

# Waterstraal-beluchting voor biologische waterzuiveringsinstallaties

Bij de bouw van biologische waterzuiveringsinstallaties volgens het belucht slib-procédé is steeds een belangrijk deel van de investeringskosten bestemd voor een bepaald onderdeel van deze installaties, namelijk de beluchtingsbassins en de daarbij behorende beluchtingsapparatuur.

Bij de bedrijfsvoering van een dergelijke installatie is de energieconsumptie van de beluchtingsapparatuur een belangrijke factor in de exploitatiekosten. Voor de hierboven bedoelde investerings- en bedrijfskosten wenst men uiteraard een



H. JENNEKENS  
Apparaten Proefstation  
Centraal Laboratorium DSM  
Geleen

goed functioneren van het betreffende installatiedeel. Dit houdt in dat de beluchtingsapparatuur enerzijds voldoende zuurstof in het water moet brengen en anderzijds moet zorgen voor een dusdanige menging in het bassin van micro-organismen, zuurstof en afvalstoffen, dat de biologische afbraak optimaal kan plaats vinden.

Tot de onderzoeken die in het Centraal Laboratorium van DSM op het gebied van de waterzuivering reeds enkele decennia plaats vinden behoort ook een onderzoek waarbij wordt nagegaan in hoeverre beluchting met waterstralen bij biologische waterzuivering bruikbaar is. Het onderzoek vindt plaats omdat er op grond van vroegere ervaringen bepaalde interessante perspectieven aanwezig waren, vooral voor middel-grote en grote installaties.

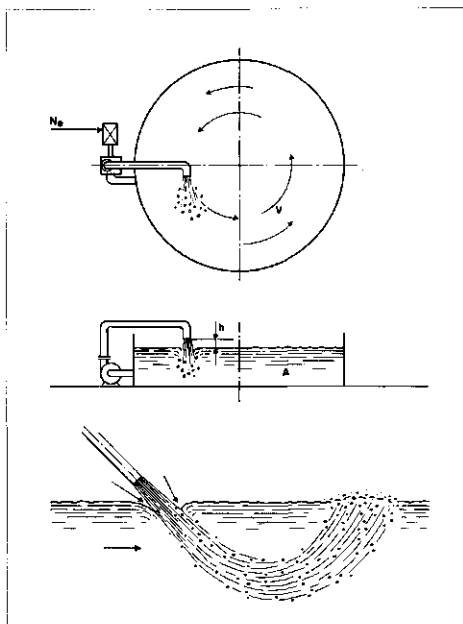
Inmiddels heeft het onderzoek dusdanige resultaten opgeleverd dat reeds praktische toepassing van waterstraalbeluchting met succes plaats vindt.

De belangrijkste kenmerken van een waterstraalbeluchtinstallatie zijn: goed zuurstofinslagrendement, uitstekende eigenschappen wat betreft stroming en menging, eenvoudige en bedrijfszekere apparatuur en concurrerende kosten.

In dit artikel wordt achtereenvolgens beknopt het principe van de waterstraalbeluchting behandeld, een overzicht gegeven van het uitgevoerde onderzoek en worden enkele door het RIZA ter plaatse gevolgde bepalingen van het zuurstofinslagrendement beschreven.

## Principe waterstraalbeluchting

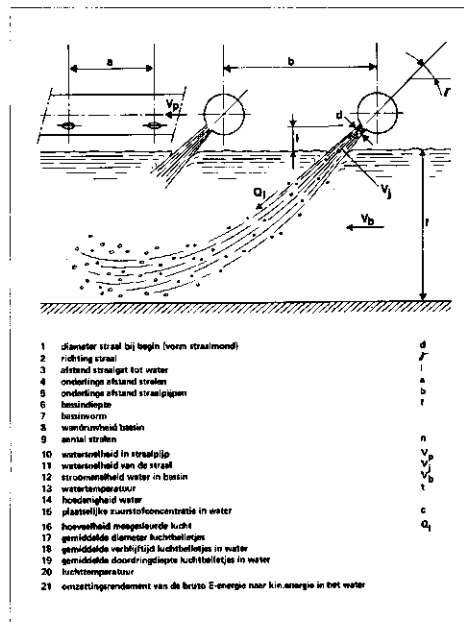
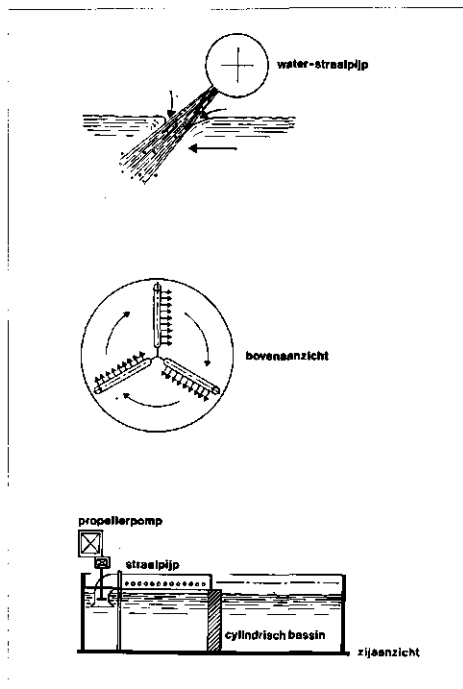
De mogelijkheid om via een waterstraal impuls over te dragen aan een gas of vloeistof en deze media aldus te versnellen of op snelheid te houden is een algemeen bekend



Afb. 1 - Principe waterstraalbeluchting.

fysisch gebeuren. Van dit principe kan gebruik worden gemaakt om lucht in water te brengen om het zuurstofgehalte van het water op te voeren en tevens om een menging te laten plaatsvinden. Ter verduidelijking is deze werkwijze in afb. 1 geschetst. Elektrische energie  $N_e$  wordt via een elektromotor en waterpomp voor een groot deel omgezet in kinetische energie in de vorm van een waterstraal, die onder een hoek vanaf een hoogte  $h$  op het wateroppervlak van een watervolume  $A$  in een rond bassin spuit.

Afb. 2 - Praktijkuitvoering waterstraalbeluchting.



Afb. 3 - Overzicht van een deel van de variabelen bij waterstraalbeluchting.

De waterstraal sleurt lucht mee in het water en geeft tevens aan het water een bepaalde circulatiesnelheid  $v$ . Op deze manier kan de in een biologisch zuiveringsbassin noodzakelijke zuurstofvoorziening plaats vinden door de overgang van een deel van de zuurstof uit de lucht naar het water, terwijl door het opwekken van de circulatiestroom de zuurstof gemengd wordt met micro-organismen en afvalstoffen.

De vraag in hoeverre het bovengenoemde ook een praktische en 'rendabele' toepassing zou kunnen vinden (zie als voorbeeld afb. 2) was voor enkele jaren nog vrijwel open. Er was destijds wel door enkele onderzoekers researchwerk verricht betreffende details van bovengenoemde werkwijze, maar een studie waarbij de invloed van een groot aantal variabelen systematisch werd onderzocht, niet alleen van de waterstraal maar ook van de combinatie bassin of bekken met waterstralen, was niet bekend. Een lijst van enkele publikaties over dit onderwerp is aan dit artikel toegevoegd.

## Het onderzoek

In een poging het te onderzoeken terrein te kunnen overzien werd bij de start van het onderzoek een lijst opgesteld van de voorkomende variabelen, wel of niet onafhankelijk. In afb. 3 met bijbehorende lijst is een gedeeltelijk overzicht gegeven. Hieruit blijkt dat het aantal variabelen zeer groot is zodat het vinden van optimale condities voor een effectieve beluchting niet eenvoudig genoemd kan worden. Aanvankelijk was wel al min of meer duidelijk welke praktische begrenzingen bij een

eventuele toepassing zouden optreden, zowel wat betreft de apparatuur als betreffende de fysische condities.

Bij de overwegingen welke metingen en studies hierna moesten volgen, kwamen de volgende vragen naar voren:

a. Welke luchthoeveelheid  $Q_1$  neemt een waterstraal, die onder bepaalde gegeven omstandigheden via het oppervlak een watermassa binnentreedt, per tijdseenheid mee in het water bij toepassing van schoon water.

Hoe wordt het water-lucht contact aan het wateroppervlak door het intreden van de straal en de gevolgen ervan beïnvloed.

Welke hoeveelheid van de zuurstof in bovenbedoelde luchthoeveelheid  $Q_1$  gaat over in het water (absorptiepercentage voor deze luchtzuurstof). Hoe groot is de totale zuurstofinslagcapaciteit OC van de straal in bijv. kg  $O_2$ /h.

b. Hoe groot is de OC van een of meerdere waterstralen, bij 10 °C watertemperatuur bij een zuurstofconcentratie van het water van 0 mg/l, bij een barometrische druk van 1013 mbar, bij toepassing van schoon water, per eenheid van het bruto aangewend vermogen N voor de opwekking van de straal of stralen. Deze verhouding OC/N wordt het standaard-zuurstofinslagrendement genoemd en uitgedrukt in kg  $O_2$ /kWh.

c. Hoe verandert het standaardzuurstofinslagrendement wanneer men overschakelt van schoon water naar bepaalde praktijkomstandigheden in een zuiveringsbassin met slib en afvalwater.

d. Welk stromingspatroon en welke stroomsnelheden ontstaan in een bassin afhankelijk van de impuls van een of meerdere stralen en afhankelijk van de vorm, grootte en wandruwheid van het bassin.

e. Ondervinden de micro-organismen geen nadelige invloed van het verpompen en van de omstandigheden in en rond de straal.

f. Hoe zal de bedrijfszekerheid zijn, welke regelmogelijkheden doen zich voor.

g. Wat zijn de investerings- en bedrijfskosten.

De eerste laboratoriumproeven betreffende waterstraalbeluchting bij DSM met als achtergrond toepassing bij waterzuivering dateren van 1951.

In de rapportering hierover, worden de resultaten als positief gekwalificeerd.

Nadat gedurende een aantal jaren geen voortgang van het onderzoek plaats vond werd dit in 1968 weer opnieuw gestart.

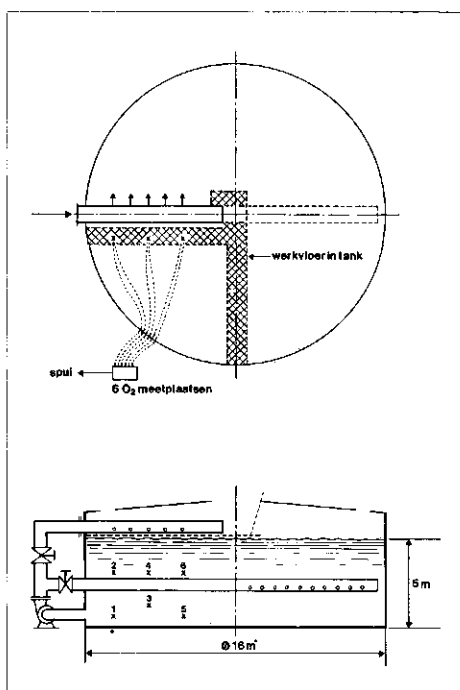
Nadat ook toen nog enige tijd laboratoriumproeven waren genomen heeft het accent nadien gelegen op het verkrijgen van gegevens uit proeven die dichtbij of op praktijkschaal werden genomen. De reden

TABEL I - Overzicht betreffende het onderzoek.

Inhoud bassins waarin proeven werden uitgevoerd, in m <sup>3</sup>	0,01 - 0,15 - 0,30* - 1 - 7 - 350* - 500 - 1000 - 2500 - 30000*+
	* met actief slib + in deel van dit bassin
straalgat diam. in mm Ø	2 → 180
straalhoek met horizontaal	10 → 75°
lengte straal in mm	50 → ca. 2500
snelheid straal in m/s	2 → 50
snelheid in bassin m/s	0,1 → 1
diepte bassin m	0,3 → 5
aantal zuurstofinslagrendementsbepalingen kgO <sub>2</sub> /kWh	ca. 250
aantal snelheidsprofielmetingen in bassins	ca. 100
bijkomende activiteiten	- onderzoek afhankelijkheid slibkwaliteit van verpompen - marktonderzoek geschikte pompen - bestudering werktuigbouwkundige en bouwkundige aspecten - studie betreffende investerings- en bedrijfskosten

hiervoor was dat proeven op kleine schaal, modelproeven, vanwege de grote gecompliceerdheid van het gebeuren slechts als indicatie en niet als maatstaf voor de praktijksituatie konden dienst doen. Binnen het bestek van dit artikel zal niet uitvoerig kunnen worden ingegaan op de details van alle proeven en studies. Volstaan wordt met het geven van een algemeen overzicht van de onderzoeksactiviteiten. In tabel I is dit overzicht gegeven. Onder het hierna volgende onderwerp van

Afb. 4 - Proefinstallatie voor OC metingen.



dit artikel wordt op enkele metingen nog nader ingegaan.

Betreffende de nauwkeurigheid waarmee de metingen werden uitgevoerd kan gezegd worden dat deze is toegenomen naarmate de ervaring van de onderzoekers groeide. Bij huidige experimenten is een vrij grote nauwkeurigheid mogelijk zodat duplicatiemetingen doorgaans niet meer dan enkele procenten verschillen.

De beschikbaarheid van goede membraanzuurstofmeters heeft hiertoe aanzienlijk bijgedragen. Wel is gebleken dat een grote waakzaamheid in de vorm van herhaaldelijk ijken van zuurstofmeters beslist noodzakelijk is. Voor bepalingen van het zuurstofinslagrendement in actief slib is de moeilijkheidsgraad aanzienlijk hoger dan voor metingen in schoon water.

De resultaten, die het onderzoek tot nu toe ten aanzien van de bovenvermelde vragen a t/m g heeft opgeleverd, kunnen als volgt worden samengevat.

Het blijkt, dat waterstraalbeluchting voor de zuurstofvoorziening en voor het scheppen van goede reactiecondities in biologische zuiveringsbassins een goed toepasbare methode is met enkele aantrekkelijke kenmerken.

Het zuurstofinslagrendement onder standaardcondities en op praktijkschaal is maximaal ca. 2,0 kg  $O_2$ /kWh.

De bevindingen tot nu toe wijzen er op dat het standaardzuurstofinslagrendement nagehoeg niet gecorrigeerd hoeft te worden bij overgang van schoon water naar afvalwater. Door de gunstige aanwending van de impuls van de waterstralen wordt een zeer goede menging verkregen van micro-organismen, zuurstof en afvalstoffen, zelfs bij zeer geringe vermogens per bassinvolume. Er kon een relatie worden vastgesteld tussen de gemiddelde stroomsnelheid in een cilindrisch bassin en de impuls en het weerstandsoppervlak. Hoewel een cilindrisch bassin uit stromings-technische en bouwkundige overwegingen de voorkeur heeft is ook een andere bassinvorm zeker geen belemmering voor toepassing van waterstraalbeluchting. De micro-organismen zijn ongevoelig voor het herhaaldelijk verpompen en voor de omstandigheden die voorkomen bij de waterstraalbeluchting. De beluchtingsapparatuur kan gekarakteriseerd worden als eenvoudig, bedrijfszeker en flexibel. Regelmogelijkheden van de zuurstofinslaghoeveelheid zijn ondermeer aanwezig in variatie van het pomptoeantaal of de propellorstand en bij aanwezigheid van meerdere units in het uitschakelen van een of meerdere units, hetgeen zoals boven vermeld, kan plaats vinden totdat een relatief zeer gering vermogen per bassinvolume resteert.

De investerings- en bedrijfskosten kunnen

TABEL II - Proefgegevens en meetresultaten van enkele zuurstofinslagbepalingen.

proef no.	bassin-inhoud m <sup>3</sup>	afstand onderkant pijp-niveau mm	stroomsnelheid in bassin cm/s	netto watervermogen kW	OC* kgO <sub>2</sub> /h	bruto vermogen N in kW		OC/N zuurstofinslag rendement kgO <sub>2</sub> /kWh	analyse watermonsters genomen na OC 74	
						1) $\eta = 0,70$	2) $\eta = 0,80$			
OC 71	1010	225	min. 45 max. 65	2,91	7,36	1) 4,16 2) 3,64	1,77 2,02	pH	8,3	
OC 72	1000	250	min. 45 max. 65	2,87	7,15	1) 4,10 2) 3,59	1,74 1,99	droogrest	6,3 mg/l	
OC 73	985	350	min. 45 max. 65	3,10	7,69	1) 4,43 2) 3,87	1,74 1,99	105 °C (na filt.)	< 1 mg/l	
OC 74	995	275	min. 28 max. 38	2,94	6,94	1) 4,20 2) 3,67	1,65 1,89	BZV <sub>5</sub> <sup>20</sup>	ca. 30 mg/l	
								CZV	225 mg/l	
								Na	490 mg/l	
								SO <sub>4</sub> =	72 mN/m	
								opp. spann. 20°		

\* OC (zuurstofinslagcapaciteit) bij een zuurstofconcentratie in het water van 0 mg/l en omgerekend voor een watertemperatuur van 10 °C en een barometrische druk van 1013 mbar.

concurrerend genoemd worden ten opzichte van andere systemen. In dit verband zijn, bouwkundig gezien, relatief kleine wandoppervlakten en gunstige wandbelastingen belangrijke factoren. De eenvoudige en bedrijfszekere apparatuur en het goede zuurstofinslagrendement beïnvloeden de kosten in gunstige zin.

#### Beschrijving van enkele bepalingen van het zuurstofinslagrendement

Om enig inzicht te geven hoe met waterstraalbeluchting op vrij grote schaal proeven kunnen worden uitgevoerd volgt hier een beknopte beschrijving van enkele beluchtingsproeven in een 1000 m<sup>3</sup> bassin met schoon water.

Afb. 4 geeft een schets van de proefinstallatie, die zo is uitgevoerd dat variaties wat betreft apparatuur en fysische condities gemakkelijk kunnen worden aangebracht. Tabel II geeft een aantal proefgegevens en meetresultaten.

De omstandigheden van de proeven OC 71 t/m 73 zijn afgestemd op de situatie in een installatie voor huishoudelijk afvalwater. Zowel de waarnemingen ter plaatse als de berekeningen achteraf werden gevolgd door het RIZA.

Voor elke proef werd het water (gezuiverd kanaalwater) zuurstofvrij gemaakt met natriumsulfiet met kobaltnitraat als katalysator. Tijdens de proeven werd op zes plaatsen (zie afb. 4) de zuurstofconcentratie in het water gemeten als functie van de tijd. Bij elke proef vertoonden de zuurstofconcentraties op de verschillende plaatsen op eenzelfde tijdstip dermate kleine verschillen dat zondermeer gerekend kon worden met de gemiddelde zuurstofconcentratie. De verzadigingszuurstofconcentratie werd bij elke proef nauwkeurig vastgelegd.

Het bij de proeven aangewende netto vermogen werd bepaald door de voor waterstralen gebruikte waterhoeveelheid per tijdseenheid en de waterdruk te meten.

De watercapaciteit werd verkregen door met een Prandtlbuis in de watertoevoer-

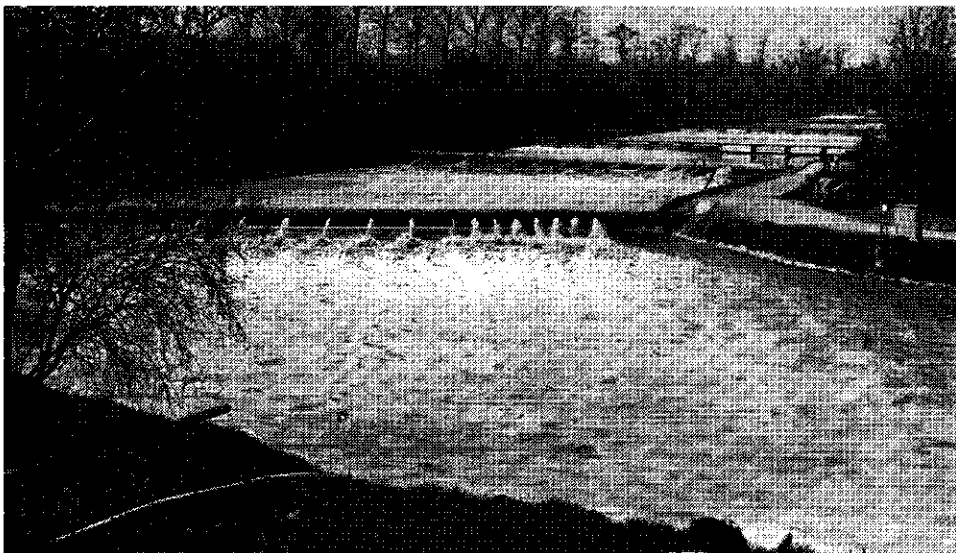


Afb. 5 - Waterstraalbeluchting in zuiveringsinstallatie van textielverwerkende industrie Desso te Dendermonde, België.

leiding nauwgezet het gehele snelheidsprofiel vast te leggen.

De uitwerking van de meetgegevens tot de standaardzuurstofinslagrendementen bij 10 °C, 0 mg O<sub>2</sub>/l zuurstofconcentratie en een barometrische druk van 1013 mbar

Afb. 6 - Waterstraalbeluchting in zuiveringsinstallatie van DSM.



werd volgens de algemeen bekende methode verricht met behulp van een geprogrammeerde rekenwijze.

Aangezien bij de bepaling van het zuurstofinslagrendement gerekend wordt met het bruto aangewend vermogen en de metingen slechts het netto-vermogen leverden is de verhouding  $\eta$ , netto gedeeld door bruto-vermogen, hier gehanteerd.

Deze verhouding  $\eta$  wordt in dit geval bepaald door het produkt van de rendementen van de elektromotor, eventuele vertragingkast, pomp en leiding. Om deze reden is in tabel II het zuurstofinslagrendement dat volgt uit de proeven gegeven voor  $\eta = 0,70$  zijnde een redelijk totaal energieoverdrachtsrendement en voor  $\eta = 0,80$  als zeer goed rendement.

Bij de vier geëtalereerde proeven kunnen proef OC 71 en 72 als duplo worden beschouwd.

Proef 73 laat zien dat enige niveauvariatie van het wateroppervlak geen invloed heeft op het zuurstofinslagrendement.

Proef 74 toont een gevoeligheid aan voor de gemiddelde stroomsnelheid in het bassin.

Na proef 74 is een watermonster genomen om via analyses de kwaliteit van het water vast te leggen (zie tabel II).

### Slotopmerkingen

In de inleiding is reeds opgemerkt dat het onderzoek van de waterstraalbeluchting reeds geleid heeft tot praktische toepassing. Dit is zowel binnen als buiten het DSM-verband het geval. Zie hiertoe afb. 5 en 6. De waterstraalbeluchting in een deel van de DSM zuiveringinstallatie is reeds enkele jaren constant in bedrijf. Storingen hebben zich hiermee niet voorgedaan.

Enkele belangrijke toepassingen zijn nog in voorbereiding waaronder de nieuwe DSM-zuiveringsinstallatie van ca. 1.000.000 i.e. Geconcludeerd kan worden, dat men vanuit de onderzoekfase van de waterstraalbeluchting is overgegaan naar de praktijkfase.

Hiermee is een beluchtingsmethode beschikbaar gekomen, die met eenvoudige en bedrijfszekere apparatuur een goed zuurstofinslagrendement geeft en daarnaast beschikt over uitstekende eigenschappen voor wat betreft de instandhouding van de stroming en de menging in het zuiveringsbassin.

De onderzoekers vertrouwen dat de zuivering van het water algemeen gezien hiermee gediend is.

### Literatuur

- Kalbskopf, K. H., Jahrbuch vom Wasser 23 (1967).  
 Kroon, G. v. d. en Schram, A., H<sub>2</sub>O 2 (1969) 528.  
 Böhnke, B., gwf-Wasser/Abwasser 111 (1970) H.4-206.  
 Albrecht, D., gwf-Wasser/Abwasser 112 (1971) H.1-29.  
 Sande, E. v. d. en Smith, J. M., Chemie-Ing. Techn. 44 (1972) 1177.  
 Londong, D., 'Über den Sauerstoffeintrag', Emschergenossenschaft Essen (1973).  
 Sande, E. v. d. en Smith, J. M., Chem. Eng. Sci. 28 (1973) 1161.

