

Oriënterend chemisch-microbiologisch onderzoek naar de effectiviteit van de biologische afvalwaterzuivering in België

I. Inleiding

Het probleem van de verwijdering van afvalstoffen en van afvalwaters is reeds lang gekend en voldoende beschreven, zodat het onnodig is hierop nu terug te komen. Ook de oplossingen, die in aanmerking komen, werden reeds dikwijls besproken. Hierbij neemt de biologische zuivering van afvalwaters een belangrijke plaats in. Dit proces, gebaseerd op de groei en het metabolisme van een gemengde microbiële flora, wordt ook in België toegepast voor huishoudelijke afvalwaters en in beperkte mate voor industriële afvalwaters. Voor agrarische afvalwaters kan men zelfs nog niet spreken van een beginstadium.

In 1970 waren er in België ongeveer 55 zuiveringsinstallaties voor huishoudelijk afvalwater in werking (volgens gegevens van het Ministerie van Volksgezondheid). Slechts één daarvan was berekend voor een bevolking van meer dan 50.000 inwoners, terwijl de meeste voorzien waren voor minder dan 10.000 inwoners.

Sindsdien is er één installatie voor 400.000 inwoner-equivalenten in gebruik genomen. Van het ene uiterste is men dus plots overgegaan naar het andere en dit doet onmiddellijk enkele belangrijke problemen rijzen, o.a. problemen van bedrijfsbeheer en procescontrole. Aangezien er nu ook plannen bestaan voor de bouw van een ganse reeks van waterzuiveringsstations, zullen deze beheersproblemen zich steeds dringender gaan stellen en zal er keuze moeten gemaakt worden tussen voldoende alternatieven: willekeurige bouw van relatief kleinere installaties of grondig geplande bouw van grotere eenheden.

Indien men opteert voor deze laatste oplossing, zal men onvermijdelijk moeten overstappen van empirisme naar een doelmatige ingenieurstechnische aanpak, gezien de enorme reeks technieken, die hedendaags moeten aangewend worden om de biologische processen van de afvalwaterzuivering en de verdere verwerking van slib te kunnen beheersen. In dit kader mag gerust vooropgesteld worden, dat grotere installaties voor biologische zuivering evenwel ingenieurstechnieken zullen vergen als de meeste industrieën.

In de hoop een bijdrage te kunnen leveren aangaande de te nemen optie, leek het ons nuttig eerst de bestaande zuiveringsinstallaties aan een situatiestudie te onderwerpen. Daartoe werden elf zuiveringsstations, willekeurig gekozen, chemisch-microbiologisch onderzocht, terwijl terzelfdertijd de inrichting en het beheer van die installaties werden vergeleken. Deze studie, waarvan de resultaten hier beschreven worden, werd uitgevoerd tijdens de periode december 1971 - maart 1972, waarbij de gemiddelde temperatuur van het afvalwater varieerde van 10 tot 12 °C.

II. Methoden

A. Bemonstering

Alle chemisch-microbiologische ontledingen werden uitgevoerd op influentmonsters, genomen juist na het grofrooster of het snijrooster en op effluentmonsters, genomen uit de overloop van de nabezinkingstank. De monsters werden vervoerd in volledig gevulde flessen, afgesloten met een glazen stop, onder ijскоeling. Alle ontledingen werden on-

middellijk na aankomst op het laboratorium uitgevoerd. Eventuele tussentijdse korte bewaring van de monsters geschiedde op 1 °C.

B. Chemische ontledingen

Als maatstaf voor de verwijdering van oxydeerbare — opgeloste en onopgeloste — bestanddelen werden BOD en COD bepalingen uitgevoerd op het ruwe influent en op het geïsoleerde effluent. Hierbij werd geen onderscheid gemaakt tussen verwijdering door biologische oxydatie of door bezinking.

a. BOD bepaling

Met uitzondering van het industrieel afvalwater van installatie I, met een pH = 8,8 voor influent en effluent, varieerde de pH van de overige afvalwaters van 6,5 tot 7,5. Voor de BOD bepaling werden alle stalen op pH = 7,0 gebracht met HCl of NaOH. Daarna werd een reeks verdunningen aangelegd, waarvoor bronwater gebruikt werd met een eigen BOD, lager dan 0,5 mg zuurstof per liter. Dit verdunningswater werd gebufferd op pH = 7,2, door aan 1 liter bronwater 1 ml toe te voegen van een oplossing, die per liter gedestilleerd water bevat: 8,5 g KH₂PO₄, 21,75 g K₂HPO₄, 33,4 g Na₂HPO₄ · 7 aq., 1,7 g NH₄Cl. Daarnaast werd één ml van volgende zoutoplossingen toegevoegd: 22,5 g MgSO₄ · 7 aq./l, 27,5 g CaCl₂/l en 0,25 g FeCl₃ · 6 aq./l. Het zuurstofgehalte van het bronwater bedroeg 9,1 mg/l bij 20 °C. Voor de berekeningen kwamen alleen die verdunningen in aanmerking, waarbij op het einde van de incubatieperiode tussen 33 en 66 % van de opgeloste zuurstof aanwezig was. Verdunningen met 0,5 à 5 % influent en 5 à 50 % effluent waren meestal voldoende. Er werd geen bijkomende enting uitgevoerd. De incubatie en de titraties werden uitgevoerd, zoals voorgeschreven door de Belgische Normen (NBN 407 van 1956).

b. COD bepaling

Deze werd uitgevoerd zoals beschreven in „Standard Methods” (1970), met volgende modificaties: alle hoeveelheden werden vermeerderd met een faktor 2,5 behalve Ag₂SO₄, waarvan 1 g als dusdanig aan het reactiemengsel werd toegevoegd. De terugtitratie gebeurde met een ferroammoniumsulfaatoplossing 0,25 N.

c. Stikstofbepalingen

Ammoniakale stikstof werd bepaald volgens de methode van Jacobs (1963), gebaseerd op de reactie van ammoniak met fenol en hypochloriet. Nitrietstikstof werd eveneens colorimetrisch bepaald volgens de methode van Griess-Ilosvay, beschreven door Höll (1970), gebaseerd op de vorming van diazoniumverbindingen met sulfanilinezuur. Nitraatstikstof werd potentiometrisch bepaald met behulp van een niraat-electrode Orion (model 92-07). Bij de niraatbepaling kunnen andere ionen, vooral chloraationen, interfereren. Om die mogelijke interferentie uit te schakelen werd als volgt gewerkt: in een eerste meting, rechtstreeks op het afvalwater, werd de elektrische potentiaal bepaald van een mengsel van afvalwater en een standaard-niraatoplossing in gekende verhoudingen. Met behulp van de standaardkurve voor niraationen werd dan voor beide metingen het gehalte

*) Aspirant van het Belgisch Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek.

aan nitraat bepaald. Indien er geen interferentie van vreemde anionen is, moet het nitraatgehalte, gevonden in de eerste meting, overeenstemmen met het nitraatgehalte van het afvalwater in de tweede meting, berekend als het verschil tussen de gevonden totale waarde en de gekende waarde voor de toegevoegde hoeveelheid nitraat.

In geen enkel afvalwater werd interferentie vastgesteld. De totale organische stikstof werd bepaald volgens de micro-Kjeldahl methode en rechtstreekse colorimetrische bepaling van het ammoniakgehalte in het verteerde mengsel. De methode is toepasselijk voor zeer lage gehalten aan organische stikstof en uitvoerbaar op grote reeksen monsters. Voor de vertering werd de methode van Strauch (1956) gevolgd. Het verteerde mengsel werd daarna aangengeld met water tot 10 ml en op 4 ml hiervan werd het ammoniakgehalte bepaald volgens de methode van Jacobs. Nochtans was het noodzakelijk de hoeveelheid NaOH in het hypochlorietreagens te verhogen van 0,83 g/100 ml (Jacobs) tot 2,2 g/100 ml. Slechts in deze omstandigheden kon de hoeveelheid zwavelzuur in het verteerde mengsel geneutraliseerd worden en kon men terzelfder tijd een pH-waarde verkrijgen tussen 12 en 13, waarbij reproduceerbare resultaten bekomen werden. Deze pH-zone is volgens Harwood en Huyser (1970) en volgens eigen bevindingen absoluut vereist: beneden een pH = 12 bekomt men een gevoeligheidsvermindering van de fenol-hypochlorietmethode, terwijl boven pH = 13 geen lineaire correlatie gevonden wordt tussen de gevormde kleur en het gehalte aan ammoniak.

d. Fosfaatbepalingen

Alleen het totaal fosforgehalte werd bepaald. De methode is deze van Fiske en Subbarow (1925).

C. Microbiologische bepalingen

Met de bedoeling enig inzicht te krijgen in de natuur van de aanwezige microflora in influent en effluent en gegevens te verkrijgen over de eliminatie van bepaalde groepen van microorganismen, werden influent en effluent in verschillende verdunningen uitgezaaid op verschillende voedingsbodems. Alle platen werden aan het oppervlak geënt door uitstrijking van 0,1 ml fracties. Voor het maken der verdunningen werd een Ringeroplossing, verdund op 1/4, aangewend. Verdunningen van 10^{-1} tot 10^{-5} voor influent en van 10^0 tot 10^{-5} voor effluent waren doorgaans de meest geschikte.

a. Enterobacteriaceae

Deze familie van bacteriën is vooral afkomstig van faecaliën en omvat mogelijke pathogene soorten als *Salmonella* en *Shigella*. Ook bodem- en waterbacteriën als *Enterobacter*, *Erwinia*, *Serratia*, *Proteus* e.a. behoren eveneens tot deze familie. Voor het aantonen en tellen van deze bacteriën werd het Kristalviolet-Neutraalrood-Gal-Glucose milieu van Mossel et al. (1962) gebruikt, dat naast de *Enterobacteriaceae* ook nog enkele andere fermentatieve Gram-negatieve bacteriën (*Aeromonadaceae*) toelaat te ontwikkelen. Praktisch werd Oxoid Violet Red Bile Agar gebruikt, waaraan 1 % glucose werd toegevoegd. De platen werden anaëroob bebroed gedurende 24 h op 37 °C en alleen de koloniën met een paarse precipitatiehof geteld.

b. Staphylococci

Hoge zoutconcentraties remmen praktisch alle bacteriën, uitgezonderd de pathogene staphylococci en de halofiele micrococci. De eerste zetten bovendien mannitol om tot zuren. Aangezien de banale micrococci weinig voorkomen in afvalwater, blijkt het medium van Chapman (1945), dat mannitol en 7,5 % NaCl bevat, bijzonder goed geschikt voor het aantonen van pathogene staphylococci. Praktisch werd de Mannitol Salt Agar (M S A) van Oxoid gebruikt. De platen werden twee dagen aëroob op 30 °C bebroed en onderzocht op kolonietype: de koloniën met gele hof dui-

den op pathogene staphylococci (mannitolvergisting), die met rode hof op niet-pathogene soorten. Daar pathogene staphylococci vooral overgedragen worden langs de huid, oren, ogen, neus en keel kunnen ze een aanduiding zijn voor het mogelijk gebruik van water voor recreatieve doeleinden (zwemmen).

c. Faecale streptococci

Faecale streptococci zijn eveneens indicatororganismen voor het opsporen van een faecale verontreiniging in water en zijn dus ook een aanduiding voor de mogelijke aanwezigheid van pathogene kiemen. Voor het aantonen en tellen van deze bacteriën werd de Streptocel Agar van BBL gebruikt, die een toepassing is van het medium van Pike (1945), waarvan de selectieve werking berust op de aanwezigheid van natriumazide (remming van de Gram-negatieve bacteriën) en van kristalviolet (remming van de meeste Gram-positieve bacteriën). De platen werden twee dagen aëroob bebroed op 37 °C en alle kleine, regelmatige koloniën geteld.

d. *Arthrobacter* en andere Gram-positieve, veeleisende bacteriën

Vroeger werd reeds vermeld, dat in bepaalde rijke afvalwaters een aanrijking kan gebeuren van *Arthrobacter* (Adamse, 1968). Bloed-Nalidixinezuur-Agar volgens Beerens (1966) is een medium dat relatief specifiek is voor streptococci, *Corynebacteriaceae*, *Arthrobacter* en andere veeleisende Gram-positieve bacteriën. Staphylococci worden gedeeltelijk en de meeste Bacillussoorten volledig geremd door de selectieve werking van het nalidixinezuur. Practisch werd Difco Blood-Agar-Base gebruikt, waaraan 40 mcg/ml nalidixinezuur werd toegevoegd en, na sterilisatie, 10 ml/100 ml gedefibrineerd, steriel paardenbloed (Inst. Pasteur, Brussel). De schalen werden aëroob bebroed op 30 °C en na twee dagen werden alle grote koloniën geteld.

e. *Pseudomonas* en andere niet-veeleisende, Gram-negatieve bacteriën

Voor de telling van deze groep van bacteriën werd Sugar-free Agar (BBL) gebruikt, waaraan 1 mcg/ml kristalviolet werd toegevoegd (Mossel, persoonlijke mededeling, 1971). Dit medium is relatief specifiek voor *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter* en andere Gram-negatieve niet-veeleisende bacteriën; de selectiviteit berust op de afwezigheid van kristalviolet. Na een aërobe bebroeding van 3 à 5 dagen op 16 °C, verkrijgt men door telling een idee van het aantal nuttige micro-organismen, betrokken bij de waterzuivering.

f. Kiemgetal op rijk medium

Voor de bepaling van het „totaal” aantal kiemen werd het gekende Tryptoney Soya-Agar (TSA) milieu gebruikt van Oxoid. De incubatie gebeurde aëroob bij 16 °C en de telling na 3 à 5 dagen geeft een idee van het totaal aantal bacteriën, kweekbaar op een rijke voedingsbodem.

g. Kiemgetal op arm medium

Het medium van Jones (1970) is arm aan organische bestanddelen. Het kiemgetal, bekomen na een aërobe bebroeding van de platen gedurende 3 à 5 dagen bij 16 °C geeft een beeld van de totale microbiële, z.g. oligotrofe flora, dit is kweekbaar op een arme voedingsbron. Normaal zou de zuivering van afvalwater moeten gepaard gaan met een relatieve aanrijking van deze „arme” flora. Het medium werd zelf bereid.

D. Onderzoek naar remstoffen

Talrijke remstoffen, die in afvalwater kunnen voorkomen, kunnen het proces van de biologische zuivering nadelig beïnvloeden. Om zulke effecten aan te tonen werd het influent onderzocht op hun aanwezigheid. Daartoe werd aan

het afgecentrifugeerd influent een geconcentreerd voedingsmedium, een entflora en een oxydoreductie indicator toegevoegd. Indien remstoffen aanwezig zijn, zal de groei van de microbiële flora afgeremd worden en zal de indicator niet of sterk vertraagd van kleur veranderen (Mossel & Soedarmo, 1971).

a. Voedingsbodem

Als voedingsbodem werd het milieu van Jones (1970) gebruikt. De proeven werden zowel aëroob als anaëroob uitgevoerd. Voor de aërobe proeven werd in serumflesjes van 50 ml inhoud, 13,5 ml afgecentrifugeerd (10.000 g, 15 min.) influent gebracht en 1,5 ml van een tienvoudig geconcentreerd Jonesmedium, waaraan per 100 ml vooraf twee tabletten resazurineindicator (BDH chemicals) werden toegevoegd. Als controle werden 13,5 ml steriel water i.p.v. influentwater gebruikt. Voor de anaërobe proeven werden in 25 ml serumflesjes 22,5 ml influent en 2,5 ml tien maal geconcentreerd Jonesmedium gebracht.

b. Entmateriaal

Hiervoor werd 0,1 ml gebruikt van een suspensie van microorganismen, bekomen vanaf actief slib op de volgende manier. Actief slib werd gehomogeneiseerd, waarna 1 ml daarvan werd overgeënt in 10 ml steriel Jonesmedium. Deze suspensie werd gedurende twee dagen bebroed op kamertemperatuur. Om de twee dagen werd telkens opnieuw 0,1 ml hiervan in 10 ml steriel Jonesmedium geënt. Zo heeft men steeds een entflora beschikbaar, die relatief stabiel is. Deze flora wordt aangeduid als de „doorgetrokken lijn” (DLF). Parallel werd als entflora echter steeds vers bemonsterd slib gebruikt, afkomstig van de installatie, die onderzocht werd. Hiervoor werd actief slib van het bedoelde station in een minimale hoeveelheid Jonesmedium gehomogeneiseerd en het afgecentrifugeerd influent met 0,1 ml van deze suspensie geënt. Dit laat toe de aanwezigheid na te gaan van een eventueel aan de aanwezige remstoffen geadapteerde flora. Als blanco-tests werden aan een reeks flesjes gekende hoeveelheden remstoffen toegevoegd: resp. 1 ml van een 4 % NaF oplossing, 1 ml 0,01 % AgNO₃, 1 ml 0,005 % merthio-laal (natrium-ethyl-mercurithiosalicylaal), 0,01 % formol en 10 % Nacconol (Na-laurylsulfaat). Merthio-laal werd bekomen bij Fluka en Nacconol bij Merck-Suchardt. Alle flesjes, zowel aëroob als anaëroob, werden op 16 °C bebroed. De kleuromslag van de indicator werd genoteerd in functie van de tijd gedurende een periode van 50 h. In tabel 1 en 2 worden de experimentele gegevens samengevat.

In één reeks proeven is de entvloei stof de doorgetrokken lijn, in een tweede reeks is dit het actief slib van de onderzochte installatie.

E. Sedimenteerbare bestanddelen

Onopgeloste bestanddelen werden bepaald door centrifugatie van 250 ml afvalwater gedurende 15 min. op 3000 g. De bekomen neerslag werd gehersuspendeerd en kwantitatief overgebracht in conische centrifugebuisjes van 15 ml. Na een tweede centrifugatie onder dezelfde voorwaarden werd de hoeveelheid sediment afgelezen in ml.

F. Diverse bepalingen

Op alle waters werd de pH en de temperatuur bepaald. De resultaten werden reeds hoger in de tekst vermeld. Ook de kleur van het influent en van het effluent werd genoteerd.

III. Resultaten

1. Algemene karakteristieken van de zuiveringsstations

In tabel 3 zijn de algemene karakteristieken van de onderzochte installaties samengebracht.

TABEL I - Proefopzet bij het onderzoek naar remstoffen onder aërobe voorwaarden

Ingrediënten	ml te gebruiken in 50 ml flesjes in experiment met:						
	steriel water	influent	NaF	AgNO ₃	formol	Nacconol	merthio-laal
Jonesmedium (10 x geconc.)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Remstof	—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Influent	—	13,5	—	—	—	—	—
Steriel water	13,5	—	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Entvloei stof	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

TABEL II - Proefopzet bij het onderzoek naar remstoffen onder anaërobe voorwaarden

Ingrediënten	ml te gebruiken in 25 ml flesjes in experiment met:						
	steriel water	influent	NaF	AgNO ₃	formol	Nacconol	merthio-laal
Jonesmedium (10 x geconc.)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Remstof	—	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Influent	—	22,5	—	—	—	—	—
Steriel water	22,5	—	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
Entvloei stof	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

TABEL III - Algemene karakteristieken van de onderzochte zuiveringsstations

Station	capaciteit (IE)	uitrust. pro- ces 2)	Karakteristieken 1)				personeel 5)			
			slib- gisting	prod. 4) slib- gassen	ge- bruik- labo- ting	ge- bruik labo	A	B	C	
										3) slib- gisting
I	55.000	BB	++	—	—	+	—	0	1	1
II	18.500	BB	+	—	—	—	—	0	1	½
III	15.000	BB	++	—	—	+	—	0	½	1
IV	26.000	BB	++	—	—	+	—	0	½	½
V	9.000	BB	+	—	—	+	—	0	½	1
VI	21.000	BB	++	+	—	+	—	—	—	—
VII	20.000	BB	+	+	—	+	—	0	1	1
VIII	80.000	BB	++	±	—	+	+	0	1	3
IX	4.000	BB	+	+	—	+	—	0	½	0
X	23.000	AS	++	+	+	+	—	0	1	2½
XI	155.000 6)	AS	—	—	—	+	+	1	—	—

1) Alle installaties, uitgezonderd XI, zijn voorzien voor huishoudelijk afvalwater. Stations I en III ontvangen echter ook veel industrieel afvalwater. De pH van influent was ongeveer 7 bij alle stations. De temperatuur van het influent was overal rond de 10 °C, uitgezonderd station VIII, waar de temperatuur 10 °C was (thermische bezoedeling) en station XI met een temperatuur van 40 °C. Alle stations hadden ruimte voor slibdroging: bij III en V was de ruimte overdekt.

2) BB: van het type bakteriebed; AS: van het type actief slib.

3) + duidt op het bestaan van een slibgistingstank.
++ duidt op het bestaan van een inrichting voor recuperatie van de gassen.

4) + duidt op een werking van de slibgisting.
— duidt op de afwezigheid van gasvorming.
± duidt op een gasproductie ver onder de theoretische hoeveelheid.

5) A: personeel, niveau technisch ingenieur of hoger.

B: toezichters.

C: arbeiders.

½: personeel part-time tewerk gesteld.

6) station berekend voor een belasting van gemiddeld 7.000 ppm BOD.

2. Chemische bepalingen

a. BOD en COD bepalingen

In tabel 4 zijn de resultaten van de BOD en COD metingen op het influent en het effluent weergegeven.

b. Stikstof en fosforbepalingen

De gehalten aan stikstof en fosfor in effluent en influent van de verschillende stations zijn samengevat in de tabellen 5, 6 en 7.

c. Sedimenteerbare bestanddelen

In alle zuiveringsinstallaties werd in het ruw influent 1 à 2 ml/l sedimenteerbare bestanddelen gevonden (behalve in station V, met slechts 0,1 ml/l). In de effluënten was het volume sedimenteerbare bestanddelen gemiddeld 0,5 ml/l, met uitzondering van station V met slechts 0,1 ml/l. De reductie schommelt overal rond de 70,0 %.

d. Remstoffen

In tabel 8 zijn de verkleuringstijden van resazurine weergegeven, bekomen onder aërobe incubatievoorwaarden met de doorgetrokken lijn en de verschillende slijsoorten van de stations en dit in afwezigheid van remstoffen, in aanwezigheid van influent en van gekende remstoffen. Resazurine verkleurt van paars, via roos, naar kleurloos.

Voor de stations I en VII werd, met als entflora het actief slijb van de stations, voor water + 0,001 % AgNO_3 een ontcleuring waargenomen na respectievelijk 57 en 45 h. Voor de installatie XI bedroeg de volledige ontcleuringstijd voor het influent 26 h (roos) en 36 h (kleurloos), derhalve significant verhoogd, wanneer de doorgetrokken lijn als ent gebruikt werd. Werde echter het slijb van het station zelf gebruikt als ent, dan verkreeg men ontcleuringstijden zoals weergegeven in tabel 9.

TABEL IV - BOD_5 en COD waarden van influent en effluent van de verschillende stations

Station	BOD_5 (mg O_2 /l)			COD (mg O_2 /l)		
	influent	effluent	reductie (%)	influent	effluent	reductie (%)
I	245	50	79,6	474	161	66,0
II	415	23	94,5	883	76	91,4
III	290	104	64,1	666	229	65,6
IV	596	18	97,0	1.456	119	91,8
V	40	12	70,0	91,5	43	53,0
VI	245	37	84,9	380	95	75,0
VII	280	62	77,9	656	216	67,1
VIII	543	35	93,6	964	99	89,7
IX	225	33	85,3	472	85	82,0
X	556	9	98,4	1.304	35	97,4
XI	10.940	152	98,6	12.890	546	95,8

TABEL V - Gehalte aan ammoniakale en organische stikstof in influent en effluent van de verschillende stations

Station	Ammoniakale N (mg N/l)			Organische N (mg N/l)		
	influent	effluent	reductie (%)	influent	effluent	reductie (%)
I	22,8	14,0	38,6	23,6	9,6	59,5
II	27,2	4,0	85,3	35,3	4,1	88,2
III	57,6	33,6	41,7	58,4	30,4	47,9
IV	48,8	2,2	95,4	72,2	7,5	89,6
V	8,4	0,15	98,2	5,6	2,1	3,5
VI	23,2	4,8	79,3	14,8	12,7	14,2
VII	22,8	15,6	31,6	29,2	8,6	70,5
VIII	26,0	14,6	43,8	38,0	7,8	79,5
IX	20,4	5,4	73,5	24,6	5,3	78,5
X	39,6	0,08	99,8	62,4	5,5	91,2
XI	460,0 ¹⁾	95,0	79,3	40,0	47,0	+ 17,5

¹⁾ In deze installatie werd ammoniak toegevoegd voor de pH-regeling.

TABEL VI - Gehalte aan nitriet- en nitraastikstof in influent en effluent

Station	Nitriet-N (mg N/l)			Nitraat-N (mg N/l)		
	influent	effluent	toename (%)	influent	effluent	toename (%)
I	0,14	0,91	55,0	3,75	5,93	58,1
II	0,14	0,19	35,7	5,10	28,20	453,0
III	0,00	0,64		4,66	7,05	51,3
IV	0,04	0,08	100,0	4,55	15,80	248,0
V	0,23	0,24	4,3	2,58	5,93	130,0
VI	0,71	0,34	— 52,0	4,70	6,70	42,3
VII	0,12	0,20	66,7	6,70	10,00	49,3
VIII	0,00	0,20		5,40	10,35	91,7
IX	1,58	0,25	— 84,2	12,90	16,20	25,1
X	0,00	0,04		5,00	26,40	430,0
XI	0,00	0,03		20,57	4,11	— 80,0

TABEL VII - Gehalte aan totale fosfaten in influent en effluent

Station	Totale fosfaten (mg P/l)		
	influent	effluent	reductie (%)
I	28,0	18,0	35,7
II	57,3	25,0	56,4
III	33,4	25,8	22,8
IV	36,3	24,9	31,4
V	2,7	2,6	3,7
VI	8,1	4,7	42,0
VII	63,6	19,1	70,0
VIII	39,3	14,2	63,9
IX	57,1	50,5	11,2
X	23,8	17,5	26,5
XI	262,0 ¹⁾	155,3	40,7

¹⁾ Fosforzuur werd toegevoegd voor pH-regeling.

TABEL VIII - Sesazurineverkleuring bij aërobe bebroeding

Componenten	Verkleuringstijden in uren bij enting met:			
	doorgetrokken lijn		geadapteerde flora van stations I - X	
	roos	kleurloos	roos	kleurloos
Zuiver water	9	12	17—19	20—23
Gecentrifugeerd influent I - X	8	10	15	19
Water + 0,01 % formol	10	12—16	17—19	23—26
Water + 4 % NaF	16—19	25—30	21—23	28—32
Water + 10 % Nacconol	20—22	28—31	28—30	43—47
Water + 0,005 % merthiolaat	50	—	50	—
Water + 0,001 % AgNO_3	geen verkleuring na 50 h		geen verkleuring na 50 h	

TABEL IX - Verkleuring van resazurine onder aërobe omstandigheden voor actief slijb van station XI

Componenten	Verkleuringstijden in uren	
	roos	kleurloos
Zuiver water	13	21
Gecentrif. infl.	12	27
Water + 0,01 % formol	12	36
Water + 4 % NaF	12	36
Water + 10 % Nacconol	36	41
Water + 0,005 % merthiolaat	14	geen ontcleuring na 50 h
Water + 0,001 % AgNO_3	36	geen ontcleuring na 50 h

In tabel 10 worden de verkleuringstijden weergegeven van resazurine, bekomen met de doorgetrokken lijn en de verschillende slijsoorten van de stations, onder anaërobe incubatie.

TABEL X - Ontkleuringstijden van resazurine bij anaërobe incubatie

Componenten	Verkleuringstijden in uren bij enting met: geadapteerde flora			
	doorgetrokken lijn roos		van stations I - X kleurloos	
Zuiver water	10—15	17—20	19—20	25—27
Gecentrif. infl. I - X	10—15	17—20	15	19—23
Water + 0,01 % formol	12—15	18—21	17—19	23—26
Water + 4 % NaF	18—21	28—31	25	28—30
Water + 10 % Nacconol	28—30	35—37	sterk variërend	
Water + 0,005 % methiolaat	30	± 60	45—50	60—67
Water + 0,001 % AgNO ₃	geen verkleuring		geen verkleuring	

TABEL XI - Verkleuring van resazurine voor actief slib van station XI onder anaërobe omstandigheden

Componenten	Verkleuringstijden in uren	
	roos	kleurloos
Zuiver water	12	27
Gecentrif. infl.	14	30
Water + 0,01 % formol	12	27
Water + 4 % NaF	14	36
Water + 10 % Nacconol	36	41
Water + 0,005 % methiolaat	14	geen ontcleuring
Water + 0,001 % AgNO ₃	36	geen ontcleuring

Voor de stations I en VII werd ook in deze omstandigheden, met als entflora actief slib van het station, voor water + 0,001 % AgNO₃ een ontcleuringstijd waargenomen van respectievelijk 65 en 32 h. Met de doorgetrokken lijn verkreeg men onder anaërobe voorwaarden voor installatie XI een ontcleuringstijd voor het influent van 34 h (roos) en 41 h (kleurloos), derhalve opnieuw duidelijk vertraagd. Met het slib van het station als ent krijgt men echter de ontcleuringstijden weergegeven in tabel 11.

3. Microbiologische bepalingen

In de tabellen 12, 13 en 14 zijn de resultaten samengevat van de tellingen op de verschillende voedingsbodems voor influent en effluent van de stations I tot en met XI.

IV. Bespreking van de resultaten

1. Algemene karakteristieken van de zuiveringsinstallaties

Bij het vergelijkend onderzoek van de verschillende stations springen drie markante feiten onmiddellijk in het oog:

1. de relatieve kleine schaal van alle installaties;
2. het niet-functioneren van de slibgistingstanken;
3. de afwezigheid van geschoold personeel en van regelmatige analyses.

De gebrekkige werking van de slibgistingstanks heeft verschillende oorzaken: te lage temperatuur door het ontbreken van een verwarmingssysteem, ongeschikte pH, aanwezigheid van detergenten, overmaat hercirculatie en dus beluchting, barsten in de tanks, enz.

Practisch alle installaties bezitten een klein laboratorium, maar met uitzondering van één geval wordt deze uitrusting niet gebruikt, als gevolg van de afwezigheid van geschoold personeel. Nergens wordt bij het personeel een graad, hoger dan A2 aangetroffen, terwijl slechts in één geval dit niveau bereikt wordt. Al het overige personeel bestaat uit toezichters en arbeiders, die verantwoordelijk zijn voor het onderhoud, enkele roetineuitvoeringen, zoals slibcirculatie, naar de gistingstanks of naar de droogbedden en algemene bewaking. Bij praktisch al deze personen was er enthousiasme voor het werk, maar bijna allen betreurden het ontbreken van regelmatige analyses en van geschikte richtlijnen en het gebrek aan belangstelling vanwege de overheid. Aangezien de biologische zuivering van water een waarach-

TABEL XII - Aantal Enterobacteriaceae, Staphylococci en Streptococci in influent en effluent van de verschillende zuiveringsstations

Station	Aantal kiemen x 10 ⁵ /ml								
	Enterobacteriaceae			Staphylococci 1)			Streptococci		
	infl.	effl.	red. 2)	infl.	effl.	red.	infl.	effl.	red.
	%			%			%		
I	0,82	0,22	73,2	0,001	0,0023	+	0,63	0,028	95,6
				0,001	0,0045	+			
II	0,84	0,06	92,0	0,1	0,003	97,0	0,43	0,0097	97,7
				0,24	0,0055	97,7			
III	2,3	0,53	77,0	0,64	0,34	94,7	3,1	0,23	92,6
				0,21	0,094	55,2			
IV	1,9	0,035	98,2	0,029	0,019	34,5	0,33	0,011	96,7
				0,048	0,007	85,4			
V	0,03	0,009	70,0	0,004	0,0001	97,5	0,07	0,0044	93,7
				0,005	0,0005	90,0			
VI	3,1	0,52	83,2	0,02	0,005	75,0	0,42	0,063	85,0
				0,081	0,003	96,3			
VII	0,77	0,03	96,1	0,1	0,025	75,0	0,88	0,085	90,3
				1,8	0,016	99,1			
VIII	3,0	0,13	95,7	0,05	0,0033	93,4	1,58	0,051	96,8
				0,2	0,017	91,5			
IX	2,5	0,032	98,7	0,24	0,0008	99,7	0,17	0,0019	98,9
				0,57	0,0011	99,8			
X	3,35	0,0062	99,8	0,031	0,0013	95,6	1,1	0,0011	99,9
				0,189	0,0004	99,8			
XI	0,00	0,0059	+	0,000	0,0002	+	0,0	0,0041	+
				0,000	0,082	+			

1) Voor de staphylococci geeft de bovenste rij cijfers steeds het aantal gele koloniën en de onderste rij het aantal rode koloniën.

2) De reductie kan ook uitgedrukt worden als Ni/Ne, met Ni als het aantal kiemen in het influent en Ne als het aantal kiemen in het effluent. Voor zeer hoge procentuele reducties geeft de Ni/Ne waarde een betere beoordeling. Een reductie van 99 % geeft een Ni/Ne waarde van 100, terwijl een reductie van 99,9 % reeds een

$$\text{Ni/Ne waarde geeft van } 1000 \left(\frac{\text{Ni}}{\text{Ne}} = \frac{100}{100 - \% \text{ Red.}} \right).$$

TABEL XIII - Aantal Arthrobacter en andere veeleisende Gram-positieve bacteriën en aantal Pseudomonas en andere niet-veeleisende Gram-negatieve bacteriën in influent en effluent.

Station	Aantal kiemen x 10 ⁵ /ml					
	Arthrobacter en andere veeleisende Gram posit.			Pseudomonas en andere niet-veeleisende Gram negat.		
	infl.	effl.	% red.	infl.	effl.	% red.
I	0,92	0,06	93,5	5,8	0,193	96,7
II	0,91	0,056	93,8	12,4	0,45	96,4
III	16,6	1,49	91,0	29,0	24,60	15,2
IV	1,8	0,086	95,2	36,0	1,60	95,6
V	6,33	0,039	99,4	0,39	0,0011	99,7
VI	5,9	5,1	13,6	7,5	4,00	46,7
VII	6,2	1,8	71,0	10,3	5,80	43,7
VIII	74,0	9,0	87,8	74,0	9,0	87,8
IX	1,23	0,026	97,9	45,0	0,56	98,8
X	2,5	0,04	98,4	16,1	0,059	99,6
XI	0,0025	19,0	+	0,0044	33,00	+

TABEL XIV - Totaal kiemgetal op arm en rijk medium voor influent en effluent

Station	Aantal kiemen x 10 ⁵ /ml					
	op rijk medium			op arm medium		
	infl.	effl.	% red.	infl.	effl.	% red.
I	35	6,5	81,4	12	4,1	65,8
II	50,5	3,23	93,6	30	0,91	97,0
III	149	44,5	70,1	61,2	81	+
IV	17	1,5	91,2	12	1,5	90,0
V	3,2	2,4	25,0	1,8	1,5	16,7
VI	35	21,0	40,0	34	23	32,4
VII	41	13,2	67,8	33	102	+
VIII	74	15	79,7	114	19	83,3
IX	220	3	98,6	52	2,1	96,0
X	660	0,1	99,98	400	1,7	99,6
XI	0,0039	200	+	0	72	+

tig technisch probleem begint te worden, onoplosbaar zonder kennis van de chemie, de (micro)biologie en de ingenieurstechnieken, is de huidige toestand niet verwonderlijk. Een eerste vereiste voor de toekomst lijkt ons een schaalvergroting van de zuiveringsstations, zodat een investering in geschoold personeel verrechtvaardigd kan worden.

Men kan het samenvatten zoals A. H. Molof (1972): „It should be cautioned that the design and construction of a waste water treatment plant is only the first part of an extensive pollution abatement program. The plant must be operated to meet the design objectives; therefore, sufficient funds must be budgeted for proper operation, maintenance and personnel or the whole purpose of the design will be defeated and a large amount of money will be wasted.”

In dit eerste deel van de bespreking werd geen rekening gehouden met het industrieel station XI, waar ingenieurs van het bedrijf zorgen voor controle en beheer.

2. Chemische bepalingen

Het spreekt van zelf, dat elke individuele bepaling slechts een beperkte waarde heeft voor de beoordeling van een zuiveringsinstallatie. Een volledige evaluatie van hun werking kan alleen maar tot stand komen door een continue analyse van influent en effluent gedurende een min of meer lange tijdsperiode. Dit is praktisch echter onmogelijk wanneer men terzelfdertijd verschillende installaties wil evalueren. Alle opgegeven resultaten vertegenwoordigden daarom een momentopname van een situatie. Daar voor verschillende stations deze getallen een zelfde tendens vertonen, geven ze toch een goed globaal idee van de resultaten, bekomen bij de biologische zuivering van afvalwater in België.

a. BOD en COD bepalingen

Een belasting van 20 ppm BOD voor het geloosde effluent is een algemeen aanvaarde norm in verschillende landen. Naargelang de verdunning kleiner is dan 1/8, of naar gelang het water al dan niet gebruikt wordt voor recreatieve doeleinden moet deze norm nog verlaagd worden (zie bv. Ciaccio, 1972 en Bolton en Klein, 1971). Als norm voor een goed werkende installatie met bakteriebedden geldt een reductie van de BOD met 80 tot 90 % en voor systemen, werkend volgens de actief slib methode 90 tot 100 %.

Station V buiten beschouwing gelaten (zeer lage belasting van influent), voldoen alleen de installaties IV en X aan de eerste norm en de installaties II, IV, VI, VIII, IX, X en XI aan de tweede norm. De hoogste reductie wordt bekomen in het actief slibproces (stations X en XI), hetgeen eens te meer de superioriteit van dit systeem bewijst.

De slechte resultaten voor bepaalde stations kunnen meestal aan gekende ongunstige factoren toegeschreven worden: I en VII zijn overbelast, V is verwaarloosd, terwijl VII bovendien nog te kampen heeft met een sterke bezoedeling door petroleumproducten en industriële afvalwaters. Voor station III (één jaar in gebruik!) is geen verklaring voorhanden. Voor de COD aanvaardt men 50 tot 10 ppm in het effluent. Alleen de installaties II en X (en V) beantwoorden aan deze norm. Wat de procentuele reductie van de COD betreft, zijn de resultaten similair met deze van de BOD, met dit verschil dat de reductie hier 5 tot 10 % lager ligt.

b. Stikstofbepalingen

Stikstofverbindingen in huishoudelijk afvalwater omvatten proteïnen, ureum, urinezuur, aminozuren, peptiden, ammoniak, enz. Gedurende het biologisch zuiveringsproces geschiedt er een continuë omvorming van deze bestanddelen; vooral de omzetting van ureum tot ammoniak is een snel verloopend proces, zodat steeds een hoog gehalte aan ammoniakale stikstof gevonden wordt.

De gehalten aan organische en ammoniakale stikstof in de stations I t/m X zijn van dezelfde grootte-orde als deze gevonden door andere auteurs (zie o.a. McCarty & Haug, 1971 en Painter, 1971). Ook de procentuele reducties tussen 50 en 80 % zijn als voldoende te beschouwen voor organi-

sche stikstof. Het is nochtans opvallend dat de stations I, III, V en VII weer de slechtste waarden halen; uitzonderlijk heeft ook station VI een lage reductie. Voor de vermindering van de ammoniakale stikstof zijn de resultaten van de installaties I, III en VII eveneens laag en uitzonderlijk ook voor VIII; nochtans zijn de eindconcentraties overal eerder gunstig, behalve dan voor station XI. Dit station heeft een hoog gehalte aan ammoniakale stikstof in het effluent maar dit is normaal vermits NH_4OH aan het influent wordt toegevoegd. De verhoging aan organische stikstof in dezelfde installatie moet te wijten zijn aan de vastgestelde slechte uitvlokking in de nabezinkingstank en aan de groei van de micro-organismen (zie later).

In alle stations is er een verhoging van het nitriet- en nitraatgehalte, wat wijst op de nitrificatie. De beste resultaten worden bekomen in station X, waar 99,8 % van de ammoniakale stikstof verwijderd werd en het nitraatgehalte sterk toeneemt, ook in de stations II en IV kunnen de waarden zeer goed genoemd worden.

c. Fosforbepalingen

Fosfaat wordt beschouwd als de belangrijkste faktor in de eutrofiëring van de oppervlaktewaters: daarom mag het fosforgehalte niet hoger liggen dan 1 mg/l. Aangezien in het biologisch zuiveringsproces voor de groei van micro-organismen veel minder P dan N nodig is, is het juist dit P-gehalte, dat het minst zal gereduceerd worden. Dit blijkt ook weer duidelijk uit tabel 7 waar men kan vaststellen, dat slechts reducties bekomen worden van ongeveer 10 à 50 %. Bijzonder het effluent van station XI is rijk aan fosfor; dit is te wijten aan de pH-regeling met fosforzuur, een stap in het proces, die zeker moet vermeden worden.

Voor een normale werking stelt men meestal, dat voor de verwijdering van 100 BOD-eenheden, er tenminste 3 tot 6 eenheden stikstof en 0,6 tot 1 eenheid fosfor moeten aanwezig zijn. In tabel 15 ziet men dat deze hoeveelheden overal ruimschoots aanwezig zijn. Er is geen correlatie tussen BOD/N of BOD/P en de effectieve verwijdering van BOD, N en P.

d. Remstoffen

Met de gebruikte methode werd geen noemenswaardige remstofwerking aangetoond voor de microbiële flora's van de verschillende installaties. Wanneer men nochtans een niet-geadapteerde flora gebruikt (de doorgetrokken lijn), vindt men wel een remming bij de installatie XI, zowel onder aërobe als onder anaërobe omstandigheden. In werkelijkheid hebben we hier te doen met antimicrobiële factoren, waaraan de gebruikte doorgetrokken entflora niet, maar het slib van de betrokken installatie wel geadapteerd is. In die zin is het beter, om de remming op het zuiveringsproces zelf op te sporen, in de remproeven een geadapteerde flora te gebruiken.

TABEL XV - Relatieve verhoudingen tussen BOD, N en P

Station	Eenheden per 100 eenheden BOD_5 in influent		Eenheden verbruikt per 100 eenheden BOD_5 verbruikt	
	tot. N ¹⁾	P	tot. N	P
I	20,53	11,42	10,18	5,13
II	16,32	13,81	7,96	8,24
III	41,61	11,52	26,33	4,09
IV	21,07	6,10	17,30	1,97
V	42,00	6,75	30,00	0,36
VI	17,71	3,31	9,07	1,63
VII	21,00	22,71	11,20	20,40
VIII	12,78	7,24	7,16	4,94
IX	26,43	25,38	16,84	3,44
X	19,24	4,28	13,70	1,15
XI	4,59	2,39	3,47	0,99

¹⁾ Alle berekeningen zijn gemaakt op basis van de tabellen IV, V, VI en VII.

3. Microbiologische bepalingen

De micro-organismen aanwezig in het influent zijn afkomstig van de faecaliën, de bodem en het water. Totale tellingen van de bacteriën schommelen rond de 10^6 kiemen/ml; hiervan wordt er 90 tot 99 % verwijderd in goed werkende installaties (Painter, 1971). Alleen het station X geeft een reductie van 99 %; stations II, IV en IX geven elk meer dan 90 % reductie. De overige blijven ver onder dit getal, vooral de stations III, V, VI en VII. In de industriële installatie is er een grote aangroei: dit is echter normaal, aangezien men vertrekt van een influent, dat zeer weinig kiemen bevat. Het duidt nochtans op een slechte bezinking. Zeer hoge kiemgetallen in het effluent vindt men ook bij de stations III, VI, VII en VIII, hetgeen ook hier op een slechte bezinking zou duiden.

Enterobacteriaceae werden in mindere mate gevonden: hun aantal was in de meeste gevallen slechts 1 à 10 % van het totaal kiemgetal. Dit is minder dan wat gewoonlijk door andere auteurs wordt aangegeven. Normaal moeten ook hier reducties van 90 tot 99 % gehaald worden. Dit laatste werd bereikt in station X; meer dan 90 % reductie vindt men in II, IV en IX en onverwacht ook in VII en VIII. In III, V, VI en ook in I zijn de resultaten heel wat slechter. Streptococci werden gevonden in aantallen, hoger dan deze aangegeven door andere auteurs. Reducties van meer dan 90 % werden in alle installaties genoteerd, behalve in VI, met weer de hoogste reductie in station X. Sommige auteurs aanzien faecale streptococci als minder resistente soorten dan de coli-achtigen, anderen daarentegen beschouwen ze als meer resistent. De gevonden resultaten wijzen eerder op lage overlevingskansen van de faecale streptococci. Men mag echter niet vergeten dat de coli-achtigen niet als dusdanig bepaald werden, maar wel als een deel van de *Enterobacteriaceae*.

Staphylococci werden nog niet dikwijls opgespoord in afvalwaters. De resultaten in tabel 12 duiden op hun aanwezigheid in aantallen, die soms te vergelijken zijn met de streptococci, maar meestal vindt men toch ongeveer 10 tot 50 maal minder. Alleen in station IX bekomt men meer dan 99 % reductie; de overige installaties geven meer dan 90 %, uitgezonderd I, IV, VI en VII. In zes gevallen tenslotte bekomt men een hogere reductie van de niet pathogene types.

Een uitzondering op de resultaten vormt het industrieel station XI, waar geen *Enterobacteriaceae*, streptococci of staphylococci gevonden werden in het influent en zeer lage aantallen in het effluent. Deze zijn afkomstig van de sanitaire waters, die in een later stadium in de zuiveringsinstallatie gebracht worden. De aantallen zijn nochtans laag, hetgeen duidt op de afwezigheid van aangroei van deze organismen in de installatie.

Als gemiddeld resultaat voor de stations I en X vindt men per ml effluent aan *Enterobacteriaceae*: 157.000 kiemen, aan streptococci: 45.000 en aan staphylococci: respectievelijk 12.000 (gele) en 15.000 (rode). In station XI is dit voor de *Enterobacteriaceae* slechts 590, voor de streptococci 410 en voor de staphylococci 20 (gele) en 8200 (rode). Alleen de niet-pathogene staphylococci en micrococci zijn enigszins in aantal toegenomen, hetgeen als normaal kan beschouwd worden, aangezien deze ook in de bodem en in water kunnen voorkomen.

Veeleisende Gram-positieve bacteriën worden in alle stations voor meer dan 90 % verwijderd; de laagste reducties komen voor in de stations III, VI, VII en VIII, de hoogste in X. In station XI daarentegen is er een sterke ophoping, gaande van 250 kiemen/ml tot 1.900.000. Weinig-eisende Gram-negatieve bacteriën worden eveneens sterk aangerijkt in dit laatste station, waar hun aantal stijgt van 440 tot 3.300.000 per ml. Voor de andere stations is de reductie meer dan 99 % in X en meer dan 90 % in I, II, IV, V en IX. Het kiemgetal op een arm medium (Jones), tenslotte, geeft enkele belangrijke gegevens. In het industrieel zuiveringsstation stijgt het kiemgetal van 0 tot 7.200.000 per ml, terwijl

TABEL XVI - Vergelijking van de relatieve reducties van de verschillende groepen van micro-organismen

Station	Relatieve reductie van de microben-flora ¹⁾						Kiemen op arm medium
	Entero-bacter.	Staphylococ.	Micrococci	Streptococci	Arthro-bacter	Pseudomonas	
I	69	8	4	418	559	284	54
II	90	213	279	284	104	176	211
III	130	562	67	402	333	35	23
IV	479	14	61	265	185	199	88
V	250	3.000	750	1.193	12.173	26.590	90
VI	357	240	1.617	399	69	113	89
VII	825	129	3.617	333	111	57	10
VIII	465	307	238	628	167	167	122
IX	107	409	707	126	65	110	34
X	9	0,4	8	17	1	5	4

¹⁾ Het % reductie van het totaal aantal kiemen werd gelijk gesteld aan 100. De bovenstaande waarden werden berekend uit de tabellen XII, XIII en XIV.

in station X het kiemgetal voor meer dan 99 % gereduceerd wordt. Voor de overige stations is de reductie procentueel kleiner dan deze van het totaal aantal kiemen ofwel is er zelfs een aangroei. Het hoogste aantal kiemen vindt men weer in het effluent van de stations III, VI en VIII; dit geldt eveneens voor de *Enterobacteriaceae*, de streptococci, de Gram-positieve en de Gram-negatieve bacteriën, zodat in deze vier stations heel waarschijnlijk een slechte uitvloeking gebeurde. In tabel 16 vindt men een vergelijking van de reducties van de verschillende groepen van onderzochte micro-organismen.

Men ziet, dat in alle stations er een relatieve aanrijking is van bacteriën, die goed kunnen groeien op een arm milieu, vergeleken met het totaal kiemgetal, wat alleszins normaal is.

Voor wat de andere groepen van micro-organismen betreft, vindt men overal een relatief groot verlies aan *Enterobacteriaceae*, aan staphylococci en aan streptococci, uitgezonderd in enkele stations. De cijfers voor het station X zijn zeer laag, omdat men hier een uitzonderlijke goede reductie heeft van het totaal kiemgetal. Er is een bijzonder goede relatieve reductie van het aantal streptococci in alle installaties. Voor de veeleisende Gram-positieve flora is de relatieve reductie ook groter in de meeste stations, wat eveneens het geval bleek te zijn voor de Gram-negatieve bacteriën. In het industrieel station XI verschijnen de potentiële pathogenen en de kiemen op arm medium alleen in het effluent. Het totaal aantal kiemen en het aantal Gram-positieve en Gram-negatieve bacteriën daarentegen stijgt, maar uit tabel 14 blijkt duidelijk, dat de vermeerdering hoofdzakelijk te danken is aan de kiemen, die kweekbaar zijn op een arme voedingsbodem.

V. Besluit

Om een algemeen besluit te kunnen trekken, zou het nodig zijn normen te kennen voor de goede werking van een installatie: deze zijn echter moeilijk te definiëren. In tabel 17 werd een poging ondernomen om de verschillende installaties te vergelijken op basis van een puntenstelsel. Elke +-kwotering is één punt waard, elke negatieve kwotering leidt tot één punt minder. Het totaal aantal behaalde punten zou de werking op het moment van de monstername kunnen weergeven. Het maximum aantal te bekomen punten bedraagt 14.

De punten kwotering werd opgesteld op basis van volgende arbitraire criteria van het effluent:

— Voor de BOD₅ van het effluent wordt de waarde + gegeven voor minder dan 20 mg/l, — voor meer dan 20 mg en — — voor meer dan 50 mg. Voor de reductie wordt + gegeven als deze 80-90 % bedraagt in bacterie-

bedden en 90-100 % voor actief slib, — voor respectievelijk minder dan 80 of 90 % reductie en — voor een reductie, lager dan 70 of 80 % respectievelijk.

- Voor de COD wordt + gegeven voor minder dan 40 mg/l, — voor meer dan 40 mg en — voor meer dan 80 mg/l; voor de COD-reductie krijgen de installaties + als deze 70-80 % bedraagt bij bakteriebedden en 80-90 % bij actief slib, — voor minder dan 70 en 80 % respectievelijk en — voor minder dan 60 of 70 % respectievelijk.
- Voor ammoniak en fosfor wordt + gegeven voor minder dan 20 mg/l.
- Een totaal kiemgetal van minder dan 10^6 krijgt +, meer krijgt —; een reductie van meer dan 99 % krijgt +, meer dan 90 % — en — voor nog lagere reducties, Voor het aantal *Enterobacteriaceae* werd er + gekwoteerd wanneer het lager was dan 10^4 , — wanneer het hoger was; voor streptococci en staphylococci werd er + gegeven als het aantal lager was dan 10^3 en — als het groter was. Reducties van meer dan 90 % krijgen telkens +.

Men ziet onmiddellijk dat de niet-industriële actief slib-installatie X het maximum 14 bereikt. Omgekeerd verkrijgt het station III (amper één jaar oud!) de laagste kwotering. Een soort van algemene rangschikking zou er als volgt uitzien: X, IX, II, V, IV, VIII, I, VII, VI, III.

Wanneer men echter vaststelt dat de belasting van station V zeer laag was en de installatie verwaarloosd, dan moet dit in de rangschikking naar achter verschoven worden. Het is niet mogelijk het industrieel station volgens dezelfde normen te beoordelen om wille van de enorme BOD-belasting en het verschijnen van een nieuwe micro-flora. Nochtans kan men vaststellen dat de werking onvoldoende was vermits BOD, COD, ammoniak en fosforgehalte in het effluent veel te hoog liggen. Het hoge totale kiemgetal duidt bovendien op een slechte uitvloeking.

Vergeleken met criteria, voorkomende in de buitenlandse literatuur, zou men kunnen stellen dat praktisch 50 % van de onderzochte stations goed werkten. Gezien het gebrek aan bevoegd personeel pleit dit eerder in het voordeel van de biologische zuiveringsprocessen. Het is echter evident, dat het niet- efficiënt werken met 50 % der installaties wel enkele vragen doet rijzen. Indien dit werkelijk een continu verschijnsel moest zijn, zou men de situatie als verontrustend moeten beschouwen. Zo lang er geen bevoegd personeel is, zal men echter op dit probleem geen antwoord kunnen geven. Bij de stations, die slecht werkten, zijn er twee (III en VI) niet ouder dan één jaar, hetgeen niet bemoedigend is. Van de resterende is V verouderd en I en VII zijn overbelast.

De personen, belast met het toezicht, zouden meer infor-

matie moeten krijgen en beter omkaderd worden. Een der toezichters verklaarde bijv. in de zomer te zwemmen in de nabezinkingstank! Gelet op de aanwezigheid van ten minste honderd potentieel pathogene kiemen/ml duidt zulke bewering op een ontstellend gebrek aan elementaire voorlichting, wat in dit kader ongeoorloofd is. Het wordt daarom hoogdringend de bouw van zuiveringsinstallaties te koppelen aan een planning op gebied van beheer van deze stations, van dagelijkse analyses en van permanent bevoegd toezicht. Dit is dan ook onze belangrijkste conclusie en ook onze meest dringende aanbeveling.

Dankwoord:

De auteurs danken Prof. Dr. D. A. A. Mossel voor de talrijke nuttige en waardevolle suggesties bij de uitvoering van dit werk en bij het opstellen van dit artikel.

Literatuur

- Adamse, A. D. (1968), *Wat. Res.*, 2, 665.
- Beerens, H. & Tahon-Castel, M. M. (1966), *Ann. Inst. Pasteur, Paris*, 111, 90 - 93.
- Bolton, R. L. & Klein, L. (1971), „*Sewage Treatment: Basic Principles and trends*”, 2 nd ed., Butterworths, London.
- Chapman, G. H. (1945), *J. Bact.*, 50, 201 - 203.
- Ciaccio, L. (1971), ed., „*Water and Water Pollution*”, vols. 1, 2 and 3, Marcel Dekker Inc., New York.
- Fiske, C. H. & Subbarow, Y. (1925), *J. Biol. Chem.*, 66, 375 - 400.
- Harwood, J. E. & Huyser, D. J. (1970), *Wat. Res.*, 4, 695 - 704.
- Höll, K. (1970), „*Wasser: Untersuchung - Beurteilung - Aufbereitung - Chemie - Bakteriologie - Biologie*”, Fünfte Auflage, de Gruyter, Berlin.
- Jacobs, P. (1963), *Pharm. Weekblad*, 98, 505.
- Jones, J. G. (1970), *J. Appl. Bact.*, 33, 679 - 686.
- McCarthy, P. L. & Haug, R. T. (1971), in „*Microbial Aspects of Pollution*”, 215 - 232, ed. G. Sykes & F. A. Skinner, Academic Press, London & New York.
- Molof, A. H. (1972), in „*Water and Water Pollution*”, 3, 949 - 970, ed. Ciaccio, L. L., Marcel Dekker Inc., New York.
- Mossel, D. A. A., Mengerink, W. H. J. & Scholts, H. H. (1962), *J. Bact.*, 84, 381.
- Mossel, D. A. A. & Soedarmo, D. (1971), *Symp. Afvalwaterzuivering, KVIV, Rijksuniversiteit Gent*.
- Olson, H. C. (1961), *J. Dairy Sci.*, 44, 970.
- Painter, H. A. (1971), in „*Water and Water Pollution*”, 1, 329 - 364, ed. Ciaccio, L. L., Marcel Dekker Inc., New York.
- Pike, R. M. (1945), *Amer. J. Hyg.*, 41, 211 - 220.
- Strauch, L. (1965), *Z. Klin. Chem.*, 3, 165.
- Taras, M. J. Greenberg, E. A., Hoak, R. D. & Rand, M. C. (1970), ed., „*Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*”, 13th ed., Amer. Publ. Health Assoc., New York.

TABEL XVII - Evaluatie van de efficiëntie van de onderzochte stations

Station	BOD ₅ effl.	BOD ₅ red.	COD effl.	COD red.	NH ₃ -N effl.	fosfor effl.	Kiemen effl.	Kiemen red.	Enterob. effl.	Enterob. red.	Strept. effl.	Strept. red.	Staphyl. effl.	Staphyl. red.	Punten
I	..	+	..	.	+	+	+	..	+	—	+	+	+	+	— 3
II	..	+	..	+	.	.	+	..	+	+	+	+	+	+	+ 6
III	+	.	.	+	— 14
IV	+	+	..	+	+	+	+	..	+	+	.	+	.	.	+ 1
V	+	+	+	+	..	+	+	+	+	+	+	+ 2
VI	..	+	..	+	+	+	+	+	.	— 6
VII	..	+	..	.	+	+	.	..	+	+	— 4
VIII	..	+	..	+	+	+	+	..	+	+	.	+	+	+	0
IX	..	+	..	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ 7
X	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ 14