

32/440(D1-03)

32/440-03

BIBLIOTHEEK DE HAAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

stora

postbus 414, 2280 AK Rijswijk Z.H. ☎ 070-991.133

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Voorkomen en bestrijden van licht slib

1. De rol van de biosorptie

32-03

1-2-04

5 JAN 2004



	Inhoud	I
	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	2
3	DE MENGFASE VAN INFLUENT EN RETOURSLIB	3
4	BIOSORPTIE VAN ORGANISCHE VERBINDINGEN DOOR ACTIEFSLIB	4 - 11
4.1	Het effect van de vlokbelading	4 - 6
4.2	Momentane opname door actiefslib	7 - 8
4.3	De rol van zuurstof	9
4.4	De invloed van de slibkwaliteit	10 - 11
5	DISCUSSIE	12 - 13
6	TOEPASSING IN DE PRAKTIJK	14 - 16
7	LITERATUUR	17 - 18
	 Bijlage 1: Voorschrift voor de bepaling van de biosorptie door actiefslib	 19 - 23

Ten geleide

Licht slib ontstaat door massale groei van draadvormige bacteriën tijdens het zuiveringsproces. Het bezinkt slecht en beïnvloedt daardoor de kwaliteit van het gezuiverde afvalwater in ongunstige zin.

Licht slib kan in veel gevallen bestreden worden door influent en (retour)slib zodanig met elkaar te mengen dat een belangrijk gedeelte van de aangevoerde organische verbindingen momentaan door de slibvlokken wordt opgenomen (biosorptie).

Het hier beschreven onderzoek, dat zich richt op aspecten van het mengproces van influent en (retour)slib, werd door het algemeen bestuur van de STORA* opgedragen aan het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO en namens de Stichting begeleid door ir. R. Karper (voorzitter), ir. J.W. van Hoeve, ir. A. Kiestra en ir. J.H. Rensink.

In het kader van STORA-onderzoek naar het voorkomen en bestrijden van licht slib werd reeds een handleiding voor het beschrijven en herkennen van micro-organismen en vlokstructuren in zuiverings-slib gepubliceerd.

Rijswijk, juli 1981.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

* De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit:
prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en
dr.ir. H.J. Eggink, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S.
Kuyper, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte
Ubing, ir. J. van Selm, ir. M. Tiessens, drs. A.A. Wismeijer (leden).

Licht slib kan in veel gevallen worden bestreden door over te schakelen op een propstroom-bedrijfsvoering of door influent en (retour) slib met elkaar te mengen alvorens deze processtromen in de beluchtingsruimte te brengen.

Deze methode van lichtslibbestrijding heeft echter alleen dan succes indien tijdens de mengfase een belangrijk gedeelte van de aangevoerde organische verbindingen ook daadwerkelijk wordt opgenomen door de slibvlokken. Hierbij is vooral de momentane biosorptie (opname) van belang.

De optimale mengverhouding van slib en influent is onder andere afhankelijk van de biosorptiecapaciteit van het desbetreffende slib, de concentratie van de biomassa in het retourslib en de concentratie van het influent. Voorzover nu bekend is moet deze mengverhouding resulteren in een vlokbelading van 50-150 mg COD/g droge stof.

Het effect van een aparte mengzone kan worden voorspeld op basis van de resultaten van een eenvoudige biosorptietest.

2 INLEIDING

In 40-50% van alle actief-slibzuiveringsinrichtingen (rwzi's) is periodiek of continu sprake van licht slib. Dit is meestal het gevolg van een massale groei van draadvormige microorganismen. Deze organismen beïnvloeden de bezinkings- en indikkingseigenschappen van het slib negatief. Dit resulteert in een ophoping van het slib in de nabezinktank en uiteindelijk, vooral in perioden met een hoge hydraulische belasting, in slibverliezen met het effluent. De aan de kwaliteit van het effluent gestelde eisen worden dan niet gehaald. Bovendien is het geproduceerde surplusslib meestal moeilijk te ontwateren.

Door onvoldoende inzicht in dit verschijnsel is het effectief bestrijden van licht slib eigenlijk nooit goed mogelijk geweest. Enkele jaren geleden is echter een duidelijke doorbraak op dit gebied gerealiseerd. Uit verschillende onderzoeken ^{1,2,3,4,7,8,9,10,11,15} is gebleken dat de lage voedselconcentratie in de beluchtingsruimte in veel gevallen doorslaggevend is bij het ontstaan van licht slib. Deze lage concentratie is een gevolg van de sterke verdunning van het influent met de volledige inhoud van de beluchtingsruimte. Een gewijzigde procesvoering, waarbij het aangevoerde rioolwater eerst werd gemengd met het retourslib alvorens het in de aëratietank werd gebracht, resulteerde in het verdwijnen van de draadvormige bacteriën. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de conclusies vaak waren gebaseerd op experimenten in proefinstallaties die werden gevoed met een kunstmatig afvalwater.

Bij diverse zuiverende instanties, zowel in Nederland als in andere landen, zijn vervolgens gedurende de laatste jaren experimenten onder praktijkomstandigheden uitgevoerd. In een aantal rwzi's met succes, hoewel de resultaten meestal niet zo spectaculair waren als in de laboratoriumproeven. In andere rwzi's leverde het mengen van influent met het retourslib echter niet het gewenste resultaat op. Kennelijk is het inbouwen van zo'n mengfase niet zonder meer doorslaggevend in de competitie tussen vlokvormende en draadvormige bacteriën in actiefslib, maar moet daarnaast ook nog aan één of meer andere randvoorwaarde(n) worden voldaan⁶.

In het kader van het STORA-project : "Voorkomen en bestrijden van licht slib" is daarom een onderzoek gestart om de voorgestelde theorie naar de praktijk te vertalen. Het zwaartepunt ligt hierbij op het invullen van de randvoorwaarden. Daarnaast wordt tevens nagegaan of het uiteindelijk effect van een mengfase te voorspellen is op basis van eenvoudige laboratoriumexperimenten. Hoewel dit onderzoek nog niet is afgerond zijn in dit stadium al veel praktisch toepasbare resultaten beschikbaar. Teneinde deze kennis over te dragen aan geïnteresseerden die werkzaam zijn in de praktijk is dit rapport samengesteld.

In een rwzi wordt een grote verscheidenheid aan organische verbindingen uiteindelijk opgenomen door de actief-slibvlokken. Hierbij spelen verschillende processen een rol, onder andere een directe opname door de bacteriecellen, adsorptie aan de vlok en het invangen van deeltjes in de open structuur van de slibvlok. Om dit complexe geheel van fysisch /chemische opnameprocessen, die in een rwzi simultaan verlopen, aan te geven wordt in dit rapport de term *biosorptie* gebruikt. De biosorptie wordt groter naarmate de contacttijd tussen slib en influent toeneemt. De biosorptiecapaciteit van een bepaald slib kan nu gedefinieerd worden als de hoeveelheid organisch materiaal (gemeten als COD, BOD, TOC etc.) die per tijdseenheid door de vlok is opgenomen. In dit rapport wordt de biosorptie uitgedrukt in mg COD/g droge stof.

De *vlokbelading* is daarentegen een maat voor de hoeveelheid beschikbaar materiaal, c.q. voedingsstoffen(=substraat) voor de bacteriën. De vlokbelading is het quotiënt van de substraataanvoer met het influent en de biomassa in de retourslibstroom en wordt daarom, evenals de biosorptie, uitgedrukt in mg COD/g droge stof. De factor tijd ontbreekt hier dus in. Het is in feite een momentane slibbelasting (tijdens het mengen van influent en retourslib). Deze term moet niet verwisseld worden met de slibbelasting van de rwzi. Deze laatste grootte geeft de substraataanvoer per dag weer. Het quotiënt van de biosorptie en de vlokbelading geeft tenslotte aan welk percentage van de beschikbare voedingsstoffen is opgenomen door de slibvlokken. In Bijlage 1 wordt beschreven op welke manier de vlokbelading en de biosorptie bepaald kunnen worden.

In de inleiding is gesteld dat het inbouwen van een aparte mengzone voor retourslib en influent de bezinkeigenschappen van het slib positief kan beïnvloeden. Zo'n mengzone kan op verschillende manieren gerealiseerd worden (zie Hoofdstuk 6). Vanzelfsprekend wordt het uiteindelijk effect van een mengzone volledig bepaald door het feit of tijdens het mengen ook daadwerkelijk een belangrijk gedeelte van de beschikbare voedingsstoffen wordt opgenomen door de slibvlokken. Het slib moet dus over een behoorlijke biosorptiecapaciteit beschikken. Is deze te laag, of zijn in het influent voornamelijk langzaam opneembare verbindingen aanwezig, dan zal een belangrijk gedeelte van het aangevoerde substraat niet snel vastgelegd worden. Deze fractie zal dan uiteindelijk toch in een niet-vlokgebonden vorm de aëratietank bereiken, waarin vervolgens de reeds genoemde verdunning plaatsvindt.

Onderzoek is uitgevoerd naar de biosorptie(capaciteit) van slibben onder praktijkomstandigheden. Tevens is nagegaan op welke manier de biosorptie door een bepaald slib beïnvloed kan worden. Deze experimenten zijn voornamelijk batchgewijs uitgevoerd onder gestandaardiseerde omstandigheden (zie Bijlage 1).

4 BIOSORPTIE VAN ORGANISCHE VERBINDINGEN DOOR ACTIEFSLIB

Er wordt vaak gesteld dat de organische fractie uit het influent zeer snel opgenomen wordt door de slibvlokken. Dit proces zou in 5-10 minuten praktisch voltooid zijn. Teneinde te verifiëren of dit in werkelijkheid altijd zo snel verloopt is de biosorptiecapaciteit van slibben uit 23 rwzi's bepaald. Slib en influent werden in een verhouding van 1:1 met elkaar gemengd. Na een contacttijd van 10 minuten bleek de biosorptie te variëren van 8 tot 340 mg COD/g droge stof. Dit kwam overeen met een COD-verwijdering (in % van de beschikbare hoeveelheid) van 13-80%. Kennelijk bestaan er dus grote verschillen in biosorptiecapaciteit tussen slibben afkomstig uit verschillende rwzi's. Bovendien is de opname bepaald niet altijd binnen 10 minuten praktisch voltooid. Dit blijkt ook uit Tabel 1. Hierin wordt een overzicht gegeven van de opgenomen percentages verdeeld over een aantal klassen.

opgenomen percentages	<20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	>71
aantal slibben	1	6	7	1	2	4	2

Tabel 1. Biosorptie, in procenten van de beschikbare hoeveelheid, door 23 verschillende slibben

4.1 Het effect van de vlokbelading

Bij bovengenoemde serie experimenten werden influent en slib met elkaar gemengd zonder dat rekening gehouden werd met verschillen in concentratie, drogestofgehalte etc. Als gevolg hiervan was er sprake van grote verschillen in vlokbeladingsniveau. Dit laatste is in Figuur 1 uitgezet tegen de gemeten biosorptiewaarden. Hoewel er natuurlijk sprake is van een grote spreiding - uiteindelijk betreft het 23 slibben van verschillende herkomst - wijst dit resultaat toch op een beïnvloeding van de biosorptie door de vlokbelading. Teneinde deze relatie te bevestigen werd vervolgens de COD-verwijdering door één bepaald slib bij verschillende vlokbeladingsniveaus bepaald. De biosorptie werd na een contacttijd van 1 minuut, respectievelijk 10 minuten gemeten. De resultaten staan in Tabel 2 en zijn gedeeltelijk grafisch weergegeven in Figuur 2. Hieruit mag geconcludeerd worden dat de vlokbelading inderdaad grote invloed heeft op de biosorptie door actiefslib.

Wanneer echter gelet wordt op het opgenomen percentage, dan blijkt dit af te nemen naarmate de vlokbelading toeneemt. Dit is een belangrijke constatering. Het streven naar een hoge biosorptie door middel van het opvoeren van de vlokbelading heeft tot gevolg dat percentagegewijs steeds minder COD gebonden wordt, ofwel het effect van de mengzone vermindert!

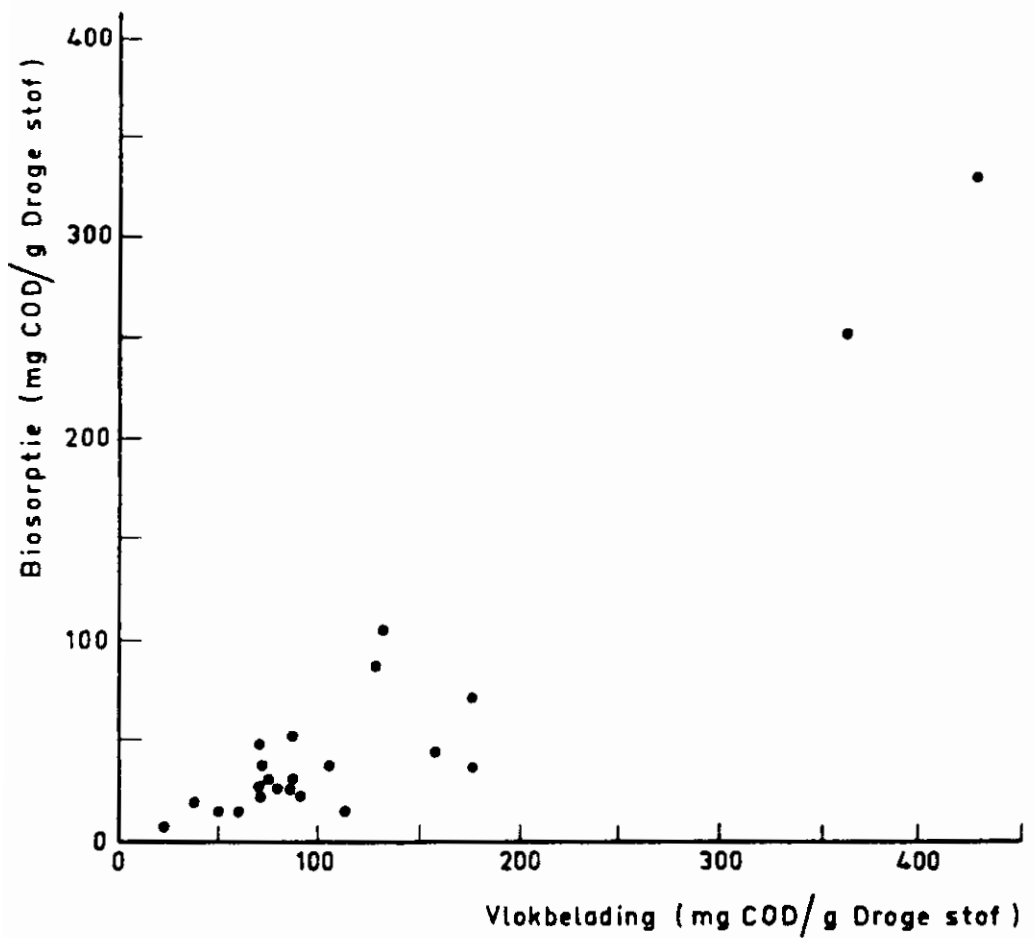


Fig.1. De invloed van de vlokbelading op de biosorptie door actiefslib

contacttijd 10 minuten

volume influent (L)	volume slib (L)	vlokbelading (mg COD/g d.s.)	biosorptie (mg COD/g d.s.)		COD opgenomen (%)	
			1 min.	10 min.	1 min.	10 min.
15,4	4,6	275	96	181	35	66
14,6	5,4	222	83	159	38	72
13,3	6,7	163	54	126	33	77
11,4	8,6	109	58	88	54	80
10,0	10,0	82	48	63	59	76
8,0	12,0	55	43	47	78	86
5,0	15,0	27	22	26	79	93

Tabel 2. De invloed van de vlokbelading op de biosorptie en het COD-verwijderingspercentage

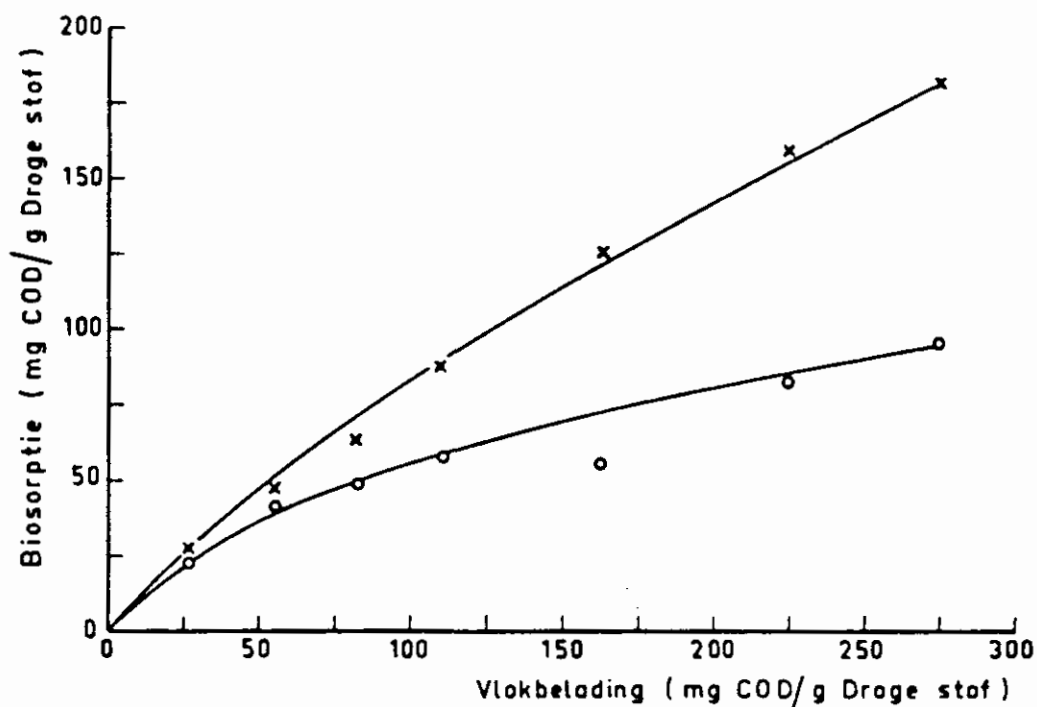


Fig.2. Invloed van de vlokbelading en de contacttijd op de biosorptie door een bepaald actiefslib

x-x: contacttijd 10 minuten
o-o: " 1 minuut

4.2 Momentane opname door actiefslib

Uit Tabel 2 blijkt tevens dat de biosorptie met deze slibkwaliteit voor een belangrijk gedeelte, vooral bij de lagere vlokbeladingen, binnen 1 minuut plaatsvindt, dus vrijwel onmiddellijk na het mengen. Dat dit een algemeen geldend verschijnsel is wordt geïllustreerd door Figuur 3. Hierin zijn de biosorptie na 1 minuut en die na 10 minuten contacttijd van de reeds genoemde 23 slibben tegen elkaar uitgezet.

Ook onder praktijkomstandigheden blijkt de biosorptie door de vlok voor een belangrijk gedeelte uit de momentane COD-opname te bestaan. In Figuur 4 zijn het COD-profiel en de biosorptie in een bestaande mengzone (verblijftijd bij d.w.a. circa 6 min.) grafisch weergegeven. Binnen 2 minuten heeft het slib 30 mg COD/g droge stof opgenomen. In de resterende 4 minuten wordt nog slechts circa 5 mg COD/g droge stof extra opgenomen, hoewel nog steeds voedingsstoffen aanwezig zijn (vlokbelading = 48 mg COD/g droge stof). Gelet op de snelheid waarmee de momentane biosorptie plaatsvindt, kan deze voornamelijk uit een fysisch /chemische opname bestaan. De snelheid waarmee vervolgens nog verbindingen opgenomen kunnen worden is afhankelijk van de stofwisselingssnelheid van de bacteriën, c.q. de snelheid waarmee opgenomen verbindingen afgebroken worden. In feite dus een soort regeneratie van de biosorptiecapaciteit.

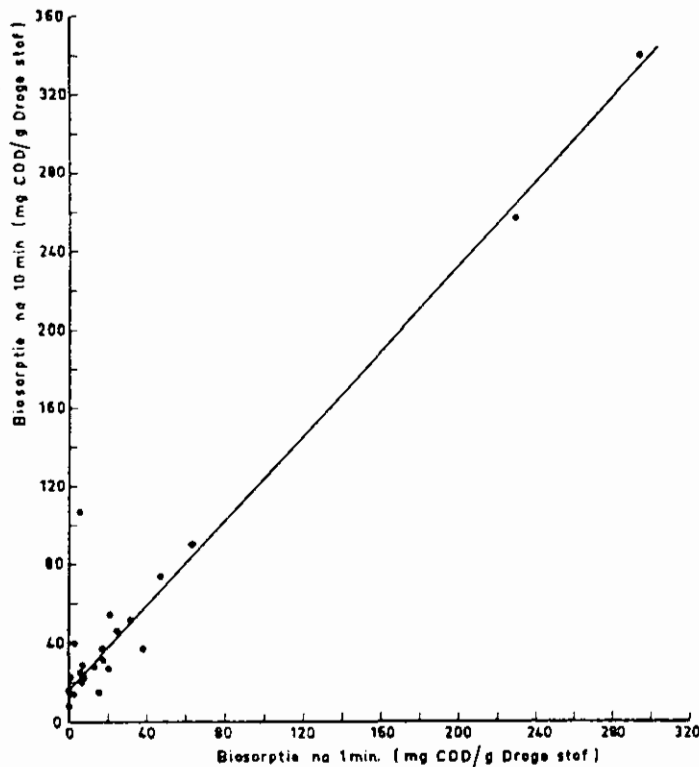


Fig.3 Invloed van de contacttijd op de biosorptie

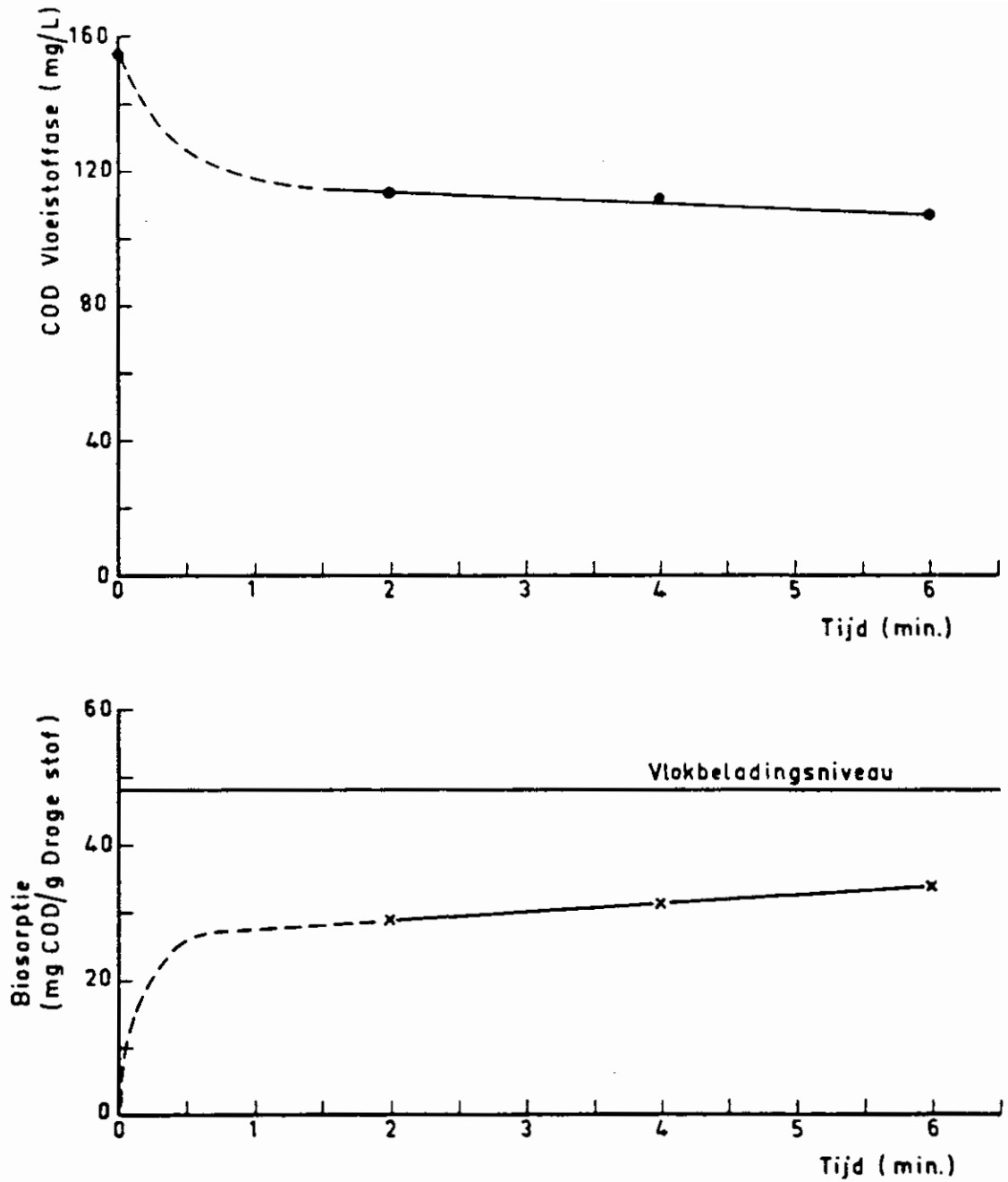


Fig. 4. COD-profiel vloeistoffase en de biosorptie in een bestaande mengzone

4.3 De rol van zuurstof

Bij alle tot nu toe genoemde proeven werd het slib/rioolwatermengsel intensief belucht, teneinde aërobe omstandigheden te handhaven. Bij een ander experiment werd N₂-gas in plaats van lucht doorgeblazen. Als controle werd ook een biosorptie-experiment, met slib en rioolwater van dezelfde kwaliteit, onder aërobe omstandigheden uitgevoerd. De belangrijkste resultaten van deze twee proeven zijn grafisch verwerkt in Figuur 5. De momentane biosorptie blijkt nauwelijks van de aanwezigheid van O₂ afhankelijk te zijn, hetgeen ook verwacht mocht worden, omdat hierbij voornamelijk fysisch /chemische processen een rol spelen. Gedurende de daaropvolgende fase wordt de biosorptie vertraagd bij afwezigheid van O₂. Dit blijkt vooral duidelijk uit het verloop van de curves die de opgenomen percentages weergeven. Dit langzame verloop moet ongetwijfeld worden toegeschreven aan een remming van de biologische activiteit door gebrek aan voldoende zuurstof. Opgenomen verbindingen worden daardoor minder snel afgebroken. Het zuurstofgehalte begint bij dit experiment weer snel te stijgen, zodra circa 75% van het beschikbare substraat is opgenomen.

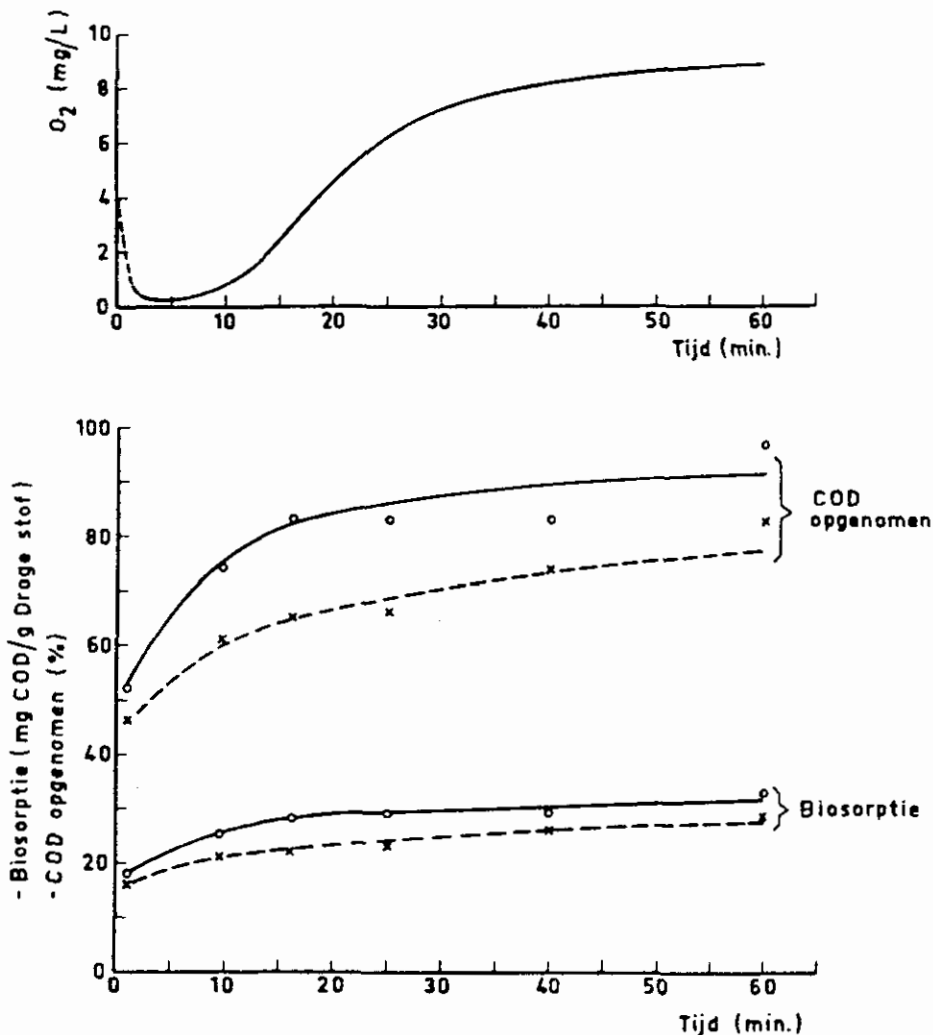


Fig. 5. Invloed van de aanwezigheid van zuurstof op de biosorptie door een bepaald slib

o—o : met zuurstof (bovenste figuur: O₂-curve)
 x--x : zonder zuurstof

4.4 De invloed van de slibkwaliteit

Organische verbindingen die opgenomen zijn door de actief-slibvlok worden vervolgens door de bacteriën afgebroken. Voor dit proces is tijd nodig. De biosorptiecapaciteit bereikt pas weer zijn oorspronkelijk niveau zodra deze afbraak is voltooid. De tijd die voor dit afbraakproces beschikbaar is wordt geringer naarmate de totale belasting van de rwzi toeneemt. Er mag daarom verwacht worden dat de biosorptiecapaciteit daalt naarmate de slibbelasting toeneemt. Teneinde deze veronderstelling te testen is een proef uitgevoerd waarbij in drie gelijke proefinstallaties een slibbelasting van 0,1, 0,2 en 0,4 g COD/g droge stof.dag⁻¹ werd ingesteld. De proef-rwzi's waren voorzien van een aparte mengtank met een verblijftijd van 10 minuten. Ze werden gevoed met normaal huishoudelijk afvalwater. Na circa 4 maanden is de biosorptiecapaciteit bepaald (Tabel 3). Deze resultaten bevestigen de veronderstelling.

slibbelasting (mg COD/g d.s.dag ⁻¹)	vlokbelading (mg COD/g d.s.)	biosorptie (mg COD/g d.s.)	COD opgenomen (%)
0,1	55	30	56
0,2	52	19	36
0,4	63	15	27

Tabel 3. Invloed van de slibbelasting op de biosorptiecapaciteit
d.s. = droge stof

Hieruit mag overigens niet geconcludeerd worden dat een lage slibbelasting, zoals bv. in een oxydatiesloot, altijd gepaard gaat met een hoge biosorptiecapaciteit. De activiteit van de biomassa speelt ook nog een (belangrijke?) rol.

De tijd die nodig is om de beschikbare voedingsstoffen voor het grootste gedeelte op te nemen kan variëren van enkele minuten tot vele uren. De samenstelling van rioolwater is echter niet constant; zowel qua concentratie als voor wat betreft het soort verbindingen dat aanwezig is, kunnen grote verschillen optreden. Een lage biosorptie zou dus ook een gevolg kunnen zijn van de kwaliteit van het rioolwater waarmee de proef is uitgevoerd. Om dit punt verder te onderzoeken zijn biosorptiemetingen uitgevoerd met een tweetal slibben uit verschillende rwzi's. Slib A had een hoge biosorptiecapaciteit, terwijl slib B daarentegen juist slechts langzaam organische verbindingen kon opnemen. Influent A bestond voornamelijk uit industrieel afvalwater, terwijl influent B van huishoudelijke oorsprong was. De resultaten van deze proeven staan in Tabel 4.

	vlokbelading (mg COD/g d.s.)	tijd (min.)	biosorptie (mg COD/g d.s.)	opge- nomen (%)
slib A + influent A	123	1	80	65
		10	104	85
		30	107	96
slib A + influent B	50	1	20	39
		10	46	92
		30	47	93
slib B + influent B	37	1	5	13
		10	13	36
		30	13	36
slib B + influent A	91	1	14	15
		10	22	24
		30	33	37

Tabel 4. Biosorptie door 2 soorten actiefslib, waarbij deze vice versa gemengd werden met 2 soorten afvalwater

d.s. = droge stof

Hoewel de verschillen in vlokbelading de biosorptie ongetwijfeld beïnvloed hebben, blijkt uit deze resultaten toch zeer duidelijk dat niet de samenstelling van het rioolwater, maar de kwaliteit van het slib de doorslaggevende factor vormt. Slib A heeft na 10 minuten circa 90% van het beschikbare substraat opgenomen, terwijl in de proeven met slib B slechts 24%, respectievelijk 36% van de beschikbare COD was verwijderd na een contacttijd van 10 minuten.

Het effect van een (aparte) mengzone voor slib en influent wordt voor een belangrijk gedeelte bepaald door de biosorptiecapaciteit van het betreffende slib. Alleen als deze voldoende hoog is om een belangrijk gedeelte van het aangevoerde substraat ook daadwerkelijk op te nemen, mag van zo'n mengzone een positieve beïnvloeding van de bezinkingseigenschappen van het slib worden verwacht.

De biosorptie door actiefslib bestaat eigenlijk uit een tweetal fasen. De eerste fase omvat de momentane opname van organische verbindingen. Dit is voornamelijk een fysisch/chemisch proces. De tweede fase bestaat uit de COD-opname die mogelijk wordt gemaakt door de afbraak van de momentaan vastgelegde verbindingen. De stofwisselingssnelheid van de vlokpopulatie vormt hierbij dus de beperkende factor. Uit dit onderzoek is gebleken dat de momentane opname meestal veel groter is dan de opnemingsnelheid gedurende de daarop volgende minuten. Hierbij moet echter wel opgemerkt worden dat er wat dit laatste betreft nogal grote verschillen tussen slibben, afkomstig uit verschillende rwzi's, gemeten zijn. Waarschijnlijk speelt hierbij de activiteit van de biomassa een doorslaggevende rol. De praktische consequentie van het verschil tussen de momentane en de daaropvolgende opnamesnelheid is dat een mengzone met een vrij lange verblijftijd noodzakelijk wordt, indien de momentane verwijdering van COD volstrekt ontoereikend is om de groei van draadvormige organismen te voorkomen. Het is zelfs de vraag of het nagestreefde doel dan überhaupt bereikt kan worden. Een geringe opnamesnelheid heeft immers ook als consequentie dat nog geruime tijd voldoende substraat voor de draadvormige micro-organismen beschikbaar zal blijven.

Er zijn verschillende soorten draadvormige bacteriën die licht slib kunnen veroorzaken⁵. Uit een aantal proeven in diverse rwzi's is gebleken dat de massale groei van *M.parvicella*, *H.hydroxsis*, T 021N, *N.limicola* III en T 0041 in principe met behulp van een mengzone voorkomen kan worden. Of de groei van alle draadvormige organismen op deze manier kan worden voorkomen zal toekomstig onderzoek moeten uitwijzen. De soorten die het meest frequent aangetroffen worden (*M.parvicella* en T 021 N) zijn er in elk geval gevoelig voor. Dit wil echter niet zeggen dat bestrijdingsmethoden die geënt zijn op dit principe in alle gevallen het gewenste resultaat op zullen leveren. Hierbij speelt immers de biosorptiecapaciteit van het slib een beslissende rol. Uit dit onderzoek is gebleken dat deze capaciteit onder andere afhankelijk is van de slibbelasting. Resultaten die in de literatuur vermeld zijn, wijzen ook in deze richting^{12, 13}. De momentane biosorptiecapaciteit wordt kleiner indien de slibbelasting toeneemt. Of deze capaciteit waar zal toenemen bij extreem hoge belastingen ($>1-2\text{g BOD/g droge stof.dag}^{-1}$) is in het kader van dit onderzoek niet nagegaan. Ook de aanwezigheid van O_2 tijdens de mengfase beïnvloedt de biosorptie; hoewel dit effect niet zo erg groot is. Verwacht mag worden dat daarnaast ook de temperatuur de biosorptiecapaciteit van het slib in een bepaalde rwzi zal beïnvloeden. Bij een daling van de temperatuur neemt de stofwisselingssnelheid van de vlokpopulatie af. Dit zal ten koste gaan van de biosorptiecapaciteit, omdat vastgelegde

verbindingen nog niet volledig zijn afgebroken op het moment dat het slib weer opnieuw wordt belast met influent. Tenslotte moet nog de invloed van de vlokbelading op de biosorptie genoemd worden. Een toename van de vlokbelading heeft een grotere biosorptie tot gevolg, maar tegelijkertijd zal het absolute gedeelte dat vastgelegd wordt (in procenten van de beschikbare hoeveelheid) juist afnemen. Het te veel verlagen van de vlokbelading is daarentegen ook niet gewenst, omdat dan de draadvormige bacteriën toch weer een te groot gedeelte van de aangevoerde voedingsstoffen kunnen opnemen. Er is dus sprake van een optimaal vlokbeladingstraject. Hoewel boven- en ondergrens van dit traject nog niet met zekerheid vaststaan mag uit diverse proeven toch al wel voorzichtig geconcludeerd worden dat dit tussen 50 en 150 mg COD/g droge stof zal liggen. Hetzelfde voorbehoud moet nog worden gemaakt ten aanzien van het percentage van het aangevoerde substraat dat vastgelegd moet worden om de groei van draadvormige organismen te voorkomen. Waarschijnlijk zal dit circa 50-70% moeten bedragen, wanneer men uitgaat van een verblijftijd van 10 minuten in de mengzone.

De concentratie van het influent kan in de loop van de tijd sterk variëren. Onder praktijkomstandigheden is het dus vrijwel onmogelijk om een constante vlokbelading te realiseren. Ook na het installeren van een mengzone zullen de draadvormige bacteriën daarom incidenteel in een gunstige concurrentiepositie kunnen komen te verkeren. Een massale ontwikkeling van deze organismen zal echter niet kunnen plaatsvinden zolang gemiddeld genomen maar een voldoende groot percentage van het beschikbare substraat direct door de slibvlok opgenomen wordt. Een geringe groei van deze organismen is niet eens ongunstig, omdat ze bijdragen tot een goede vlokstructuur.

Hoewel de kwaliteit van het influent waarschijnlijk toch wel enige invloed heeft op de biosorptie door actiefslib is toch duidelijk aangetoond dat de kwaliteit van het slib voornamelijk bepalend is (zie Tabel 4). Hiermee lijkt het uiterst complexe lichtslibprobleem teruggebracht te zijn tot de vraag: op welke manier kan een slib met een hoge biosorptiecapaciteit gekweekt worden?

In de voorafgaande hoofdstukken is ingegaan op de biosorptie door actiefslib en op een aantal factoren die deze opname bepalen. Het realiseren van een vlokbelading kan op 2 manieren worden uitgevoerd.

1. Het creëren van een propstrooming in de beluchtingstank. Influent en retourslib moeten hierbij op de "kop" van de tank met elkaar gemengd worden [14].
2. De constructie van een aparte mengzone/mengtank voor influent en retourslib.

Principiële verschillen tussen deze twee mogelijkheden bestaan er eigenlijk niet; in beide uitvoeringsvormen is sprake van een tijdelijk hoge vlokbelading. Alleen zijn de successieve opnemingsstadia in een volledig gemengde tank minder duidelijk van elkaar gescheiden. Tot nu toe is echter nog niet aangetoond dat de biosorptie hierdoor wezenlijk beïnvloed wordt.

Een echte propstrooming heeft wel als voordeel dat pieken in de aanvoer beter opgevangen kunnen worden (de lengte van de substraatgradiënt in de beluchtingsruimte neemt hierdoor alleen toe) dan in een mengzone met een beperkte verblijftijd. Hier staat echter tegenover dat een mengzone vrijwel altijd veel eenvoudiger (en dus goedkoper) gerealiseerd kan worden in een bestaande rwzi. Dit is een belangrijk voordeel. In Figuur 6 worden voorbeelden van de inbouw van zo'n mengzone in verschillende rwzi's in Nederland gegeven.

De mengverhouding van slib en influent en de verblijftijd in de aparte tank/zone worden voornamelijk bepaald door de biosorptiecapaciteit van het betreffende slib. Deze kan met behulp van een eenvoudige laboratoriumproef worden vastgesteld (zie Bijlage 1).

Op deze manier worden biosorptiewaarden gemeten die vergelijkbaar zijn met de opname zoals die onder praktijkomstandigheden plaatsvindt.

Retourslib en influent worden in diverse verhoudingen met elkaar gemengd. Vervolgens wordt de biosorptie na verschillende contacttijden gemeten. Uit deze waarden kunnen de optimale vlokbelading en de verblijftijd berekend worden. Figuur 7 geeft hiervan een voorbeeld. Wanneer uitgegaan wordt van een minimale opname van 60%, dan is in dit voorbeeld bij een mengverhouding van 1 : 1 een verblijftijd van circa 17 minuten in de mengzone vereist. Om hetzelfde opnamepercentage bij een slib/influentverhouding van 1 : 3 te bereiken moet echter een verblijftijd van 60 minuten gerealiseerd worden. Uit zo'n biosorptieproef volgt daarom tevens of het installeren van een aparte mengzone wel zinvol is. Een en ander houdt direct verband met de gemeten biosorptiecapaciteit, en de verblijftijd die hieruit volgt.

De biosorptiecapaciteit van een bepaald slib zal in de loop van het jaar waarschijnlijk fluctueren (temperatuur!). Als gevolg hiervan zal het vlokbeladingsniveau incidenteel bijgesteld moeten worden. Het influentdebiet is niet te variëren. Het is daarom aan te bevelen om het retourslibdebiet variabel te maken, bijvoorbeeld door een

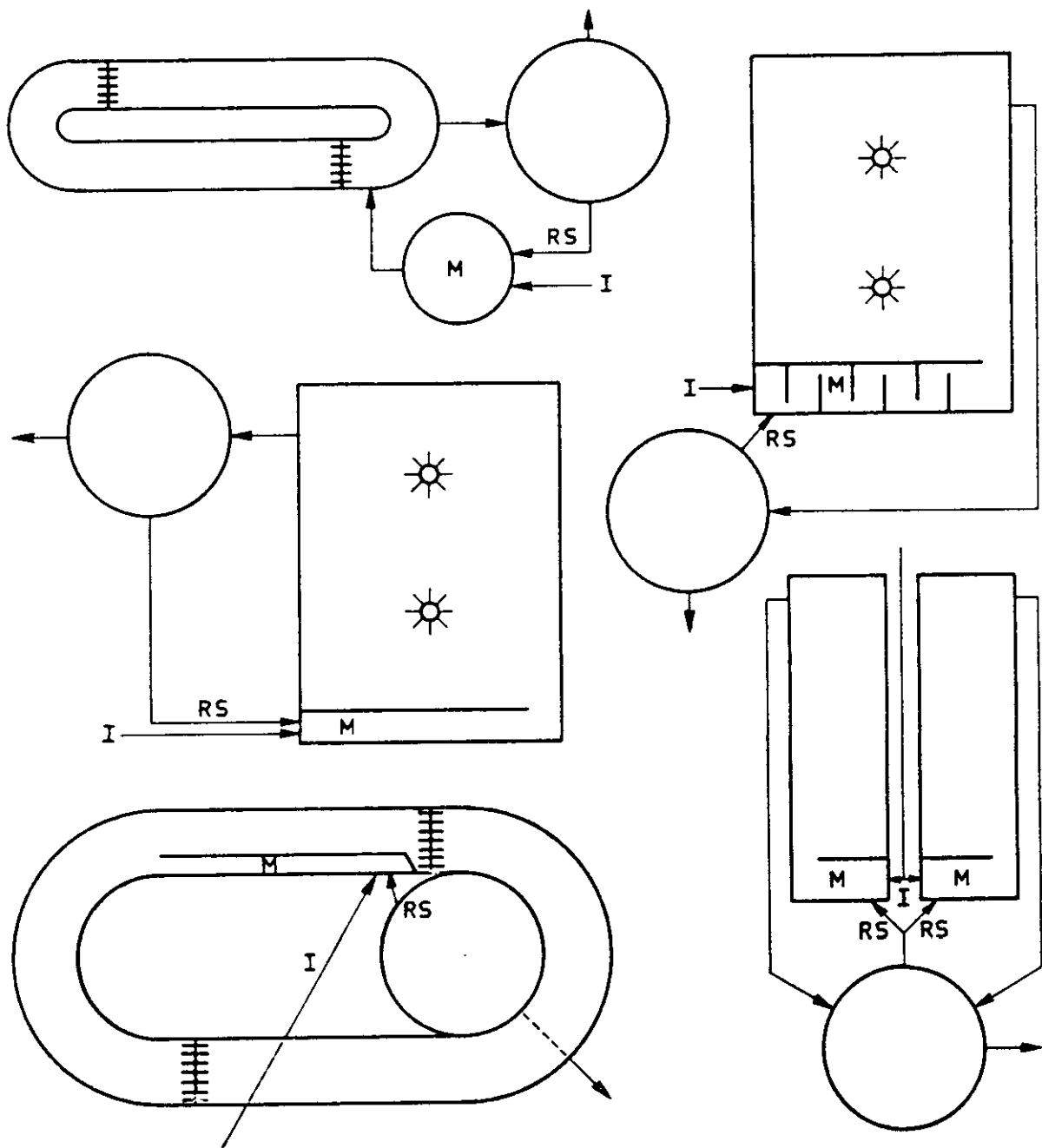


Fig. 6. Een aantal voorbeelden van bestaande mengzones voor influent en retourslib

I = influent; RS = retourslib; M = mengzone

by-passmogelijkheid in het ontwerp op te nemen. De biosorptie verloopt sneller bij aanwezigheid van zuurstof. De inhoud van de mengzone/tank moet daarom belucht worden. Dit heeft als neveneffect dat slib en influent tevens goed gemengd worden.

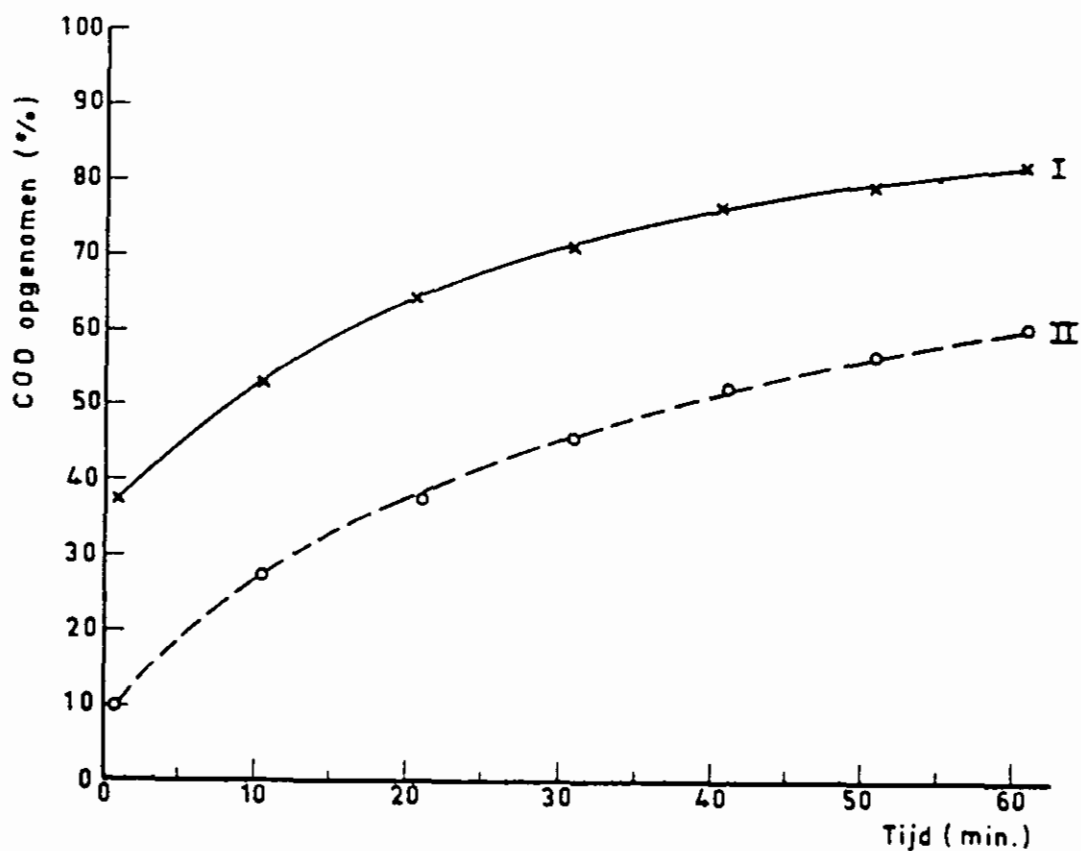


Fig. 7. Opgenomen percentages bij twee verschillende vlokbeladingsniveaus

I : mengverhouding influent: retourslib = 1 : 1
II : mengverhouding influent: retourslib = 3 : 1

7 LITERATUUR

1. Chudoba, J., Ottová, V. and Maděra, V. Control of activated sludge filamentous bulking - I. Effect of the hydraulic regime or degree of mixing in an aeration tank. *Water Research*, 7 (1973) 1163 - 1182.
2. Chudoba, J., Grau, P. and Ottová, V. Control of activated sludge filamentous bulking - II. Selection of microorganisms by means of a selector. *Water Research*, 7 (1973) 1389 - 1406.
3. Chudoba, J., Bláha, J. and Maděra, V. Control of activated sludge filamentous bulking - III. Effect of sludge loading. *Water Research*, 8 (1974) 231 - 237.
4. Chambers, B. and Tomlinson (Eds.), E. *Bulking of activated sludge: Prevention or cure*. Ellis Horwood, Chichester (wordt gedrukt; zal in 1982 verschijnen).
5. Eikelboom, D.H. *Handleiding voor microscopisch slibonderzoek* STORA, Rijswijk, 1979.
6. Eikelboom, D.H. Het voorkomen en bestrijden van licht slib door middel van een hoge vlokbelading. *H₂O*, 13 (1980) 166 - 171.
7. Heide, B.A. and Pasveer, A. Oxidation ditch: Prevention and control of filamentous sludge. *H₂O*, 7 (1974) 373 - 377.
8. Houtmeyers, J. Relations between substrate feeding pattern and development of filamentous bacteria in activated sludge processes. *Agricultura*, 26 (1978) 1 - 135.
9. Rensink, J.H. De invloed van het voedingspatroon op het ontstaan van licht slib bij verschillende slibbelastingen. *H₂O*, 7 (1974) 480 - 484.
10. Rensink, J.H., Jellema, K. en Ywema, T. De invloed van de substraatgradiënt op de vorming van licht slib. *H₂O*, 10 (1977) 14 - 16.
11. Rensink, J.H., Voetberg, J.W. und Ywema, T.S.Y. Die verhinderung der Entwicklung von Blähschlamm bei der vollbiologischen Reinigung von Abwasser der Pommesfritesindustrie. *GWf (Wasser-Abwasser)*, 118 (1977) 75 - 79.
12. Schulze-Rettmer, R. und Yawari, T. Über die Mechanismen der Eliminierung von organischen Substanzen aus dem Abwasser durch belebten Schlamm. *Z.f. Wasser und Abwasser-Forschung*, 11 (1978) 205 - 209.
13. Theophilou, J., Wolfbauer, O. und Moser, F. Die adsorptionsfähigkeit des belebten Schlammes und Ihre Darstellung in einem formalkinetischen Modell des Belebtschlammverfahrens. *GWf (Wasser-Abwasser)*, 120 (1979) 119 - 125.
14. Tomlinson, E.J. *Bulking - A survey of activated-sludge plants*. WRC TR 35, Stevenage, 1976.
15. Tomlinson, E.J. and Chambers, B. Methods for prevention of bulking in activated sludge. *Wat.Pollut. Control*, 78 (1979) 524 - 538.

Bijlagen

VOORSCHRIFT VOOR DE BEPALING VAN DE BIOSORPTIE DOOR ACTIEFSLIB

Principe

Retourslib en influent worden met elkaar gemengd. Na een bepaalde contacttijd worden monsters genomen. Hieruit worden de slibvlokken verwijderd, waarna de organische stofconcentratie in de waterfase wordt bepaald (bv. als BOD, COD of TOC). Uit de daling van deze concentratie, in vergelijking met de uitgangssituatie, wordt vervolgens de biosorptie berekend.

Benodigdheden

- (tafel)centrifuge
- vat of groot bekersglas
- roermotor
- kleine compressor (indien ter plaatse geen perslucht beschikbaar is)
- waterstraalpomp
- zwavelzuur (1:1)
- vers influent en retourslib
- voldoende flesjes om monsters in te bewaren
- materiaal voor drogestofbepaling
- materiaal voor COD-bepaling
- eventueel een zuurstofmeter

Uitvoering

Een bepaalde hoeveelheid slib wordt in het mengvat gebracht, waarna beluchting en roerder worden ingeschakeld. Vervolgens wordt rioolwater toegevoegd. Op vooraf bepaalde tijdstippen worden monsters van de inhoud genomen, waaruit de slibvlokken zo snel mogelijk door centrifugeren (1500 x g; 2 min.) worden verwijderd. Deze centrifugesnelheid is voldoende om de slibvlokken snel te laten sedimenteren. Centrifuge zonder extra te remmen uit laten draaien. Afremmen veroorzaakt een opwerveling van de vlokken. Indien na centrifugeren nog een vliesje op het supernatant aanwezig is dan kan dit door afzuigen eenvoudig worden verwijderd. De bovenstaande vloeistof wordt vervolgens voorzichtig afgeschonken in een monsterflesje. Van de inhoud wordt de COD bepaald. Indien deze analyse niet op dezelfde dag uitgevoerd kan worden dan moet het monster met zwavelzuur aangezuurd worden tot een eind-pH van 2 à 3.

Het gebruikte rioolwater en het retourslib worden eveneens afgecentrifugeerd, waarna ook van deze twee de COD van het supernatant wordt bepaald. Tenslotte wordt een monster retourslib genomen voor een drogestofbepaling.

Toelichting

1. De verhouding waarin rioolwater en slib met elkaar gemengd worden zal in eerste instantie afgestemd moeten zijn op de verhouding van de pompdebieten van deze twee processtromen. Uiteindelijk ligt het voor de hand dat in eerste instantie wordt nagegaan welke biosorptie op deze manier bereikt kan worden. Indien hieruit blijkt dat de biosorptie te gering is kan het vlokbeladingsniveau vervolgens gevarieerd worden door slib en influent in andere verhoudingen met elkaar te mengen. Op deze manier kan de verhouding bepaald worden waarbij voldoende biosorptie door de vlok plaatsvindt.
2. Ook de tijdstippen waarop de monsters genomen worden zal in eerste instantie moeten corresponderen met in de praktijk realiseerbare verblijftijden in een aparte mengzone. Daarnaast moet in elk geval na 1 minuut een monster genomen worden om de momentane biosorptie te kunnen bepalen.
3. In dit voorschrift wordt gesteld dat de slibvlokken door middel van centrifugeren uit de monsters moeten worden verwijderd. In principe kan dit natuurlijk ook door filtreren. Deze laatste methode is echter vaak inferieur aan centrifugeren. De filtratie-eigenschappen worden niet alleen bepaald door de poriëngrootte van het papier, maar ook door de gevormde sliblaag. Met centrifugeren worden wezenlijk andere resultaten verkregen. Figuur 8 geeft hiervan een voorbeeld.
Bovendien hebben sommige slibben bijzonder slechte filtratie-eigenschappen, waardoor een snelle scheiding van vlok en waterfase door filtreren niet mogelijk is.
Grotere deeltjes blijven, ook bij centrifugeren, buiten beschouwing, omdat ze bij 1500 x g in de centrifugebuis sedimenteren. Vooral bij niet-voorbezonden afvalwater kunnen deze deeltjes een belangrijke fractie van de COD van het influent uitmaken.
4. Vanzelfsprekend kan deze werkwijze ook toegepast worden om de biosorptie in een bestaande mengzone te bepalen.
5. Voor de biosorptiemetingen die tijdens dit STORA-onderzoek zijn uitgevoerd werden slib en influent gemengd in een rond vat van plexiglas (diameter 29 cm, hoogte 56 cm, vloeistofdiepte 30 cm, vloeistofvolume 20 l). Aan de binnenkant van de wand waren vier ribben (3 cm) bevestigd om de turbulentie te vergroten. De inhoud werd geroerd met een turbineroerder (diameter 9,8 cm). Deze bestond uit een ronde plaat, waarop zes armen (2,5 cm lang en 2 cm hoog) waren bevestigd. Er werd geroerd met een snelheid van 100 omw./min. Dit geheel correspondeert met een energie-inbreng van 100 W/m³. Op de bodem van het vat was een ronde beluchtingssteen bevestigd.

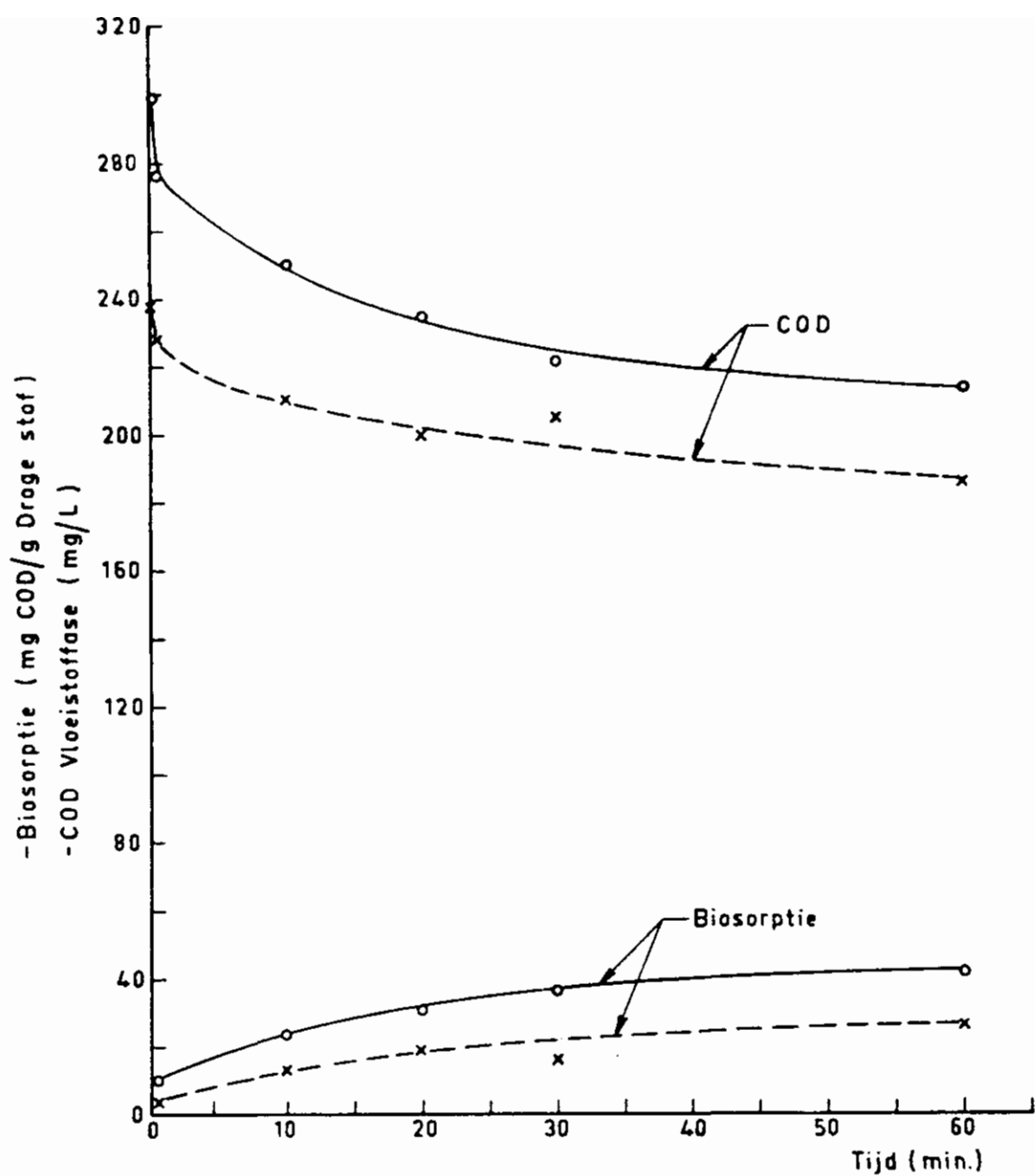


Fig. 8. Vergelijken van filtreren (x---x) met centrifugeren (o—o) voor het afscheiden van de slibvlokken uit het mengsel.

Berekening van biosorptie en vlokbelading

Op tijdstip $t = 0$ bedraagt de substraatconcentraties in de vloeistoffase:

$$\text{COD}_{t=0} = \frac{(\text{COD}_I \times \text{VOL}_I) + (\text{COD}_{RS} \times \text{VOL}_{RS})}{\text{VOL}_I + \text{VOL}_{RS}} \quad (\text{mg/l}) \quad (1)$$

Hierin is: COD_I = COD supernatant influent (mg/l)
 VOL_I = volume influent (l)
 COD_{RS} = COD supernatant retourslib (mg/l)
 VOL_{RS} = volume retourslib (l)

De biosorptie op het tijdstip $t=i$ bedraagt nu:

$$\text{biosorptie} = \frac{\text{COD}_{t=0} - \text{COD}_{t=i}}{\text{droge stofmengsel}} \quad (\text{mg COD/g droge stof}) \quad (2)$$

De vlokbelading kan op verschillende manieren berekend worden. Wanneer COD_I en COD_{RS} volledig meegerekend worden dan geeft dit:

$$\text{vlokbelading} = \frac{(\text{COD}_I \times \text{VOL}_I) + (\text{COD}_{RS} \times \text{VOL}_{RS})}{\text{VOL}_{RS} \times \text{droge stof}_{RS}} \quad (\text{mg COD/g droge stof}) \quad (3)$$

Wanneer de vlokbelading echter gebruikt wordt als een maat voor de hoeveelheid die daadwerkelijk opgenomen kan worden dan moet er rekening mee gehouden worden dat uiteindelijk een rest-COD over zal blijven.

Indien (3) hiervoor gecorrigeerd wordt dan geeft dit:

$$\text{vlokbelading (II)} = \frac{(\text{COD}_I - \text{COD}_{RS})\text{VOL}_I}{\text{VOL}_{RS} \times \text{droge stof}_{RS}} \quad (\text{mg COD/g droge stof}) \quad (4)$$

Tenslotte kan uit (2) en (4) berekend worden welk percentage van het beschikbare substraat is opgenomen:

$$\text{opgenomen} = \frac{\text{biosorptie}}{\text{vlokbelading (II)}} \times 100 \quad (\%) \quad (5)$$

Hieronder volgt nog een rekenvoorbeeld om het bovenstaande te verduidelijken. Slib en influent werden in een verhouding 1:2 met elkaar gemengd.

COD influent gecentrifugeerd: 480
 COD supernatant retourslib : 121
 Droge stof retourslib : 5,58
 Vlokbelading (II) : 129
 COD_{t=0} : 360

Tijd (min.)	1	7	14	23	35	45	60
COD gemeten (mg/l)	330	260	230	210	181	169	153
COD _{t=0} - COD _{t=i} (mg/l)	30	100	130	150	179	191	207
Biosorptie ¹⁾ (mg COD/g d.s.)	16	54	70	81	96	103	111
COD opgenomen (%)	13	42	54	63	75	80	87

1) droge stof na mengen: 1,86 g/l