

Regeling van actief-slibinstallaties op basis van respiratiemetingen

1. Inleiding

In de komende jaren zal er behoefte zijn compacte installaties voor de verwijdering van zuurstofbindende stoffen [Van Starckenburg, 1988]. Bovendien zullen volgens het Nationaal Milieubeleidsplan in deze installaties strengere lozingsnormen voor stikstof en fosfaat gerealiseerd moeten worden. Beide behoeften zullen volgens ons een grotere inspanning op het gebied van on-line meten en regelen met zich meebrengen dan tot op heden gebruikelijk was. Dit hangt samen met de variaties in



A. KLAPWIJK, Vakgroep milieutechnologie (voorheen Waterzuivering) Landbouwuniversiteit Wageningen



H. SPANJERS, Vakgroep milieutechnologie (voorheen Waterzuivering) Landbouwuniversiteit Wageningen



H. TEMMINK, Vakgroep milieutechnologie (voorheen Waterzuivering) Landbouwuniversiteit Wageningen

de samenstelling en de hoeveelheid afvalwater. In een compacte installatie kan alleen aan de lozingsnormen voor zuurstofbindende stoffen, stikstofverbindingen en fosfaat worden voldaan, wanneer op basis van on-line metingen de aanvoer van afvalwater en de verwerkingscapaciteit van de installatie op elkaar afgestemd worden. De strengere lozingsnormen voor stikstof- en fosfaatverbindingen brengen met zich mee dat verschillende, relevante processen (bijv. nitrificatie, denitrificatie, aërobe mineralisatie enzovoort) geoptimaliseerd moeten worden.

In dit artikel wordt ingegaan op de vraag welke bijdrage een continue respiratiemeter¹, ontwikkeld door de vakgroep Milieutechnologie (voorheen Waterzuivering) van de Landbouwuniversiteit Wageningen, kan leveren aan het meten aan en regelen van actief-slibinrichtingen. Eerst presenteren we de respiratiemetingen waarmee het actief-slibproces te karakteriseren is. Daarna behandelen we een aantal te regelen grootheden en de te gebruiken meet- en regelstrategieën. In de discussie wordt ingegaan op de vraag hoe

Samenvatting

Regeling van actief-slibinstallaties staat nog in de kinderschoenen door het ontbreken van adequate on-line meetapparatuur. Met een continue respiratiemeter is een aantal belangrijke actief-slibparameters zoals actuele respiratiesnelheid en maximale respiratiesnelheid te meten. De vraag in hoeverre regeling van actief-slibinstallaties op basis van respiratiemetingen mogelijk is, wordt aan de orde gesteld.

Voorgesteld wordt de volumebelasting en de zuurstofinbreng te optimaliseren door:

1. regeling van de maximale respiratiesnelheid door sturing van het spuidebiet;
2. regeling van de actuele respiratiesnelheid door sturing van het influentdebiet;
3. regeling van de zuurstofconcentratie met gebruikmaking van de actuele respiratiesnelheid door sturing van het beluchtingsdebiet.

een integrale regeling van de actief-slibinstallatie met een continue respiratiemeter er uit zal zien.

2. Meting van de respiratiesnelheid

Respiratiesnelheden kunnen worden gemeten met een apparaat (afb. 1), dat bestaat uit een gesloten, volledig gemengd respiratievat (R) waardoor met behulp van een pomp (P) continu actief slib gevoerd wordt. Door een zuurstofsensoren (Z) wordt periodiek de zuurstofconcentratie gemeten in de ingaande en in de uitgaande stroom van het respiratievat. Omkering van de stroomrichting van het actief slib is noodzakelijk om met één sensor zowel de ingaande als de uitgaande stroom te meten. Deze omkering gebeurt met behulp van een kleppensysteem. De respiratiesnelheid wordt elke minuut berekend uit de massabalans van zuurstof over het respiratievat [Spanjers & Klapwijk, 1990b].

Om het actief-slibproces te karakteriseren, worden vijf verschillende respiratiesnelheden gemeten (afb. 2).

De basisrespiratiesnelheid (r_{bas}) wordt gedefinieerd als de zuurstofverbruikssnelheid van actief slib uit de aërietank dat gedurende een gemiddelde hydraulische verblijftijd van 1,5 uur zonder aanvoer van substraat is belucht in een

propstroomreactor. In de praktijk is deze verblijftijd voldoende om de Snel-Biodegradeerbare-Stoffen (SBS) volledig te elimineren.

De momentane respiratiesnelheid (r_{mom}) wordt gedefinieerd als de zuurstofverbruikssnelheid van actief slib dat direct vanuit de aërietank naar het respiratievat stroomt. Deze snelheid is lager dan de zuurstofverbruikssnelheid in de aërietank: de actuele respiratiesnelheid. De absolute waarde van r_{mom} hangt af van de gemiddelde hydraulische verblijftijd in het respiratievat.

De actuele respiratiesnelheid (r_{akt}) wordt gedefinieerd als de zuurstofverbruikssnelheid in de aërietank. Deze snelheid wordt gemeten door de slibbelasting van het respiratievat gelijk te maken aan de slibbelasting van de volledig gemengde aërietank. Daartoe moet het influent dat naar het respiratievat stroomt voldoen aan [Spanjers & Klapwijk, 1990b]:

$$Q_{aw} - Q_{in} \cdot V_{res}/V_{at}$$

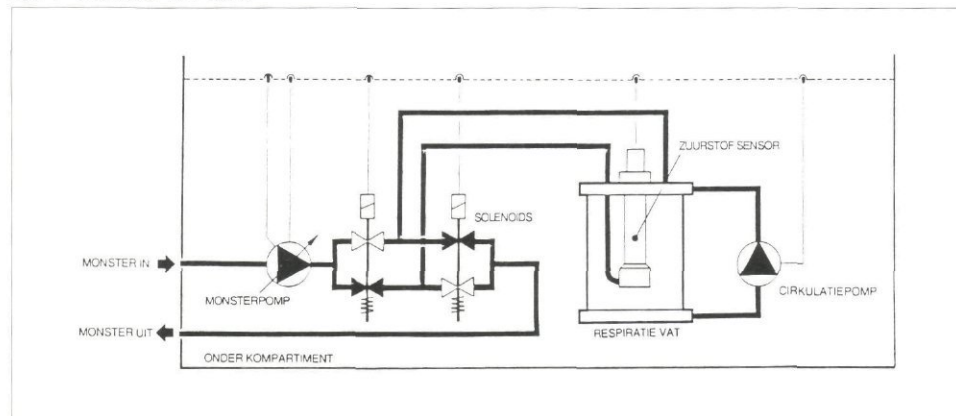
$$Q_{aw} - \text{afvalwaterdebiet naar respiratievat (m}^3\text{h}^{-1}\text{)}$$

$$Q_{in} - \text{influente debiet (m}^3\text{h}^{-1}\text{)}$$

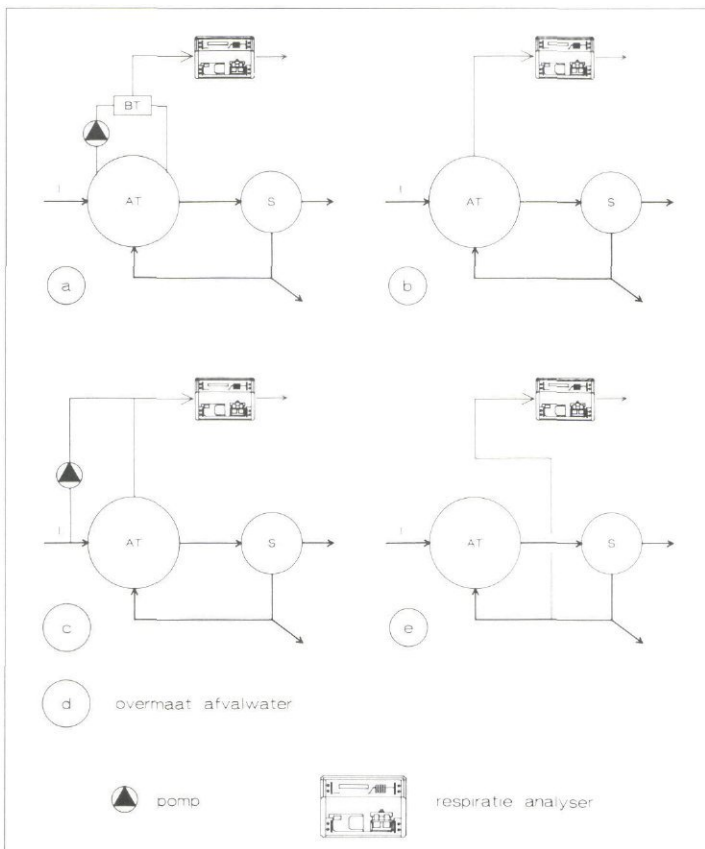
$$V_{res} - \text{volume respiratievat (m}^3\text{)}$$

$$V_{at} - \text{volume aërietank (m}^3\text{)}$$

Afb. 1 - Flowsheet RA-1000.



¹ Deze respiratiemeter (RA-1000) is verkrijgbaar bij Manotherm bv, Welplaathoek 20, 33197 KP Rotterdam.



Afb. 2 - Meting van vijf verschillende respiratiesnelheden.

a. basisrespiratiesnelheid (r_{bas})
 b. momentane respiratiesnelheid (r_{mom})
 c. actuele respiratiesnelheid (r_{akt})
 d. maximale respiratiesnelheid (r_{max})
 e. respiratiesnelheid retourslib (r_{ret})
 AT = aëratietank, I = influent, BT = Bijvat, R = respiratievat, S = nabezinker.

Bij de afleiding van (2) en (3) is verondersteld dat de kinetiek van de oxydatie van SBS met een halfdeordemodell te beschrijven is.

3. Regeling van actief-slibinstallaties

Een actief-slibinrichting heeft tot doel het zo goed mogelijk elimineren van BZV (organische stoffen en Kjeldahl-stikstof) uit het afvalwater. Dit doel is te realiseren door een actief-slibinrichting te regelen. Hierbij wordt rekening gehouden met de volgende voorwaarden:

1. minimaal energieverbruik voor de beluchting;
2. maximale volumebelasting;
3. actief slib met goede bezinkeigenschappen;
4. handhaven van bepaalde bacteriegroepen.

Regeling houdt in, dat er een of meer grootheden op een ingestelde waarde gehouden worden. In een actief-slibinrichting zijn de volgende regelgrootheden te gebruiken:

1. zuurstofconcentratie in de aëratietank;
2. slibbelasting;
3. slibleeftijd;
4. actuele respiratiesnelheid;
5. maximale respiratiesnelheid;
6. momentane respiratiesnelheid.

De regelgrootheden zijn te beïnvloeden door de volgende stuurvariabelen:

1. het zuurstofinbrengvermogen (luchtdebiet of toerental oppervlaktebeluchter of aantal beluchters);
2. het influentdebiet in geval er een mogelijkheid voor opslag is;
3. het spuidebiet.

In de volgende paragrafen behandelen we achtereenvolgens de verschillende regelgrootheden en de manier waarop deze grootheden door sturing te regelen zijn en welke grootheden gemeten moeten worden. Een overzicht van deze regelingen staat in tabel I.

3.1 Regeling zuurstofconcentratie

Minimalisatie van de energiekosten voor beluchten is de belangrijkste reden om tot regeling van de zuurstofconcentratie over te gaan. Bij de vraag wat de instelwaarde voor de regeling moet zijn spelen de volgende overwegingen een rol:

1. Om de oxydatie in stand te houden moet erin de bulkvloei stof een bepaalde minimale zuurstofconcentratie heersen. De nitrificatie bijvoorbeeld neemt af als de concentratie beneden 1 à 1,5 g m⁻³ komt.
2. Voor een optimaal zuurstofinbrengrendement moet de zuurstofconcentratie zo laag mogelijk zijn.
3. Er zijn aanwijzingen dat de periodieke verandering van de zuurstofconcentratie een gunstig effect heeft op de bezink-

De maximale respiratiesnelheid (r_{max}) wordt gedefinieerd als de zuurstofverbruiksnelheid van actief slib met een overmaat aan SBS. Deze snelheid wordt gemeten door het respiratievat te doorstromen met actief slib en met afvalwater. Het is vastgesteld, dat onder normale omstandigheden bij huishoudelijk afvalwater er sprake is van een overmaat SBS, wanneer de verhouding afvalwaterstroom/ actief-slibstroom ten minste 0,03 bedraagt [Spanjers & Klapwijk, 1990b].

De respiratiesnelheid van het retourslib (r_{ret}) wordt gedefinieerd als de respiratiesnelheid van actief slib in de retourleiding. Deze snelheid wordt gemeten door actief slib uit de retourleiding via een tussenbeluchter door het respiratievat te laten stromen. Bij een goed werkende actief-slibinrichting, dat wil zeggen met een verwaarloosbare SBS-effluentconcentratie, zal de respiratiesnelheid van het retourslib gelijk zijn aan de basisrespiratiesnelheid van het actief slib in de retourleiding.

Het Korte-Termijn-Biochemisch-Zuurstof-Verbruik (BZV_{KT}) wordt gedefinieerd als de totale hoeveelheid zuurstof die het actief slib voor de oxydatie van SBS verbruikt [Vernimmen *et al*, 1967].

Het BZV_{KT} is te berekenen uit drie respiratiesnelheden: de basisrespiratie-

snelheid, de actuele respiratiesnelheid en de momentane respiratiesnelheid [Spanjers & Klapwijk, 1990a]. In deze berekeningen is verondersteld, dat de substraatconcentratie (S), uitgedrukt in BZV_{KT}, niet verandert binnen de meetperiode van één respiratiesnelheid.

BZV_{KT} van het influent (S_{in}):

$$S_{in} = (r_{akt} - r_{bas}) \cdot \frac{V_{at}}{Q_{in}} + S_{ef} \quad (2)$$

waarin:

- Q_{in} - influentdebiet (m³h⁻¹)
 r_{akt} - actuele respiratiesnelheid (kg m⁻³h⁻¹)
 r_{bas} - basisrespiratiesnelheid (kg m⁻³h⁻¹)
 V_{at} - volume actief slib in de aëratietank (m³)
 S_{in} - BZV_{KT} van het influent (kg m⁻³)
 S_{ef} - BZV_{KT} van het effluent (kg m⁻³)

BZV_{KT} van het effluent (S_{ef}):

$$S_{ef} = \frac{(r_{mom} - r_{bas}) \cdot V_{res}}{\left(1 - \frac{(r_{mom} - r_{bas})^2}{(r_{akt} - r_{bas})^2}\right)} Q_{as} \quad (3)$$

waarin:

- Q_{as} - monsterdebiet actief slib (m³h⁻¹)
 r_{mom} - momentane respiratiesnelheid (kg m⁻³h⁻¹)
 V_{res} - volume actief slib in de respiratiemeter (m³)

TABEL I - *Overzicht regelingen actief-slibinstallaties.*

Doelstelling	Regel grootheid	Stuurvariabele	Behandeld in
Minimalisering beluchtingsenergie	DO	zuurstofinbrengvermogen (luchtdebiet of toerental beluchters)	§ 3.1
Optimalisering zuivering	$B_x \left(= \frac{Q_s S}{V_{at} X} \right)$	Niet uitvoerbaar	§ 3.2
Handhaven nitrificatie	$Q_x \left(= \frac{V_{at} r_{bas}}{Q_s r_{ret}} \right)$	Q_s	§ 3.3
Optimalisering slibconcentratie	$\frac{r_{max}}{(r_{akt})_{max}}$	Q_s	§ 3.5
Optimalisering volumebelasting	$\frac{r_{akt}}{r_{max}}$	Q_{in}	§ 3.4
Optimalisering rendement	$\frac{r_{mom}}{r_{bas}}$	Q_{in}	§ 3.5

eigenschappen van het actief slib [Olsson *et al.*, 1985, Hermanowicz, 1987]. In de praktijk wordt de zuurstofconcentratie in de beluchtingstank meestal geregeld met een PI-regelaar [Flanagan, 1977; Holmberg, 1982]. De instelwaarden van zo'n regelaar worden eenmalig bepaald. Echter, door het niet-lineaire en tijdafhankelijke gedrag van de zuurstofhuishouding zijn deze instelwaarden vaak ongeschikt om de zuurstofconcentratie op de gewenste wijze te regelen [Holmberg & Olsson, 1985].

Door verschillende auteurs [o.a. Ko *et al.*, 1982] is daarom een regelaar voorgesteld waarvan de instelwaarden worden aangepast (adaptieve regelaar) op basis van de gemeten zuurstofconcentratie en een model voor de zuurstofhuishouding. Voor het goed functioneren van deze regelaar moet de zuurstofoverdrachtcoëfficiënt of de actuele respiratiesnelheid bekend zijn [Holmberg, 1990]. De meting van de zuurstofoverdrachtscoëfficiënt is gecompliceerd, terwijl de actuele respiratiesnelheid op een eenvoudige wijze met een continue respirometer vast te stellen is. Wij stellen voor de adaptieve regelaar voor de zuurstofconcentratie te verbeteren door met de respirometer continu de actuele respiratiesnelheid te bepalen.

3.2 Regeling slibbelasting

Onder slibbelasting wordt verstaan de hoeveelheid organische stoffen uitgedrukt in kg CVZ of in kg BZV₅ waarmee 1 kg actief slib uitgedrukt in kg droge stof of in kg organische stof per dag belast wordt. De slibbelasting wordt geregeld om een voldoende zuiveringsrendement te realiseren. Om te beoordelen of genoemde regeling hiervoor bruikbaar is, moet bekend zijn of er een eenduidig verband is tussen de slibbelasting en het zuiveringsrendement.

Bezwaar van het CZV en het BZV₅ is dat de relatie van deze variabelen met het actief-slibproces niet eenduidig is. Daarom is het gebruik van deze grootheden bij het regelen van het actief-slibproces aanvechtbaar. De droge-stofconcentratie en de organische-stofconcentratie zijn een maat voor de bacterieconcentratie, maar de relatie met de bacterie-activiteit is niet eenduidig. Vanwege deze problemen mag door het regelen van de slibbelasting geen verbetering van de bedrijfsvoering verwacht worden.

Een ander belangrijk bezwaar is dat de grootheden zoals CZV of BZV₅ en ook droge-stofconcentratie of organische-stofconcentratie niet of nauwelijks on-line te meten zijn.

3.3 Regeling slibleeftijd

In de literatuur wordt regelmatig voorgesteld de slibleeftijd te regelen. De achtergrond van deze aanpak is te zorgen dat bepaalde bacteriën met een groeisnelheid lager dan de reciproke van de slibleeftijd in de aëratietank blijven. Hierbij wordt vooral gedacht aan het handhaven van nitrificerende bacteriën. Voor de regeling van de slibleeftijd is het nodig zowel r_{bas} als r_{ret} te bepalen. Bij een goed werkende aëratietank is r_{ret} de basisrespiratiesnelheid van het actief slib in de retourleiding. De verhouding r_{bas}/r_{ret} is dan gelijk aan de verhouding X_{at}/X_{ret} .

Het spuidebiet kan dus berekend worden uit:

$$Q_s = (V \cdot X_{at}) / (\theta_x \cdot X_{ret}) = (V \cdot r_{bas}) / (\theta_x \cdot r_{ret}) \quad (4)$$

waarin:
 Q_s - spuidebiet ($m^3 h^{-1}$)
 V - volume aëratietank (m^3)
 X_{at} - droge-stofconcentratie aëratietank ($kg m^{-3}$)
 θ_x - slibleeftijd (h)
 X_{ret} - droge-stofconcentratie retourstroom ($kg m^{-3}$)

Met bovenstaande vergelijking wordt het spuidebiet berekend waarmee de slibleeftijd op de gestelde waarde gehouden kan worden. In afb. 3 is een schema opgenomen voor de regeling van de slibleeftijd.

Een andere en betere sturing van het spuidebiet wordt beschreven in par. 3.5.

3.4 Regeling actuele respiratiesnelheid

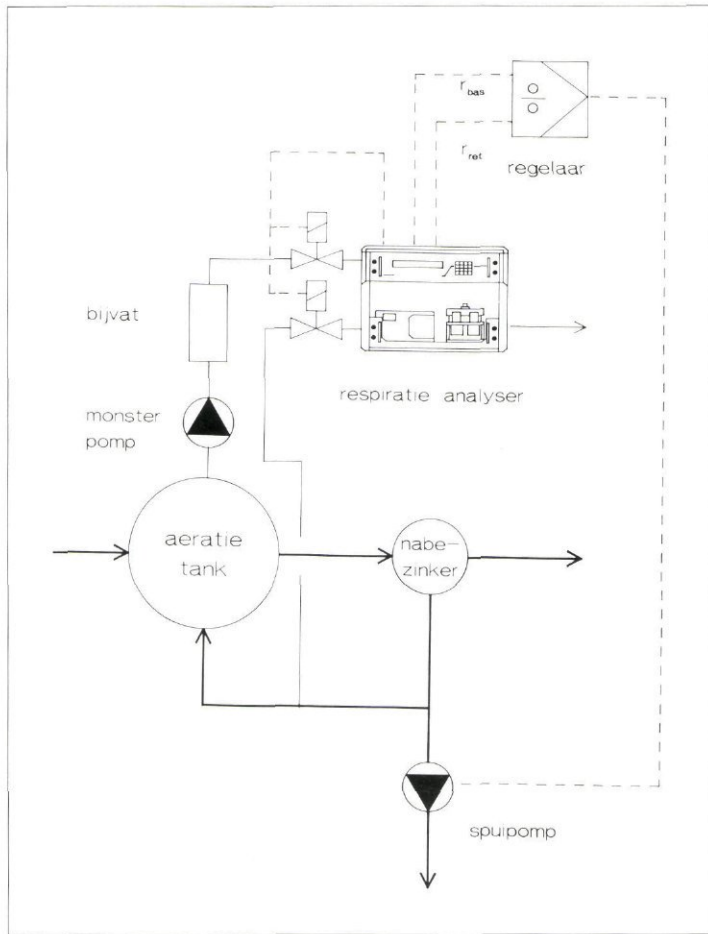
De reden voor het regelen van de actuele respiratiesnelheid is het voorkomen van over- en onderbelasting. Bij overbelasting is het zuiveringsrendement slecht en zullen de effluenteisen niet gehaald worden. Bij onderbelasting werkt de zuivering inefficiënt.

Voordelen van de regeling van de actuele respiratiesnelheid liggen in beperking van het energieverbruik, waarborgen van bepaalde effluentkwaliteit en verlaging van de investeringskosten.

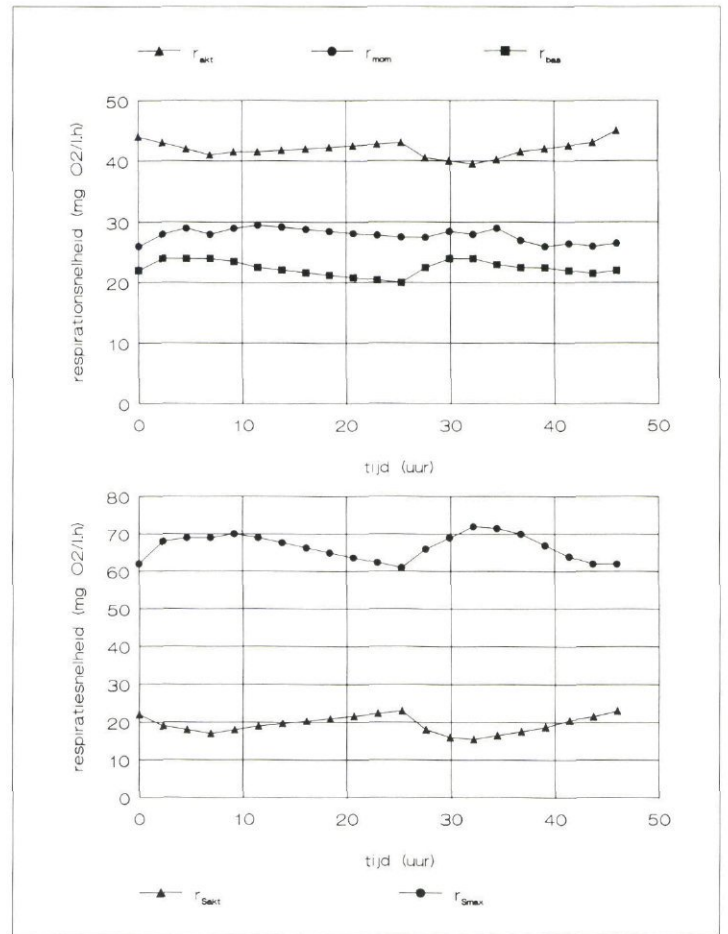
Afb. 4 geeft resultaten van een proefinstallatie met een vrij normale slibbelasting van 0.18 kg CVZ per kg droge stof per dag. Zoals uit afb. 4b blijkt is deze installatie echter onderbelast. De actuele substraatrespiratiesnelheid (r_{sakt}), die wordt gedefinieerd als de hoeveelheid zuurstof die per volume-eenheid van de aëratietank en per tijdseenheid wordt verbruikt voor de oxydatie van SBS is slechts circa 30% van $r_{s_{mas}}$ (dat is r_{sakt} bij overmaat SBS). Dit houdt in dat eenzelfde zuiveringsresultaat met minder actief slib te bereiken is of dat met dezelfde hoeveelheid actief slib meer influent gezuiverd kan worden. Bovendien blijkt uit afb. 4a dat de actuele respiratiesnelheid in die situatie voor circa 50% aan de basisademhaling en voor circa 50% aan de substraatademhaling toe te schrijven is. Bij een hogere slibbelasting zal de basisrespiratiesnelheid een geringer percentage van de actuele respiratiesnelheid innemen. Het totale zuurstofverbruik per m^3 afvalwater zal dan afnemen.

Regeling van de actuele respiratiesnelheid wordt nog niet uitgevoerd, aangezien de meting van de actuele respiratiesnelheid niet mogelijk was. De door ons ontwikkelde respiratiesnelheid is wel in staat de actuele respiratiesnelheid te meten. De actuele respiratiesnelheid alleen is niet voldoende om te kunnen vaststellen of er sprake is van over- of onderbelasting.

Naast de actuele moet ook de maximale respiratiesnelheid worden bepaald. Bij welke verhouding tussen de actuele en maximale respiratiesnelheid er sprake is van over- of onderbelasting is punt van onderzoek. Voor regeling van de actuele respiratie-



Afb. 3 - Schema van een actief-slibinrichting met een regeling van de slibleef tijd.



Afb. 4 - a. r_{nom} , r_{akt} en r_{bas} van actief slib uit een actief-slibinrichting.
 b. De maximale en de actuele substratrespiratiesnelheid van actief slib uit een actief-slibinrichting (ontleend aan Spanjers & Klapwijk, 1987).

snelheid door sturing van het influent-debiet moet men beschikken over een opslagbassin of een rioolstelsel met opslagcapaciteit. Bij afvalwater met een hoge, maar variërende BZV_{KT} zal het al gauw de moeite lonen om met een opslagbassin te werken. Bij afvalwater met lage en variërende BZV_{KT} zal per geval bekeken moeten worden of de sturing van het influentdebiet al of niet voordeliger is dan de sturing van het spuidebiet. Brueck *et al* [1981] beschrijft een monitor en regelsysteem voor het afvlakken en sturen van het afvalwaterdebiet. In combinatie met een continue respiatiemeter is deze aanpak bruikbaar voor het afvlakken van de BZV_{KT}-belasting.

Voor een sturing van het influentdebiet zal proefondervindelijk een optimale waarde voor r_{akt} vastgesteld worden die als instelwaarde gaat dienen. Hiertoe zal experimenteel vastgesteld worden bij welke verhouding van r_{akt} en r_{max} nog steeds optimale zuivering plaatsvindt. Bijstelling van het influentdebiet (afb. 6) gebeurt wanneer er een afwijking van de ingestelde r_{akt} optreedt.

3.5 Regeling maximale respiratiesnelheid

Het doel van regelen van de maximale respiratiesnelheid is het zorgdragen voor voldoende actief slib in de aërietank die nodig is voor de behandeling van de hoogste BZV_{KT}-belasting.

De hoeveelheid actief slib is op een eenvoudige manier op de aanvoer van BZV_{KT} af te stemmen wanneer de aanvoer van BZV_{KT} min of meer constant is. Proefondervindelijk kan worden vastgesteld bij welke waarde voor r_{max}/r_{akt} het zuiveringsrendement optimaal is. Deze waarde is de instelwaarde. Wanneer de meetwaarde afwijkt van de instelwaarde wordt door de spuipomp de massa actief slib in de aërietank verlaagd totdat de instelwaarde weer bereikt is (afb. 5).

Bij een variatie van de BZV_{KT}-aanvoer is er een variërende hoeveelheid actief slib nodig. Bij een daling van de BZV_{KT}-aanvoer is verlaging van de hoeveelheid slib door spuien van slib zonder moeite te bereiken. Maar wanneer er vervolgens meer actief slib nodig is omdat de BZV_{KT}-aanvoer toeneemt, is er een probleem. Er

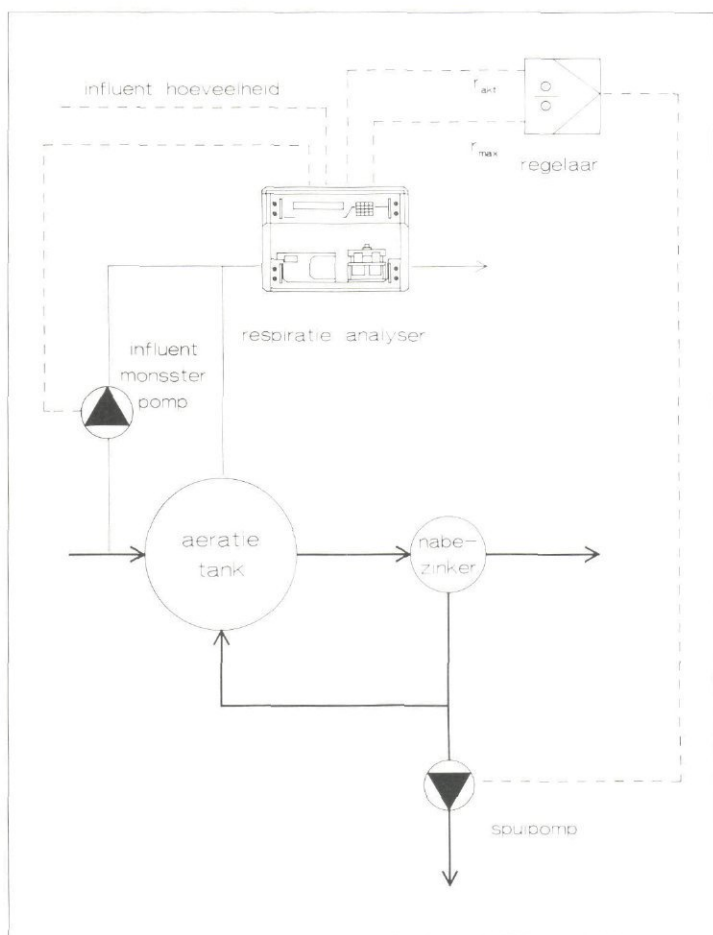
is een tekort aan slib, want de natuurlijke aangroei zal niet toereikend zijn. Eigenlijk is er in de voorgaande periode met een daling van de BZV_{KT}-aanvoer teveel actief slib gespuid.

Bij een variërende BZV_{KT}-aanvoer moet de hoeveelheid actief slib in de actief-slibinrichting zo hoog zijn, dat een belastingpiek nog net verwerkt kan worden. In een dergelijke situatie is het nodig de variatie in de BZV_{KT}-aanvoer statistisch vast te stellen. Ook is het nodig vast te stellen welke overschrijding nog te accepteren is. Sturing van het spuidebiet vindt plaats op basis van de verhouding tussen r_{max} en r_{akt} bij de maximaal te verwachten BZV_{KT}-aanvoer.

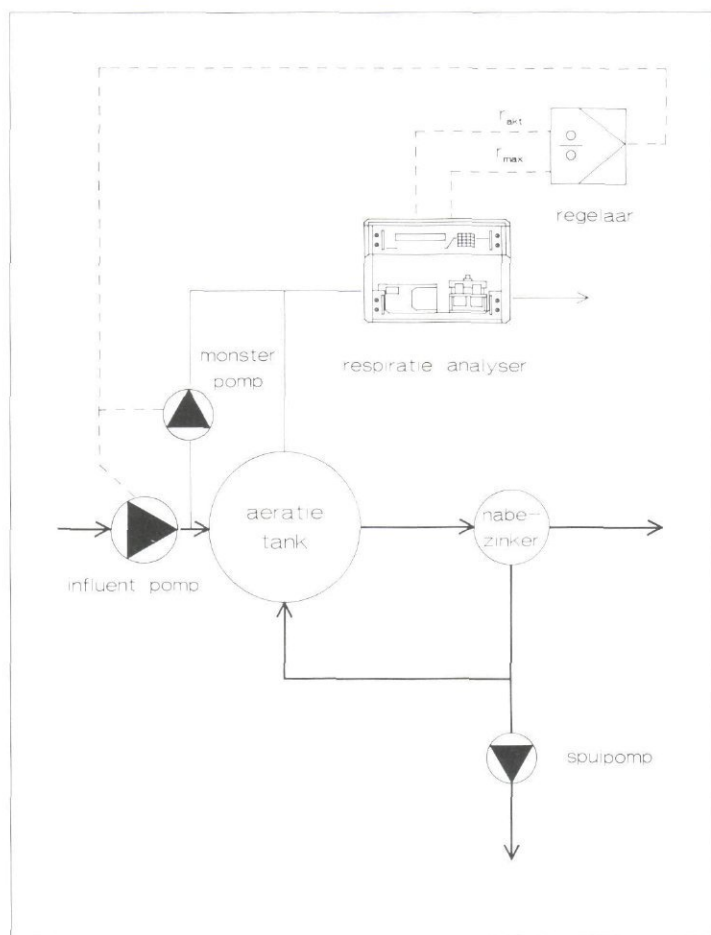
De instelwaarde is:

$$\left(\frac{V_{at} \cdot r_{ax}}{Q_{in} \cdot r_{akt}} \right)_{max} \quad (5)$$
 Bij een afwijking van de instelwaarde wordt actief slib gespuid.

Regeling van de actuele respiratiesnelheid door sturing van het spuidebiet is bij een variërende BZV_{KT}-aanvoer niet optimaal omdat de inrichting meestal onderbelast werkt.



Afb. 5 - Schema van een actief-slibinrichting met een regeling van de verhouding tussen actuele en maximale respiratiesnelheid door sturing van het spuidebiet.



Afb. 6 - Schema van een actief-slibinrichting met een regeling van de actuele respiratiesnelheid door sturing van het influentdebiet.

3.6 Regelen van de momentane respiratiesnelheid

Bij het regelen van de actuele respiratiesnelheid is impliciet aangenomen dat, bij de gekozen instelwaarden, het effluent voldoet aan de gestelde normen. Wanneer de eigenschappen van het actief slib veranderen kan er een situatie ontstaan waarbij daaraan niet meer voldaan wordt. Om problemen door veranderingen in slibeigenschappen te voorkomen, is het gewenst de SBS-concentratie in het effluent te vergelijken met de gestelde norm.

Informatie over de SBS-concentratie in het effluent is te verkrijgen uit de meting van r_{mom} . De meting van r_{mom} vindt plaats met actief slib dat direct uit de aëratietank komt. Bij een goed werkend proces zal deze respiratiesnelheid vrijwel gelijk zijn aan de basisrespiratiesnelheid. r_{mom} neemt toe wanneer er in het actief slib SBS aanwezig zijn; dat wil zeggen wanneer de zuivering niet meer optimaal verloopt (afb. 7). Op basis van de metingen van r_{mom} en r_{bas} kan vastgesteld worden of de waterzuivering nog steeds optimaal is.

Een verhouding r_{mom}/r_{bas} groter dan een nog nader vast te stellen waarde geeft aan dat de effluentkwaliteit niet meer voldoet. Op basis hiervan vindt sturing van het influentdebiet plaats.

4. Discussie

In de voorgaande paragrafen is een aantal regelingen voor het actief-slibproces besproken. In deze discussie gaan we in op de relatie tussen de verschillende regelingen. Ook komt de vraag aan de orde hoe een integrale regeling opgezet kan worden.

In tabel I staat een overzicht van de regelmogelijkheden bij een actief-slibinrichting die in dit artikel besproken zijn. Het doel van de regeling kunnen we omschrijven als:

- het realiseren van een optimale actief-slibconcentratie;
- zuiveren van zoveel mogelijk afvalwater per volume-eenheid aëratietank;
- waarin zo weinig mogelijk lucht doorgeblazen wordt;
- terwijl altijd voldaan moet worden aan de lozingsisen.

Eerst bekijken we de doelstelling om een optimale actief-slibconcentratie in de aëratietank te verkrijgen. De actief-slibconcentratie is te sturen met het spuidebiet. De geregelde grootte in ons voorstel is de verhouding $r_{max}/(r_{akt})_{max}$. Hierin is r_{max} de operationele definitie van de actief-slibconcentratie. Door r_{max} te regelen op een bepaalde verhouding met de maximaal te verwachten r_{akt} bij een BZV_{KI}-piekbelasting wordt voor een optimale actief-slibconcentratie gezorgd. De regeling van r_{max} is beschreven in par. 3.5 (tabel I, nr. 3).

In actief-slibinstallaties voor huishoudelijk afvalwater treedt een sterke variatie op in BZV_{KI}-aanvoer. Er is een duidelijk dag- en nachtritme. In een dergelijke situatie is er bij toepassing van een regeling voor r_{max} sprake van periodieke onder- en overbelasting. Over- en onderbelasting is te voorkomen door de verhouding r_{akt}/r_{max} te regelen en op grond van deze regelgrootte het influentdebiet te sturen (par. 3.4, tabel I, nr. 1). Bij voorkeur moet deze regeling in samenhang met de regeling van r_{max} uitgevoerd worden. Wel verdient het

aanbeveling voor r_{max} dan niet de gemeten r_{max} te nemen, maar de instelwaarde van de regeling van r_{max} . De derde regeling is de regeling van de zuurstofconcentratie in de aëratietank door sturing van de beluchting. De hiervoor al in gebruik zijnde methoden kunnen verbeterd worden door uit de actuele respiratiesnelheid de zuurstofinbrengconstante te bepalen (par. 3.1.). Ter verificatie van de doelstelling dat altijd aan de lozings-eisen voldaan moet worden is een regeling van r_{mom} wenselijk (par. 3.6.).

Zowel de regeling van r_{max} als van r_{akt} hebben feitelijk ten doel het minimaliseren van de totale massa actief slib die constant beschikbaar moet zijn voor de zuivering. Bij de regeling van r_{akt} staat de optimale benutting van de aanwezige massa actief slib voorop. Regeling van r_{max} beoogt de massa actief slib aan te passen aan de maximaal te verwachten belasting. Door beide regelingen samen toe te passen worden de effecten van de afzonderlijke regelingen versterkt. De regeling van de zuurstofconcentratie beoogt tenslotte minimaliseren van de beluchtingsenergie. Ook deze regeling is het meest effectief wanneer door beide

voorgaande regelingen de zuurstofbehoefte eerst geoptimaliseerd is. Toepassingsmogelijkheden voor de hier besproken regelingen liggen in elk geval bij installaties:

- die overbelast zijn of dat dreigen te worden;
- waar een grotere anoxische zone geïnstalleerd moet worden om een hogere N-verwijdering te krijgen;
- die niet of niet altijd goede effluentkwaliteit geven en
- waar het jaarlijkse energieverbruik hoog is.

In dit artikel is niet ingegaan op bewaking van de installatie voor toxische lozingsen. Dit is al behandeld door Temmink *et al* [1990]. De daar voorgestelde bewaking kan in samenhang met de hier voorgestelde regelingen uitgevoerd worden.

5. Conclusies

Een integrale regeling van een actief-slibinrichting met een continue respiratiemeter bestaat uit drie onderdelen:

1. een regeling van de maximale respiratiesnelheid door sturing van het spuidebiet;
2. een regeling van de actuele respiratiesnelheid door sturing van het influent-debiet;

3. een regeling van de zuurstofconcentratie door sturing van het beluchtingsdebiet. Door de eerste twee regelingen wordt de actief-slibconcentratie geoptimaliseerd, waardoor bij gelijkblijvende actief-slibconcentratie het voor zuivering benodigde volume aëratietank verkleind wordt. Door de derde regeling wordt het energieverbruik voor beluchten geoptimaliseerd.

Literatuur

Brueck, T. M., Knudsen, D. I. en Peterson, D. F. (1981). *Automatic computer-based control of a combined sewer system*. Wat. Sci. Techn., 13, p 103-109.

Flanagan, M. J., Bracken, B. D. en Roesler, J. F. (1977). *Automatic dissolved oxygen control*. Proc. Am. Soc. Civil Engineers, J. of the Environment Engineering Division, EE4 103, p 707-722.

Hermanowicz, S. W. (1987). *Dynamic changes in populations of the activated sludge community: effects of dissolved oxygen variations*. Wat. Sci. Techn., 19, p 889-895.

Holmberg, A. (1982). *Modelling of the activated sludge process for microprocessor-based state estimation and control*. Water Res., 16, p 1233-1246.

Holmberg, U. (1990). *On the identifiability of dissolved oxygen contraction dynamics*. Proc. of the 5th IAWPRC workshop on Instrumentation and automation of water and wastewater treatment and transport systems. Yokohama/Kyoto 26 July-3 August, 1990.

Ko, K. Y., McInnis, B. C. en Goodwin, G. C. (1982). *Adaptive control and identification of the dissolved oxygen process*. Automatica, 18, p 727-730.

Olsson, G., Rundqwist, L., Eriksson, L. en Hall, L. (1985). *Self-tuning control of the dissolved oxygen concentration in activated sludge systems*. In R.A.R. Drake (ed.). *Instrumentation and control of water and waste water treatment systems*, p 473-480.

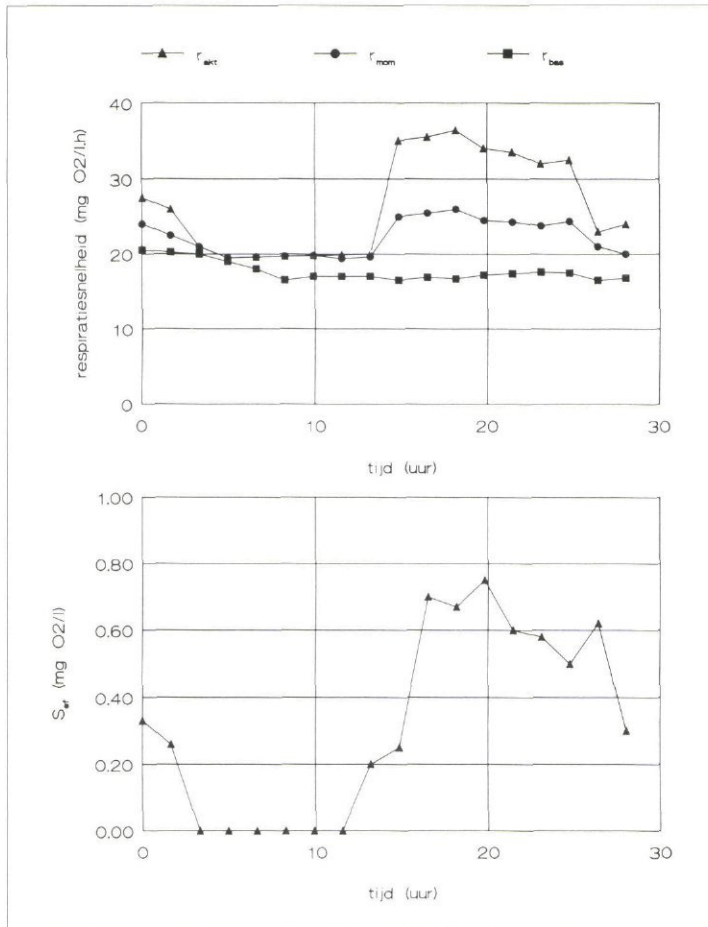
Spanjers, H. en Klapwijk, A. (1990a). *On-line meter for respiration rate and short-term biochemical oxygen demand in the control of the activated sludge process*. Proc. of the 5th IAWPRC workshop on instrumentation, control and automation of water and wastewater treatment and transport systems. Yokohama/Kyoto 26 July-3 August, 1990.

Spanjers, H. en Klapwijk, A. (1990b). *Dynamiek van het zuurstofverbruik in actief-slibsystemen gemeten met de Wazu-respiratiemeter*. Vakgroep Milieutechnologie, Landbouwniversiteit Wageningen, 35 p.

Starkenburger, W. van (1988). *Een eeuw zuiveren van afvalwater*. H₂O (21) 1988, p. 289-291.

Temmink, H., Spanjers, H. en Klapwijk, A. (1990). *Toepassing van een continue respiratiemeter bij toxiciteitstesten voor actief slib*. H₂O (23) 1990, p. 538-545.

Vernimmen, A. P., Henken, E. R. en Lamb, J. C. (1967). *A short-term biochemical oxygen demand test*. Journal Water Pollut. Control Fed., 39, p. 1006-1020.



Afb. 7 - a. r_{akt} , r_{mom} en r_{bas} als functie van de tijd;
 b. BZVKI-effluent als functie van de tijd.
 (Ontleend aan Spanjers & Klapwijk, 1990b).

