

Torenbeluchting II*

De aeratieproeven, ter adstruering van de in het eerste deel van dit artikel gegeven theorie, zijn uitgevoerd met een rekkenbeluchter van 40 x 40 cm en een hoogte H van 165 cm. Het water wordt opgevangen in een bak met een overstort op 30 cm. De beluchter bestaat dus uit de combinatie van een waterval- en een bellenbeluchter, afb. 1.

Zowel de water- als de luchttoevoer kunnen worden afgesteld met geijkte flowmeters; de beluchter is aan de bovenzijde geheel en aan de afvoerszijde ventilerend afgesloten met folie. De verhouding lucht tot water is ingesteld tussen 1 en 8.

Om de hoeveelheid aangezogen lucht te kunnen bepalen is op de aerator een 3 meter lange p.v.c.-buis Ø 103 mm, voorzien van een pitobuis, gemonteerd. Tevens is de onderdruk boven in de beluchter gemeten.

Vergelijking van de diverse beluchters

In literatuur 6 wordt onderstaand overzicht (tabel I) gegeven van enkele beluchters, waaraan is toegevoegd de capaciteit van de beluchters per nuttige volume-eenheid en per tijdseenheid:

$$\frac{q_w \cdot A}{O \cdot H} 100 \% \quad (\%/h)$$

waarin:

O = nuttig oppervlak (m²)
 H = valhoogte (m)
 q_w = waterstroom (m³/h)
 A = werkingsgraad

De formule houdt rekening met de grootte van het interval tussen begin- en evenwichtsconcentratie.

Benodigd ventilatie-oppervlak

Tengevolge van de val van het water door de beluchter wordt een hoeveelheid lucht meegezogen, die onder zijwaarts wordt afgevoerd.

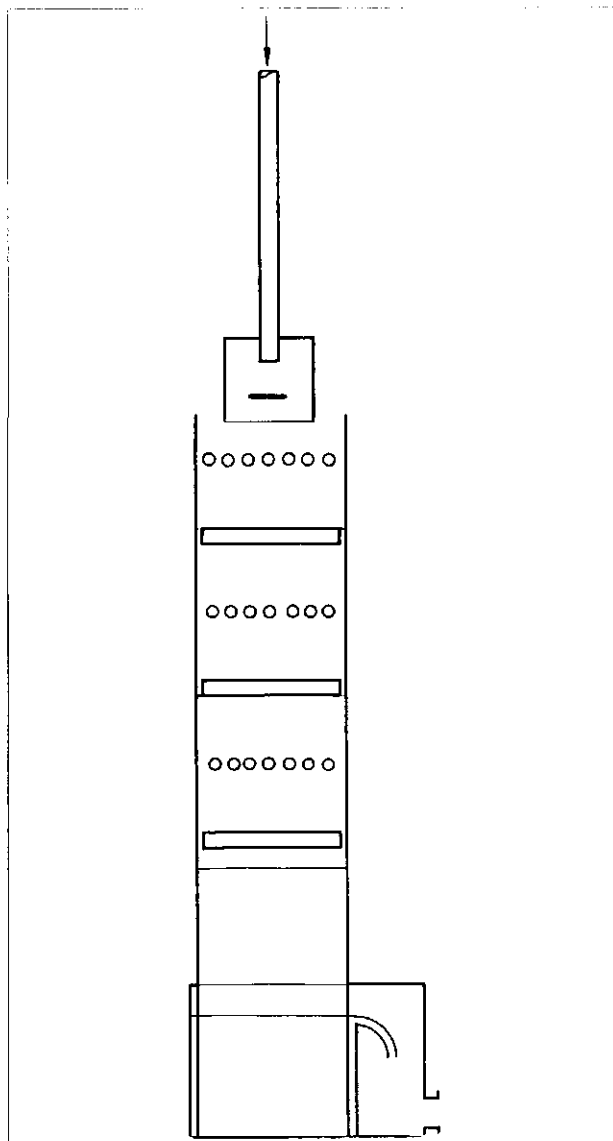
Onderzoek is ingesteld naar de werking van de beluchter en het benodigde ventilatie-oppervlak voor de afvoer van de lucht.

TABEL I

	plaat-sproeier	plaat-sproeier hoge druk	cascade	inca	rekken-beluchter
belasting m/h	6	10	50	60	250
ontzuring %	50	60	70	75	60
begin CO ₂ mg/l	30	50	50	50	50
valhoogte m	2	3,5	4	x	3
oppervlak m ²	166	100	20	17	4
bij 1000 m ³ /h					
q _w · A					
— x 100% %/h	150	170	875	900	5000
O · H					

x som v.d. benodigde opvoerhoogte van het water en de energetisch equivalente opvoerhoogte t.b.v. het luchttransport: ca. 5 m.

*) Deel I verscheen in H₂O nr. 4, 1971.



Afb. 1 - Rekkenbeluchter 1 : 20.

TABEL II

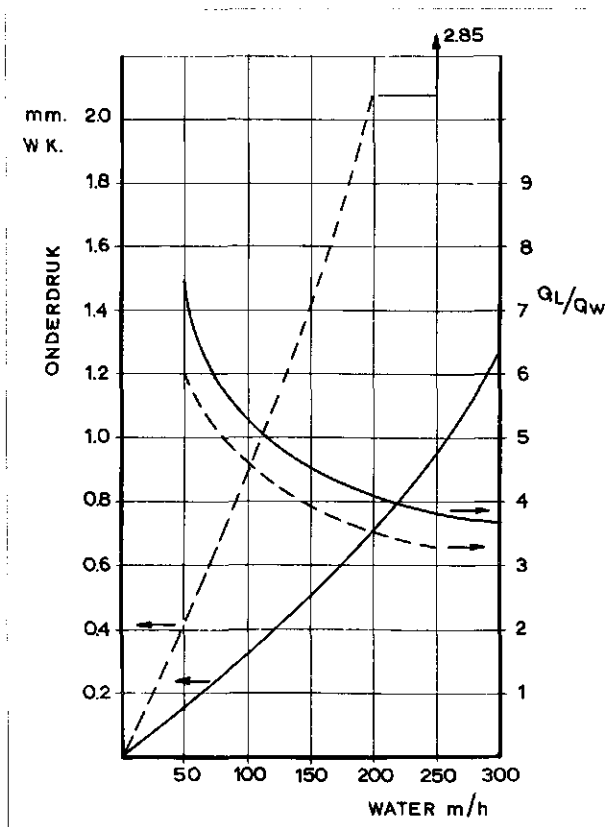
	ventilatie-opp.		c _t (CO ₂) mg/l	A	c _t (O ₂)	
	m ²	cm ² /m ³ h ⁻¹			mg/l	A
1	0,924	74	8	0,49	8,3	0,73
2	0,924		8		6,8	0,60
1	0,462	37	9	0,42	8,2	0,72
2	0,462		9		7,3	0,64
1	0,231	18,5	10	0,35	8,3	0,73
2	0,231		10		6,8	0,60

Beluchter afmetingen 70 x 70 cm; belasting 125 m³/h of 250 m/h beginconcentratie koolzuur 15 mg/l en zuurstof 0 mg/l.

1: rekkenbeluchter en bellenbeluchter.
 2: alleen rekkenbeluchter.

De koolzuurverwijdering is het gevoeligst voor de ventilatie en een geringere ontzuring wordt verkregen met afnemende ventilatie-opening. De opening aan de aanvoerszijde is 39 cm²/m³/h.

De bellenbeluchter (waterdiepte 32 cm) verhoogt het gehalte aan zuurstof met 1,3 mg/l (A = 0,3); het gehalte aan koolzuur wijzigt zich niet.



Afb. 2 - Onderdruk bovenin de afgedichte beluchter en Q_L/Q_W in afhankelijkheid van de hoeveelheid water. De onderbroken lijnen gelden voor de aerodynamisch minder gunstige aanvoerpijp.

Natuurlijke ventilatie

De rekkenbeluchter is enkel aan de bovenzijde afgedicht en voorzien van een p.v.c.-buis. De afgeleide pitotbuis is in het midden geplaatst, zodat voor en achter de pitotbuis 15 d is aangehouden. De waarnemingen zijn gecontroleerd met een pitotbuis ex TH Eindhoven.

T.g.v. de afdichting wordt boven in de beluchter een onderdruk gecreëerd. Conische optromping van de buis tot $\varnothing = 130$ mm vermindert de in- en uitstromingsweerstand, afb. 2. Het ventilatie-oppervlak aan de afvoerzijde $> 120 \text{ cm}^2/\text{m}^3/\text{h}$.

Voor de berekening van $k_A \cdot t$ is R uit afb. 2 toegepast. Bij vrije aanvoer van de lucht zal R groter zijn. De fout

in de berekening van $k_A \cdot t$ zal echter kleiner zijn dan ca. 0,03 of 10 %, afb. 3.

TABEL III - 9 rekken, waarop 7 p.v.c. $\varnothing 40$ mm

q_w m ³ /h	m/h	R	$c_t - c_s / c_o - c_s$	$k_A \cdot t$	aantal waarnemingen, n
10	62,5	6,4	0,382	0,49	2
20	125	4,9	0,408	0,47	
30	187,5	4,2	0,437	0,44	
40	250	3,9	0,460	0,42	
			$c_o = 14,4$		
16	100	5,4	0,403	0,47	2
24	150	4,6	0,395	0,51	
32	200	4,1	0,420	0,47	
40	250	3,9	0,463	0,41	
			$c_o = 14,4$		

TABEL IV - 5 rekken, waarop 7 p.v.c. $\varnothing 40$ mm

q_w m ³ /h	m/h	R	$c_t - c_s / c_o - c_s$	$k_A \cdot t$	aantal waarnemingen, n
16	100	5,4	0,508	0,32	1
24	150	4,6	0,492	0,36	
32	200	4,1	0,497	0,35	
40	250	3,9	0,505	0,35	
			$c_o = 18,8$		

Bij een belasting van 250 m/h is de verhouding lucht/water 3,9 of $R/m = 3$. De maximale ontzuring bedraagt dan 75 % en een extra toevoer van lucht zal in het algemeen voordeel opleveren.

Gefixeerde hoeveelheden lucht en water

Waarnemingen koolzuurdesorptie en zuurstofabsorptie.

De waarnemingen zijn eveneens verricht met 5 rekken met 7 p.v.c. $\varnothing 40$ mm.

De resultaten zijn gelijk, dit lijkt aannemelijk omdat het dichte oppervlak per rek gelijk is ($11 \times 25 = \text{ca. } 7 \times 40$).

Met een nuttige valhoogte van de beluchter van 165 cm wordt een ontzuring van 59 % bereikt met 9 rekken en van 50 % met 5 rekken; $k_A \cdot t$ is resp. 0,46 en 0,35. De reactietijd kan met 9 rekken worden berekend op 1,74 sec. en met 5 rekken op 1,30 sec. Voor k_A vinden we den resp. 0,255 en 0,268 sec.⁻¹. Zuurstof kan worden ingebracht tot 65 en 75 % van de verzadigingswaarde. De ontzuring vertoont een dalende tendens met afnemende R of kleiner wordende hoeveelheid lucht. De toenemende belasting van de beluchter van 60 tot 250 m/h oefent geen ongunstige invloed uit op de ontzuring, zoals wordt

TABEL V - 5 rekken met 11 p.v.c. $\varnothing 25$ mm. $\text{CO}_2 : c_o = 15 - 17 \text{ mg/l}$; $\text{O}_2 : c_s = 11,4 \text{ mg/l}$

q_w m ³ /h	m/h	q_l m ³ /h	R	$c_t - c_s / c_o - c_s$	$k_A \cdot t (\text{CO}_2)$	$c_t / c_s (\text{O}_2)$	$k_A \cdot t (\text{O}_2)$	n
16	100	122	7,6	0,498	0,33			9
24	250	122	5,1	0,503	0,34			
32	200	122	3,8	0,522	0,33			
40	250	122	3,05	0,558	0,30			
10	62,5	20	2	0,560	0,35			2
10	62,5	50	5	0,535	0,30			
10	62,5	80	8	0,503	0,32			
32	200	32	1	0,670	0,27			2
32	200	64	2	0,608	0,28			
32	200	96	3	0,572	0,29			
32	200	122	3,8	0,542	0,31			
10	62,5	30	3	0,530	0,34	0,65	0,46	2
20	125	60	3	0,524	0,35	0,65	0,46	
30	187,5	90	3	0,524	0,35	0,65	0,46	
40	250	120	3	0,524	0,35	0,65	0,46	

TABEL VI - 9 rekken met 7 p.v.c. Ø 40 mm

q_w m ³ /h	m/h	q_2 m ³ /h	R	$c_t - c_s / c_0 - c_s$	$k_A \cdot t$ (CO ₂)	c_t / c_s	$k_A \cdot t$ (O ₂)	aantal waar- nemingen
16	100	122	7,6	0,395	0,45	0,76	0,62	3
24	150	122	5,1	0,418	0,37	0,74	0,59	
32	200	122	3,8	0,458	0,42	0,75	0,60	
40	250	122	3,05	0,493	0,39	0,77	0,64	
10	62,5	30	3	0,440	0,49			1
20	125	60	3	0,448	0,47			
30	187,5	90	3	0,472	0,43			
40	250	120	3	0,440	0,49			
32	200	32	1	0,604	0,46			1
32	200	64	2	0,522	0,41			
32	200	96	3	0,465	0,44			
32	200	128	4	0,425	0,47			

aangetoond met constant blijvende R en oplopende hoeveelheden water. Constante hoeveelheden water met oplopende hoeveelheden lucht (R = 1 t/m 8) verhogen in duidelijke mate de ontzuring.

De ontzuring in % kan gemakkelijk uit de tabellen worden afgelezen als we bedenken, dat deze gelijk is aan

$$\left(1 - \frac{c_t - c_s}{c_0 - c_s}\right) 100 \%$$

Voor de zuurstofabsorptie is ogenschijnlijk de aeratieconstante k_A groter dan voor de koolzuurdesorptie. De verhouding is bij het toegepaste aantal rekken van 5 en 9 constant:

$$\frac{k_A(\text{CO}_2)}{k_A(\text{O}_2)} = \text{ca. } 0,7 \quad \frac{0,32}{0,46} = \text{ca. } \frac{0,44}{0,62}$$

Uit de formules (17) en (18) volgt:

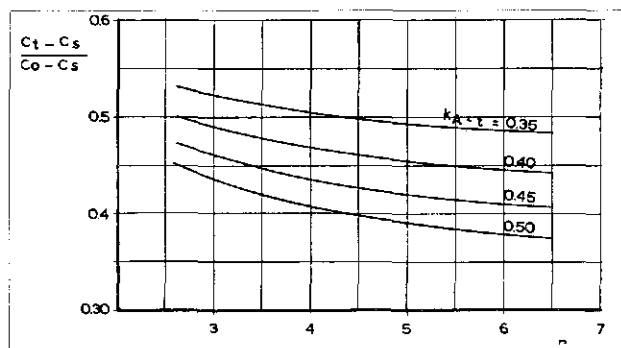
$$\frac{k_A(\text{CO}_2)}{k_A(\text{O}_2)} = \sqrt{\frac{r(\text{O}_2)}{r(\text{CO}_2)}} = 0,9$$

r = straal van het diffunderende molecuul.

Het verschil tussen de beide constanten is volgens de theorie van de moleculaire diffusie, geldig voor druppels < ca. 1 mm, gering. Deze proeven geven eveneens een gering verschil te zien, alhoewel de druppels waarneembaar groter dan 1 mm zijn, als op de zuurstofabsorptie wordt gecorrigeerd met het aandeel van de bellenbeluchter met werkingsgraad A = 0,3, tabel II en VII.

De bellenbeluchter werkt met de lucht van de watervalbeluchter, waardoor $c_s < 11,4$ zal zijn. De fout is echter vanwege de grote overmaat lucht $R/m > 80$ te verwaarlozen ($m = 0,038$).

Afb. 3 - Invloed van de hoeveelheid lucht op de ontzuring.



TABEL VII

	totale beluchter			watervalbeluchter		
	O ₂		CO ₂	O ₂		CO ₂
	c_t	$k_A \cdot t$	$k_A \cdot t$	c_t	$k_A \cdot t$	$k_A \cdot t$
9 rekken	8,7	0,62	0,44	7,2	0,43	0,44
5 rekken	7,4	0,46	0,32	5,7	0,30	0,32

Conclusies en samenvatting

1. de beluchtingsresultaten m.n. de ontzuringsresultaten, kunnen voor de rekkenbeluchter adequaat worden beschreven met:

$$- k_A \cdot t = \frac{R}{R + m} \log \left\{ \frac{R + m}{R} \frac{c_t - c_s}{c_0 - c_s} - \frac{m}{R} \right\}$$

$$\text{waarin } t = \frac{2HN}{g} \cdot \frac{1}{2}$$

2. Tussen een belasting van de beluchter met 60 en 250 m³/m² · h is $k_A \cdot t$ constant. Een neiging tot afneming is incidenteel geconstateerd. De ontzuring is eveneens constant mits de verhouding lucht tot water constant blijft.
3. Met variërende verhouding lucht water is $k_A \cdot t$ constant.
4. $k_A \cdot t$ is afhankelijk van het aantal rekken — slechts getest met 5 en 9 — en wel evenredig met de wortel uit de verhouding van het aantal rekken.

$$(k_A \cdot t)_2 = (k_A \cdot t)_1 \sqrt{\frac{N_2}{N_1}}$$

dus k_A is constant.

5. De berekende $k_A \cdot t$ bij „natuurlijke” ventilatie en gefixeerde hoeveelheden water en lucht zijn gelijk.
6. Uit het zuurstofgehalte van het correct genomen monster kan $k_A \cdot t$ worden berekend $R/(R + m) \rightarrow 1$. M.b.v. deze $k_A \cdot t$ en de ontzuringsresultaten kan een indruk worden verkregen over de hoeveelheid lucht die in het proces is betrokken.

Literatuur

6. Wingrich, H. Die Verfahren der offenen Belüftung von Rohwasser und ihre Wirtschaftlichkeit. WWT 18 (1968) 267-272.