

Anaerobe reactoren en biorotoren; een veelbelovende combinatie voor de behandeling van industrieel afvalwater

Samenvatting

In 1981 zijn op semi-technische schaal proeven genomen met de zuivering van het afvalwater van het Residentie Slachthuis bv te Den Haag.

De zuivering vond plaats in een tweetrapsinstallatie bestaande uit een anaerobe vóórzuivering en aerobe nabehandeling.

De keuze van de anaerobe vóórzuivering in reactoren is gemaakt op grond van het feit dat het afvalwater van de slachterij sterk geconcentreerd, relatief warm en biologisch goed afbreekbaar is.



IR. J. A. WOELDERS
Technisch Adviesbureau van de
Unie van Waterschappen bv,
Deventer



IR. A. T. DE BORST
Technisch Adviesbureau van de
Unie van Waterschappen bv,
Deventer



F. J. DE GRAM
Technisch Adviesbureau van de
Unie van Waterschappen bv,
Deventer

Voor de aerobe nabehandeling ten behoeve van de verwijdering van Kjeldahl-stikstof en rest BZV is gekozen voor biorotoren, omdat deze uit oogpunt van ruimtebeslag de voorkeur verdienen boven een laagbelaste actiefslibinstallatie.

Het onderzoek heeft dusdanige gunstige resultaten opgeleverd, dat thans een praktijkinstallatie met een capaciteit van 35.000 i.e. wordt gebouwd voor het slachthuis.

Vooruitlopend op de eindresultaten van de experimenten met het slachthuis-afvalwater is medio 1981 de eerste praktijkinstallatie volgens dit systeem verwezenlijkt bij het schelpdieren-conservenbedrijf Jac. van de Plasse Jr. bv te Yerseke. Dit seizoengebonden bedrijf levert gedurende de campagne een vervuiling van 15.000 i.e.

Het functioneren van het zuiveringsstelsel wordt toegelicht aan de hand van zowel de resultaten van de proefinstallatie als van de bedrijfsresultaten van de praktijkinstallatie.

Algemene beschrijving van het zuiveringssysteem

De anaerobe reactor

De eerste trap van het zuiveringssysteem

bestaat zoals gezegd uit een anaerobe behandeling van het afvalwater in reactoren. Het principe van de anaerobe reactor berust op het instellen van een slibbed en slibdeken in de opwaartse gerichte afvalwaterstroom. Voor uitgebreide informatie betreffende de werking van de anaerobe zuivering in reactoren wordt verwezen naar de literatuur [Lettinga, et al].

Een schets van de hier toegepaste opwaarts doorstroomde UASB (= upflow anaerobic sludge blanket)-reactor is gegeven in afb. 1.

Voor de behandeling van afvalwater afkomstig van vlees- en visverwerkende industrie kunnen bij mesofiele vergisting de volgende dimensioneringsgrondslagen worden gehanteerd:

- CZV-belasting 5 tot 15 kg CZV/m³.d
- verblijftijd 10 tot 15 uur
- temperatuur circa 35°C

Bij deze grondslagen zijn:

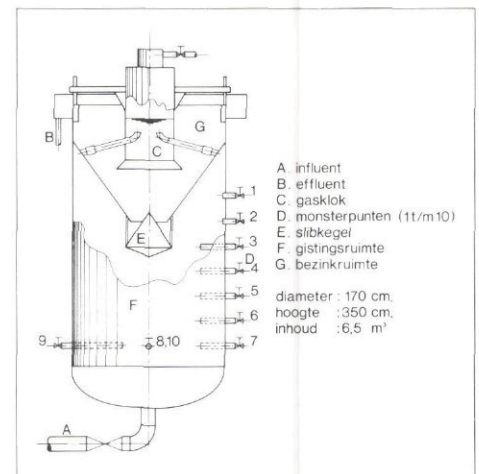
- een slibproductie van 0,02 à 0,04 kg slib ds/kg CZV verwijderd;
- een gasproductie van circa 0,4 Nm³/kg CZV verwijderd;
- een zuiveringsrendement op CZV-basis van 50 à 90% te bereiken.

De biorotor

De tweede trap van de biologische zuivering bestaat uit biorotoren (ook wel roterende biofilters of dompelschijven genoemd).

Deze rotoren zijn opgebouwd uit kunststof pakketten welke, tot een cylinder, aan een horizontale as zijn bevestigd (zie afb. 2). Het pakket kenmerkt zich door een groot specifiek oppervlak.

Voor circa 40% ondergedompeld, draait de



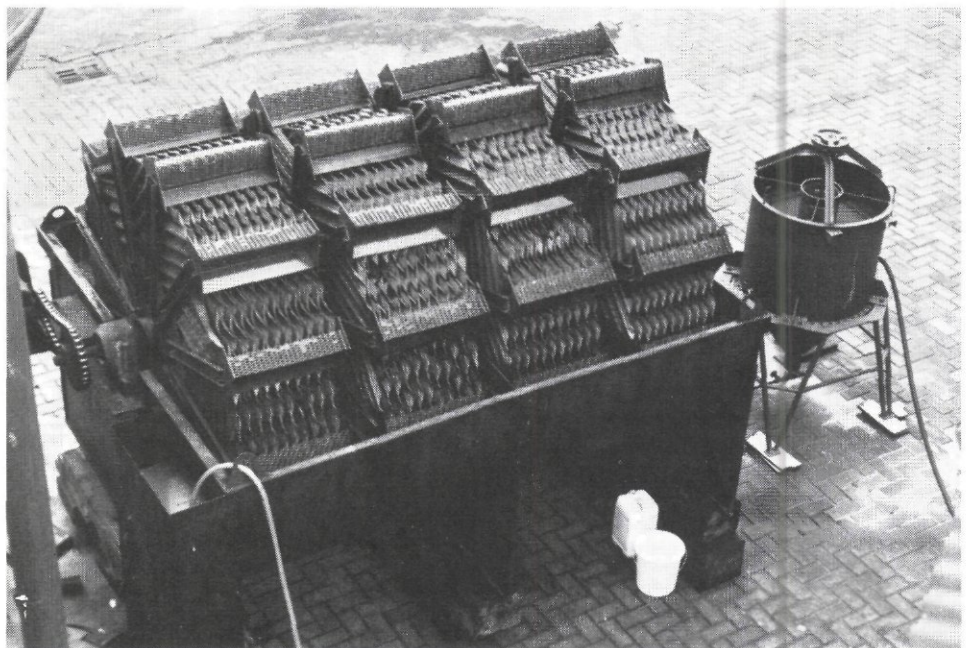
Afb. 1 - Anaerobe reactor.

biorotor door het te behandelen afvalwater in het zuiveringsbassin. Op het kunststofpakket vormt zich een huid van bacteriemateriaal, vergelijkbaar met die bij oxydatiebedden. Deze biomassa wordt tijdens het roteren boven water belucht. Daarnaast wordt door de roterende beweging de beluchting en turbulentie van het afvalwater verzorgd. De dikte van de biologische huid bereikt een evenwichtssituatie, doordat de aangroei als gevolg van de schurende werking tussen water en biomassa, onder invloed van de rotatie, wordt verwijderd.

De kengetallen van de biorotor zijn:

- specifiek oppervlak filterpakket 75 tot 240 m²/m³
- BZV-belasting 5 tot 100 g BZV/m².dag
- rotatiesnelheid 1 tot 3 omw/min
- slibproductie 0,40 à 0,75 kg slib ds/kg BZV verwijderd

Afb. 2 - Proefopstelling biorotor.



– zuiveringsrendement op
BZV-basis 50-90 %

Het zuiveringsrendement van de biorotor neemt toe naarmate de BZV-concentratie van het influent, bij gelijkblijvende biologische belasting, toeneemt; tevens wordt een toename van het rendement geconstateerd, indien bij gelijkblijvende influentconcentraties de belasting afneemt (zie afb. 3, waarin de factor a, afhankelijk van de aard van het afvalwater, 30 à 70 g BZV/m³ kan bedragen).

Overige parameters, van invloed op het zuiveringsrendement, zijn:

- de samenstelling van het influent;
- de temperatuur;
- de rotatiesnelheid (vooral bij hoge BZV-belastingen).

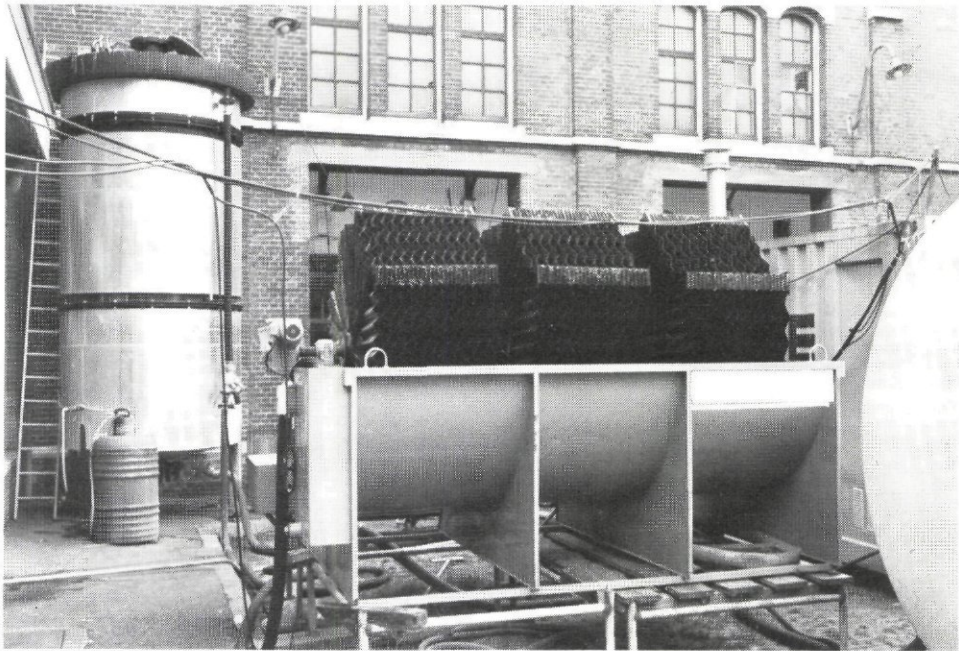
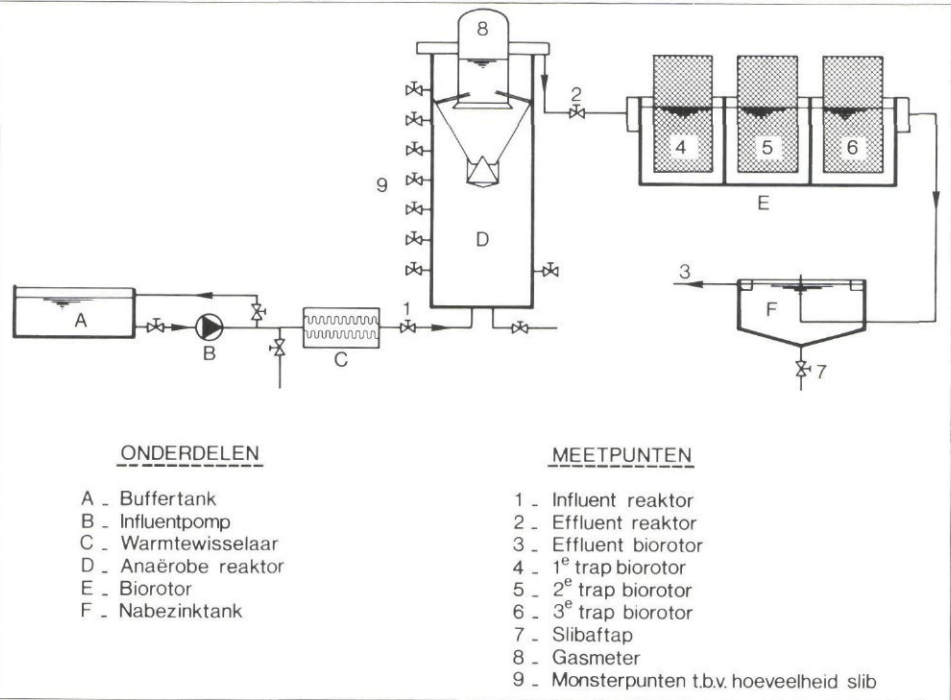
Overige installatieonderdelen

Afhankelijk van de samenstelling van het te behandelen afvalwater, wordt voorafgaande aan de biologische zuivering een mechanische voorbehandeling toegepast voor de verwijdering van zand en grof vuil. Daarnaast is bij discontinue werkende bedrijven veelal een buffering van het afvalwater noodzakelijk voor een optimale dimensionering van het biologische gedeelte. Het surpluslib van de biorotoren wordt afgescheiden in een nabezinktank of een trommelzeef en afgevoerd naar een slibbuffer of teruggevoerd in de anaerobe reactor.

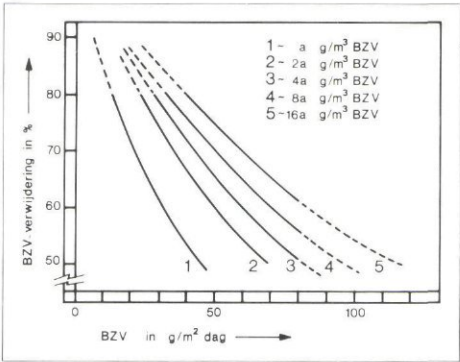
Proefinstallatie Residentie Slachthuis bv, Den Haag

Het Residentie Slachthuis bv produceert

Afb. 4 - Processchema proefinstallatie Residentie Slachthuis bv, Den Haag.



Afb. 5 - Proefinstallatie Residentie Slachthuis bv, Den Haag.



Afb. 3 - Zuiveringsrendement biorotor.

hoog geconcentreerd en relatief warm afvalwater. Op economische gronden is besloten het afvalwater in eigen beheer te behandelen alvorens op het riool te lozen. Ter verkrijging van de juiste ontwerpcriteria werd allereerst een semi-technische proefinstallatie bedreven.

Beschrijving van de installatie

In juni 1980 is een begin gemaakt met de experimenten door het opstarten van de anaerobe reactor. Nadat hiermee succesvolle resultaten waren bereikt, is in februari 1981 de biorotor bijgeplaatst. In de proefperiode, van maart t/m juni 1981 werd een deelstroom van het afvalwater van de varkensslachterij behandeld.

In afb. 4 is het processchema weergegeven. Afb. 5 geeft een overzicht van de opstelling.

Het afvalwater van de varkensslachterij wordt opgevangen in een buffertank en door middel van een influentpomp gedoseerd. Vervolgens wordt het influent tot circa 35 °C opgewarmd en aan de onderzijde van de reactor ingebracht (afb. 1).

De reactor is voor circa 60% gevuld met anaeroob slib. Bovenin de reactor wordt het slib-water-gasmengsel gescheiden. Het gas wordt verzameld onder de gasklok, continue afgelaten en bemeten. Het slib valt terug in de reactieruimte. Het effluent van de anaerobe reactor wordt naar de biorotoren gevoerd.

De biorotorinstallatie is opgebouwd uit drie in serie geschakelde trappen. Met deze in serie geschakelde trappen wordt een gunstiger zuiveringsrendement bereikt dan met een parallelle opstelling van de rotoren.

De afmetingen per trap zijn:

- lengte 0,60 m
- diameter 1,45 m
- oppervlak 96 m²
- specifiek oppervlak 97 m²/m³

Bedrijfsomstandigheden

Ten tijde van de proefperiode waren de procescondities als volgt:

de anaerobe reactor:

- hydraulische belasting 0,6 m³/h
- CZV-belasting 6 kg CZV/m³.dag
- verblijftijd 11 h
- temperatuur 35 °C

de biorotoren:

- de hydraulische belasting 0,6 m³/h
- BZV-belasting (gemiddeld) 7,4 g BZV/m².dag
- N-Kj-belasting (gemiddeld) 6 g N-Kj/m².dag
- rotatiesnelheid 2 omw/min
- verblijftijd 3 h

Resultaten van de proeven

BZV en CZV-verwijdering

Het CZV-rendement van de anaerobe reactor varieerde gedurende de proefperiode van 23 tot 93% met een gemiddelde waarde van 71%.

Deze schommelingen werden veroorzaakt door de fluctuatie van het CZV-gehalte in het influent, welk gehalte varieerde van 850 tot 6140 mg/l.

Gedurende de proefperiode namen tevens de bezinkeigenschappen van het slib toe, waarmee de gestage groei van het rendement wordt verklaard.

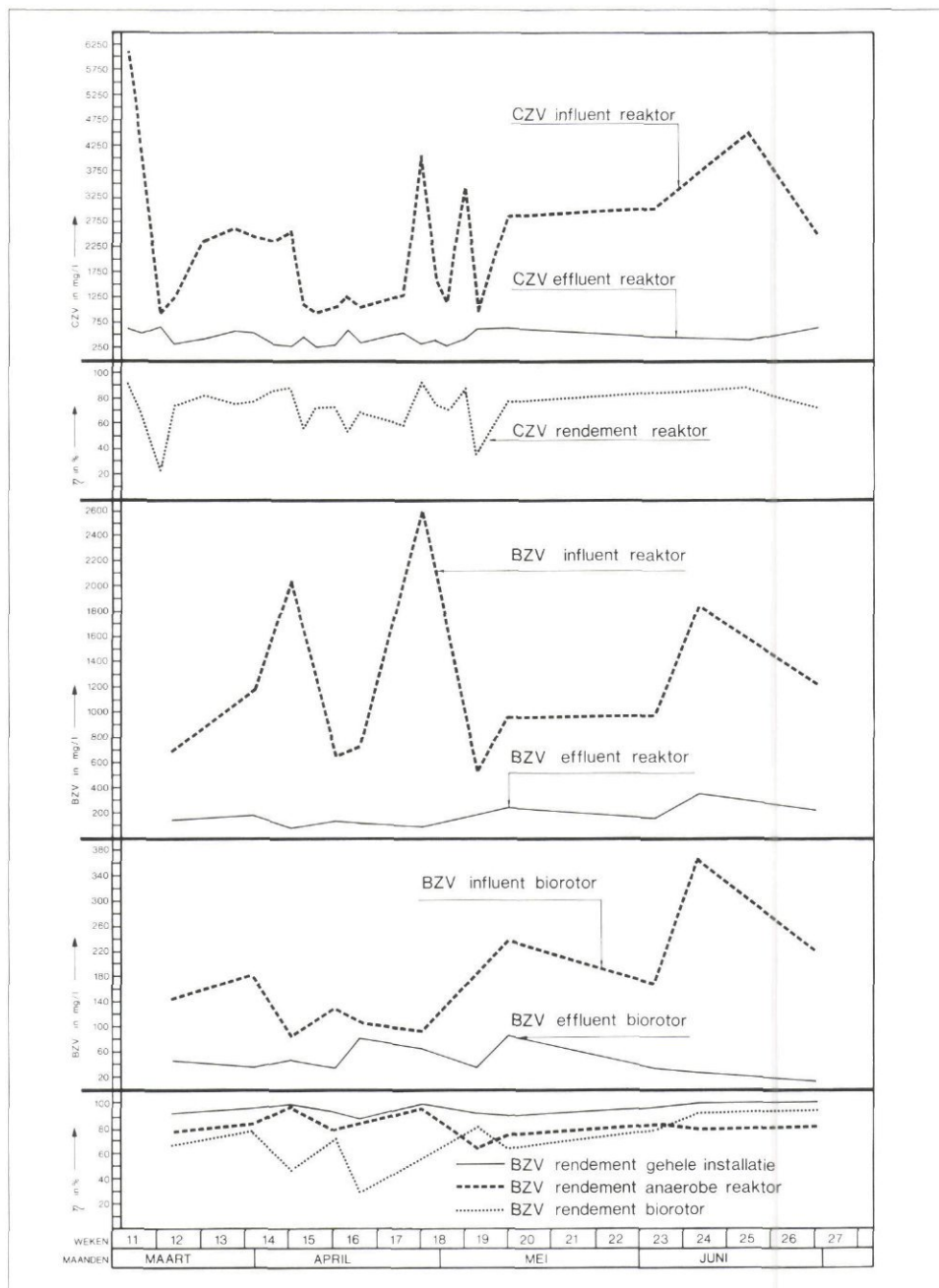
Het BZV-rendement van de biorotoren varieerde van 30 tot 94% en was tijdens de laatste maand van de proefperiode steeds boven de 80% (zie afb. 6).

De BZV-reductie over de gehele installatie bedroeg aanvankelijk 90 à 95%, maar liep op tot 99% aan het eind van de proefperiode. Een gunstig effect van de anaerobe reactor vormt de afvlakking van de pieken in de CZV-concentraties. Daardoor worden de biorotoren van een gelijkmatiger BZV-aanbod voorzien.

Zoals in afb. 7 is af te lezen, neemt het zuiveringsrendement van de reactoren toe bij toenemende CZV-concentraties van het influent onder gelijkblijvende hydraulische belasting.

Kjeldahl-stikstof verwijdering

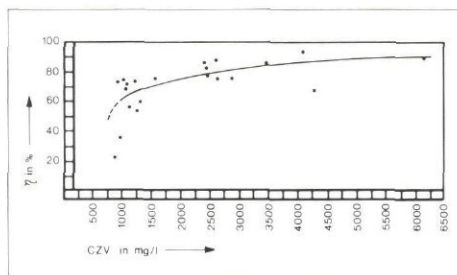
In de anaerobe reactor werd, zoals te



Afb. 6 - BZV en CZV-verwijdering proefinstallatie.

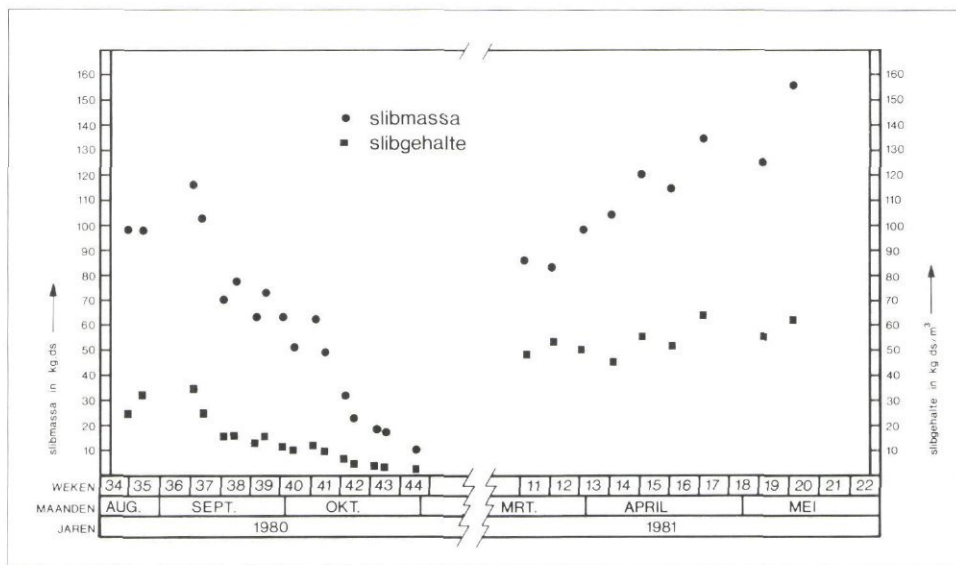
verwachten, geen duidelijk waarneembare stikstofverwijdering geconstateerd. Zowel met het aflaten van spuislib als met de afvoer van gistingsgas worden slechts geringe hoeveelheden Kjeldahl-stikstof verwijderd.

Afb. 7 - Het rendement van de anaerobe reactor versus CZV-concentraties van het influent.



Tijdens de aerobe behandeling in de biorotorinstallatie werd de Kjeldahl-stikstof gemiddeld voor 44% verwijderd; de afname vond in de tweede en vooral in de derde trap van de biorotor plaats.

Uit literatuurgegevens en proefresultaten (Schiphol, Boxtel) is af te leiden dat een stikstofverwijdering van 6 à 9 g N-Kj/m².dag kan worden verkregen. Tevens dient daarbij de BZV-belasting laag te zijn, daar anders de nitrificerende biomassa verdrreven wordt door BZV eliminerende biomassa. De stikstofbelasting bedroeg op de nitrificerende, derde trap van de biorotor, gemiddeld 15 g N-Kj/m².dag, waarmee het geringe verwijderingspercentage (44%) is te verklaren.



Afb. 8 - Slibaangroei in de anaerobe reactor.

De praktijkinstallatie zal dan ook als vier-trapsinstallatie worden uitgevoerd met een lagere stikstofbelasting op de nitrificerende trap. Tevens wordt deze installatie overkapt, waardoor ook in de winter hoge rendementen worden verkregen.

Slibproductie

In de periode augustus t/m oktober 1980 vond bij een verhoging van de hydraulische belasting van 0,2 tot 0,6 m³/h een duidelijke uitspoeling van het slib uit de reactor plaats (afb. 8). Het slibgehalte betreft het gehalte onder in de reactor (bij monsterpunten 7 t/m 10 van afb. 1).

Tijdens de tweede proefperiode werd de hydraulische belasting konstant gehouden (0,6 m³/h). Deze periode ving aan in oktober 1980; gedurende de maanden november 1980 t/m februari 1981 werden geen analyses uitgevoerd. Er bleek zich inmiddels slib van goede kwaliteit te hebben gevormd (zwaar korrelig slib), dat zich tot mei 1981 verder ontwikkelde. De slibmassa nam in de reactor toe van 84 tot 157 kg droge stof, terwijl het slibgehalte onder in de reactor toenam van 48,6 tot 63,8 kg droge stof/m³.

De gemiddelde slibproductie gedurende de tweede periode bedroeg 25 g slib droge stof per kg CZV-verwijderd.

Door gebrek aan voldoende betrouwbare meetresultaten van de slibproductie in de biorotorinstallatie wordt volstaan met uit de literatuur verkregen gegevens.

BZV-verwijdering	slibproductie
60%	0,98 kg slib ds/kg BZV-verwijderd
70%	0,85 kg slib ds/kg BZV-verwijderd
80%	0,68 kg slib ds/kg BZV-verwijderd
90%	0,44 kg slib ds/kg BZV-verwijderd

voordeel van de anaerobe reactor is de houdbaarheid van het slib, dat een lange periode zonder voeding kan doorstaan.

Dimensioneringsgrondslagen

Het kookwater, dat afkomstig is van de blancheurs (50 m³/dag; 7.000 à 10.000 g CZV/m³), wordt anaeroob voorbehandeld (zie afb. 10).

Vervolgens wordt het kookwater tezamen met het overige spoel- en proceswater nabehandeld in de biorotorinstallatie. Inclusief spoel- en proceswater schommelt de hydraulische belasting tussen de 500 en 1400 m³/dag met een CZV-concentratie van 800 à 1.000 g/m³.

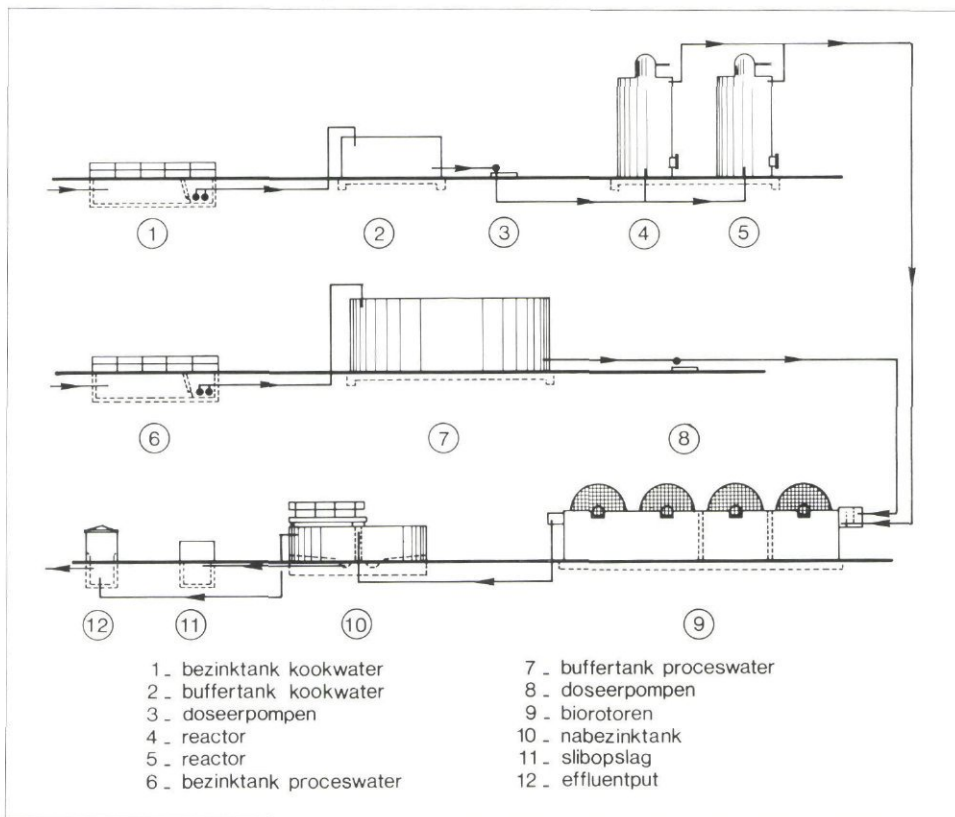
Afb. 10 - Anaerobe reactoren bij schelpdierenconservenbedrijf.

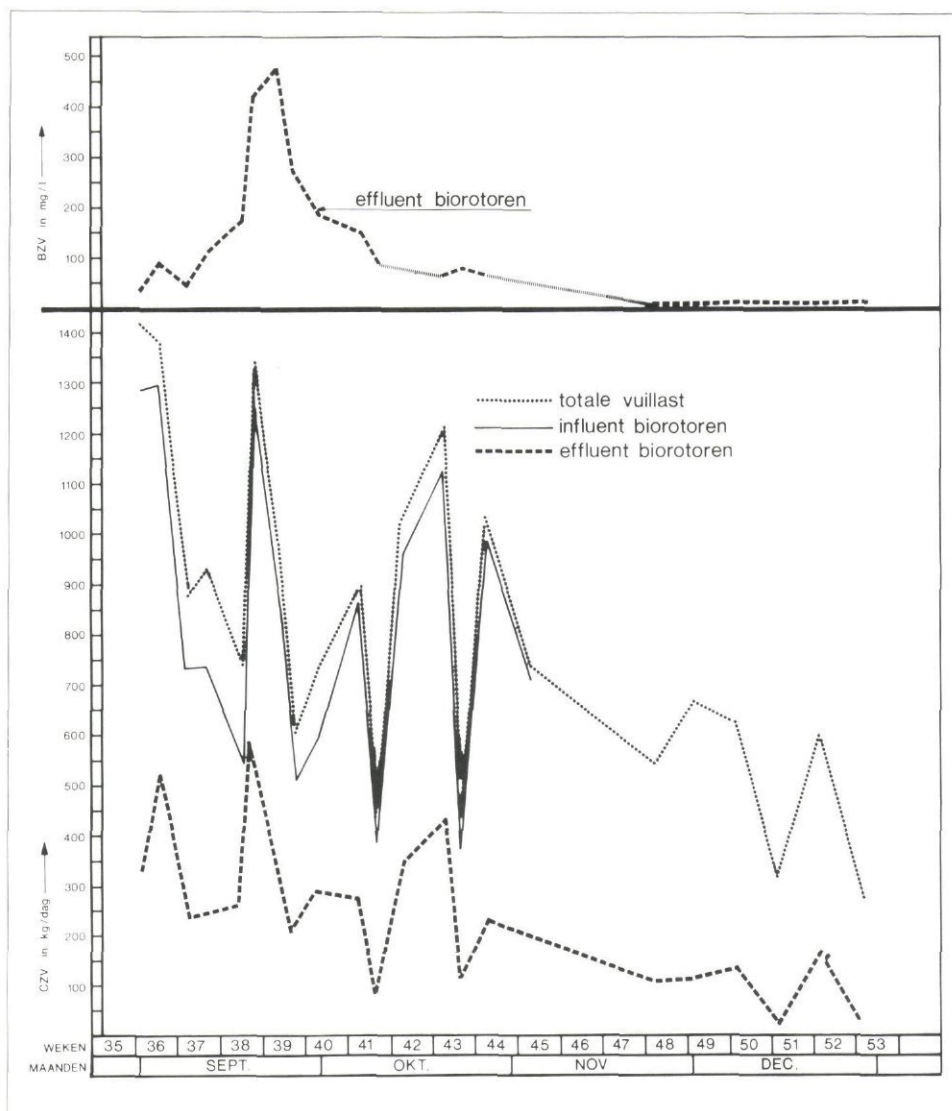
Tweetrapsinstallatie bij schelpdierenconservenbedrijf

Het afvalwater van het schelpdierenconservenbedrijf Jac. van der Plasse Jr. bv te Yerseke wordt sinds augustus 1981 behandeld volgens het vorengenoemde tweetrapszuiveringssysteem (afb. 9).

Het is een seizoenbedrijf met een campagne van augustus tot februari, hetgeen van invloed is geweest op de systeemkeuze van de afvalwaterbehandeling. Een significant

Afb. 9 - Processchema waterbehandeling schelpdierenconservenbedrijf.





Afb. 11 - BZV-concentratie effluent en CZV-belasting van de zuivering.

De dimensioneringsgrondslagen voor deze tweetrapsinstallatie met een capaciteit van circa 15.000 i.e. zijn als volgt:

2 anaerobe reactoren (parallel bedreven)

- volume per reactor 50 m³
- hydraulische belasting 3 m³/h
- CZV-belasting 10 kg/m³.dag
- temperatuur 35 °C

4 biorotoren (in serie geschakeld)

- afmetingen per rotor
- diameter 3,50 m
- lengte 7,20 m
- specifiek oppervlak
- 1^e rotor en 2^e rotor circa 140 m²/m³
- 3^e en 4^e rotor circa 240 m²/m³
- BZV-belasting (gemiddeld) 19 g/m².dag
- N-Kj-belasting (op 3^e en 4^e rotor) 8 g/m².dag

Bedrijfsresultaten

BZV- en CZV-verwijdering

Het CZV-verwijderingsrendement van de reactoren bedroeg aanvankelijk 50 à 70%, maar liep in oktober tengevolge van de dalende buitentemperatuur sterk terug. De anaerobe reactoren zijn in november geïsoleerd; na deze isolatie bedraagt het zuiveringsrendement 70 à 80%.

Het CZV-rendement van de biorotoren bedraagt globaal 75%.

Eind september zijn twee biorotoren buiten bedrijf geweest, waardoor het BZV-gehalte in het effluent sterk toenam.

Het BZV-rendement bedraagt sinds november daarentegen 96 à 99%; de BZV-concentraties in het effluent zijn daarbij steeds lager dan 20 mg/l.

Kjeldahl-stikstof verwijdering

De Kjeldahl-stikstof werd aanvankelijk voor ruim 40% verwijderd; na het weer in gebruik

nemen van alle rotoren bleef de nitrificatie aanvankelijk achterwege door de sterke afkoeling tengevolge van lage buitentemperaturen. Nadat de biorotorinstallatie in december 1981 werd overkapt, kon een sterke toename van de nitrificatie worden waargenomen. De nitrificatiegraad bedroeg daarna 70%.

Kostenaspecten

Algemeen geldende richtlijnen ten aanzien van investerings- en exploitatiekosten voor een tweetrapsinstallatie zijn door het grote verschil in randvoorwaarden per bedrijf niet te geven.

Om niettemin toch een indruk te geven in de orde van grootte zijn voor een tweetal situaties de investeringen per inwoner-equivalent berekend:

- een tweetrapszuivering voor 10.000 à 20.000 i.e. zonder gebruik van biogas voor de energievoorziening circa f 75,-/i.e.;
- een tweetrapszuivering voor 20.000 à 40.000 i.e. met gebruik van biogas voor de energievoorziening circa f 85,-/i.e.

De hogere kosten per i.e. zijn te wijten aan de extra investeringen ten behoeve van de energievoorziening.

Ten aanzien van de slibproductie kan worden opgemerkt dat de slibhoeveelheid van een tweetrapsinstallatie slechts 20% bedraagt in vergelijking met een laagbelaste actiefslibinstallatie.

Wanneer het biogas wordt gebruikt voor de eigen energievoorziening moet op jaarbasis globaal 4 kWh per inwonerequivalent worden ingekocht, in plaats van circa 20 kWh bij toepassing van een laagbelaste actiefslibinstallatie.

Slotbeschouwing

Met de voorbehandeling van afvalwater door middel van anaerobe reactoren gevolgd door biorotoren zijn zuiveringsrendementen verkregen vergelijkbaar met laag belaste actiefslibinstallaties.

De investeringskosten voor deze tweetrapszuivering liggen in dezelfde orde van grootte als voor een continue bedreven laagbelaste actiefslibinstallatie met slibstabilisatie.

In de exploitatiesfeer bezit de combinatie anaerobe reactoren en biorotoren duidelijke voordelen. De slibproductie is veel lager dan bij uitsluitend aerobe zuiveringssystemen.

Tevens is het energieverbruik van de anaerobe reactor en de biorotor zeer gering ten opzichte van laag belaste actiefslibinstallaties. Deze energiever verschillen worden nog duidelijker bij het gebruik van het biogas voor de eigen energieopwekking.

Het ruimtebeslag van de tweetrapsinstallatie is gering in vergelijking met een laagbelaste actiefslibinstallatie. Afhankelijk van een aantal factoren is globaal 50% minder oppervlak benodigd.