

# Anaërobe behandeling van rioolwater bij lage temperaturen

## Inleiding

Anaërobe zuivering van ruw rioolwater mag zich in toenemende belangstelling verheugen. De redenen hiervoor zijn de lage slib-productie, de geringe energiebehoefte van het proces en de technische eenvoud van de anaërobe installaties. Anaërobe rioolwater-zuivering zou een economisch aantrekkelijk alternatief kunnen zijn voor nieuw te bouwen of te renoveren rioolwaterzuiveringsinstallaties [1, 2]. Inmiddels is reeds met een aantal typen anaërobe reactoren als contacttank, anaëroob filter, attached anaerobic film expanded bed en fluidbed reactoren ervaring opgedaan [3].



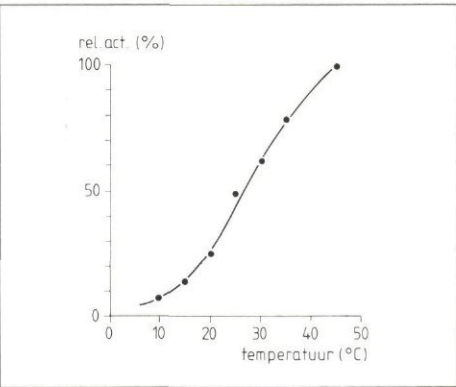
IR. A. W. A. DE MAN



DR. IR. G. LETTINGA

Vanaf 1976 is aan de Landbouwniversiteit te Wageningen de toepasbaarheid van het UASB-proces (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) voor de behandeling van ruw huishoudelijk afvalwater onderzocht. In eerste instantie was dit bij een constante temperatuur van 20 °C, later bij omgevingstemperaturen van 5-20 °C. Over de opstart en werking van een vlokkelig-slibreactor (6 m<sup>3</sup>) werd reeds gerapporteerd [4, 5]. Als entmateriaal werd slijkgistingsslib gebruikt. Op basis van de resultaten van dit onderzoek bij 20 °C is in 1983 in samenwerking met het ingenieursbureau Haskoning een 64 m<sup>3</sup> pilot-scale onderzoek gestart in Cali, Colombia [6]. Bij korte hydraulische verblijftijden bleken hier hoge zuiveringsrendementen haalbaar (zie tabel I). Na 1983

Afb. 1 - Verloop specifieke activiteit van korrelslib als functie van de temperatuur bepaald in batch-experimenten.



is het onderzoek in Wageningen toegespitst op de toepasbaarheid van het proces onder Nederlandse klimatologische condities. Gezien de sterke temperatuursafhankelijkheid van de activiteit van methaanbacteriën is het voor een goede werking van het systeem noodzakelijk dat er voldoende actief anaëroob slib in de reactor kan worden vastgehouden en dat het slib-water contact goed is. De activiteit van methaanbacteriën bij 5, 10 en 20 °C bedraagt respectievelijk circa 5, 7 en 50% van de activiteit bij 30 °C [7].

Afb. 1 geeft resultaten weer van activiteitsmetingen met korrelslib gekweekt op aardappelzetmeel afvalwater bij temperaturen van 10-45 °C. De experimenten zijn uitgevoerd met korrelslib omdat dit slib een hoge specifieke activiteit, een hoog droge-stofgehalte en goede bezinkeigenschappen heeft. De onderzoeksresultaten verkregen met een 0,12, 6 en een 20 m<sup>3</sup> korrelslib UASB-reactor zijn reeds eerder gepubliceerd [1, 8].

Tabel I geeft een overzicht van relevante experimentele resultaten met huishoudelijk afvalwater in de proefhal van de vakgroep waterzuivering te Bennekom alsmede van de 64 m<sup>3</sup> UASB-experimenten in Colombia. Ervaringen opgedaan met een 120 liter korrelslib UASB-reactor wezen uit dat bij temperaturen hoger dan 13 °C zuiveringsrendementen haalbaar zijn van 57-72% bij hydraulische verblijftijden van 4-8 uur. Bij temperaturen lager dan 10 °C was het noodzakelijk de verblijftijd tot 14 uur te verhogen. De belangrijkste opschalingsproblemen van het UASB-proces betreffen: verminderd slib-water contact en relatief hoge uitspoeling van gesuspendeerd

materiaal als gevolg van de verhoogde oppervlaktebelastingen in hogere reactoren. Om die redenen moeten bij de grotere reactoren (6 m<sup>3</sup> en 20 m<sup>3</sup>) langere hydraulische verblijftijden toegepast worden. Bij anaërobe behandeling van rioolwater wordt uiteraard gestreefd naar een vergaande verwijdering van opgeloste en gesuspendeerd stof en naar stabilisatie van het ingevangen slib. Het afgevangen slib accumuleert voor- namelijk in een vlokkelige sliblaag boven het korrelbed. Het gevormde surplus-slib kan hierdoor min of meer selectief worden afgelaten. Voor het bereiken van een voldoende slibstabilisatie zijn met name bij temperaturen lager dan 10 °C zeer lange slib-verblijftijden vereist: meer dan 100 dagen. Belangrijk in dit verband is het derhalve dat de slibuitspoeling uit de desbetreffende sliblaag gering is en dat het droge-stofgehalte hier voldoende hoog is. Het doel van het lopende onderzoek is te komen tot het vaststellen van goede dimensioneringsgrondslagen voor een anaërobe reactor en de juiste bedrijfsvoering hiervan, zodat er een zo vergaand mogelijke zuivering plaatsvindt onder Nederlandse klimatologische condities. Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het project anaërobe zuivering van huishoudelijk afvalwater. Participanten zijn het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, de firma Paques B.V. en de Landbouwniversiteit. Voor dit project is 60% subsidie verkregen uit het interdepartementaal fonds voor Schone Technologie-water, een samenwerkingsverband van de Ministeries Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Verkeer en Waterstaat, Economische Zaken

Tabel I - Overzicht resultaten van experimenten met ruw rioolwater in pilot-scale vlokkelig slib en korrelslib UASB-reactoren uitgevoerd in de proefhal Bennekom en in Colombia.

| Reactor        | Hoogte | Rioolwater   | HVT                   | Oppervlaktebelasting | Temp.  | Influent CZV | CZV-reductie tot. opg. | CZV/slib-soort                    | Lit.                   |
|----------------|--------|--------------|-----------------------|----------------------|--------|--------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| m <sup>3</sup> | m      |              | u                     | m/u                  | °C     | mg/l         | %                      | BZV <sub>s</sub> K.S <sup>b</sup> | V.S. <sup>c</sup> ref. |
| 6              | 3.3    | Be           | 9-12                  | 0.28-0.37            | 13-19  | 330- 880     | 54 44 65               | 2                                 | x 8                    |
|                |        |              | 16                    | 0.21                 | 10-12  | 464- 700     | 46 40 57               |                                   | x 8                    |
| 20             | 5.4    | Be           | 10                    | 0.53                 | 15-16  | 221- 996     | 49 41 60               | 2                                 | x 8                    |
|                |        |              | 7.3/12.9 <sup>a</sup> | 0.73/0.41            | 18-19  | 317- 747     | 42 46 41               |                                   | x 8                    |
|                |        |              | 5.4/9.8               | 0.98/0.54            | 17-18  | 210- 904     | 47 37 55               |                                   | x 8                    |
|                |        |              | 4.8/8.6               | 0.62/1.10            | 18-19  | 339- 722     | 49 36 52               |                                   | x 8                    |
| 0.12           | 1.9    | Be           | 7                     | 0.27                 | 16-18  | 525- 700     | 72 59 89               | 2                                 | x 1.8                  |
|                |        |              | 5.5                   | 0.35                 | 16     | 330- 680     | 64 53 77               |                                   | x 1.8                  |
|                |        |              | 4                     | 0.48                 | 13-16  | 94- 880      | 58 38 82               |                                   | x 1.8                  |
|                |        |              | 9-14                  | 0.14-0.21            | 7-8    | 464- 700     | 57 48 72               |                                   | x 1.8                  |
|                |        |              | 8                     | 0.24                 | 8-10   | 297- 751     | 45 43 50               |                                   | x 1.8                  |
| 6              | 3.3    | Be           | 8                     | 0.41                 | 15-19  | 310- 660     | 55 48 60               | 2                                 | x 4.5                  |
|                |        |              | 8                     | 0.41                 | 11-12  | 340- 550     | 40 40 45               |                                   | x 4.5                  |
|                |        |              | 8                     | 0.41                 | 9.5-10 | 400- 580     | 30 30 40               |                                   | x 4.5                  |
| 64             | 4      | Cali         | 6                     | 0.67                 | 24-26  | 170- 400     | 60-70 50 75            | 2.8                               | x 6                    |
| 35             | 3.6    | Bucar-amanga | 5.2                   | 0.69                 | 23-27  | 424-1.150    | 66 60 70               | 2.2                               | x 9                    |

a. dag- en nachtritme  
b. korrelslib  
c. vlokkelig slib

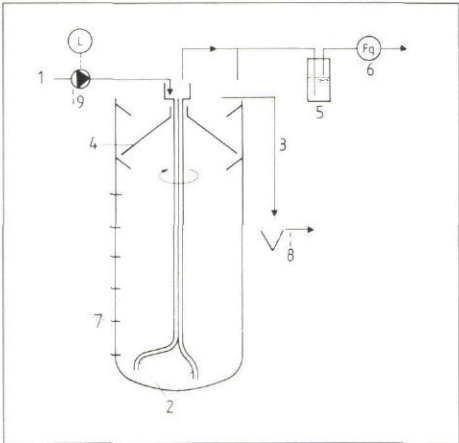


en Landbouw en Visserij. Dit artikel beschrijft de resultaten verkregen met een 20 m<sup>3</sup> korrelslib UASB-reactor op de rwzi Bergambacht. De werking van de reactor werd onderzocht bij temperaturen van 4-18 °C en bij variërende debieten.

Experimenteel

Proefopstelling

De experimenten zijn uitgevoerd met een 20 m<sup>3</sup> reactor met een vloeistofinhoud van 18.5 m<sup>3</sup> (zie afb. 2). De totale hoogte van de reactor bedroeg 5.4 meter bij een interne diameter van 2.5 meter. Het ruwe afvalwater werd onderin het korrelbed gevoerd met



Afb. 2 - Schematische weergave van 20 m<sup>3</sup> proefreactor. 1. aanvoer influent; 2. influent verdeelsysteem; 3. afvoer effluent; 4. driefasenscheider; 5. waterslot; 6. gasmeter; 7. aftapkranen; 8. bemonstering effluent; 9. bemonstering influent.

behulp van een roterend invoersysteem, bestaande uit twee buizen. De rotatiesnelheid was instelbaar tussen 0 tot 0.25 omwentelingen per minuut. Tijdens de gehele proefperiode bedroeg de rotatiesnelheid 0.25 omw. per minuut. De reactor was voorzien van een driefasenscheider. De settler inhoud bedroeg 3.4 m<sup>3</sup>. Over de onderste 3.7 meter waren een 6-tal monstervanen aangebracht op een onderlinge afstand van 60 cm. Het ruwe rioolwater werd met behulp van een pomp opgepompt uit de bestaande influentkelder van de rwzi Bergambacht. Om de praktijksituatie zo nauwkeurig mogelijk na te bootsen werd het influentdebiet van de proefreactor gestuurd op het waterniveau in de influentkelder. Tijdens droogweeraanvoer was 's nachts de aanvoer minimaal en het waterniveau in de put erg laag. Onder deze condities schakelde de pomp uit en de pomptijd bedraagt derhalve 18-20 uur per dag. Bij regenweeraanvoer schakelde de pomp over op rwa-debiet.

Korrelslib

De reactor werd gevuld met 8 m<sup>3</sup> korrelslib met een droge-stofgehalte van 7.0% en een

organisch-stofgehalte van 81%. Dit slib was eveneens gebruikt bij eerdere proefnemingen met huishoudelijk afvalwater in de proefhal te Bennekom. Het slib was oorspronkelijk afkomstig uit de 1.000 m<sup>3</sup> UASB-reactor van de papierfabriek Roermond. De snelheid waarmee het korrelslib de vluchtige vetzuren om kan zetten in methaan (en methanogeen slib), oftewel de methanogene activiteit van korrelslib is bepaald in batch-experimenten bij 5, 20 en 30 °C. Aan 5 gram korrelslib werd een drietal voedingen van 600 mg azijnzuur en 600 mg propionzuur per liter toegediend. De methanogene activiteit is bepaald na de 3e voeding, aangezien het

dwa-debiet toegepast. In de perioden 1 tot en met 4 was de hydraulische verblijftijd (HVT) onder dwa-condities ingesteld op 8.7 uur en in de perioden 5 tot en met 8 was de HVT 11-15 uur. In de perioden 2, 3 en 4 is de reactor afwisselend hydraulisch belast met dwa- en rwa-debiet. Tijdens rwa bedroeg de HVT 3.2 uur. Om overmatige surplus-slib-accumulatie te voorkomen, werd via kraan 6 regelmatig slib afgelaten. De hoeveelheid spui-slib in elke periode is opgenomen in tabel IV samen met de experimentele resultaten.

Tabel II – Specificatie procesomstandigheden in de acht deelperioden.

| Periode | Dagnummers | Temperatuur (°C) | HVT (uur) | CZV-belasting (kg/m <sup>3</sup> /d) | slibbelasting (kg CZV/kg org. stof slib/d) |
|---------|------------|------------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1       | 6- 19      | 16-18            | 8.7       | 0.6                                  | 0.025                                      |
| 2       | 20- 41     | 15-18            | 8.7/3.2   | 0.7                                  | 0.030                                      |
| 3       | 42- 62     | 13-15            | 8.7/3.2   | 0.8                                  | 0.034                                      |
| 4       | 64- 96     | 9-13             | 8.7/3.2   | 0.8                                  | 0.034                                      |
| 5       | 97-110     | 9-11             | 8.7       | 0.9                                  | 0.038                                      |
| 6       | 123-154    | 4- 8             | 12-14     | 0.4                                  | 0.017                                      |
| 7       | 160-211    | 5-10             | 11        | 0.7                                  | 0.030                                      |
| 8       | 257-286    | 13-17            | 15        | 0.9                                  | 0.038                                      |

korrelslib eerst moet adapteren aan de relatief hoge vetzuurconcentraties in de batch-experimenten.

Bemonstering, verrichte analyses en metingen

Het influent en effluent zijn volume-proportioneel bemonsterd. De effluent-bemonstering was echter in proefperiode 2 als gevolg van aanslag in de monsterslang niet betrouwbaar. De verzamelde 24, 48 of 72 uren monsters zijn geanalyseerd op: CZV, BZV<sub>5</sub> (totaal en gefiltreerd), N<sub>kj</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ortho-P, tot-P, zwevende en bezinkbare stof en pH (NEN 3235, 6481, 6479, 6681, 6411). Deze analyses zijn uitgevoerd door het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden. De gasproductie werd bepaald met een natte gasmeter. Vanaf dag 120 is de gasmeting onbetrouwbaar vanwege gaslekkage. De gassamenstelling en de methaan effluentverzadiging werden incidenteel bepaald met behulp van een gaschromatograaf. Dagelijks werd de influent- en effluenttemperatuur gemeten. De samenstelling en de verdere uitgistbaarheid van het spui-slib werden eveneens vastgesteld.

Procesomstandigheden

De proefnemingen zijn gestart in september 1985 en beëindigd in juli 1986. De proefperiode was op te splitsen in 8 deelperioden, waarin de werking van de reactor is vastgesteld onder verschillende procesomstandigheeden. Gegevens over de hydraulische verblijftijd, de temperatuur, de CZV-belasting en de slibbelasting zijn vermeld in tabel II. Tijdens de perioden 1, 5, 6, 7 en 8 is alleen een

Rioolwatersamenstelling

Het rioolwater in Bergambacht wordt aangevoerd via een gecombineerd rioolstelsel. Als gevolg van lekkages in de rioleringen vindt bijmenging van grondwater plaats. De gemiddelde CZV bedroeg 350 mg/l, de CZV/BZV<sub>5</sub> verhouding 3.3 en de opgeloste fractie gemiddeld 37% van de totale CZV. Een en ander wijst erop dat het afvalwater als sterk aangerot kan worden beschouwd.

Resultaten

Activiteitsmetingen

De resultaten van de activiteitsbepalingen met het korrelslib zijn vermeld in tabel III. De specifieke activiteit van het korrelslib is vrijwel gelijk aan die van vlokkig slib uit UASB-reactoren, die eveneens belast werden met rioolwater onder Nederlandse [5] en tropische klimatologische omstandigheden [6]. De gemeten relatieve methanogene activiteit in relatie tot de temperatuur komt overeen met die gevonden door Huser [7]. Om te voorkomen dat het methanogene slib in de winter overbelast wordt, dient de slibbelasting

Tabel III – Resultaten activiteitsmetingen van korrelslib uit de 20 m<sup>3</sup> reactor.

| Temp. (°C) | Activiteit (kg CZV/kg org. stof slib/d) | Rel. act. t.o.v. 30 °C (%) |
|------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| 30         | 0.30                                    | 100 (100)                  |
| 20         | 0.14                                    | 47 ( 50)                   |
| 10         | 0.019                                   | 7 ( 7)                     |
| 5          | 0.013                                   | 4 ( 5)                     |

Waarden tussen ( ) uit lit. 7.

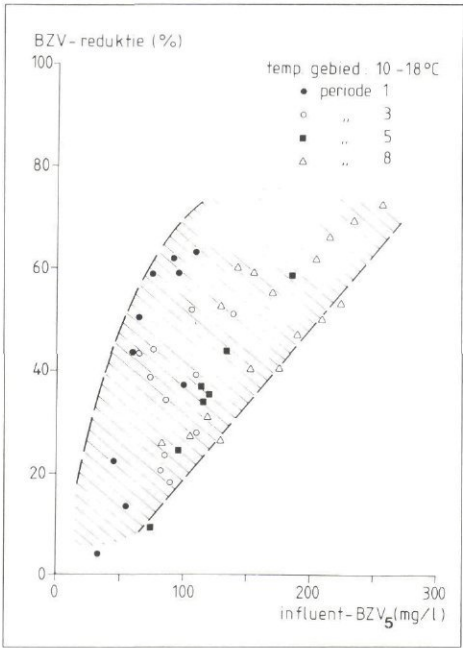


(uitgaande van 50% CZV verwijdering) beneden 0.03-0.04 kg CZV/kg org. stof/dag te blijven. Naast deze lage snelheid van methanogenese zal met name ook de vervloeiing van complexe verbindingen traag verlopen bij lage temperaturen [10].

Zuiveringsrendementen

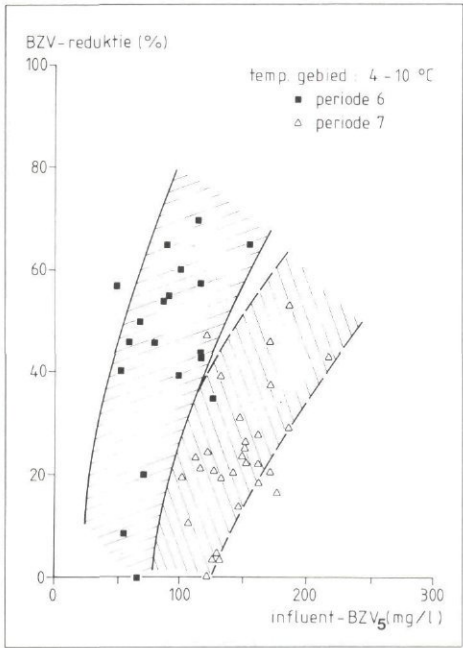
Het zuiveringsrendement blijkt bepaald te worden door de influentconcentratie, de toegepaste (variatie in) hydraulische belasting en slibbelasting, de temperatuur en de hoeveelheid afgelaten vlokkig slib. In tabel IV zijn de gemiddelde BZV<sub>5</sub> en CZV-reducties weergegeven. Er is onderscheid gemaakt in de verwijdering van opgeloste en gesuspendeerde stof. De fractie filtreerbare CZV in het influent bedraagt 30-40% van de totaal CZV. De verwijdering van opgelost CZV blijkt erg laag te zijn, hetgeen gedeeltelijk is toe te schrijven aan de lage opgeloste CZV-waarden (113-169 mg/l) en anderzijds zijn oorzaak vindt in de productie van opgelost CZV als gevolg van vervloeiing van afgevangen gesuspendeerde stof. De overall verwijdering van opgelost CZV bedraagt slechts circa 12% bij temperaturen hoger dan 10 °C. De optredende CZV-reductie was voornamelijk het gevolg van verwijdering van gesuspendeerd stof (zie ook tabel IV), met andere woorden de anaërobe reactor fungeerde min of meer als een voorbezinker.

In afb. 3 en 4 is het gemeten rendement uitgezet als functie van de influent-BZV<sub>5</sub> voor respectievelijk het temperatuurgebied 10-18 °C (perioden 1, 3, 5 en 8) en 4-10 °C (perioden 6 en 7). De resultaten in afb. 3 geven aan dat het rendement stijgt tot maximaal 70% bij toenemende influentconcentratie. Bij influent BZV<sub>5</sub>-waarden lager dan 30 mg/l was het rendement echter vrijwel nul. Gedurende periode 8 was de influentconcentratie aanzienlijk hoger dan gedurende periode 1 en 3, waardoor ook bij 15 °C een relatief hoog gemiddelde BZV<sub>5</sub>-reductie werd bereikt (53%). Ook bij lage



Afb. 3 - BZV<sub>5</sub>-reductie als functie van influent-BZV<sub>5</sub>-waarden voor de perioden 1, 3, 5 (HVT = 8,7 uur) en 8 (HVT = 15 uur) tijdens droogweeraanvoer. Temperatuurtraject: 10-18 °C.

temperaturen (4-10 °C) stijgt het rendement bij toenemende concentratie (afb. 4). De reden dat het rendement in periode 7 aanzienlijk lager uitvalt dan in periode 6, zou te wijten kunnen zijn aan de relatief hoge slibbelasting toegepast in periode 7 (0.03 kg CZV/kg org. stof/dag bij 7 °C). Hierbij moet men tevens bedenken dat als gevolg van kanaalvorming de slibbelasting plaatselijk nog aanzienlijk hoger zal zijn geweest. In periode 6 werd bij een HVT van 12-14 uur een rendement behaald van 51%. Aangezien een relatief groot gedeelte van de influent-CZV in gesuspendeerde vorm voorkomt, bleek het noodzakelijk te zijn regelmatig slib af te laten. Een te geringe slibspui gaf een duidelijk negatief effect op het rendement. Dit speelt met name een rol bij lage temperaturen omdat dan de slib-aanwas hoog is ten gevolge van traag verlopemde slibstabilisatie. Deze slib-



Afb. 4 - BZV<sub>5</sub>-reductie als functie van influent-BZV<sub>5</sub>-waarden voor de perioden 6 (HVT = 12-14 uur) en 7 (HVT = 11 uur). Temperatuurtraject: 4-10 °C.

accumulatie dient tijdig uit de reactor verwijderd te worden om een te grote slibuitspoeling te voorkomen. In periode 7 is te weinig slib gespuid. De resultaten geven tevens aan dat de toegepaste oppervlaktebelasting eveneens in sterke mate bepalend is voor de optredende slibuitspoeling en daarmee ook voor het rendement. Gedurende perioden 3 en 4 zijn variabele hydraulische belastingen toegepast. Deze wijze van procesvoering blijkt zeer nadelig te zijn voor de retentie van de vlokkige sliblaag in de reactor. Verhoging van de oppervlaktebelasting van 0.6 tot 1.7 m/u (overgang dwa naar rwa-debiet) leidt in korte tijd tot zeer sterke expansie van deze sliblaag en dientengevolge tot uitspoeling hiervan. Bij lage oppervlaktebelastingen bedraagt de uitspoeling 60-120 mg CZV/l. Indien bovendien de debietverhoging plaatsvindt na een relatief

Tabel IV – Resultaten proefnemingen.

| Periode | Influent     |               |                         | Effluent    |               |                         | Reducties <sup>a</sup> |         |                      |                      | Gasproductie <sup>c</sup>                        |                                        | spui |
|---------|--------------|---------------|-------------------------|-------------|---------------|-------------------------|------------------------|---------|----------------------|----------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|------|
|         | TSS (mg/l)   | CZV (mg/l)    | BZV <sub>5</sub> (mg/l) | TSS (mg/l)  | CZV (mg/l)    | BZV <sub>5</sub> (mg/l) | TSS (%)                | CZV (%) | CZV <sub>0</sub> (%) | BZV <sub>5</sub> (%) | (Nl CH <sub>4</sub> /kg CZV <sub>ingevoerd</sub> | kg CZV/kg CZV <sub>ingevoerd</sub> (%) |      |
| 1       | 44-130 ( 81) | 168-415 (280) | 33-110 ( 74)            | 21- 77 (43) | 126-205 (170) | 31- 63 ( 40)            | 43                     | 44      | 12                   | 49                   | 140                                              | 22                                     |      |
| 2       | 67-308 (153) | 250-635 (359) | 69-205 (107)            | -           | -             | -                       | -                      | -       | -                    | -                    | 105                                              | 22                                     |      |
| 3       | 70-461 (132) | 250-635 (301) | 61-280 (109)            | 31-283 (80) | 120-470 (234) | 34-145 ( 69)            | 62                     | 24      | 13                   | 37                   | 91                                               | 9                                      |      |
| 4       | 50-335 (154) | 114-535 (332) | 38-175 ( 99)            | 31-351 (76) | 129-595 (234) | 31-150 ( 70)            | 60                     | 28      | 0                    | 26                   | 90                                               | 12                                     |      |
| 5       | 98-242 (151) | 260-590 (389) | 99-185 (119)            | 34- 69 (51) | 190-255 (220) | 43- 75 ( 69)            | 60                     | 44      | 10                   | 37                   | 90                                               | 7                                      |      |
| 6       | 72-263 (129) | 113-500 (281) | 54-155 ( 88)            | 31-103 (45) | 101-255 (176) | 30- 80 ( 45)            | 64                     | 42      | 0                    | 51                   | ?                                                | 9                                      |      |
| 7       | 73-415 (150) | 197-660 (404) | 63-215 (141)            | 36-148 (79) | 110-345 (303) | 78-145 (110)            | 59                     | 27      | 0                    | 24                   | ?                                                | 5                                      |      |
| 8       | 95-503 (261) | 310-980 (572) | 84-260 (171)            | 45-156 (79) | 195-390 (270) | 62-120 ( 83)            | 58                     | 54      | 11                   | 53                   | ?                                                | 11                                     |      |

a. Gemiddelde reducties in deelperioden.

b. Reductie in opgelost CZV.

c. Totale gasproductie = vrij gas + opgelost gas.

Waarden tussen ( ) zijn gemiddelde berekende waarden.



lange dwa-periode, blijkt de slibuitspoeling navenant groter te zijn. De uitspoeling kan dan oplopen tot 460 mg CZV/l, hetgeen de lage rendementen in perioden 3 en 4 verklaart. De mate van slibdekenexpansie van de vlokkige sliblaag is eveneens vastgesteld in een opwaarts doorstroomde kolom. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in afb. 5. Uit deze afbeelding blijkt dat bij overgang van pompstilstand naar dwa-debiet en van dwa- naar rwa-debiet slibdekenexpansie optreedt van respectievelijk 40% en 400%. Na deze expansie zakt de

Tabel V – Anorganisch gehalte van spui-slib en gesuspenderde stof in influent en effluent als percentage van droge stof.

| Periode | Spui-slib | Influent-SS | Effluent-SS |
|---------|-----------|-------------|-------------|
| 1       | 34        | 48          | 43          |
| 2       | 36        | 49          | —           |
| 3       | 34        | 50          | 62          |
| 4       | 33        | 45          | 60          |
| 5       | 31        | 41          | 60          |
| 6       | 32        | 44          | 64          |
| 7       | 33        | 46          | 59          |
| 8       | 32        | 42          | 58          |

slibdeken weer terug. De slibuitspoeling uit deze kolom vertoont een soortgelijk verloop met de expansie, zij het met enige tijd-vertraging.

Resultaten van tracerexperimenten hebben uitgewezen dat bij toepassing van rwa-debiet sterke kanaalvorming optreedt. In geval echter gedurende een langere periode het rwa-debiet werd toegepast, werden bij hoge influentconcentraties toch relatief hoge rendementen bereikt (circa 60%). Gezien het effect van de variabele hydraulische belasting op de slibretentie is na periode 4 de reactor met een constant debiet belast.

Gasproductie

De gasproductie varieerde met de influent-concentratie. Het gas bestond voor 60-80% uit CH<sub>4</sub> en voor 25-28% uit N<sub>2</sub> en voor 2-5% uit CO<sub>2</sub>. Het N<sub>2</sub> is afkomstig uit het

rioolwater en wordt door het biogas uit de waterfase gestript. Een aanzienlijk deel van de CH<sub>4</sub>-productie verlaat via het effluent de installatie in opgeloste vorm. De totale CH<sub>4</sub>-productie per kg CZV bedraagt bij temperaturen rond de 15 °C gemiddeld 140 NI CH<sub>4</sub> (0 °C en 1 atm) oftewel 318 NI CH<sub>4</sub>/kg CZV<sub>verwijderd</sub> (tabel IV). Indien de verwijderde CZV volledig in gas zou worden omgezet, zou de CH<sub>4</sub>-productie 350 NI CH<sub>4</sub>/kg CZV<sub>verwijderd</sub> bedragen. Bij zeer lage afvalwatertemperaturen, namelijk onder 10 °C daalt de gasproductie tot circa 200 NI CH<sub>4</sub>/kg CZV<sub>verwijderd</sub>. Bij deze temperaturen wordt dus circa 57% van de verwijderde organische stof omgezet in gas. Deze lagere gasopbrengst per kg CZV<sub>verwijderd</sub> wijst op een toenemende aanwas bij lagere temperaturen. De gasproductie per kg organische stof korrelslib bedraagt bij 10 °C 0.009 kg CH<sub>4</sub>-CZV/kg organische stof/dag, dat is 47% van de maximale methanogene activiteit bij 10 °C (tabel III), gemeten bij hoge concentraties azijnzuur en propionzuur.

Spui-slib en zwevende stof

In tabel V zijn de asgehalten weergegeven van het spui-slib en de zwevende stof in het influent en het effluent. Zoals uit deze tabel blijkt, bedraagt het asgehalte van de zwevende stof in het influent 41-50%, hetgeen erg hoog is. Dit kan veroorzaakt worden door de aanvoer van zand (gecombineerd rioolstelsel) en de omstandigheid dat reeds een aanzienlijke stabilisatie is opgetreden in het riool. De hoge CZV/BZV<sub>5</sub>-verhouding wijst hier eveneens op. Het slib uit de clarigester van de rwzi Bergambacht heeft een asgehalte van 41-43%. Het slib dat uitspoelt is vergaand gestabiliseerd gezien het hoge gehalte aan anorganisch stof (57-64%). Het asgehalte van het slib dat vanuit de vlokkige laag werd gespuid, was vrijwel constant gedurende de gehele proefperiode en aanzienlijk lager dan dat van het uitspoelende slib. Het lijkt erop

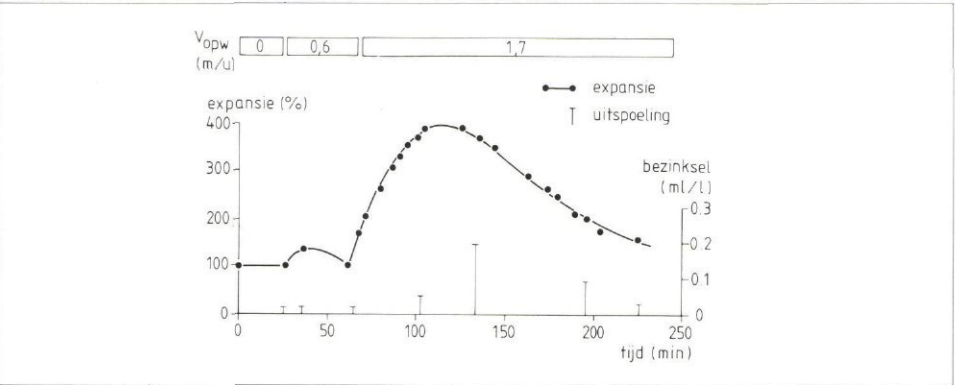
alsof er selectief anorganische stof uit de slibdeken spoelt, e.g. dat het organische slibmateriaal in hoge mate accumuleert in de reactor. Hetzelfde is waargenomen in experimenten uitgevoerd in de proefhal te Bennekom, waarbij spui-slib uit een anaërobe reactor discontinu werd toegediend aan een korrelslibreactor. Ook hier spoelde voornamelijk een heel fijne fractie met een hoog asgehalte uit de korrelslibreactor. De stabiliteit van het spui-slib is onderzocht met behulp van batch-uitgistingsexperimenten zonder korrelslib toediening bij 30 °C en 15 °C. De fractie van de slib-CZV, die nog vergistbaar bleek te zijn, bedroeg 14% bij 30 °C na 36 dagen en 8% bij 15 °C na 65 dagen. Bij de uitgistingsexperimenten met korrelslib werd een versnelde slibstabilisatie waargenomen. Het asgehalte van het slib bleek na afloop van het experiment te zijn opgelopen van 33,5% tot 38% (30 °C) en tot 35% (15 °C). Hieruit blijkt dat het spui-slib niet volledig gestabiliseerd is.

Slibverblijftijd

De dimensionering van de reactor wordt bepaald door de vereiste vloeistof- en slibverblijftijd onder winterse condities. Aangezien de proefomstandigheden sterk varieerden en slibuitspoeling gedurende 'rwa-perioden' aanzienlijk was, is het vrijwel onmogelijk om een schatting te maken van de slibverblijftijd van het vlokkige slib in de reactor. Hieronder zal op basis van de belasting van de reactor een schatting worden gemaakt van de benodigde gistingsruimte voor dit vlokkige slib.

De belasting van de 20 m<sup>3</sup> reactor bedroeg gemiddeld 112 i.e. Per i.e. spoelt er gemiddeld 50 gram aan droge stof aan primair slib de reactor in met een gemiddeld organisch-stofgehalte van 55%. Indien uit deze 50 gram droge stof 34 gram gestabiliseerd slib wordt gevormd (57% omzetting van organisch stof bij lage temperaturen) zal in het totaal per dag 3,8 kg anaëroob slib ontstaan. Bij een slibverblijftijd van 60 en 100 dagen zal er 11 respectievelijk 19 m<sup>3</sup> reactorvolume nodig zijn om deze slibmassa achter te houden (uitgaande van DS-gehalte van 2%). In het geval de reactor belast wordt met rioolwater vormt de vlokkige sliblaag zich voornamelijk tussen het korrelbed en de bezinker. De beschikbare ruimte in de 20 m<sup>3</sup> reactor bedraagt hiervoor echter circa 8 m<sup>3</sup>. Dat betekent dat de slibverblijftijd minder dan 60 dagen zal zijn geweest en dat in winterse omstandigheden geen volledige stabilisatie bereikt kan worden. Het relatief lage droge-stofgehalte van het slib in deze vlokkige laag blijkt met name in dit opzicht de beperkende factor te zijn. Een gedeelte van het anaërobe slib zal uitspoelen (circa

Afb. 5 - Mate van slibdeken-expansie en uitspoeling bij overgang van opwaartse snelheid van 0 naar 0,6 en van 0,6 naar 1,8 m/u, bepaald in een 15 liter kolom.





20-40%), het resterende gedeelte dient gespuid te worden.

Resumerend kan gesteld worden dat de doelstellingen van het onderzoek, namelijk zo hoog mogelijke verwijdering van opgeloste en gesuspendeerde stof en stabilisatie van ingevangen slib slechts gedeeltelijk bereikt zijn. De 20 m<sup>3</sup> reactor blijkt te hoog te zijn om voldoende reductie in gesuspendeerde stof te kunnen bereiken. Een identiek effect van de opwaartse stroomsnelheid in de reactor op de slib-uitspoeling is eveneens aangetoond bij experimenten met een 120 en een 240 liter UASB-reactor (8). Er zal een systeem ontwikkeld moeten worden om ook fijn colloïdaal materiaal af te kunnen scheiden en te stabiliseren.

## Conclusies

1. Er is een duidelijke positieve correlatie gevonden tussen de CZV- en BZV<sub>5</sub>-waarden van het influent en het rendement zowel bij hogere als lagere temperaturen. Bij temperaturen tussen de 13 en 17 °C werd bij influent CZV-waarden van gemiddeld 572 mg/l een rendement behaald van gemiddeld 54% bij een vloeistofverblijftijd van 15 uur. Gezien echter de bereikte resultaten over de gehele proefperiode lijkt vooralsnog toepassing van 'conventionele' anaërobe behandeling van relatief verdund en enigszins septisch rioolwater (CZV gem: 350 mg/l, CZV/BZV-verhouding = 3.5) bij temperaturen van 4-16 °C en bij vloeistofverblijftijden tot 12 uur voor de praktijk niet aantrekkelijk.
2. Gezien de lage potentiële gasproductie en de hoge oplosbaarheid van methaan is de kans op kanaalvorming in het dikke korrelbed, met slibgehalten tot 8%, zeer groot met name in grotere – vooral hogere – reactoren. Zeer kritisch in dit opzicht is de kwaliteit van het influentverdeelstelsel. Wellicht is het noodzakelijk de reactor te voorzien van meer dan één invoerpunt per 2.5 m<sup>2</sup>. Onvoldoende slib-contact leidt vooral bij lage temperaturen snel tot overbelasting van het 'aangespoelde' slib vanwege de lage specifieke activiteit van het slib bij lage temperaturen.
3. Toepassing van grote debietfluctuaties geeft aanleiding tot verlaging van het rendement van het systeem vanwege de hogere slibuitspoeling als gevolg van expansie van de vlokkige sliblaag. De reactor vraagt een zo constant mogelijk hydraulische belasting. Volledige regenweeraanvoer zal derhalve niet verwerkt kunnen worden.
4. Bij zeer lage temperaturen (4-10 °C) is de slibaanwas relatief hoog als gevolg van de uitermate traag verlopende slibgisting. Onder deze omstandigheden kan vergaande slibstabilisatie niet bereikt worden aangezien de slibverblijftijd van de vlokkige sliblaag

onvoldoende hoog is. Met name de lage droge-stofgehalten in deze sliblaag zijn hier debet aan. In de winter zal het slib dat in mindere mate is gestabiliseerd, afgelaten moeten worden en eventueel apart vergist moeten worden bij hogere temperaturen. Dit laatste is voor de praktijk niet zo aantrekkelijk aangezien een en ander weer extra voorzieningen en 'kosten' met zich brengt.

## Toekomstig onderzoek

Op grond van de ervaringen opgedaan in Bergambacht is besloten om het onderzoek te continueren op een locatie met een gescheiden rioolstelsel. Dit rioolwater zal aanzienlijk geconcentreerder zijn dan het rioolwater van een gecombineerd rioolstelsel terwijl hier tevens geen hoge rwa-aanvoeren zullen optreden. Eind november 1986 is op de rwzi Lelystad het onderzoek gestart. Ruime aandacht zal besteed worden aan karakterisering van het influent en anaëroob effluent, de surplus-slibproductie en de aard en eigenschappen van dit slib, gasproductie en -samenstelling en de vereiste verblijftijden. Het onderzoek zal in samenwerking met DB/RIZA worden uitgevoerd. Het parallel-onderzoek in de proefhal van de vakgroep Waterzuivering zal zich toespitsen op verbetering van procesvoering, waarbij met name optimalisatie van slib-water contact en afscheiding van fijn colloïdale stof de nadruk zal krijgen.

## Literatuur

1. Lettinga, G., Roersma, R. E. en Grin, P. C. (1981). *Directe toepassing van anaërobe waterzuivering op rioolwater*. H<sub>2</sub>O (14), nr. 10, 214-220.
2. Nederhorst, S., Starkenburg, W. van en Visser, K. (1986). *Toepassing van anaërobe afvalwaterzuivering. Een inventarisatie van de stand van zaken*. H<sub>2</sub>O (19), nr. 23, 557-561.
3. Jewell, W. J. (1985). *The development of anaerobic wastewater treatment*. Proceedings of the Seminar/Workshop 'Anaerobic Treatment of Sewage', M. J. S. Switzenbaum, editor, 27-29 june, p.p. 17-54, University of Massachusetts at Amherst.
4. Grin, P. C., Roersma, R. E. en Lettinga, G. (1983). *Anaerobic treatment of raw sewage at lower temperatures*. Proceedings of the European Symposium on Anaerobic Waste Water Treatment, Noordwijkerhout, 23-25 November, p.p. 335-347.
5. Grin, P. C., Roersma, R. E. en Lettinga, G. (1985). *Anaerobic Treatment of raw domestic sewage in UASB reactors at temp. from 9-20 °C*. Proceedings of the Seminar/Workshop 'Anaerobic Treatment of Sewage', Switzenbaum, M. J. S., editor, 27-28 june, p.p. 109-124, University of Massachusetts at Amherst.
6. Kooymans, J. L., Lettinga, G. en Velsen, A. F. M., van (1986). *Application of the UASB-process for treatment of domestic sewage under sub-tropical conditions*. The Cali Case. Proceedings of the E.W.P.C.A. Conference, Amsterdam 15-19 September, p.p. 432-436.
7. Huser, B. A. (1981). *Methanbildung aus Acetat*. Proefschrift, Techn. Hochschule Zürich.
8. Man, A. W. A., de, Grin, P. C., Roersma, R. E., Grolle, K. C. F. en Lettinga, G. (1986). *Anaerobic treatment of municipal wastewater at low temperatures*. Proceedings of the E.W.P.C.A. Conference, Amsterdam, 15-19 September, p.p. 451-466.
9. Jakma, F. F. G. M., Collazos, C. J. en Schellinkhout, C. J. (1987). *Toepassing van anaëroob systeem voor*

zuiveren van rioolwater in (sub)tropische landen succesvol. H<sub>2</sub>O (20), nr. 1, 2-5.

10. O'Rourke, J. T. (1968). *Kinetics of Anaerobic Waste Treatment at Reduced Temperatures*. Proefschrift, Stanford University.

## Kalkverzadigingsindex

### • Slot van pagina 639

- Kleijn, H. F. W. (1986). *Agressiviteit en de oplosbaarheidskonstante van calciumcarbonaat*. H<sub>2</sub>O (19), nr. 13, p. 309-310.
- Langelier, W. F. (1936). *The analytical control of anticorrosion water treatment*. J. Am. Water Works Ass. (28), p. 1.500-1.521.
- Maier, D. und Grohmann, A. (1977). *Bestimmung der Ionenstärke natürlicher Wässer aus deren elektrischer Leitfähigkeit*. Z.f. Wasser- und Abwasser (10), p. 9-12.
- Mercado, A. and Billings, G. K. (1975). *The kinetics of mineral dissolution in carbonate aquifers as a tool for hydrological investigations. I: concentration-time relationships*. J. Hydrol. (24), p. 303-331.
- Moel, P. J. de en Dijk, J. C. van (1983). *Zakrekenmachines en het kalk-koolzuurevenwicht*. H<sub>2</sub>O (16), nr. 15, p. 336-338 en 342.
- Plummer, N. L. and Busenberg, E. (1982). *The solubility of calcite, aragonite and vaterite in CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O solutions between 0 and 90 °C and an evaluation of the aqueous model for the system CaCO<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O*. Geochim et Cosmochim. Acta (46), p. 1.011-1.040.
- Plummer, L. N., Jones, B. F. and Truesdell, A. H. (1976). *WATEQF, a Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium in natural waters*. U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. 76-13, 61 p.
- Plummer, L. N. and Mackenzie, F. T. (1974). *Predicting mineral solubility from rate data: application to the dissolution of magnesian calcites*. Am. J. Sci. (274), p. 61-83.
- Schock, M. R. (1984). *Temperature and ionic strength corrections to the Langelier Index-revisited*. J. Am. Water Works Ass. (76), p. 72-76.
- Stumm, W. and Morgan, J. J. (1981). *Aquatic Chemistry, an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. Wiley-Interscience, 780 p.
- Stuyfzand, P. J. (1983a). *Belangrijke foutenbronnen bij bemonstering van grondwater via peil- en minifilters*. H<sub>2</sub>O (16), p. 87-95.
- Stuyfzand, P. J. (1983b). *De berekening van het elektrisch geleidingsvermogen van natuurlijke wateren: een zeer nauwkeurige methode met voorbeelden van toepassing*. KIWA-rapport SWE-83.001, 40 p.
- Stuyfzand, P. J. (1987). *Een zeer nauwkeurige berekening van het elektrisch geleidingsvermogen, ter controle en aanvulling van wateranalyses: 2e versie*. KIWA-rapport SWE-87.006, 32 p.
- Tillmans, J. und Heublin, G. (1912). *Über die Kohlensäure Kalk angreifende Kohlensäure der natürlichen Wasser*. Gesundh. Ing. (35), p. 669.