

De toepassing van mammoetroten in een diepe oxydatiesloot te Vollenhove

1. Inleiding

De rioolwater zuiveringsinstallatie (RZI) te Vollenhove is de eerste installatie in het gebied van het zuiveringschap West-Overijssel, die gebouwd is in opdracht van het zuiveringschap. De installatie is in maart 1975 in bedrijf gesteld. Toen in 1972 door het ingenieursbureau DSBV te Rotterdam met het ontwerp voor de zuivering gestart werd, was het in principe mogelijk voor de conventionele oxydatiesloot met een diepte van rond 1 meter te kiezen of voor de toen in zwang



DRS. J. VERHAAGEN
zuiveringschap West-Overijssel



IR. K. SLIJKHUIS
zuiveringschap West-Overijssel *

komende diepe oxydatiesloot, type Carrousel. De ervaringen met dit laatste type installatie waren toentertijd zeer beperkt en riepen bij de schrijvers van dit artikel nog enige twijfels op.

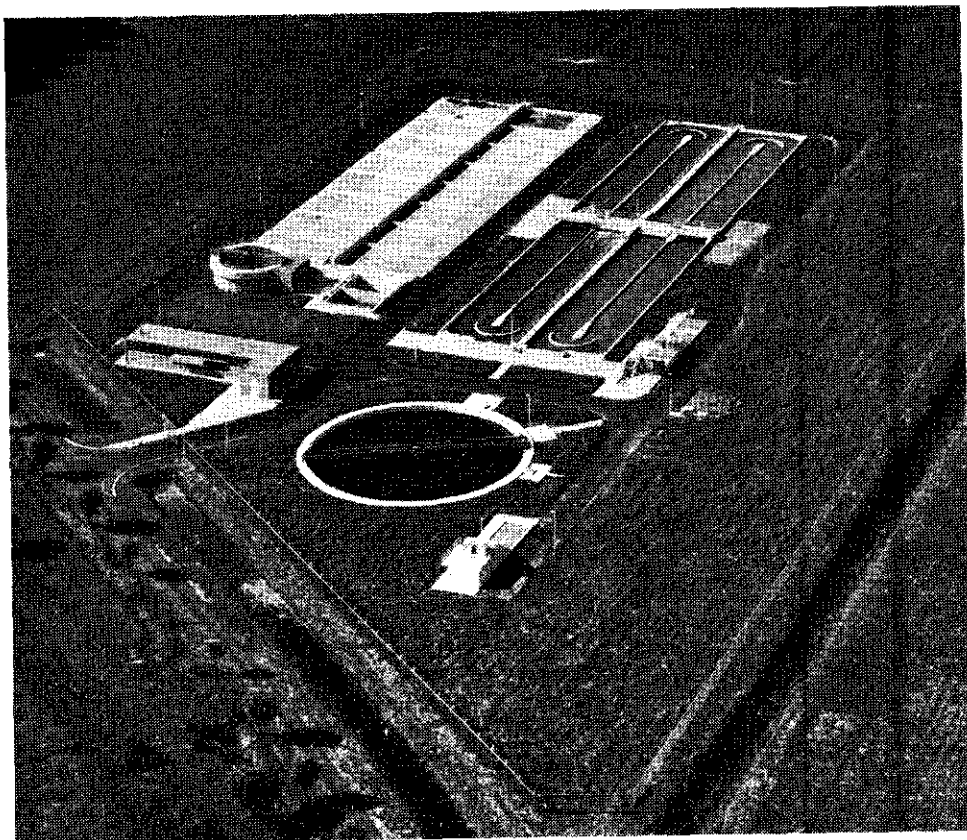
Gemeend werd, dat gezien de plaatsruimte, die een conventionele sloot inneemt, voor de installatie te Vollenhove op een diepe tank zou moeten worden overgegaan; de beluchting zou echter moeten plaatsvinden met behulp van grote borstelbeluchters met een diameter van 1 meter, de zogenaamde mammoetroten.

De toepassing van mammoetroten is niet nieuw. Met name worden zij gebruikt voor de beluchting in actiefslib installaties met een BZV slibbelasting van 0,15 - 0,20 kg BZV/kg droge stof zoals bijvoorbeeld bij de rioolwaterzuiveringsinstallatie Wien Blumenthal [1].

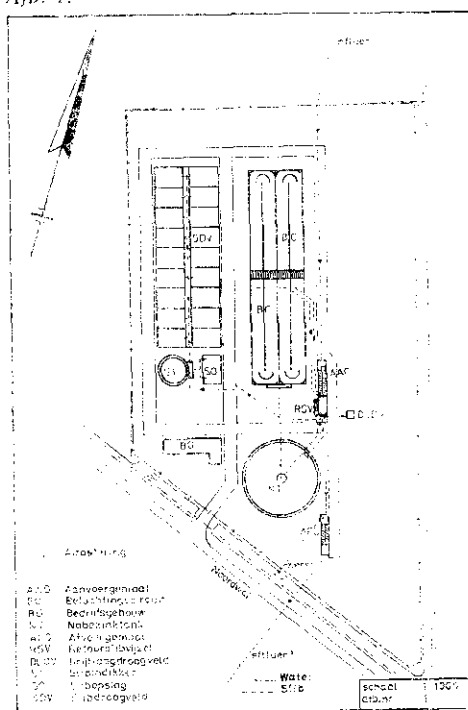
Tot nu toe zijn geen resultaten bekend van de toepassing van deze roteren in installaties — diepe oxydatiesloten met een BZV slibbelasting van 0,05 kg BZV/kg droge stof, d — waar per m³ beluchtingsruimte aanzienlijk minder energie (10 W/m³) wordt toegevoerd dan in eerstgenoemde installaties.

In het bijzonder moest men op dat moment op de vraag of het zuurstoftoevoerend vermogen en de stroomsnelheid voldoende zouden kunnen zijn voor een optimaal zuiveringsproces, het antwoord schuldig blijven.

* Per 1 sept. '75 Zuiveringschap Amstel- en Gooiland.



Afb. 1.



Sinds een beluchtingscircuit van dit type in Vollenhove gereed is gekomen en is beproefd kan over deze materie nader worden bericht.

2. Beschrijving RZI

De rioolwaterzuiveringsinstallatie te Vollenhove is ontworpen voor 20.000 i.e. Deze

installatie verwerkt niet alleen het afvalwater van Vollenhove, maar ook van de kernen Heetveld, St. Jansklooster en Blokzijl, die door gemalen en persleidingen aangesloten zijn op de RZI Vollenhove. In afb. 1 is de situering van de installatie aangegeven.

2.1. Grondslagen

2.1.1. Belasting

naar hoeveelheid:	
20.000 i.e. DWA	200 m ³ /uur
overcapaciteit	400 m ³ /uur
totaal	600 m³/uur

naar vervuiling:	
inwoners 15.000 i.e.	810 kg BZV ₅ /dag
à 54 g BZV ₅ /dag	
industriële 5.000 i.e.	335 kg BZV ₅ /dag
à 67 g BZV ₅ /dag	
totaal	1145 kg BZV₅/dag

2.1.2. Beluchtingscircuits

Het afvalwater wordt via een grofrooster en vijzels direct in de beluchtingscircuits gebracht, zonder vooraf versnijding van de grove delen in het afvalwater toe te passen en zonder een zandvang te passeren. Elk circuit is voor 10.000 i.e. gebouwd. Per circuit bedraagt de:

- biologische belasting: 572,5 kg BZV₅/dag;
- slibbelasting: 0,05 kg BZV/kg slib, dag;
- slib concentratie: 4,5 kg/m³;

inhoud: 2550 m³;
 diepte: 2,5 m;
 ontwikkelde lengte: 185 m;
 breedte: 5,5 m;
 OC/load: 2,5 kg O₂/kg BZV₅;
 OC: 60 kg O₂/h;
 beluchting: 2 mammoetrotoren van 4,5 m
 lengte en 1 m diameter fabrikaat Passavant.
 OC 7,5 kg O₂/uur m rotor bij 0,30 m
 indompeldiepte.

3. Metingen

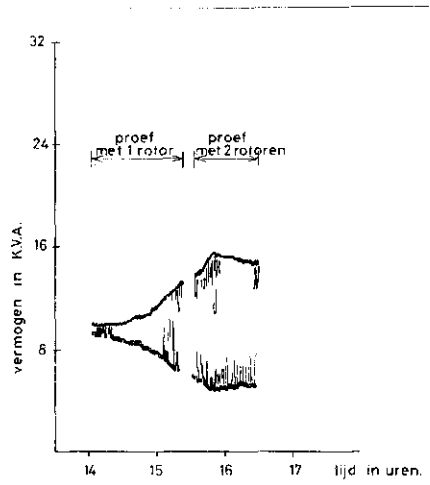
Eén circuit werd gevuld met slotwater, terwijl het andere voorzien werd van leidingwater.

In het circuit met leidingwater werden de OC-metingen uitgevoerd. In beide circuits werden snelheidsmetingen verricht waarbij tevens het door de rotoren opgenomen vermogen werd geregistreerd. De indompeldiepte kan worden gevarieerd door kantelbare overlaten die voorzien zijn van servomotoren, welke in een later stadium gestuurd kunnen worden op het zuurstofgehalte in de circuits.

3.1. De vermogens- en snelheidsmetingen

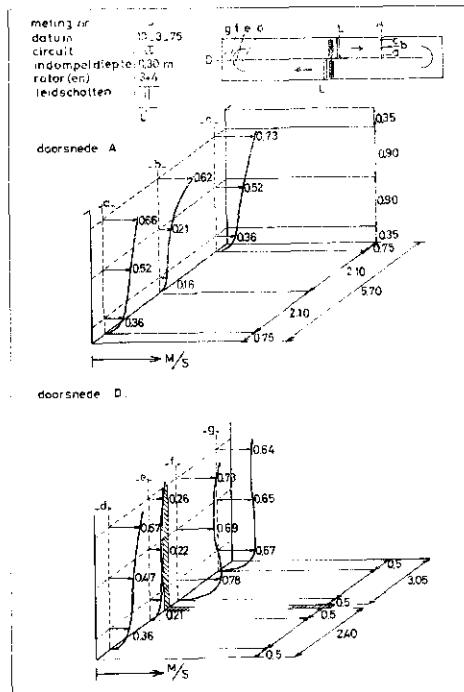
De metingen zijn uitgevoerd in beide circuits volgens een zodanig schema, dat bij verschillende indompeldiepten (0,10-0,30 m), 1 of 2 rotoren in bedrijf zijn, zodat al of niet met toepassing van leidschotten een inzicht kan worden verkregen in de in de circuits optredende stroomsnelheden en de door de rotoren opgenomen vermogens. Het door de rotoren opgenomen brutovermogen werd gevolgd met behulp van registrerende KWh-meters, die aangesloten waren op het bedieningspaneel. Tevens werd op de recorder de afgenomen stroomstrekke geregistreerd. Uit de metingen bleek, dat zich bij een indompeldiepte kleiner dan 0,15 m instabiliteitsverschijnselen voordeden in die zin, dat de watermassa in een golfbeweging geraakte, die na 1,5 uur een trillingstijd had van circa 19 seconden en een maximale amplitudo van 0,25 m. In deze situatie schommelde het door de rotoren opgenomen vermogen zeer sterk (zie afb. 2).

De snelheidsmetingen werden uitgevoerd op een aantal punten in een viertal doorsneden waarvan er twee zijn aangegeven in afb. 3. De snelheid werd gemeten met een analoge stroomsnelheidsmeter, fabrikaat OTT. De werking van deze meter berust niet zoals bij andere modellen op het tellen van het aantal omwentelingen, maar op het principe, dat in het vleugellichaam een precisie gelijkstroomgenerator is ingebouwd, die evenredig met de omwentelingen van de vleugel een gelijkspanning afgeeft, die op een recorder geregistreerd wordt. Met behulp van een ijkgrafiek kan de bij de geregistreerde spanning behorende snel-

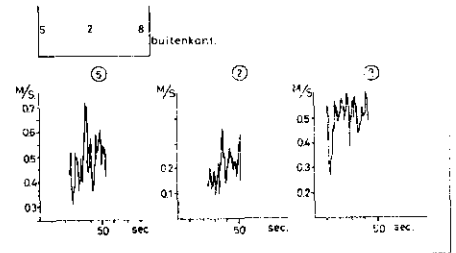
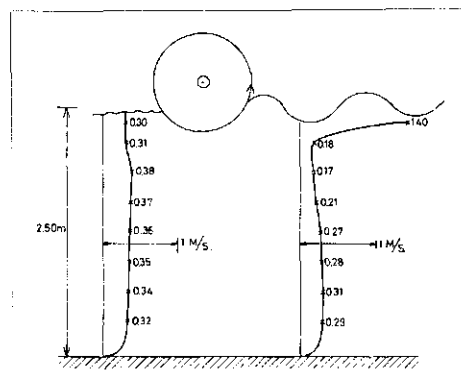


Afb. 2 - Het door de rotoren opgenomen bruto vermogen bij een indompeldiepte van 0,10 m (met leidschotten aangebracht).

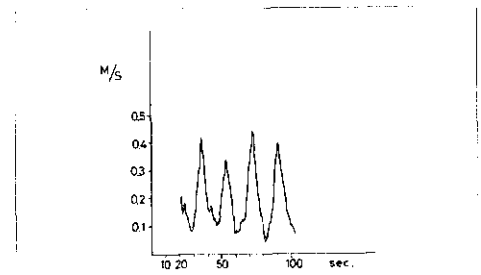
Afb. 3 - Snelheidsmetingen RZI Vollenhove.



Afb. 3a - Snelheidsmetingen voor en achter de mammoetrotor (met geleideschot).



Afb. 4 - Snelheidsmetingen in doorsnede A tijdens een proef met 0,30 m indompeldiepte en 2 rotoren in bedrijf (met leidschotten aangebracht).

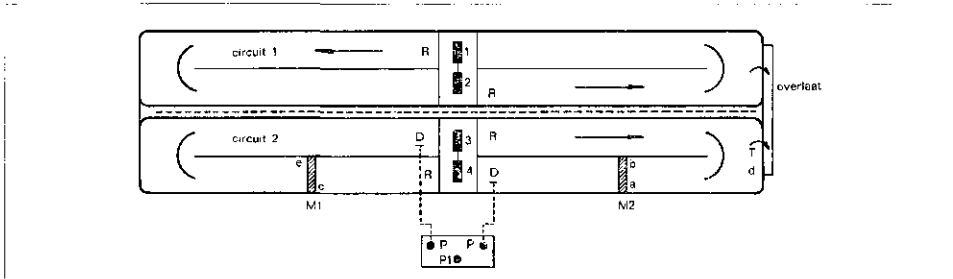


Afb. 5 - Stroomsnelheid in het midden van doorsnede A tijdens de proef met indompeldiepte van 0,10 m met 2 rotoren in werking en met leidschotten aangebracht.

heid direct afgelezen worden. Bij deze wijze van weergave van de snelheid, die niet als gemiddelde in de tijd, maar als een momentopname wordt geregistreerd bleek, dat er op ieder punt in een natte doorsnede een aanzienlijke turbulente stroming aanwezig is met in de tijd sterk wisselende snelheden (zie afb. 4). Zoals reeds vermeld is bij de bespreking van de resultaten van de vermogensmetingen trad bij een indompeldiepte van minder dan 0,15 m een golfbeweging op in het circuit. De schommelingen in de snelheid, die in zo'n situatie optreden, blijken uit afb. 5, waar de snelheid is weergegeven in de situatie, dat de indompeldiepte 0,10 m bedroeg met 2 rotoren in bedrijf en met leidschotten aangebracht. Bij de resultaten van de snelheidsmetingen kunnen de volgende kanttekeningen gemaakt worden.

— Bij indompeldiepte groter dan 0,15 m is de stroomsnelheid op alle punten in de natte doorsnede voldoende groot om het aktief slib in suspensie te houden (snelheid tenminste $0,15 \frac{m}{s}$).

— In alle situaties bleek de verdeling van de snelheid in de natte doorsnede A zodanig te zijn, dat in de bovenste waterlaag de hoogste stroomsnelheden gevonden werden, terwijl de laagste stroomsnelheid optrad in de onderste waterlaag in het midden van het circuit (zie ook afb. 3). Ook bij de maximale indompeldiepte van 0,30 m, waarbij de leidschotten zijn aange-



- 1, 2, 3 en 4 = mammoetrotoren
- P = perspompen Na₂SO₃-oplossing
- PI = mengpomp
- D = doseerpunten Na₂SO₃-oplossing
- M = meetbruggen
- T = controle titratie op aanwezigheid sulfiet
- R = Leidschotten

- zuurstofmeetpunten:
- a O₂-meter 75 cm van de buitenwand en op 50 cm diepte
 - b O₂-meter 200 cm van de binnenwand en op 200 cm diepte
 - c O₂-meter in het midden op 100 cm diepte
 - d Zuurstofbepaling volgens Winkler t.p.v. overlaat op 100 cm diepte
 - e O₂-meter op 50 cm van binnenwand en op 50 cm diepte

bracht, blijkt op dit punt de snelheid circa 0,15 m/s te bedragen.

De kans op zandafzettingen (de RZI is niet voorzien van een zandvanginstallatie) is dan ook het grootst in het midden van de sloot. In de doorsnede D zijn de laagste snelheden gemeten op geringe afstand van het excentrisch geplaatste leidschot in de bocht van het circuit en aan de binnenzijde hiervan.

— Wanneer geen leidschotten worden toegepast kan de snelheid in de bovenste waterlaag oplopen tot 3 - 4 maal de snelheid in de onderste waterlaag (bij 2 rotoren in bedrijf en 0,30 m indompeldiepte resp. 1,0 en 0,25 m/s).

— Behalve in de doorsneden A t/m D werden ook snelheidsmetingen verricht op verschillende diepten, zo dicht mogelijk vóór en na de rotor.

Het snelheidsbeeld is geschetst in afb. 3a.

3.2. Het zuurstoftoevoerend vermogen

De metingen van het zuurstoftoevoerend vermogen van de rotoren zijn uitgevoerd volgens de door Sweeris beschreven methode [2]. Nadat het leidingwater zuurstofloos is gemaakt door toevoeging van natriumsulfiet in aanwezigheid van cobaltsulfaat als katalysator, wordt de snelheid van de stijging van het zuurstofgehalte bepaald.

Op een punt is afgeweken van de door Sweeris beschreven methode namelijk, dat bij deze metingen de toevoeging van de overmaat natriumsulfiet plaats vond met de rotoren in bedrijf. Hiermede kon bereikt worden dat door het reeds op snelheid zijn van de watermassa en door de regelmatige toevoeging van het sulfiet een regelmatig verloop van het zuurstofgehalte gemeten kon worden.

Deze methode is wel toegepast bij latere OC-metingen uitgevoerd in Carrousel [3]. De metingen in de oxydatiesloot te Vollen-

hove zijn uitgevoerd volgens het in de tabel opgezette schema.

3.2.1. Uitvoering OC-metingen

De metingen zijn uitgevoerd in circuit 2, waarin leidingwater is gebracht. Hoewel uit financieel oogpunt het gebruik van bronwater aantrekkelijker was, is gekozen voor de toepassing van leidingwater omdat het bronwater ter plaatse zeer slecht van kwaliteit was (o.a. door een hoog ijzergehalte). De meetopstelling is weergegeven in onderstaand schema.

Vóór de proeven is aan het leidingwater (ca. 2550 m³) 2 kg cobaltsulfaat (Co SO₄ · 7 H₂O) toegevoegd, overeenkomend met een concentratie van 0,16 g · Co⁺⁺ per m³ water. Na meting 3 is nogmaals 1 kg Co SO₄ · 7 H₂O in het circuitwater opgelost.

Vóór de metingen werd de kantelbare overlaat afgesteld op de gewenste indompeldiepte. Afhankelijk van het gebruik van de leidschotten stort, voordat de werkelijke metingen beginnen, meer of minder water over. Achteraf werd de juiste indompeldiepte afgelezen van de aangebrachte peilschaal. Voorafgaand aan het doseren van het natriumsulfiet werd in doorsnede A op 9 punten (zie afb. 3) de snelheid gemeten en de gemiddelde stroomsnelheid berekend. Ondertussen werd 400 kg natriumsulfiet opgelost in een mengvat gevuld met 5 m³ water.

De menging werd bewerkstelligd door een dompelpomp met zowel de zuig- als perszijde onder water in het mengvat te plaatsen. Nadat al het sulfiet was opgelost werd de vloeistof met behulp van 2 dompelpompen, waarvan het debiet tussen bepaalde grenzen ingesteld kon worden op twee plaatsen juist bovenstrooms van de rotoren in het circuit gepompt.

Het debiet werd aan de hand van de reeds

berekende stroomsnelheid zo ingesteld, dat al het sulfiet in ongeveer de omlooptijd van het water in het circuit gepompt werd. Het toenemen van het zuurstofgehalte werd gevolgd aan de hand van 4 zuurstof-elektroden en door de zuurstofbepaling volgens de Winkler methode.

Afhankelijk van de indompeldiepte en het gebruik van leidschotten duurde het 5 - 20 minuten voordat het zuurstofgehalte in het circuit begon te stijgen.

Gedurende de metingen is tevens het bruto opgenomen vermogen van de rotoren gemeten in het schakelpaneel. Er is voor elke proef afzonderlijk een correctie aangebracht voor de leidingverliezen tussen schakelpaneel en rotormotor, zodat aan de motor opgenomen bruto vermogens bekend zijn (zie tabel).

3.2.2. Berekening van het zuurstoftoevoerend vermogen

Voor de berekening van het zuurstoftoevoerend vermogen in een beluchtingstank met ideale menging wordt de volgende formule gebruikt:

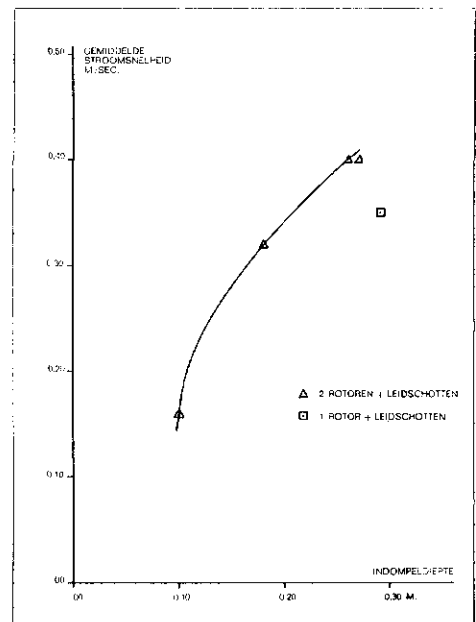
$$OC = C_s^1 \cdot k \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{DT}} = C_s^1 \cdot V \cdot 2,303 \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{DT}}$$

De term $\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2}$ wordt ver-

vangen door tg α de helling van de lijn, bepaald door de waarde log C_s/C_s - C uitgezet tegen de tijd.

De zuurstof verzadigings concentratie C_s¹ bij 10 °C en 760 mm Hg bedraagt 11,33 · 10⁻³ kg O₂/m³.

Afb. 6 - Gemiddelde stroomsnelheid. (m/sec.).



Het zuurstof toevoerend vermogen wordt dan:

$$OC = 26,1 \cdot V \cdot \text{tg } \alpha \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{DT}}$$

Daar in een oxydatiesloot met rotoren praktisch een propstroming plaatsvindt, moet deze formule gecorrigeerd worden. Sweeris heeft voor de OC in oxydatiesloten met rotoren de volgende formule afgeleid:

$$OC = 26,1 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot \text{tg } \alpha \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{DT}}$$

$$\frac{1}{1,1515} \cdot \frac{V}{q} = \text{tg } \alpha + 1$$

OC = zuurstof inbrengvermogen per beluchter in kg O₂/uur bij 10 °C;
V = volume water in het circuit per beluchter in m³;

$\sqrt{\frac{D_{10}}{DT}}$ = correctie diffusie constanten voor de temperaturen;
Pasveer heeft hiervoor afgeleid $\sqrt{\frac{D_{10}}{DT}} = 1,0875^{(10-T)}$;

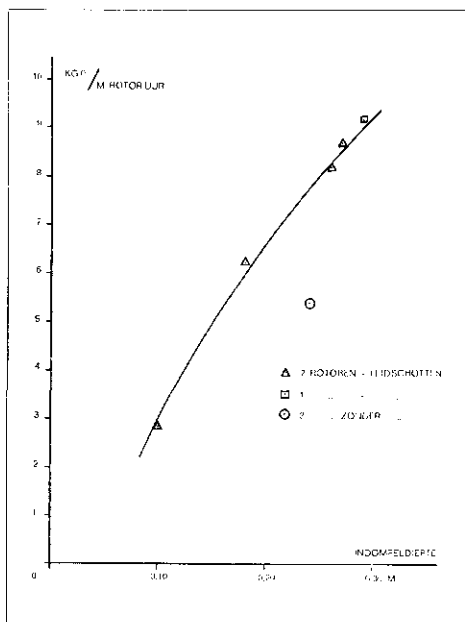
q = circulatie debiet in m³/uur, berekend uit de gemiddelde snelheid en het oppervlak van de natte doorsnede

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de metingen weergegeven. Naast de berekening van de OC met de hierboven vermelde formule voor oxydatiesloten met rotoren is tevens vermeld hoe groot de correctie

$$\text{factor} = \frac{1}{1,1515 \cdot \frac{V}{q} - \text{tg } \alpha + 1}$$

lende metingen was t.o.v. de OC-formule

Afb. 7 - Zuurstof toevoerend vermogen.



TABEL

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5	meting 6	
1. datum	21/3/75	19/3/75	21/3/75	24/3/75	26/3/75	27/3/75	
2. beluchters nr.	3 + 4	3 + 4	3	3 + 4	3 + 4	3 + 4	
3. remschotten	---	+++	+++	+++	+++	+++	
4. indompeldiepte in cm	24	26	29	27	18	10	
5. volume v per rotor in m ³	1231,1	1241,1	2512,3	1246,1	1201,1	1161,1	
6. gemiddelde snelheid v in m/s	0,58	0,40	0,35	0,40	0,32	0,16	
7. circulatiedebiet q in m ³ /h	29484	20196	17806	20210	15981	7498	
8. temperatuur circuit water in °C	4,5	3,0	3,5	5,0	5,0	5,0	
9. tg α	O ₂ -meetpunt 1	0,687	0,616	1,217	0,991	0,404	
	O ₂ -meetpunt 2	0,696	0,599	1,149	0,841	0,440	
	O ₂ -meetpunt 3	6,694		0,642	1,100	0,834	0,397
	O ₂ -meetpunt 4	0,706	1,065	0,618	1,183	0,844	0,406
	O ₂ -meetpunt 5	0,722			1,261	0,878	0,416
gemiddeld	0,701	1,065	0,619	1,182	0,878	0,413	
10. OC per rotor in kg O ₂ /h	24,12	36,55	41,31	38,90	28,04	12,77	
11. OC per meter rotor in kg O ₂ /h	5,36	8,12	9,18	8,64	6,23	2,84	
12. Bruto opgenomen vermogen aan de motor in KW	16,31	20,48	23,18	20,70	14,36	8,63	
13. Bruto opgenomen vermogen in KW/m rotor	3,62	4,55	5,15	4,60	3,19	1,92	
14. Rendement η in kg O ₂ /KWh	1,48	1,78	1,78	1,88	1,95	1,48	
15. factor $\frac{1}{1,1515 \cdot v/q \cdot \text{tg } \alpha + 1}$	0,9674	0,9299	0,9086	0,9226	0,9294	0,9314	

voor beluchttingsruimten met ideale menging.

3.2.3. Bespreking van de resultaten

De gemiddelde stroomsnelheid bij de metingen waarbij één of twee rotoren in bedrijf zijn en de leidschotten zijn aangebracht, zijn in afb. 6 grafisch uitgezet tegen indompeldiepte.

De waarden voor het zuurstoftoevoerend vermogen, het bruto aan de motor opgenomen vermogen en het hieruit berekende rendement zijn voor de verschillende metingen uitgezet tegen de indompeldiepte in respectievelijk de afb. 7, 8 en 9.

Bij indompeldiepte groter dan 0,22 m blijkt de OC per meter rotor te voldoen aan de door Passavant opgegeven garantie waarde

van 7,5 kg O₂/uur (afb. 7).

De dimensioneringsgrondslag bij volledige belasting van de RZI (30 kg O₂/uur-rotor) wordt steeds gehaald bij een indompeldiepte van 0,19 m.

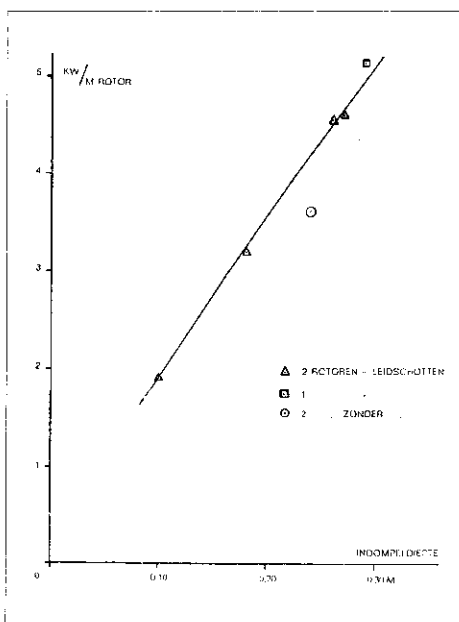
Het rendement van de beluchting heeft bij een indompeldiepte van 0,18 m een maximum (1,95 kg O₂/kWh).

De waarden voor het zuurstoftoevoerend vermogen en het rendement zijn in het geval geen leidschotten zijn aangebracht onvoldoende. De snelheid is in dit geval hoger dan in gevallen, waarin wel schotten worden toegepast.

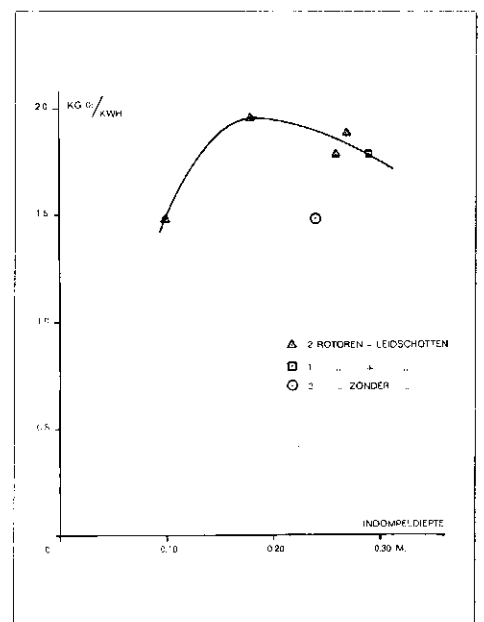
4. Conclusies

Als beluchtingssysteem voor diepere oxyda-

Afb. 8 - Opgenomen vermogen aan de motor.



Afb. 9 - Rendement.



tiesloten is de toepassing van mammoetrotoren (rotoren met een diameter van 1 meter) een geschikt alternatief voor puntbeluchters.

Afhankelijk van de belasting van de installatie kan een regeling van de indompeldiepte plaatsvinden tussen 0,15 en 0,30 m. Tussen deze waarden is de gemiddelde stroomsnelheid voldoende (0,30 - 0,40 m/s), terwijl het rendement van de beluchting terwijl bij een indompeldiepte groter dan 0,22 m het zuurstoftoevoerend vermogen tussen 7,5 en 9,2 kg O₂/m . h bedraagt en het rendement van de beluchting 1,8 - 2,0 kg O₂/kWh, dat vergelijkbaar is met andere beluchtingssystemen voor oxydatiesloten.

De regelmogelijkheid wordt nog vergroot doordat zowel met één als met twee rotoren gewerkt kan worden, waarbij ook met één rotor zowel de stroomsnelheid als het rendement aanvaardbaar blijft.

Bij indompeldiepten kleiner dan 0,15 m treden instabiliteitsverschijnselen op in de vorm van golfbewegingen, die een sterk wisselende belasting van de aandrijfmotoren van de rotoren veroorzaken (0 - 25 kw opgenomen vermogen). Het rendement is in deze gevallen laag (\pm 1,5 kg O₂/kWh). Het heeft geen zin de installatie te laten werken zonder leidschotten; het zuurstoftoevoerend vermogen en het rendement geven hierbij te lage waarden, terwijl de gemiddelde stroomsnelheid zeer hoog is (ca. 0,60 m/s).

De stroomsnelheid blijkt op alle punten van de doorsneden sterk te variëren in de tijd. Verder blijkt, dat de verschillen in stroomsnelheid tussen verschillende punten in een doorsnede van aanzienlijke omvang kunnen zijn, ook na het aanbrengen van leidschotten (factor 2 - 2,5).

Indien geen zandvang wordt toegepast is de kans op zandafzettingen het grootst in het midden van het natte profiel.

Bij de beproevingen is gebleken dat na het aanbrengen van eenvoudige spatschermen benedenstrooms van de rotoren aerosolvorming van aktiefslibdeeltjes niet waarneembaar was.

De heer F. A. Brandse betuigen wij onze dank voor de nauwgezette wijze waarop hij aan het onderzoek heeft meegewerkt.

Literatuur

1. Hydraulische metingen, verricht op het beluchtingsbassin van de zuiveringsinstallatie Wenen/Blumenthal. Rapport: 72.04.01 van Passavant-Nederland.
2. Sweeris, S., *Meting van het zuurstoftoevoerend vermogen*, H₂O (2) 1969 nr. 25; 610.
3. Sweeris, S. en Trietsch, R., *Bepaling van het zuurstoftoevoerend vermogen (OC) in carrouzels* (2), H₂O (7) 1974 nr. 6; 106.

