

Actief-slib installatie met zuivere zuurstof in werking te Antwerpen

1. Inleiding

Ingenieurs en chemici van Union Carbide hebben voor de linkeroever-fabriek te Zwijndrecht (Antwerpen) een project ontwikkeld en ten uitvoer gebracht voor de zuivering van het petrochemisch afvalwater. Deze inspanningen resulteerden op 28 maart 1977 in de succesvolle opstart van de afvalwaterzuiveringseenheid.

Een belangrijk onderdeel van dit project was de selectie van het juiste proces. In januari 1974 werden daarom verschillende primaire en secundaire afvalwater-



IR. W. VISSERS
Union Carbide Belgium NV
Zwijndrecht (Antwerp)

zuiveringssystemen bestudeerd voor het specifiek probleem van de linkeroever fabriek.

Deze studie bestond voornamelijk in het opereren van semi-industriële installaties, welke geëvalueerd werden op basis van BOD-, TOD- en COD-verwijdering, slibvlokkwaliteit, zuurstofverbruik, slibbelasting, enz.

Op basis van deze gegevens werd het volgende proces-schema ontwikkeld (zie bijgaande afbeelding proces-schema):

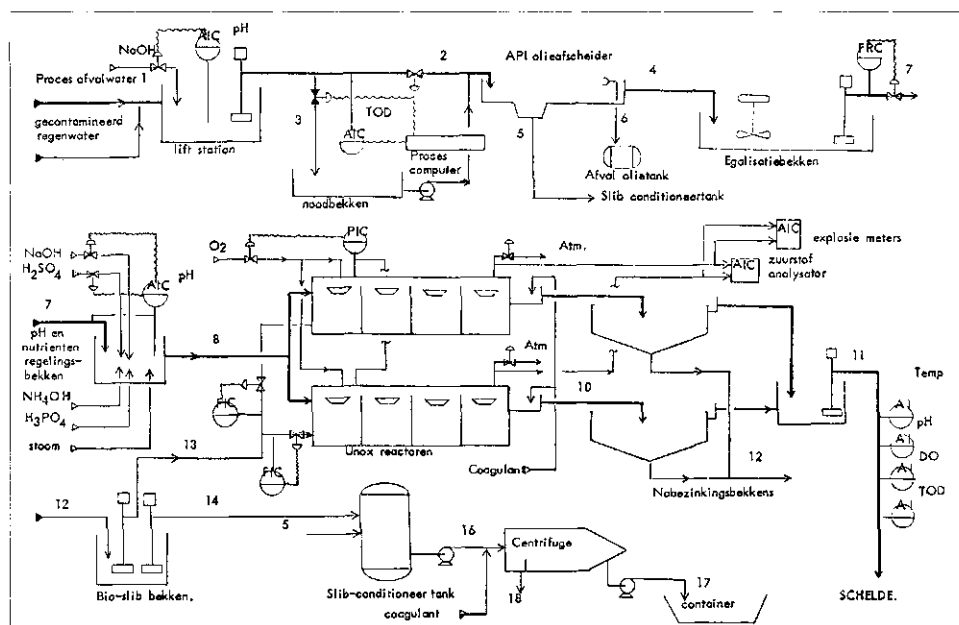
— Primaire zuivering:
neutralisatie;
TOD-doorbraakafleidingssysteem;
olie-af scheiding en voorbezinkingstrap;
egalisatiebekken.

— Secundaire zuivering:
biologische zuivering door middel van zuivere zuurstof (UNOX proces);
coagulatie.

— Slibbehandelingsinstallatie.

Elk van deze drie zuiveringstrappen zal verder in detail worden besproken. Naast het beschrijven van de eenheid zal getracht worden het belang aan te tonen van enkele operatieparameters in de biologische afvalwaterzuivering. Dit kan het best geïllustreerd worden met gegevens bekomen gedurende de eerste maanden van de werking van de installatie.

Er dient gewezen te worden op het feit dat tijdens het ontwerp van de installatie rekening werd gehouden met een zekere flexibiliteit in functie van de schommelingen in organische en hydraulische belasting. Niettegenstaande dit, heeft men zich gerealiseerd dat de toekomst van een



Proces-schema van de afvalwaterzuiveringseenheid.

efficiënt milieubeheer berust in het bestrijden van de pollutieproblemen aan de bron zelf.

Dit houdt in dat in de verschillende productie-eenheden sommige afvalwaterstromen zullen moeten onderschept worden door het uitbouwen van de proces-technische methoden ter plaatse. Het is duidelijk dat het doorvoeren van een dergelijke denkwijze zal resulteren in een niet-progressieve stijging van de organische waterbelasting welke een fabriek in uitbreiding met zich meebrengt.

Met dit voor ogen werd het ontwerp van deze installatie aangevat.

2. Karakteristieken van het afvalwater in de fabriek

Het doel van de afvalwaterbehandelings-eenheid van de linkeroever fabriek is de Belgische lozingsnormen voor industrieel afvalwater in de Schelde te eerbiedigen. De eenheid is ontworpen voor een maximale hydraulische belasting van 114 m³/h, met een gemiddelde BOD₅-waarde van 2500 mg/l. De organische belasting bestaat voornamelijk uit lineaire koolwaterstoffen, meer bepaald derivaten van ethyleenoxide, zoals glycolen en polyolen.

Wanneer een actief-slib op de juiste manier wordt geadapteerd, is de biodegradabiliteit van deze componenten meer dan bevredigend.

De aktiviteitsstijging van een geadapteerd slib voor deze koolstofbronnen kan eenvoudig worden waargenomen door middel van respirometrische metingen. De samenstelling van het afvalwater kan eveneens een invloed uitoefenen op de afbreekbaarheid van een bepaald compo-

nent. Zo werd ondervonden dat de aanwezigheid van componenten met een laag molekuul gewicht (bijv. acetaten) een gunstige werking heeft op de biodegradabiliteit van componenten met een hoog molekuul gewicht (bijv. polyolen). Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat de componenten met een laag molekuul gewicht een eenvoudige energiebron vertegenwoordigen voor het transport van het oplosbare polyol doorheen de celmembran van de bacterie. Indien het polyolmolekuul anderzijds extra-celliculair wordt gesplitst, kunnen de lichte molekulen aanleiding geven tot de synthese van extra-celliculaire polyol-splitsende enzymen.

Zoals bij de meeste petrochemische afvalwaters, zijn ook hier schommelingen in pH- en zoutconcentraties eigen aan het influent van de installatie.

3. Beschrijving van de waterzuiveringsinstallatie

Om de beschrijving duidelijk te maken wordt verwezen naar het proces-schema en de overeenkomstige stroomnummers.

A. Primaire zuivering

Het procesafvalwater (1) en het eventueel gecontamineerd regenwater van de fabriek wordt opgevangen in een pompstation. Het afvalwater stroomt hier binnen in een eerste afdeling, uitgerust met een roer-inrichting, waar een automatische neutralisatie geschiedt om de benedenstroomse uitrusting te beschermen tegen corrosie. Het afvalwater vloeit dan via een overstort in een tweede compartiment waar het door twee pompen op niveaucontrole naar de

hoofdbehandelingseenheid (2) wordt overgebracht.

Alvorens echter hier te belanden wordt er met een tussenpauze van 8 minuten een waterstaal geanalyseerd door een 'Total Oxygen Demand'-meter (TOD). Wanneer dit TOD-toestel, dat aan het pompstation is geplaatst, een grote hoeveelheid organisch materiaal waarneemt, kan er via de procescomputer een afleidingssysteem in werking worden gesteld. Dit systeem voert de waterstroom met de hoge organische belasting (3) naar een noodbekken om later verder te worden behandeld. Het bekken heeft een maximale verblijftijd van twaalf uren.

Het biologisch systeem kan een grote pollutiebelasting verwerken, doch ingeval van accidentele lozingen moeten deze kunnen worden afgeleid. De tussenkomst van de procescomputer bestaat in het al of niet uitvoeren van de afleidingsprocedure bij een bepaalde lozing. Voor het afleiden van het afvalwater naar het noodbekken worden door de computer twee criteria in acht genomen:

— tijdsduur en TOD-waarde van de accidentele lozing (2);

— toelaatbare TOD-stijging in de voeding naar de biologische reactoren (7) in functie van de tijd.

Een tweede trap van de primaire zuivering bestaat uit een olie-afscheider (type API). De afgescheiden olie wordt verzameld in een afvalolietank (6).

Uit deze API-afscheider komt eveneens een bodemslibstroom of primair slib (5). Dit slib bestaat voornamelijk uit anorganisch materiaal en wordt overgepompt in de slibconditioneertank waar het samen met het spui-slib wordt gemengd.

De wateruitlaat (4) van de API-afscheider loopt over in een egalisatie- of bufferbekken met een maximale verblijftijd van vierentwintig uren.

Dit bekken is ontworpen om de samenstelling van het afvalwater, die niet constant is doch varieert naar gelang de lozingen van de fabriek, te homogeniseren.

Het egalisatiebekken is uitgerust met mengers en keerschotten om kortsluiting in het stromingspatroon te verhinderen.

B. Secundaire zuivering

1. pH- en nutriëntenregelingsstelsel

Het gehomogeniseerde afvalwater (7) wordt onder debietcontrole overgepompt naar het pH- en nutriëntenregelingsbekken, waar het door middel van chemicaliën dermate wordt geconditioneerd dat het water (8) ontvankelijk wordt voor de micro-organismen in de biologische reactoren. De pH wordt automatisch alkalisch gehouden

en de nutriënten, ammoniak en fosforzuur, worden toegevoegd volgens de gewichtsverhouding 100 BOD₅/5N/1P.

Een laatste vorm van conditioneren bestaat in een temperatuurcontrole door middel van stoominjectie.

De uitlaat van dit bekken is een verdelingssectie welke de geconditioneerde waterstroom (8) gelijkmatig verdeelt over twee in parallel werkende series biologische reactoren van het type UNOX.

2. Biologische reactoren (UNOX)

a. Algemene informatie over het UNOX systeem

In het actiefslibproces benutten de micro-organismen alleen de zuurstof uit de lucht, vandaar dat het voor de hand ligt zuivere zuurstof als beluchtingsgas te gebruiken. Reeds op het einde van de veertiger jaren werden experimenten in deze richting uitgevoerd [1 en 2], doch de kleine benuttingsgraad van de toegevoegde zuurstof maakte het proces economisch niet aantrekkelijk. Een uitgebreid onderzoeksprogramma stelde de Union Carbide in staat een actiefslibstelsel met zuivere zuurstof als beluchtingsgas op punt te stellen, dat zowel technisch als economisch aantrekkelijk was [3 en 4]. Het actiefslibstelsel bestaat uit één of meerdere cascades van afgedekte beluchtingsbekkens (meestal 3 of 4 in serie) waar afvalwater en zuurstofgas in dezelfde zin doorstromen.

Het voordeel van deze opstelling is dat het sterkst bevuilde water in contact komt met het gas dat nog het rijkst aan zuurstof is. Afb. 1 geeft een principetekening van het UNOX systeem.

Typisch voor het systeem is dat het werkt bij een hoge concentratie van opgeloste zuurstof (6 mg/l); dit geeft tal van voordelen [5]; o.a. betere bezinkingseigenschappen van het slib. Hierdoor kan zelfs bij een relatief klein debiet aan retourslib toch nog een grote concentratie aan actief-slib in de beluchtingsbekkens worden bekomen (5000 à 6000 mg/l).

b. UNOX reactoren op de linkeroever fabriek

De biologische reactie vindt plaats in twee parallel werkende UNOX-reactortreinen. De vereiste zuurstof voor het verloop van het bio-oxidatieproces wordt door de luchtscheidingseenheid van de fabriek geleverd. Het UNOX-systeem bestaat hier uit twee reactortreinen die elk onderverdeeld zijn in vier reactorcellen.

Elke reactorcel is uitgerust met een 60 pk oppervlaktebeluchter, waarvan de indompeldiepte varieerbaar is. Afb. 2 geeft een zicht op het reactordek met op de voorgrond een beluchterturbine.

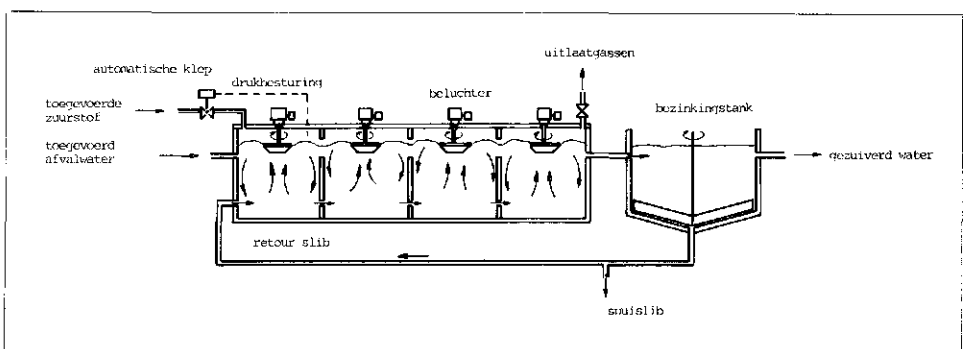
Door een dergelijke reactorconstructie benadert men de ideale menging in elke reactorcel, doch globaal gezien bekomt men een soort propstroom doorheen de reactor. Een dergelijk propstroom-effect houdt in dat men doorheen de reactortrein een concentratiegradiënt bekomt van verschillende componenten zoals: opgeloste zuurstof, BOD, pH. Volgens recente onderzoeken [6] zouden dergelijke gradiënten inhiberend werken op de ontwikkeling van de gevreesde filamenteuze organismen, welke aanleiding geven tot 'bulking' van actief-slib. Het zuurstofdebiet naar de reactor wordt automatisch geregeld op basis van drukcontrole in de reactor.

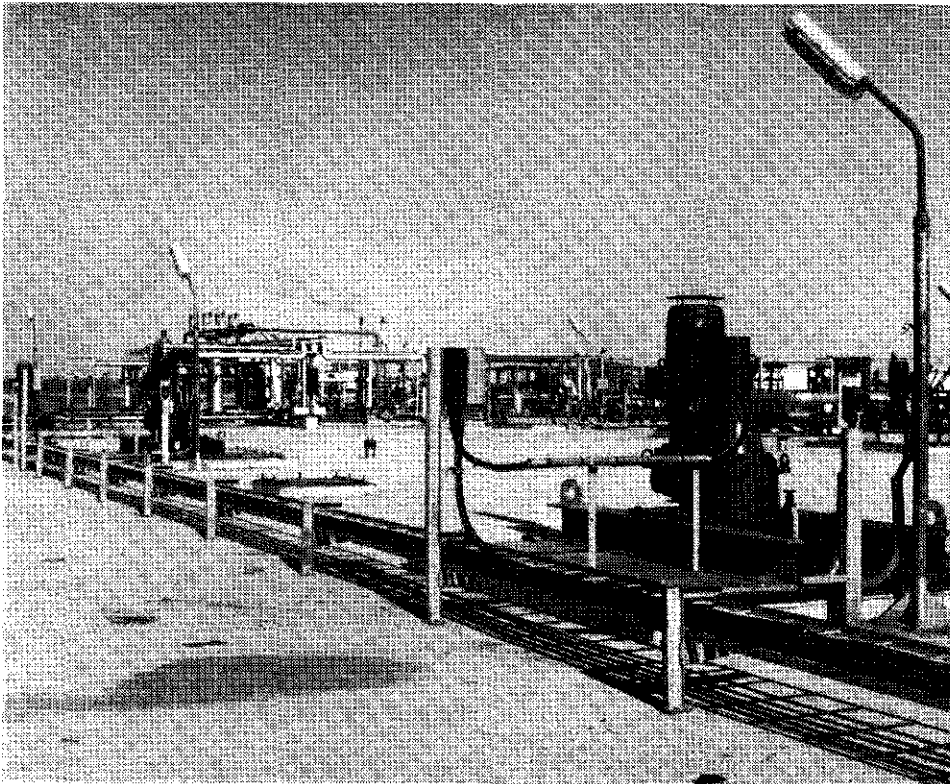
De normale operatiedruk van de reactor is 50 mm waterkolomoverdruk. Het zuurstofgas dat in de eerste cel wordt toegevoegd is praktisch zuiver en verandert langzaam in een mengsel dat arm wordt aan zuurstof en rijker aan koolstofdioxide. Dit ventgas ontsnapt langs de uitlaat van de vierde reactorcel (zie proces-schema).

Het reaktorventgas is een mengsel van ongebruikte zuurstof, edelgassen die met het voedingsgas binnen komen, en koolstofdioxide dat een reactieproduct is van het biologisch proces. Het zuurstofpercentage in het ventgas is een parameter voor de doelmatigheid van het zuurstofverbruik in de reactor.

De ventgaszuiverheid in dit systeem wordt automatisch gemeten en geregistreerd door

Afb. 1 - Schema van UNOX systeem.





Afb. 2 - Zicht op het UNOX reactordek met op de voorgrond een turbine van een oppervlaktebeluchter.

een zuurstofmeter (zie proces-schema). Bij het vaststellen van een te lage zuurstofconcentratie in het ventgas (lager dan 25 volume percent) wordt de controleklep in de ventlijn van de reactor meer geopend. Deze actie resulteert in een daling van de operatiedruk (lager dan 50 mm waterkolom-overdruk) wat het zuurstofdebiet naar de reactor zal doen toenemen.

Tijdens de operatie wordt steeds getracht om een gehalte van 4 tot 6 mg/l aan opgeloste zuurstof in de tweede reactorcel te handhaven. Deze hoge waarden hebben niet enkel een gunstig effect op de bio-oxidatie, doch eveneens op de ontwikkeling van bepaalde protozoa (gesteelde ciliaten) welke de vlokvorming van het actief-slib stimuleren [7].

Elke reactortrein is ontworpen om 50 % van de afvalwaterstroom te behandelen. Het influent, de gerecycleerde slibstroom (13) en de zuurstof-voeding worden normaal in de eerste cel van de reactortrein binnengebracht. De mogelijkheid om de eerste reactorcel over te slaan is voorzien. De hoeveelheid slib die gerecycleerd wordt ligt normaal tussen de 20 - 50 % van het reactorinfluent. De slibconcentratie in de reactor is afhankelijk van de BOD-belasting en de vooropgestelde slibbelastingfactor (F/M).

$$F/M = \frac{\text{kg BOD-belasting/dag}}{\text{kg actief slib in reactor (MLVSS)}}$$

Deze laatste parameter hangt nauw samen met BOD-verwijdering en slibbezinkings-eigenschappen. Voor deze installatie en dit type afvalwater geeft een F/M-waarde van 0,2 tot 0,35 de meest bevredigende resultaten aangaande de kwaliteit van het effluent.

Het gebruik van zuivere zuurstof vergt de nodige veiligheidsmaatregelen; een uitgebreid veiligheidssysteem maakt ook deel uit van de UNOX reactor. De aanwezigheid van koolwaterstoffen in de gassen boven de reactoren wordt continu gemeten door vier explosiemeters welke afgesteld zijn op 25 % en 50 % van de laagste explosiegrenswaarde (zie proces-schema). Bij het bereiken van de 25 % waarde wordt automatisch de zuurstoftoevoer naar de reactoren afgesloten. Eveneens worden de gassen uit de reactoren gepurgeerd door middel van luchtventilatoren. Bij het bereiken van de 50 % waarde stoppen de oppervlaktebeluchters automatisch.

c. Nabezinkingsbekken

De scheiding tussen het gezuiverde water en het actief slib (9/10) gebeurt door middel van twee nabezinkingsbekkens. Elk bekken is ontworpen voor een oppervlaktebelasting van 0,68 m³/h · m² (m/h). De uitlaat van de UNOX-reactoren is voorzien van flocculatiebekkens. Ingeval de slibvlok van een slechte kwaliteit is, wordt in dit bekken een coagulant geïnjecteerd

hetwelk de bezinking verbetert en dus het gehalte aan zwevende stoffen in de overloop (11) van de bezinkingsbekkens doet afnemen. In het voorgaande werd reeds gewezen op de nauwe relatie tussen de slibbelastingfactor (F/M) en de slibbezinkings-eigenschappen.

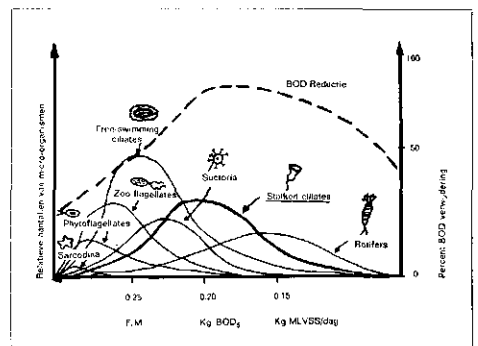
Een goedgekozen slibbelastingfactor kan onrechtstreeks een bijdrage leveren om het probleem van 'solids carry-over' in de nabezinkingsbekkens tot een minimum te beperken. Grote populaties van protozoa in het actief-slib duiden meestal op een goede kwaliteit van het effluent.

Buiten het feit dat deze micro-organismen optreden als indicatoren bij het actief-slibproces, vervullen sommige van hen, zoals de gesteelde ciliaten, een belangrijke rol in het zuiveringsmechanisme zelf. Het is dan ook duidelijk dat men de werkingsparameters zodanig zal kiezen dat de optimale condities voor de gesteelde ciliaten verzekerd zijn.

Voor deze installatie is de aanwezigheid van gesteelde ciliaten bij een slibbelasting van 0,2 duidelijk waarneembaar (afb. 3). De kwaliteit van het effluent (zonder gebruik van coagulant), is onder deze omstandigheden, voor wat betreft BOD-reductie en helderheid, zeer bevredigend (afb. 3). De gesteelde ciliaten zouden onder deze omstandigheden het water met de gedispergeerde bacteriën opzuigen en het gefilterd terug naar buiten sturen [7]. Het gevolg hiervan is dat het gehalte aan zwevend materiaal vermindert en de densiteit van het slib-bed in het nabezinkingsbekken verhoogt.

Het bodemslib [12] van de nabezinkingsbekkens wordt door middel van hevelwerking getransporteerd naar het bioslibbekken. Het grootste gedeelte hiervan wordt met debietcontrole gerecycleerd [13] naar de UNOX-reactoren. Het spuislib (14) wordt naar de slibconditioneertank gepompt waar het samen met het primaire slib (5) wordt vermengd.

Afb. 3 - Verband tussen slibbelasting, BOD-reductie en relatieve groei van de micro-organismen.



De overloop van de nabezinkingsbekkens wordt via het effluentbekken (11) naar de Schelde gepompt.

De pH-, temperatuur-, opgeloste zuurstof-, TOD-waarden en debiet van het geloosde water (11) worden continu geregistreerd.

C. Slibbehandelingssysteem

Zoals bij elke biologische zuivering het geval is, wordt ook hier het afvalwaterprobleem omgezet in een afvalslibprobleem. De slibbehandelingsinstallatie bestaat uit een slibconditioneertank en een decanteercentrifuge.

Deze laatste is cilindrisch-conisch en bestaat uit twee essentiële onderdelen: een roterende mantel en een roterende transport-schroef.

De mantel draait met een snelheid van 1800 tpm, en de schroef met een snelheid van 1797 tpm. De slibstroom die centraal in de centrifuge wordt gepompt, wordt eerst geconditioneerd met een oplossing van polyelektrolyten, welke sterk cationisch is. De doseringshoeveelheid is ongeveer 30 tot 50 mg per liter slib. Het droge stofgehalte van de slibcake varieert tussen de 12 en 15 %.

4. Besluit

Afb. 4 geeft een overzicht van de gehele installatie met uitzondering van het pompstation dat zich centraal in de fabriek bevindt.

Door het gebruik van zuivere zuurstof in het actiefslibproces neemt deze fabriekseenheid een speciale plaats in op het vlak van de belgische industriële afvalwaterzuivering.

Zoals reeds in het begin van dit betoog werd aangestipt, bestaat een modern milieubeheer niet enkel in het bouwen en opereren van technisch sterke afvalbehandelingsinstallaties. Het grootste gedeelte van de afvalwaterproblemen kan immers worden opgelost in de verschillende fabriekseenheden zelf; dus *boven* de riool. Uitgaande van deze basis en door de integratie van 'environmental en process engineering know how', kon voor het afvalwaterprobleem van Union Carbide's linkerover fabriek een passende oplossing worden gevonden.

Dankbetuiging

Tenslotte dankt de schrijver de heer ir. H. van Cauwenberghe (Union Carbide

Engineering Center) voor zijn bijdrage in de algemene beschrijving van het UNOX systeem.

Literatuur

1. Okun, D. A., *System of Bio-precipitation of Organic Matter from Sewage*. Sewer Work Journal 21 - 1949.
2. Okun, D. A. and Lynn, W. R. *Preliminary Investigation into the Effect of Oxygen Tension on Biological Sewage Treatment. Biological Treatment of Sewages and Industrial Wastes. Vol. 1 Aerobic Oxydation*. Reinhold Publishing Corp. New York, 1956.
3. Albertson, J. G., McWhirter, J. R., Robinson, E. K., and Vahldieck, N. P. *Investigation of the Use of High Purity Oxygen Aeration in the Conventional Activated Sludge Process*. FWQA Department of Interior. Program Nr. 17050 DNW May 1970.
4. Boon, A. G. *Use of Oxygen in the Treatment of Waste Water*, H₂O 1977, Nr. 10.
5. Chapman, T. D., Matsch, L. C., Zander, E. H. *Effect of High Dissolved Oxygen Concentration in Activated Sludge Systems*. Journal Water Pollution Control Federation. November 1976 - Vol. 48, Nr. 11.
6. Houtmeyers, J., Verachtert, H. *Mondelinge mededeling, Laboratorium Industriële Microbiologie en Biochemie*. Katholieke Universiteit Leuven.
7. Kuiper, J. *De Rol van de Protozoën in de Waterzuivering*. H₂O (6) 1973, Nr. 19.

Afb. 4 - Luchtfoto van de Afvalwaterzuiveringseenheid te Zwijndrecht.

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. olieafscheider | 6. Unox-zuid reactor |
| 2. noodbekken | 7. nabezinkingsbekkens |
| 3. egalisatiebekken | 8. bio-slib- en effluent bekken |
| 4. pH-regelings- en nutriënten doseringsbekken | 9. chemicaliën gebouw |
| 5. Unox-noord reactor | 10. slibbehandelingsinstallatie |

