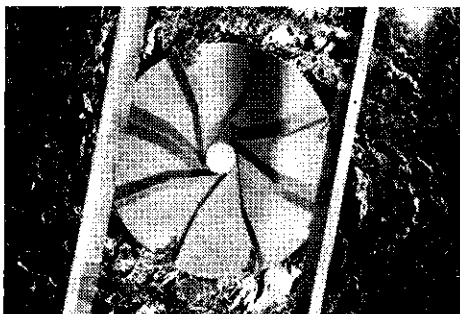


Semitechnisch onderzoek naar de eigenschappen van een nieuw type puntbeluchter in vierkante beluchtingsbassins

Inleiding

Bij de biologische reiniging van afvalwater wordt met behulp van micro-organismen organisch materiaal uit het afvalwater verwijderd. Afhankelijk van het al dan niet deelnemen van luchtzuurstof aan dit proces kan onderscheid worden gemaakt in aerobe en anaerobe biologische zuiveringsprocessen. Bij de aerobe zuiveringsprocessen, zoals bij het actief slib proces, is de natuurlijke zuurstoftoevoer wegens de grote concentratie aan micro-organismen en organisch materiaal niet meer toereikend: de beno-



Afb. 1 - Onderkant beluchter. Diameter beluchter: 0,28 m; toerental: 1,28 omw. sec⁻¹ (foto Rooks).



Afb. 2 - Onderkant beluchter. Diameter beluchter: 0,28 m; toerental: 2,2 omw. sec⁻¹ (foto Rooks).

Probleemstelling

Bij het beschouwen van de uitvoeringsvormen van puntbeluchters valt op dat enkele typen uit deze rij uit een gesloten conus bestaan die aan de onderkant van een aantal schoepen is voorzien (Simcar, Landy, Gyrox, BSK, enz.). Over de stromingsverschijnselen die aan de onderkant van deze beluchters optreden hebben wij reeds bericht [2]: vanaf een bepaalde omtreksnelheid wordt aan de 'achterkant' van de schoepen, waar immers onderdruk heerst, lucht aangezogen. Aangezien de conus gesloten is, kunnen deze bellen niet naar boven ontwijken, zij kunnen ook niet door nieuwe bellen worden vervangen, zij vormen een stagnante luchtlaag tussen de onderkant van de beluchter en de vloeistof (zie afb. 1 en 2).

De aanwezigheid van deze stagnante luchtlaag heeft de volgende gevolgen:

- niet het gehele oppervlak van conus en schoepen is voor impulsoverdracht beschikbaar, het overgedragen vermogen is minder en de pompcapaciteit kleiner dan die van een overeenkomstige turbineroerder, die wél door de vloeistoffase is omgeven,
- daar het een stagnante luchtlaag betreft, draagt het oppervlak onder de beluchter niet, althans in mindere mate, bij aan de zuurstoftoevoer, terwijl juist op deze plaats

grote snelheden en turbulentie heersen.

Juist op deze plaats zou een intensief contact tussen gasfase en vloeistoffase hydrodynamisch mogelijk zijn.

— dit type beluchters zullen waarschijnlijk gevoelig zijn voor instabiliteiten in de stroming in de nabijheid van de beluchter, met het gevolg van instabiele vermogensafname en zelfs cadansvorming in het beluchtingsbassin.

Uit deze beschouwing volgt dat de constructie van een puntbeluchter zodanig moet zijn dat de schoepen niet door een luchtlaag kunnen worden bedekt. Voorts moet de mogelijkheid bestaan, aan de achterkant van de schoepen, waar immers onderdruk heerst, lucht aan te zuigen, zonder dat de aangezogen lucht een ononderbroken luchtlaag vormt en van schoep tot schoep reikt. Dit impliceert een zoveel mogelijk open constructie van de puntbeluchter. Een mogelijke constructie die aan deze voorwaarden voldoet wordt getoond op afbeelding 3. In het verdere onderzoek werd dit nieuwe type puntbeluchter — de Ramix — bestudeerd waarbij met name de volgende aspecten aan de orde waren gekomen: stromingstoestand in de buurt van de beluchter, vermogensconsumptie en zuurstoftoevoervermogen als functie van apparaat- en medium-parameters.



I. G. RÁCZ

Technische Hogeschool Twente, Enschede
Afd. der Chemische Technologie
Vakgroep Procestechniek



J. GROOT WASSINK

Technische Hogeschool Twente, Enschede
Afd. der Chemische Technologie
Vakgroep Procestechniek



C. R. GOINGA

Technische Hogeschool Twente, Enschede
Afd. der Chemische Technologie
Vakgroep Procestechniek

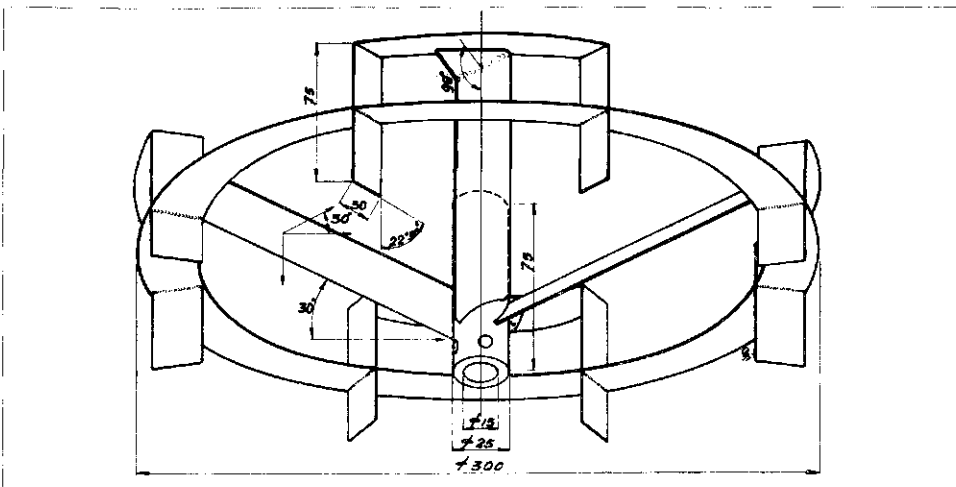
digde zuurstof wordt daarom via kunstmatige beluchtingsystemen aan het afvalwater toegevoerd.

De puntbeluchter, in combinatie met recht-hoekige beluchtingsbassins of met Carroussel-installaties, is één van de meest toegepaste beluchtingselementen: alleen al in Nederland is tot nu toe minstens voor f 50 miljoen aan puntbeluchters en beluchtingsbassins gerealiseerd, terwijl in de naaste toekomst nog circa f 400 miljoen in het beluchtingsgedeelte van de afvalwaterzuiveringsinstallaties zal moeten worden geïnvesteerd [1].

Enkele eigenschappen van de bestaande typen puntbeluchters zijn tot nu toe nog onvoldoende onderzocht: bijv. het zuurstoftoevoervermogen (OC) kan nog niet voldoende betrouwbaar worden berekend als functie van apparaat- en mediumparameters, terwijl schaalvergrotingsregels nog maar beperkt toepasbaar zijn op het complexe gebeuren in een puntbeluchtersysteem.

Het onderzoeken en mogelijkerwijs verbeteren van de bestaande typen puntbeluchters is daarom niet alleen uit wetenschappelijk oogpunt, doch ook op grond van economische overwegingen aantrekkelijk.

Afb. 3 - Nieuw type beluchter.



(Het ontstaan van een stagnante luchtlaag kan ook op een andere manier worden voorkomen. Bij de gesloten-conus beluchters staan de schoepen loodrecht op de conus. Als deze hoek nu kleiner wordt gemaakt en de schoep een bepaalde kromming krijgt, zodanig dat de stroming aan de achterkant van de schoepen niet loslaat, dan zal achter de schoepen geen lucht worden aangezogen, hetgeen een gunstige uitwerking heeft op de pompcapaciteit en vermogenstoevoer van de beluchter. Het semi-technisch onderzoek op dit terrein wordt in de naaste toekomst afgerond.)

Meetopstelling en meetmethode

De metingen werden uitgevoerd in vierkante bassins, voorzien van kruisvormige keerschotten op de bodem, hetzij uit staal, hetzij uit perspex vervaardigd, zodat de stroming rond de beluchter en in het bassin kon worden waargenomen.

De beluchter werd aangedreven door een electromotor van 2,9 kW met traploos regelbaar toerental. Door een glijconstructie kon de hoogte van de beluchter, de dompeldiepte, continu worden ingesteld.

Het netto toegevoerde vermogen of asvermogen werd gemeten door middel van een dynamometer, merk HBM, type T1/200, het signaal van de rekstrook werd continu met een recorder geregistreerd.

De zuurstoftoevoer werd gemeten met behulp van een zuurstofelectrode, met continue registratie van de verzadigingspercentage van het zuurstof in het water, nadat het gebruikte leidingwater in het bassin zuurstofloos gemaakt werd met behulp van een sulfiet-oplossing.

Indien de vloeistoffase als compleet gemengd mag worden verondersteld, dan kan het zuurstoftoevoervermogen (OC) op een eenvoudige manier berekend worden uit de volgende vergelijkingen:

$$OC = k^l \cdot A \cdot C_s \quad [\text{kg sec}^{-1}] \quad \text{en} \quad (1)$$

$$V \frac{dc}{dt} = k^l \cdot A \cdot (C_s - C) \quad [\text{kg sec}^{-1}] \quad (2)$$

met de randvoorwaarde: voor $t = 0$ is $C = C_0 = 0$ volgt dan uit het voorgaande:

$$OC = 2,3 \cdot \frac{VC_s}{t} \cdot \log \frac{C_s}{C_s - C_t} \quad [\text{kg sec}^{-1}] \quad (3)$$

(voor de gebruikte symbolen zie symbolenlijst).

* De OC metingen werden bij 20°C uitgevoerd, waarbij $C_s = 9,09 \text{ g/m}^3$.

Het meetbereik van de onderzochte parameters wordt in tabel I vermeld. De variatie van de viscositeit werd bereikt door het toevoegen van 'Luviskol' — polyvinylpyrrolidon — aan het leidingwater.

TABEL I - Meetbereik van de onderzochte parameters.

lengte bassin	l [m]	1,25; 1,85; 2,80
waterdiepte in bassin	h [m]	0,225 - 0,71
diameter beluchter	d [m]	0,185; 0,30; 0,40
dompeldiepte beluchter	H [m]	0,009 - 0,100
toerental beluchter	n [sec ⁻¹]	1,05 - 3,59
dynamische viscositeit waterfase	η [kgm ⁻¹ sec ⁻¹]	$10^{-3} - 18 \cdot 10^{-3}$
diffusiecoëfficiënt	D [m ² . sec ⁻¹]	$2,17 \cdot 10^{-9} - 3,07 \cdot 10^{-9}$

TABEL II - Gemeten en berekende frequentie als functie van lengte bassin en hoogte vloeistoflaag in het bassin.

lengte bassin l [m]	hoogte vloeistoflaag h [m]	gemeten f [sec ⁻¹]	berekende f voor $\lambda = \frac{1}{2} l$ [sec ⁻¹]
1,25	0,176	1,49	1,54
1,85	0,336	1,24	1,29
2,80	0,670	1,02	1,06

Volgens literatuurgegevens [3] wordt hierdoor de diffusiecoëfficiënt niet beïnvloed. Op grond van eigen metingen werd tevens vastgesteld, dat de verandering van de grensvlakspanning ten gevolge van het toevoegen van Luviskol niet afhankelijk was van de gebruikte concentraties, terwijl de invloed van deze toevoeging op de dichtheid eveneens verwaarloosbaar was. De verandering van de diffusiecoëfficiënt werd bereikt door het veranderen van de temperatuur van de vloeistoffase. Voor de medeverandering van de viscositeit werd een correctie aangebracht volgens de formule van Eyring en de reeds bepaalde invloed van de viscositeit.

Meetresultaten

Stromingsverschijnselen

Door het aanwezig zijn van schoepen in de Ramix, die de vloeistof vertikaal naar boven transporteren, is de aanstroming van de schoepen die de vloeistof in horizontale richting transporteren, zeer goed te noemen: de beluchter is onder bedrijfsomstandigheden met vloeistof 'gevuld', er is geen stagnante luchtlaag aanwezig. Dit verschijnsel heeft tot gevolg dat — in tegenstelling tot de gesloten conus beluchters — zelfs bij hoge omtreksnelheden er geen sproeiverschijnselen optreden en de vermogensconsumptie tamelijk stabiel is.

Gebleken is dat onder bepaalde bedrijfsomstandigheden in het beluchtingsbassin een staande golf — cadans — optrad. Het al of niet ontstaan van dit verschijnsel werd in grote mate bepaald door de dompeldiepte en het toerental van de beluchter: bij geringe dompeldiepten en boven een bepaald toerental werd cadansvorming geconstateerd.

Dit verschijnsel zal zeer waarschijnlijk geïnitieerd worden door onder alle omstandigheden aanwezige instabiliteiten in de stroming in de nabijheid van de beluchter. De beluchter zelf zal deze instabiliteiten onder bepaalde omstandigheden versterken, zodat

door weerkaatsing via de wanden van het beluchtingsbassin een oscillerende beweging, de staande golf kan ontstaan.

De voortplantingssnelheid van gravitatiegolven met betrekkelijk kleine amplitudes kan worden berekend met de volgende formule (4):

$$v^2 = \frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \quad (4)$$

De frequentie van de golven volgt uit:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad [\text{sec}^{-1}] \quad (5)$$

Gebleken is dat de diameter, toerental en dompeldiepte van de beluchter geen invloed uitoefenen op de frequentie en op de voortplantingssnelheid van de staande golf. De invloed van de lengte van het bassin en de hoogte van de vloeistof in het bassin op de frequentie wordt in tabel II weergegeven. Gebaseerd op waarnemingen werd verondersteld dat de golflengte λ in vergelijking (4) overeenkomt met de halve lengte van het bassin. Met behulp van de vergelijkingen (4) en (5) zijn nu de frequenties berekend van gravitatiegolven in de verschillende bassins, de resultaten van deze berekeningen zijn eveneens in tabel II vermeld. De overeenkomst tussen gemeten en berekende frequenties is zeer goed te noemen. Deze resultaten staan gedeeltelijk in tegenspraak met de resultaten uit de literatuur [1], waar de golflengte gelijkgesteld werd aan de bassinlengte. Ook andere, door ons uitgevoerde metingen wijzen erop dat de golflengte van de staande golf voldoet aan de volgende relatie:

$$\lambda = \frac{l}{n} \quad (6)$$

met n als geheel getal en $n \geq 1$.

Vermogensconsumptie

Op grond van dimensieanalyse werd — met behulp van bekende methoden — voor de vermogensconsumptie de volgende dimensieloze vergelijking opgesteld:

$$P = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = f_1 \left(\frac{\rho n d^2}{\eta}, \frac{n^2 d}{g}, \frac{l}{d}, \frac{h}{d}, \frac{H}{d} \right) \quad (7)$$

Het vermogenskental P wordt dus verondersteld een functie te zijn van het kental van Reynolds, Froude en van enkele geometrische verhoudingen. Veronderstellend, dat de vorm van deze functie een exponentiële is, werd met behulp van een groot aantal metingen de volgende formule bepaald:

$$P = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = 12,4 \left(\frac{\rho n d^2}{\eta} \right)^{-0,10} \left(\frac{n^2 d}{g} \right)^{-0,25} \left(\frac{l}{d} \right)^{-0,05} \left(\frac{H}{d} \right)^{-0,90} \quad (8)$$

Met behulp van deze vergelijking konden alle meetpunten gecorreleerd worden, met een afwijking van ca. 5 % van de meetwaarden.

Vastgesteld kon worden, dat in tegenstelling tot de bekende gegevens uit de literatuur, het getal van Reynolds wèl een — zij het bescheiden — rol speelt bij de vermogensconsumptie.

De belangrijkste regelgrootheid is naast het toerental n, de dompediepte H van de beluchter. Zoals bij de beschrijving van de stromingsverschijnselen echter werd opgemerkt, ontstonden bij kleine dompediepten staande golven in het beluchtingsbassin. Om deze ongewenste toestand te vermijden, dient aan de volgende voorwaarde te worden voldaan:

$$\frac{H}{d} \geq 0,05 \quad (9)$$

Aangezien bij dit type beluchter H/d maximaal 0,25 kan zijn (beluchter is hierbij juist ondergedompeld), blijft er voldoende ruimte over om de vermogensconsumptie via de dompediepte te regelen, namelijk van 100 % tot ca. 25 %.

Zuurstoftoevoervermogen

Evenals bij de vermogensconsumptie werd ook hier op grond van dimensieanalyse de volgende dimensieloze relatie opgesteld:

$$Z_t = \frac{OC}{n d^3 C_s} = f_2 \left(\frac{\rho n d^2}{\eta}, \frac{n^2 d}{g}, \frac{n^2 d^3 \rho}{\sigma}, \frac{\eta}{\rho D}, \frac{h}{d}, \frac{l}{d}, \frac{H}{d} \right) \quad (10)$$

Het zuurstoftoevoerkental Z_t wordt dus verondersteld een functie te zijn van het getal van Reynolds, Froude, Weber, Schmidt en van enkele geometrische verhoudingen.

Ook hier veronderstellend dat de vorm van deze functie een exponentiële is, werd met behulp van een groot aantal metingen de volgende formule bepaald:

$$Z_t = \frac{OC}{n d^3 C_s} =$$

$$7,56 \cdot 10^{-2} \left(\frac{n^2 d}{g} \right)^{0,15} \left(\frac{n^2 d^3 \rho}{\sigma} \right)^{0,30} \left(\frac{\eta}{\rho D} \right)^{-0,25} \left(\frac{h}{d} \right)^{0,05} \left(\frac{l}{d} \right)^{0,15} \left(\frac{H}{d} \right)^{0,60} \quad (11)$$

Met behulp van deze vergelijking konden alle meetpunten gecorreleerd worden, met een afwijking van ca. 8 % van de meetwaarden.

In overeenstemming met de resultaten bij de meting van de vermogensconsumptie zijn ook hier de belangrijkste regelgrootheden het toerental n en de dompediepte H van de beluchter. Om ongewenste bedrijfs toestanden, met name cadansvorming, te vermijden, kan echter de dompediepte H niet willekeurig klein worden genomen. Bij dit type beluchter zal het regelbereik van de zuurstoftoevoer via de dompediepte, in overeenstemming met vergelijking (9), tussen 100 % en ca. 40 % liggen.

Zuurstoftoevoerverrendement

Het zuurstoftoevoerverrendement van puntbeluchters wordt als volgt gedefinieerd:

$$R = \frac{OC}{N} \quad [\text{kg O}_2/\text{kWhr}] \quad (12)$$

Met gebruikmaking van de vergelijkingen (8) en (11), waarbij alleen de karakteristieken van bassin en beluchter in beschouwing worden genomen, wordt de volgende uitdrukking verkregen:

$$R :: n^{-0,50} * d^{-0,35} * H^{-0,30} * l^{0,10} * h^{0,05} \quad (13)$$

Vergelijking (13) brengt de evidente verwachting tot uitdrukking, dat naarmate er minder vermogen aan het te beluchten water wordt toegevoegd, het rendement zal stijgen. Voor de praktijk is het wellicht belangrijker te weten, hoe de vermogensconsumptie verandert bij een constant zuurstoftoevoervermogen als functie van de apparaatvariabelen. Uitgaande van de vergelijkingen (8) en (11) wordt bij een constante OC-waarde verkregen:

$$N :: OC^{1,26} * d^{-0,51} * H^{0,14} \quad (14)$$

Vergelijking (14) brengt tot uitdrukking, dat voor het toevoeren van een gewenste hoeveelheid zuurstof grotere beluchters met kleinere dompediepten minder vermogen benodigen dan kleinere beluchters met grotere dompediepten, uitgaande van dezelfde bassinafmetingen.

In het meetbereik, zoals vermeld in tabel I, werden voor de Ramix rendementen gemeten tussen 2,24—6,70 [kg O₂/kW hr].

Als de resultaten van de praktijkmeting van het zuurstoftoevoerverrendement van een gesloten-conus beluchter [6] van 2,2 m diameter in een bassin van 15 * 15 * 3,04 m en een toerental van 0,72 [sec⁻¹] vergeleken

worden met het zuurstoftoevoerverrendement van de Ramix beluchter, eveneens van 2,2 m diameter, in hetzelfde bassin, met hetzelfde toerental, maar nu berekend met behulp van de vergelijkingen (8), (11) en (12), dan kan worden geconstateerd dat bij dezelfde vermogensconsumptie de Ramix beluchter een ca. 13 % hoger rendement heeft dan de gesloten conus beluchter, namelijk 2,01 [kg O₂/kW hr] voor de Ramix-beluchter.

Schaalvergroting

Het effect van schaalvergroting op de vermogensconsumptie en zuurstoftoevoervermogen kan rechtstreeks uit de vergelijkingen (8) en (11) afgeleid worden.

Uitgaande van de schaalgrootten 1 en 2 en de lineaire schaalvergrotingsfactor k, kan worden gesteld dat in het geval van mediumgelijkvormigheid de volgende proceseis geldt ten aanzien van het zuurstoftoevoervermogen:

$$OC_2 = k^3 OC_1 \quad [\text{kg sec}^{-1}] \quad (15)$$

Nagegaan zal nu worden, hoe de vermogensconsumptie N en daarmee het zuurstoftoevoerverrendement R veranderen bij toepassing van de verschillende schaalvergrotingsmogelijkheden:

- Geometrische gelijkvormigheid van bassins en beluchters, benevens geometrische gelijkvormigheid tussen bassin en beluchter. In dit geval geldt dan:

$$\begin{aligned} l_2 &= k * l_1 \\ h_2 &= k * h_1 \\ d_2 &= k * d_1 \\ H_2 &= k * H_1 \end{aligned}$$

Uit de vergelijking (11) en de proceseis OC₂ = k³OC₁ volgt nu voor het toerental:

$$n_2 = k^{-0,55} * n_1$$

Uit vergelijking (8) wordt nu de vermogensconsumptie berekend:

$$N_2 = k^{3,22} * N_1$$

Zodat het zuurstoftoevoerverrendement de volgende verandering ondergaat:

$$R_2 = k^{-0,22} * R_1 \quad (16)$$

Bij deze methode van schaalvergroting, die in de praktijk zeer veel wordt toegepast ('schaalregel van Froude') wordt het zuurstoftoevoerverrendement met groter wordende bassins en beluchters lager. Dit verschijnsel wordt in de praktijk daadwerkelijk geconstateerd bij puntbeluchters van verschillende uitvoeringsvormen. Theoretische beschouwingen over de schaalvergroting van puntbeluchters (5) leiden tot dezelfde conclusie. Het laat zich vermoeden dat dit schaalvergrotingsaspect onafhankelijk is van het type puntbeluchter.

- Geometrische gelijkvormigheid van bassins en beluchters, echter geen geometrische gelijkvormigheid tussen bassin en beluchter.

Voor dit geval gelden dus de volgende betrekkingen:

$$l_2 = k * l_1$$

$$h_2 = k * h_1$$

$$d_2 = k^* * d_1$$

$$H_2 = k^* * H_1$$

Naast de proceseis $OC_2 = k^3 OC_1$ wordt nu de eis gesteld dat het zuurstoftoevoerrendement op de schaalgrootten 1 en 2 dezelfde waarde dient te hebben. Hieruit volgt dat de volgende betrekking dient te gelden:

$$N_2 = k^3 N_1$$

Uit de vergelijkingen (8) en (11) kunnen nu het toerental n_2 en de schaalvergrotingsfactor k^* van de puntbeluchter berekend worden:

$$n_2 = k^{-1,80} * n_1 \quad \text{en}$$

$$k^* = k^{1,62}$$

Bij deze vorm van schaalvergroting blijft het rendement weliswaar constant, maar de grote toename van diameter en dompel diepte van de beluchter maakt dat deze methode van schaalvergroten slechts bij kleine waarden van k en kleine d_1/H_1 verhoudingen realistisch is. Deze resultaten zijn in goede overeenstemming met theoretische beschouwingen over de schaalvergroting van puntbeluchters (5).

- Geometrische gelijkvormigheid van bassins, géén geometrische gelijkvormigheid van beluchters.

Voor dit geval gelden de volgende relaties:

$$l_2 = k * l_1$$

$$h_2 = k * h_1$$

$$d_2 = k^* * d_1$$

$$H_2 = k^{**} * H_1$$

Uit de vergelijkingen (8) en (11) kunnen nu voor aangenomen waarden van k^* de waarden van k^{**} en n_2 berekend worden. De resultaten van deze berekening worden in tabel III samengevat.

TABEL III - Schaalvergrotingsfactoren bij gelijke rendementen.

R_2/R_1	$k^* = d_2/d_1$	$k^{**} = H_2/H_1$	n_2/n_1
k°	k1,75	k2,09	k-2,18
k°	k1,50	k1,20	k-1,47
k°	k1,25	k0,82	k-0,76
k°	k1,10	k-0,22	k-0,34

Tabel III laat zien dat bij schaalvergroting het gelijke zuurstofvermogen en vermogensconsumptie kan worden bereikt bij verschillende combinaties van diameter, dompel diepte en toerental van de beluchter, waarbij het zuurstoftoevoerrendement op de schaalgrootten 1 en 2 dezelfde waarde heeft. Kenmerkend voor deze manier van schaalvergroten is dat een afnemende diameter geëpaard gaat met afnemende dompel diepten en toenemende toerentalen. Bij nadere beschouwing blijkt, dat met afnemende diameter, nauwkeuriger gezegd met kleiner wordende schaalvergrotingsfactor voor de diameter, de verhouding H_2/d_2 kleiner wordt

Symbolenlijst

A	totaal contactoppervlak	[m ²]
B	breedte bassin	[m]
C	concentratie zuurstof in water	[kg m ⁻³]
C _s	verzadigingsconcentratie zuurstof in water	[kg m ⁻³]
d	diameter beluchter	[m]
D	diffusiecoëfficiënt	[m ² sec ⁻¹]
f	frequentie staande golf	[sec ⁻¹]
g	versnelling zwaartekracht	[m sec ⁻²]
h	waterdiepte in het bassin	[m]
H	dompeldiepte beluchter	[m]
k'	stofoverdrachtcoëfficiënt	[m sec ⁻¹]
k	lineaire schaalvergrotingsfactor	[—]
k*	lineaire schaalvergrotingsfactor beluchterdiameter	[—]
k**	lineaire schaalvergrotingsfactor dompeldiepte beluchter	[—]
l	lengte bassin	[m]
n	toerental beluchter	[sec ⁻¹]
N	netto toegevoerd vermogen, vermogensconsumptie	[W]
OC	zuurstoftoevoervermogen	[kg sec ⁻¹]
P	vermogenskental	[—]
R	zuurstoftoevoerrendement	[kg kW ⁻¹ hr ⁻¹]
t	tijd	[sec]
v	voortplantingssnelheid gravitatiegolf	[m sec ⁻¹]
V	volume van de vloeistoffase	[m ³]
Zt	zuurstoftoevoerkental	[—]
λ	golflengte gravitatiegolf	[m]
η	dynamische viscositeit waterfase	[kg m ⁻¹ sec ⁻¹]
ρ	dichtheid vloeistoffase	[kg m ⁻³]
σ	grensvlakspanning	[kg sec ⁻²]

en de omtreksnelheid van de beluchter, $\pi n_2 d_2$, toeneemt. De grotere omtreksnelheid zal vermoedelijk geen beperking betekenen voor deze manier van schaalvergroten, aangezien de Ramix-beluchter geen verschijnselen van spatten vertoont, de beluchter blijft met water gevuld. Anders is het echter met de kleiner wordende H_2/d_2 verhouding. Bij de beschrijving van de stromingsverschijnselen werd gesteld, dat de vergroting de H/d verhouding niet willekeurig kan worden gekozen om cadansvorming te voorkomen.

Welnu, deze eis betekent, dat ook bij schaalvergroting de H/d verhouding niet willekeurig klein mag worden gekozen. Bij deze grens dient bovendien nog te worden bijgeteld een bepaalde hoogte H' die volgt uit het gewenste regelbereik van het zuurstoftoevoervermogen via de dompeldiepte.

Over de vereiste waarde van H/d kunnen dus geen algemeen geldige uitspraken gedaan worden, maar deze moet van geval tot geval bepaald worden, waarna de waarden van k^* , k^{**} en n_2 kunnen worden berekend. In voorkomende gevallen kan zelfs genoeg genomen moeten worden met volledige geometrische gelijkvormigheid, met de consequentie dat het zuurstoftoevoerrendement verlaagd wordt. In dit geval dient te worden overwogen of wellicht parallelschakeling van puntbeluchters de voorkeur verdient boven schaalvergroting.

Conclusies

Het semi-technisch onderzoek van de nieu-

we puntbeluchter, de Ramix, geeft aanleiding tot de volgende uitspraken:

— Er ontstaat geen stagnante luchtlaag onder deze beluchter, de beluchter blijft met vloeistof gevuld, er treden geen verschijnselen van spatten op.

— Het zuurstoftoevoervermogen en de vermogensconsumptie kunnen zeer goed beschreven worden met dimensieloze vergelijkingen.

— Uitgaande van deze dimensieloze vergelijkingen kunnen schaalvergrotingsregels worden afgeleid.

— Het zuurstoftoevoerrendement ligt hoger dan dat van een overeenkomstige 'gesloten-conus' beluchter.

De auteurs danken Ing. J. Meinema en A. G. J. Rooks voor hun technische assistentie bij het uitvoeren van dit onderzoek.

Literatuur

1. Stichting onderzoek reiniging afvalwater, *Oriënterend onderzoek naar de optimalisering van puntbeluchters*. 1976, Statenplein 1, Den Haag.
2. Rácz, I. G., Groot Wassink, J.; *Apparaatkundige aspecten van roterende oppervlaktebeluchters*. H₂O (9) 1976, nr. 6, p. 113-116.
3. Wilhelm, R.; *Der Stoffübergang fest-flüssig bei Einzelkörpern und Schüttungen in freier und erzwungener Strömung*. VDI Forschungsheft 531, p. 15, 1969.
4. Rouse, H.; *Fluid mechanics for hydraulic engineers*, Dover publication, inc. New York, 1961, p. 371.
5. Rácz, I. G.; *Schaalvergroting van oppervlaktebeluchters*, Tijdschrift van het Becewa 45, 2 - 1978, p. 28 - 34.
6. Persoonlijke mededeling: Dwars, Heederik en Verhey.