN
DHV Water BV



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

In dat kader werd onder meer ingegaan op enkele nadelen van een conventionele zuurstofregeling. Vervolgens is in het tweede artikel 'Zuurstofregeling uit de tijd?' [2] een zuurstofregeling vergeleken met een ammoniumregeling en een cascade-regeling op basis van zuurstof, ammonium en nitraat. Hieruit is gebleken dat de laatste twee genoemde regelingen niet op voorhand tot een beter resultaat hoeven te leiden. De zinvolheid van meer complexe regelingen komt pas naar voren in situaties, waarbij bijvoorbeeld meerdere beluchters moeten worden aangestuurd. Met de veel toegepaste PID-regelaar zijn complexe regelingen echter niet altijd even makkelijk te realiseren. De toepassing van een zogenaamde multivariabele regelaar komt dan in beeld.

Met de beschikking over een dynamisch simulatiemodel is het mogelijk een dergelijke regelaar te ontwikkelen. Dit artikel behandelt een voorbeeld van een relatief eenvoudige multivariabele regelaar voor de toepassing op een rwzi. Op grond van de gepresenteerde berekeningen blijken aansprekende resultaten mogelijk.

Beschrijving van de rwzi

Om de resultaten van de simulaties onderling goed met elkaar te kunnen vergelijken is voor alle artikelen uitgegaan van eenzelfde (theoretische) rwzi. Deze rwzi is opgebouwd uit een vierbaans omloopstelsel met twee oppervlaktebeluchters en een nabezinktank. De belangrijkste dimensies en influentgegevens zijn weergegeven in afbeelding 1. Het voor de berekeningen aangehouden influent-

patroon (achtereenvolgens één dwa-dag, één rwa-dag en twee dwa-dagen) is weergegeven in afbeelding 2.

Multivariabele regelaars

Tot op heden wordt in de afvalwater-zuiveringswereld voornamelijk de zogenaamde PID-regelaar toegepast. Deze regelaar stuurt op basis van het verschil tussen één meetwaarde en één streefwaarde. Het stuursignaal is evenredig met



IR. K. MEINEMA
DHV Water BV



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

de grootte van dit verschil (proportionele actie), de grootte van het verschil in het verleden (integrerende actie) en de verandering in het verschil (differentiërende actie).

Een multivariabele regelaar is een regelaar die gebruik maakt van meerdere meet- en stuursignalen. In tegenstelling tot de PID-regelaar wordt met een multivariabele regelaar niet meer gestuurd naar één streefwaarde, maar wordt op basis van meerdere meetwaarden getracht een vooraf geformuleerd doel te bereiken.

De ontwikkelingen op het gebied van multivariabele regeltechniek hebben

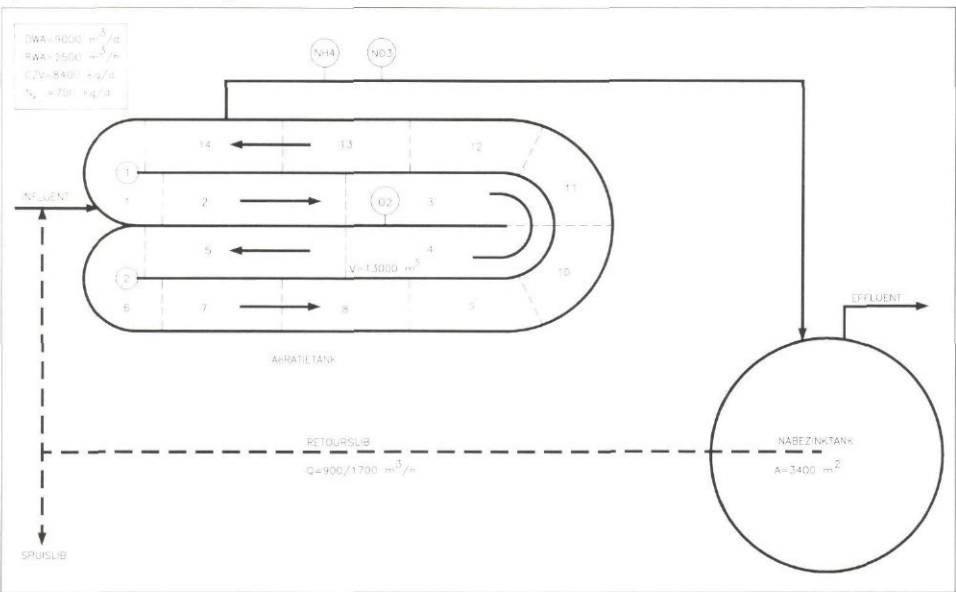
Samenvatting

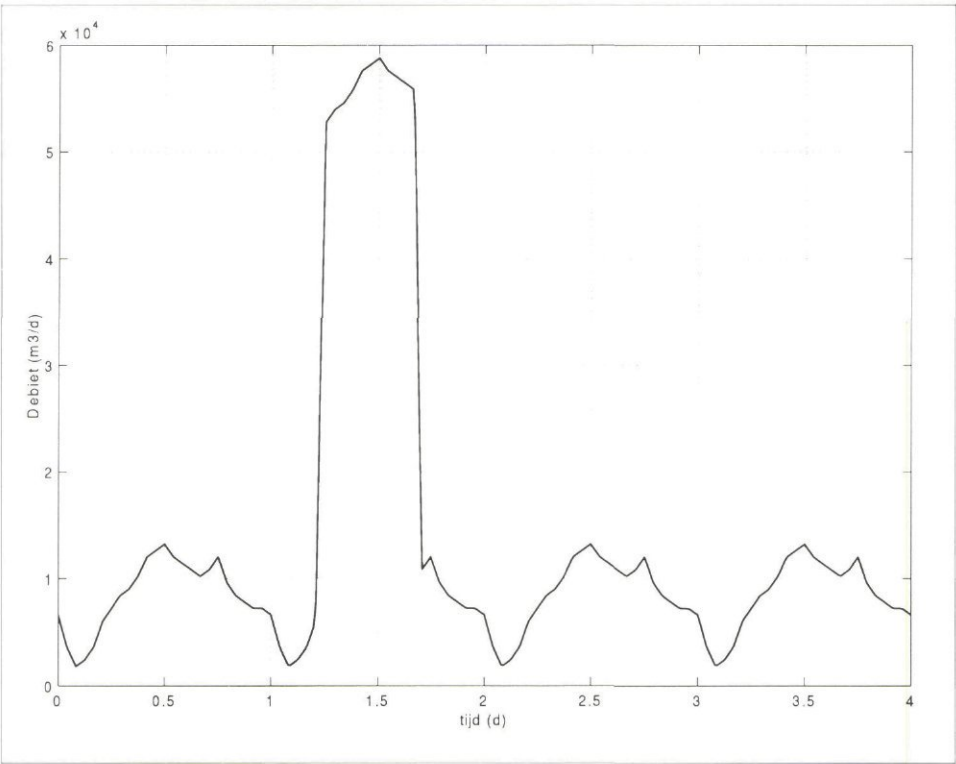
In een drietal artikelen is ingegaan op verschillende toepassingsmogelijkheden van dynamische modelsimulatie. Nadat in de voorgaande twee artikelen het gebruik van modellen bij het ontwerp van een rwzi en de opzet van beluchterregelingen is uiteengezet, is in dit artikel een LQG-regelaar in beschouwing genomen. Op basis van de resultaten blijken met de inzet van deze zogenaamde multivariabele regelaar, potentieel voordelen te kunnen worden behaald voor effluentkwaliteit en energie-inbreng.

inmiddels geleid tot geavanceerde regelaars. De bekendste daarvan zijn Fuzzy Control, Model Predictive Control (MPC) en Linear Quadratic Gaussian Control (LQG). Bij de opzet van deze regelaars wordt gebruik gemaakt van kennis van het te regelen proces, hetzij in de vorm van een model, hetzij in de vorm van kennisregels.

Een multivariabele regelaar wordt opgezet aan de hand van een sterk wiskundig bepaalde methodiek. Hiermee wordt een regelaar gerealiseerd, die een verband kent tussen meet- en stuursignalen zoals is weergegeven in afbeelding 3. Hieruit is meteen de potentiële kracht van dit type regelaars te onderkennen; alle meetsignalen hebben invloed op alle stuursignalen. Niet alleen de absolute waarde van een enkel meetsignaal is bepalend voor de regelactie, maar ook de samenhang tussen de waarden van de verschil-

Afb. 1 - Schematische weergave theoretische rwzi.





Afb. 2 - Dagpatroon influentdebiet.

lende meetsignalen. De verbanden tussen meet- en stuursignalen worden wiskundig vastgelegd en niet op basis van vuistregels, zoals bijvoorbeeld bij de cascade-regeling uit het artikel 'Zuurstofregeling uit de tijd?' [2]. De afweging, welke van de eerder genoemde multivariabele regelaars toe te passen hangt af van het gestelde probleem en de beschikbare proceskennis.

Linear Quadratic Gaussian Control

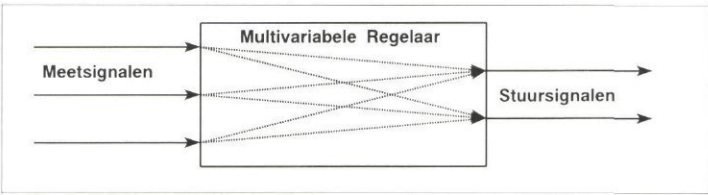
Om de toepassingsmogelijkheden van een

geavanceerde regelaar voor een beluchter-regeling te onderzoeken heeft DHV Water BV een LQG-regelaar [3] ontwikkeld. De keuze voor deze regelaar is mede gebaseerd op de beschikbaarheid van een goed beschrijvend model, dat voor de opzet van de LQG-regelaar nodig is. Dit houdt in dat met de LQG-regelaar ook procesgedrag kan worden voorspeld. Daarnaast is de regelaar uitermate geschikt om in de regeling signalen met een verstoring mee te nemen. Dit betekent

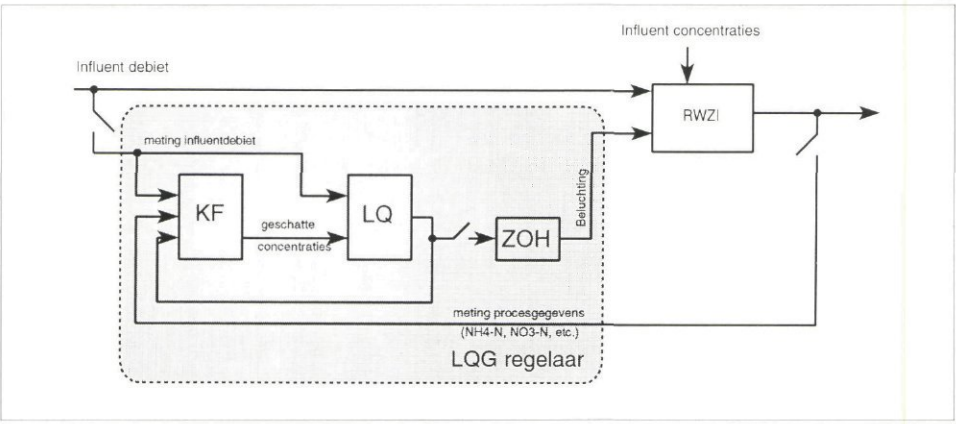
dat ook minder nauwkeurige metingen kunnen worden gebruikt. In afbeelding 4 is een schema van de LQG-regelaar weergegeven. De twee belangrijkste onderdelen zijn het Kalman Filter (KF) en de Linear Quadratic (LQ) regelaar. Het Kalman Filter schat de toestand in van het proces (toestand-schatter) en gebruikt daarvoor zowel meetsignalen van 'procesverstoringen' (influentdebiet, beluchting), als meetsignalen van het zuiveringsproces (NH₄-N-concentratie, etcetera). De zogenaamde Linear Quadratic regelaar berekent op basis van de geschatte toestand de stuursignalen. Deze signalen worden vastgesteld via een minimalisatie van een kwadratische weegfunctie. Deze weegfunctie wordt bepaald door het doel, dat voor dit artikel is gesteld op de realisatie van een maximale N_{totaal}-verwijdering bij een minimale vermogensinbreng van de beluchting. Vanzelfsprekend kosten de door de regelaar uit te voeren berekeningen tijd. Ook meetsignalen van N-analyzers staan niet continu ter beschikking. Hiermee wordt in de LQG-regelaar rekening gehouden door met een zogenaamde Zero Order Hold (ZOH) schakeling het stuursignaal tijdelijk constant te houden.

Ontwikkelmethodiek

De LQG-regelaar is opgezet met het model dat voor de simulatie van rwzi's wordt toegepast (IAWQ no.1). Aangezien dit model te complex is om in zijn geheel in de regelaar (Kalman Filter) op te nemen, is het door toepassing van algebraïsche reductietechnieken vereenvoudigd. Hoe complexer het model, hoe omvangrijker de regelaar en de benodigde rekentijd. De LQG-regelaar is nu in structuur aanwezig, maar moet – zoals elke regelaar – nog optimaal worden ingesteld. De opbouw van de LQG-regelaar maakt het mogelijk om het 'tunen' te splitsen. Ten eerste moet het Kalman Filter worden geoptimaliseerd. Hierbij moet een afweging worden gemaakt tussen de betrouwbaarheid van het model en de nauwkeurigheid van de meetsignalen. Meetsignalen met een hoge nauwkeurigheid hoeven geen aanpassing. Meetsignalen met een verstoring kunnen door het Kalman Filter met het model worden gecorrigeerd. In de tweede plaats dient de Linear Quadratic regelaar te worden getuned, zodanig dat de geformuleerde doelstelling zo goed mogelijk kan worden gerealiseerd. Naarmate meer aandacht wordt besteed aan het tunen van de regelaar mogen betere resultaten worden verwacht. Voor



Afb. 3 - Opbouw multivariabele regelaar.



Afb. 4 - Opbouw LQG regelaar.

de in dit artikel getoonde resultaten is echter uitgegaan van een grove tuning. Hiermee kan echter het karakter van de regelaar uitstekend worden getoond.

Resultaten

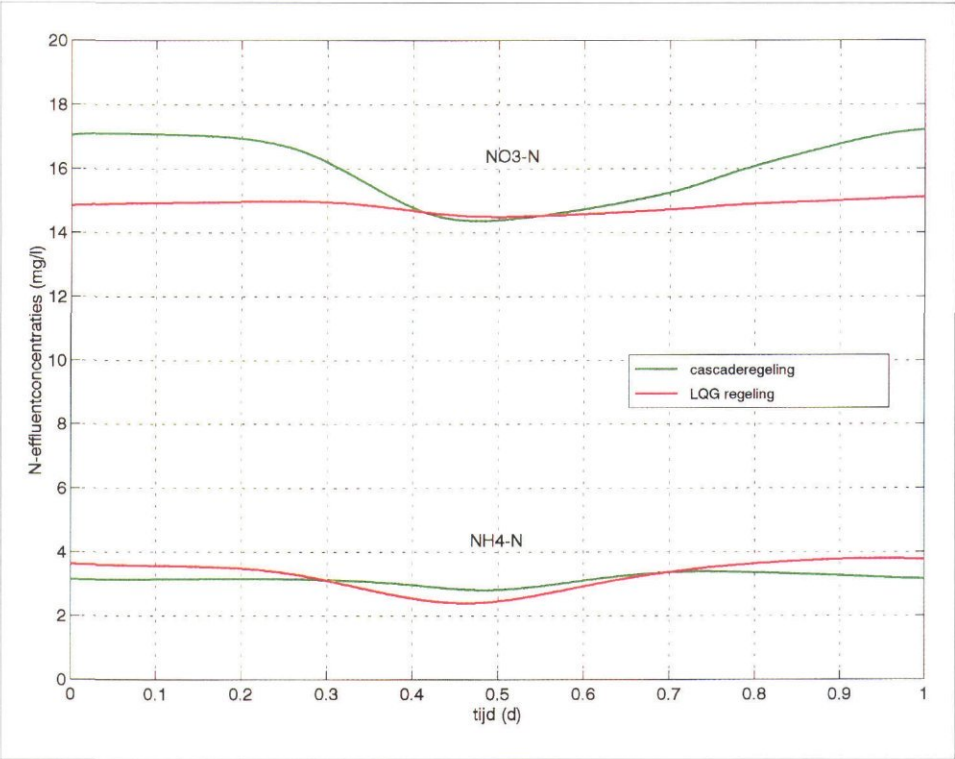
Voor de theoretische zuivering is een LQG-regelaar ontwikkeld met als doelstelling een maximale N_{totaal} -verwijdering bij een minimale vermogensinbreng van de puntbeluchters. De LQG-regelaar stuurt de beide beluchters aan. Eén beluchter is voorzien van een FO, de andere is uitgevoerd met een 2-toeren motor. Voor de stuursignalen van de regeling is naast de zuurstof-, ammonium- en nitraatconcentratie ook het influent-debiet opgenomen. Voor een goede vergelijking met de in het tweede artikel [2] gepresenteerde regelingen is bij een procestemperatuur van 12°C een gelijke $NH_4\text{-N}$ -effluentconcentratie van 3 mg N/l als streefwaarde aangehouden.

In afbeelding 5 zijn voor de gegeven dwa-situatie en een procestemperatuur van 12°C de N-effluentconcentraties voor de 'LQG-regeling' en de cascaderegeling weergegeven. Afbeelding 6 toont de N-concentraties bij het in afbeelding 2 getoonde aanvoerpatroon. Het verloop van de zuurstofinbreng (dwa) is opgenomen in afbeelding 7. De genoemde cascaderegeling is eerder gepresenteerd [2] en voorzien van een master-slave regelaar. Op basis van de verhouding tussen de $N_{\text{anorganisch}}$ - en $NH_4\text{-N}$ -concentratie wordt het zuurstof setpoint van een zuurstofregeling aangepast. Een samenvatting van de gewogen daggemiddelden van de N-concentraties bij verschillende procestemperaturen is voor de beide regelingen weergegeven in tabel I. Een vergelijking laat zien dat met de LQG-regelaar een lagere of vergelijkbare $NO_3\text{-N}$ -concentratie kan worden gerealiseerd bij gelijke $NH_4\text{-N}$ -concentraties. Verder kan worden geconstateerd dat de LQG-regelaar met het oog op een minimalisatie van de N_{totaal} -verwijdering bij

TABEL I – Resultaten simulaties.

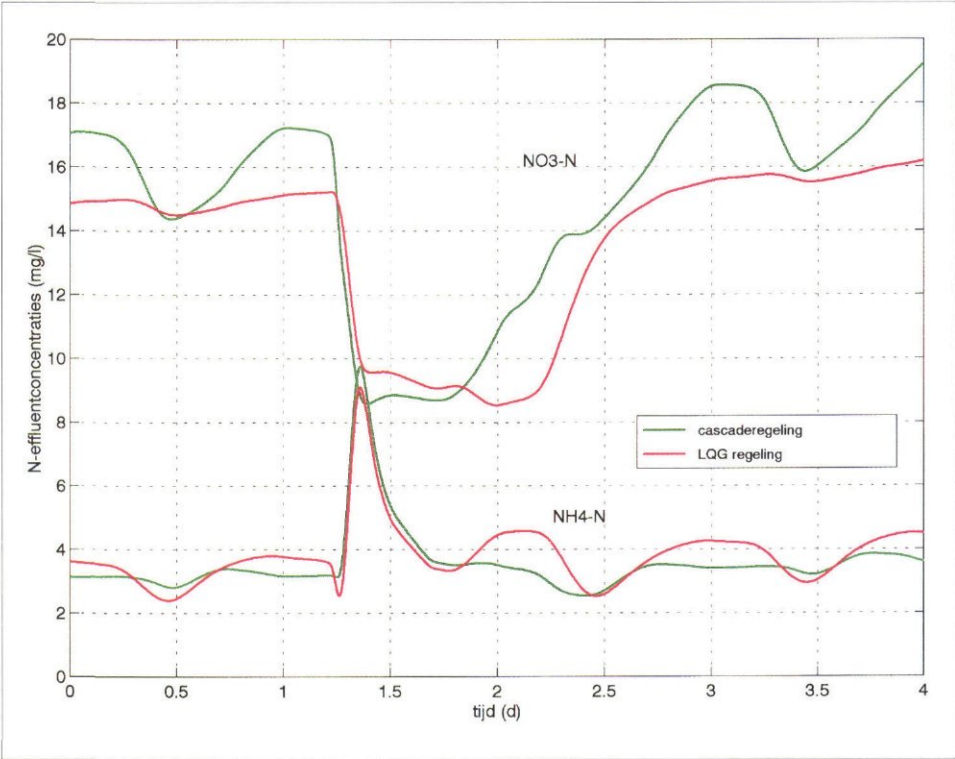
Regeling	N_{anorg} (mg/l)	$NH_4\text{-N}$ (mg/l)	$NO_3\text{-N}$ (mg/l)	Vermogen beluchting (kW)
cascaderegeling				
• dwa 12°C	19	3	16	213
• dwa 8°C	37	7	29	218
• dwa 18°C	4	1	3	264
• rwa ¹ 12°C	17	5	12	214
LQG-regeling				
• dwa 12°C	18	3	15	200
• dwa 8°C	29	7	22	170
• dwa 18°C	4	1	3	264
• rwa ¹ 12°C	17	4	12	201

¹ Gemiddeld over 4 dagen (zie afbeelding 2)



Afb. 5 - N-effluentconcentraties dwa (12°C).

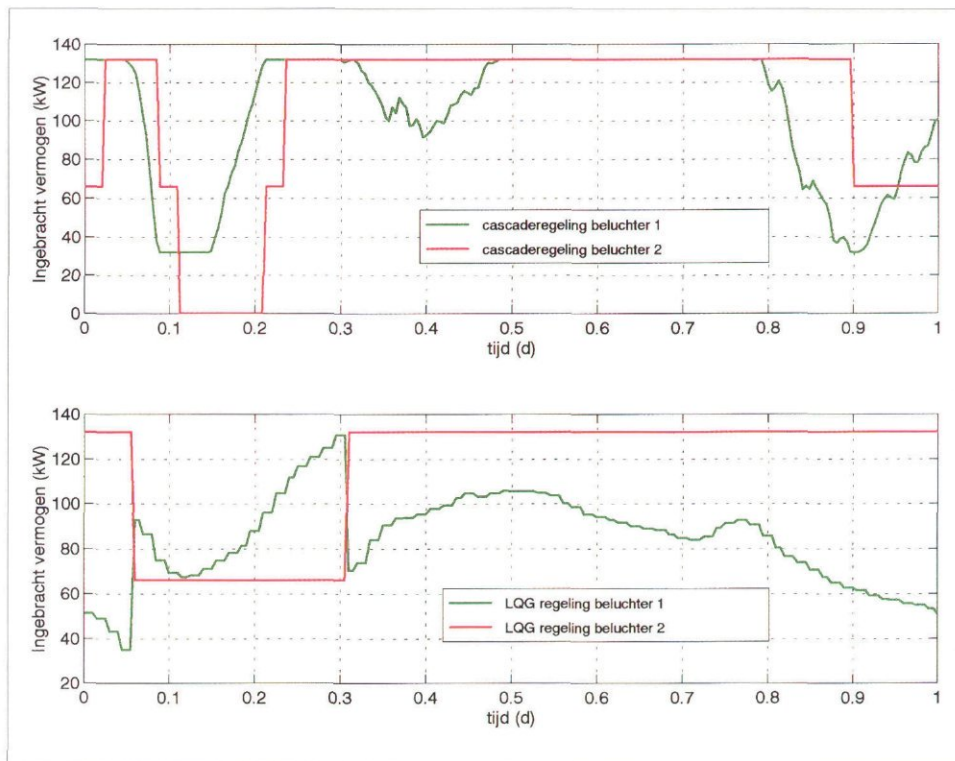
Afb. 6 - N-effluentconcentraties dwa/rwa (12°C).



een procestemperatuur van 8°C de $NH_4\text{-N}$ -concentratie laat oplopen. Dit is vergelijkbaar met het effect van de cascaderegeling. Opvallend is het gelijkmatige verloop van de $NO_3\text{-N}$ -concentratie over de dag, terwijl de $NH_4\text{-N}$ -concentratie vooral tijdens perioden met

hogere aanvoer goed in de hand wordt gehouden.

Het tweede deel van de doelstelling betrof de minimalisatie van de zuurstofinbreng. Naast de bereikte effluentkwaliteit is in tabel I daarom ook een overzicht ge-



Afb. 7 - Beluchttingsintensiteiten dwa (12°C)

presenteerd van het gemiddeld benodigd beluchttingsvermogen. Hieruit blijkt dat in vergelijking met de cascaderегeling, het toepassen van een LQG-regelaar een significante energiebesparing kan opleveren.

Conclusie

Het toepassen van multivariabele regelaars is een nieuwe ontwikkeling op de afvalwaterzuiveringsmarkt. De LQG-regelaar is een dergelijke multivariabele regelaar met de positieve eigenschap goed overweg te kunnen met discontinue of minder nauwkeurige meetsignalen. Voor een theoretische rwzi is door DHV een LQG-regelaar ontwikkeld, waarbij dankbaar gebruik kon worden

gemaakt van een goed dynamisch simulatiemodel. In vergelijking met een regeling op basis van een PID-regelaar, blijkt in de voorliggende situatie met de LQG-regelaar een betere effluentkwaliteit realiseerbaar bij een significant lager energieverbruik.

Literatuur

1. Veersma, A. M. J., Roest, H. F. van der en Meinema, K. (1995). 'Stationaire berekeningen met een dynamisch model?'. H₂O nr. 14.
2. Meinema, K., Roest, H. F. van der, Schagen, K. M. van (1995). 'Zuurstofregeling uit de tijd?'. H₂O nr. 15.
3. Anderson, B. D. O., Moore, J. B. (1990). 'Optimal control; Linear quadratic methods'. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall

• • •

Schoon drinkwater vraagt om regionale aanpak

Stel per regio vast aan welke concrete eisen agrarische bedrijven moeten voldoen om grondwater voldoende te beschermen en stimuleer boeren aan die eisen te voldoen. Met een dergelijke aanpak kunnen waterleidingbedrijven ook in de toekomst schoon drinkwater blijven maken uit grondwater. Het Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM) heeft op verzoek van de waterleidingbedrijven, verenigd in de VEWIN, een methode ontwikkeld om de overheidsnormen voor

grondwater te vertalen in milieuscores voor boerenbedrijven in afzonderlijke grondwaterbeschermingsgebieden.

Schoon water

In twee van de drie Nederlandse gezinnen komt uit de kraan puur bronwater; grondwater van zo'n goede kwaliteit dat het nauwelijks gezuiverd hoeft te worden. De laatste jaren staat de kwaliteit van het grondwater echter onder druk, vooral door het uitspoelen van meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Dit is vooral op de hogere en vaak droge zandgronden een groot probleem.

De heer Hoogsteen, woordvoerder van de waterleidingbedrijven, zegt: 'Grondwater is nu met eenvoudige technieken geschikt te maken voor drinkwater en dat moet vooral zo blijven. Dat vergt een goed milieubeleid voor alle grondgebruikers waaronder de landbouw. Zelfs dan zijn in veel grondwaterbeschermingsgebieden aanvullende, extra maatregelen noodzakelijk. We hebben het CLM gevraagd een aanpak te ontwikkelen voor een dergelijk aanvullend beleid. Het CLM heeft nu een methode ontwikkeld waarmee we per gebied de eisen aan de grondwaterkwaliteit kunnen vertalen in een toelaatbaar overschot op de mineralenbalans en een score op de milieumeetlat voor bestrijdingsmiddelen. Met de methode die het CLM heeft ontwikkeld kunnen we door een aanvullend, stimulerend beleid maatwerk leveren voor elk grondwaterbeschermingsgebied. Voorlichting, bedrijfsbegeleiding en beloning van goede milieuresultaten zullen daarbij centraal staan, naast bestemmingswijziging van gronden en aankoop in zeer kwetsbare gebieden'.

Maatwerk

Edo Biewinga van het CLM is verheugd dat de VEWIN blijft kiezen voor een stimulerend beleid: 'Wij hebben al goede ervaringen met bijvoorbeeld resultaatbeloning, de mineralenboekhouding en de milieumeetlat. Nu kunnen we nog beter handen en voeten geven aan dit stimuleringsbeleid door per gebied de gewenste milieuscores te berekenen. Zo houden boeren de vrijheid om zelf te kiezen voor de meest geschikte maatregelen om mineralenverliezen en uitspoelen van bestrijdingsmiddelen tegen te gaan'. (Persbericht CLM/VEWIN)

WLO-Studiedag

De Werkgroep Ecohydrologie van de Werkgemeenschap voor Landschaps-ecologisch Onderzoek (WLO) houdt een studiedag 'Oppervlaktewater, een oplossing voor verdroogde en verzuurde eco-systemen?'. De studiedag vindt plaats op 26 oktober 1995, Congressentrum De Reehorst in Ede. Nadere inlichtingen: Secretariaat WLO, Postbus 23, 6700 AA Wageningen, telefoon 085 - 54 68 67.