

# Resultaten van beproevingsmetingen van het tegenstroombeluchtings-systeem te Hulst

## 1. Inleiding

Het principe tegenstroombeluchting is reeds eerder beschreven door Blom en door v. d. Graaf. De rioolwaterzuiveringsinstallatie Hulst is de eerste installatie in Nederland uitgevoerd volgens het rotoflow-systeem.

Door de functiescheiding van het beluchten en het in beweging houden van het actief slib kan de voor de beluchting benodigde hoeveelheid lucht aan de zuurstofvraag worden aangepast. Immers het actief slib blijft in suspensie door de



IR. K. DIEKEMA  
Technologische dienst  
Zeeuwse Waterschappen



ING. J. H. A. M. VERBRAAKEN  
Rijksinstituut voor  
Zuivering van Afvalwater

voortstuwings-elementen. De door de ingeblazen lucht veroorzaakte stroming (spiral flow) is te verwaarlozen. Hierdoor zijn de procesomstandigheden geschapen die een langere contacttijd van de luchtbellen met het slibwatermengsel waarborgen, waardoor het rendement van de zuurstofoverdracht wordt verhoogd.

## 2. Beschrijving van de installatie

De rioolwaterzuiveringsinstallatie Hulst is gebouwd voor een capaciteit van 1350 kg . BZV<sub>5</sub> . etm.<sup>-1</sup>, (25.000 i.e. a 54 g BOD . d) met een hydraulische belasting

van maximaal 1250 m<sup>3</sup> . h<sup>-1</sup>. In afb. 1 is de installatie weergegeven.

De afmetingen van het beluchtingsbassin zijn: diameter ca. 42 m, zijwanddiepte 4,50 m, inhoud 6250 m<sup>3</sup>.

In het beluchtingsbassin zijn aanwezig 504 beluchtingselementen van het type Cellpox (Menzel), diameter 70 mm, lengte 500 mm, voorts zijn 4 propelleraggregaten opgesteld voor de voortstuwing van de watermassa in het bassin, de afmeting van deze voortstuwings-elementen bedraagt diameter 2m, het aantal omwentelingen is gefixeerd op 30 omw . min<sup>-1</sup>, terwijl het

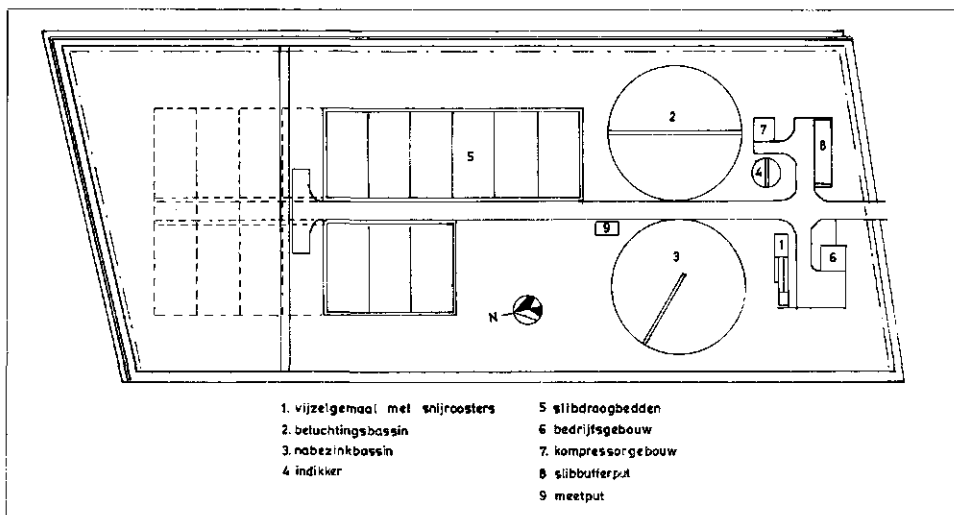
opgenomen vermogen volgens het bestek 4 x 3 kW = 12 kW bedraagt.

Ter voorziening van de luchttoevoer zijn geïnstalleerd 2 roots blowers, fabrikaat Aerzener GMA 13/7. De capaciteit van de blowers bedraagt 11,3 m<sup>3</sup> . min<sup>-1</sup> bij laag toeren en 26,2 m<sup>3</sup> . min<sup>-1</sup> bij hoog toeren. Ten aanzien van de beluchting heeft de fa. Menzel de volgende garantie geaccepteerd:

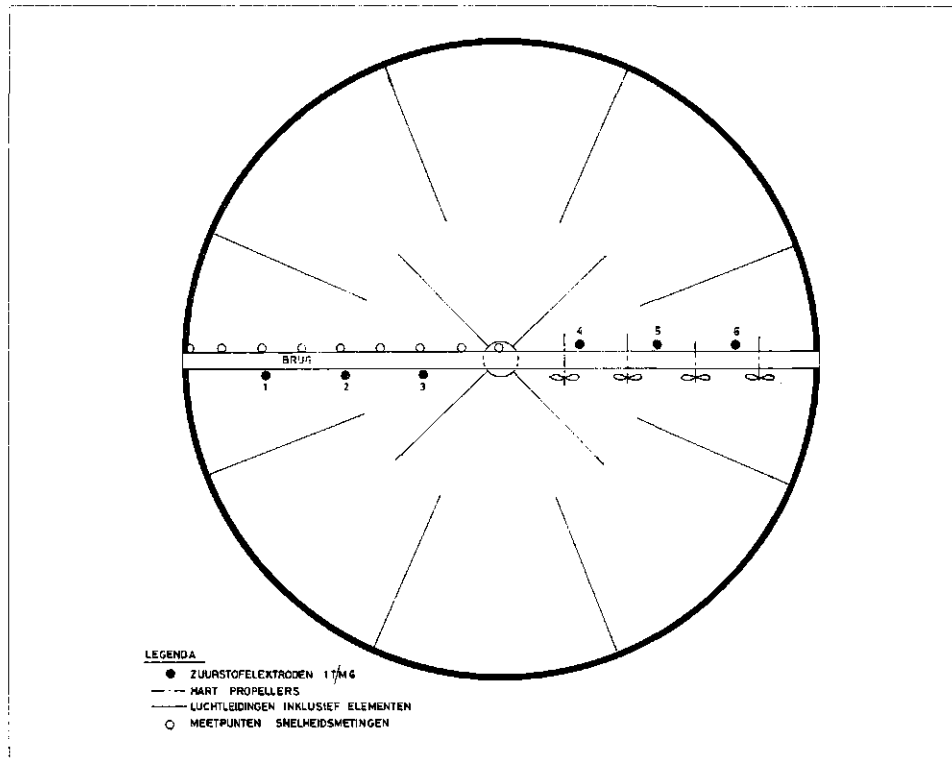
— voortstuwing: de gemiddelde tangential vloeistofsnelheid op 100 mm boven de bovenkant van de beluchters moet meer dan 300 mm . sec.<sup>-1</sup> bedragen;

— beluchting: het zuurstofinbengend vermogen, OC bij een barometerstand van 760 mm . Hg en een temperatuur van 10 °C zal in drinkwater bij 42,4 m<sup>3</sup> . min<sup>-1</sup> luchttoevoer en 4,50 m zijwanddiepte 170 kg O<sub>2</sub> . uur<sup>-1</sup> bedragen.

Afb. 1 - Situatie.



Afb. 2 - Beluchtingstank.



## 3. Oriënterend onderzoek naar de geschiktheid van polderwater voor de OC-bepalingen

Het bleek praktisch onmogelijk de OC-metingen uit te voeren met leidingwater. Aangezien in de Clingepolder oppervlaktewater voorkomt van zeer goede kwaliteit, is onderzocht in hoeverre dit oppervlaktewater geschikt was voor het uitvoeren van de OC-metingen.

Aan een opstelling op het laboratorium van de technologische dienst te Terneuzen

werd in een cilinder met een netto inhoud van 33 l (waterhoogte 1,15 m) beurtelings de tg.  $\alpha$  bepaald van drinkwater en van oppervlaktewater uit de Clingepolder.

De omstadigheden waren identiek, er werd zorggedragen dat de watertemperatuur in beide gevallen gelijk was.

De bepaling van de tg.  $\alpha$  geschiedde met dezelfde apparatuur door de technologische dienst als onder 4b wordt omschreven.

Uit het onderzoek op 18 juli 1978 bleek de tg.  $\alpha$  polderwater 6,630 te bedragen, bij het drinkwater bedroeg de tg.  $\alpha$  6,852. Op grond van dit vergelijkend onderzoek werd besloten het polderwater te gebruiken voor de OC-bepalingen.

Direct na de metingen op de zuiveringsinstallatie werd het bovenbeschreven vergelijkend onderzoek op het laboratorium herhaald. Aan het drinkwater werd echter 1100 mg natriumsulfaat (watervrij) per liter toegevoegd om dezelfde sulfaatconcentratie te verkrijgen als in het voor de metingen gebruikt water uit de beluchtingstank te Hulst.

Vastgesteld werd op 4 september 1978:

water uit zuiveringsinstallatie tg.  $\alpha$  = 5,712, terwijl in leidingwater een tg.  $\alpha$  = 5,573 werd bepaald.

Geconcludeerd kan worden dat de verschillen tussen het gebruikte polderwater en het drinkwater verwaarloosbaar klein zijn.

In tabel I zijn de analyses van het gebruikte polderwater weergegeven.

#### 4. Uitvoering van het onderzoek

In een gezamenlijk onderzoek van de technologische dienst Zeeuwse waterschappen (TD) en het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater (RIZA) zijn de volgende metingen verricht:

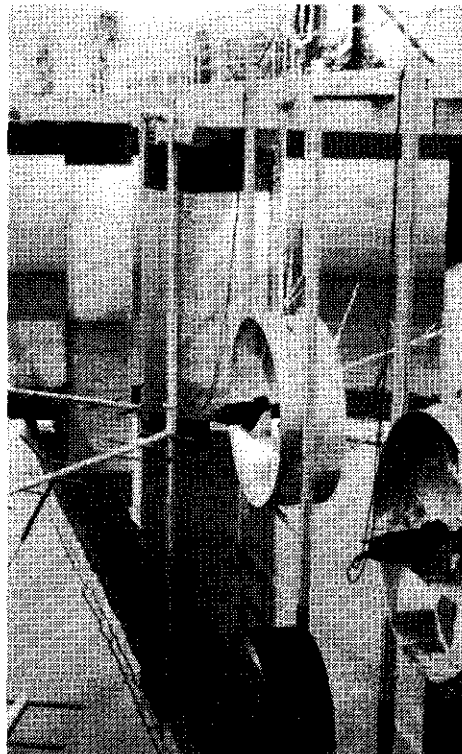
- snelheidsmetingen;
- OC-metingen.

##### 4a. Snelheidsmetingen

In afb. 2 is de beluchtingstank te Hulst schematisch weergegeven. Op de plaatsen A tot en met I is op drie verschillende

TABEL I - Analyseresultaten van het gebruikte water.

Analyse	Monster opp. water voor stuw		Monster uit beluchtingsbassin
	d.d. 31-5-'78	d.d. 17-8-'78	d.d. 25-8-'78
pH	8,8	8,2	8,1
Chloride	51,0	56,0	53,0
CZV	24,0	24,0	26,0
BZV <sub>5</sub>	—	2,0	1,0
Kjeldahl-N	0,5	1,1	1,3
Totaal P	0,16	0,65	0,70
Sulfaat-ion	—	—	750



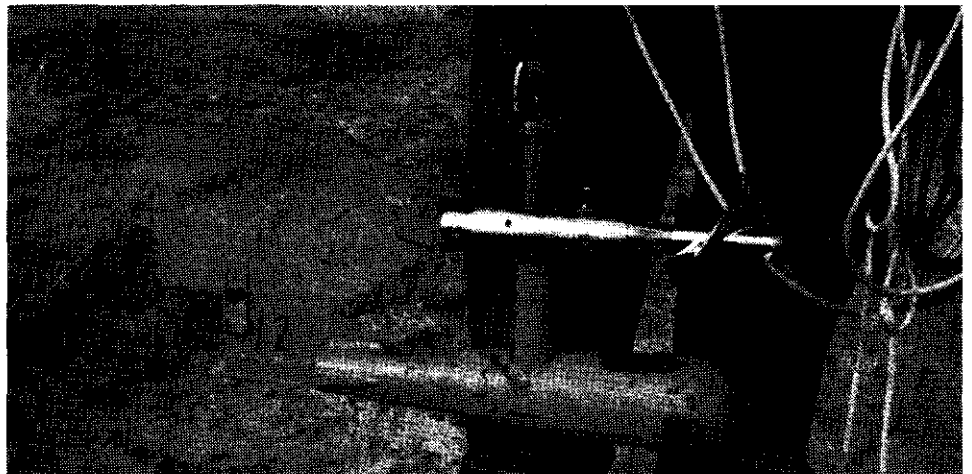
Opstelling der propellers.

diepten de snelheid van het water gemeten met een Ott-molen, die was aangebracht op een zelfrichtend torpedovormig gewicht van 12 kg. Tijdens deze metingen waren er vier propellers in bedrijf. Op de diepte 296,5 cm-waterspiegel (d.i. exact 1,0 m boven de beluchtingselementen) werd vervolgens nog een meting op de plaatsen A tot en met I uitgevoerd, waarbij propeller no. 4 was uitgeschakeld.

In tabel II zijn de gemeten snelheden weergegeven.

Uit deze metingen blijkt dat bij zowel 4 als 3 propellers in gebruik in ca. 94 % van de tank voldoende snelheid (groter dan 0,3 m/sec.) werd behaald. Op een afstand

Molen van OTT. t.b.v. snelheidsmetingen.



TABEL II - Snelheidsmetingen op de plaatsen A tot en met I op resp. 1,30 m (1), 2,265 m (2), 3,265 m (3) van de bodem met 4 propellers en op 1,30 (4) van de bodem met 3 propellers (blowers 1 HT en 1 LT).

Plaats	Snelheden in tangentiële richting in m/sec.			
	1	2	3	4
A	0,38	0,48	0,48	0,38
B	0,39	0,50	0,49	0,35
C	0,42	0,44	0,50	0,33
D	0,46	0,52	0,52	0,35
E	0,52	0,53	0,54	0,37
F	0,54	0,54	0,46	0,39
G	0,43	0,41	0,43	0,24
H	0,15	0,16	0,11	0,10
I	0,17	0,14	0,16	0,11
Gemiddeld	0,385	0,41	0,41	0,29

van ca. 4 m van de middenkolom daalde de snelheid drastisch.

##### 4.b.1. OC-metingen

Uitvoering van de metingen.

De metingen van het zuurstoftoevoervermogen.

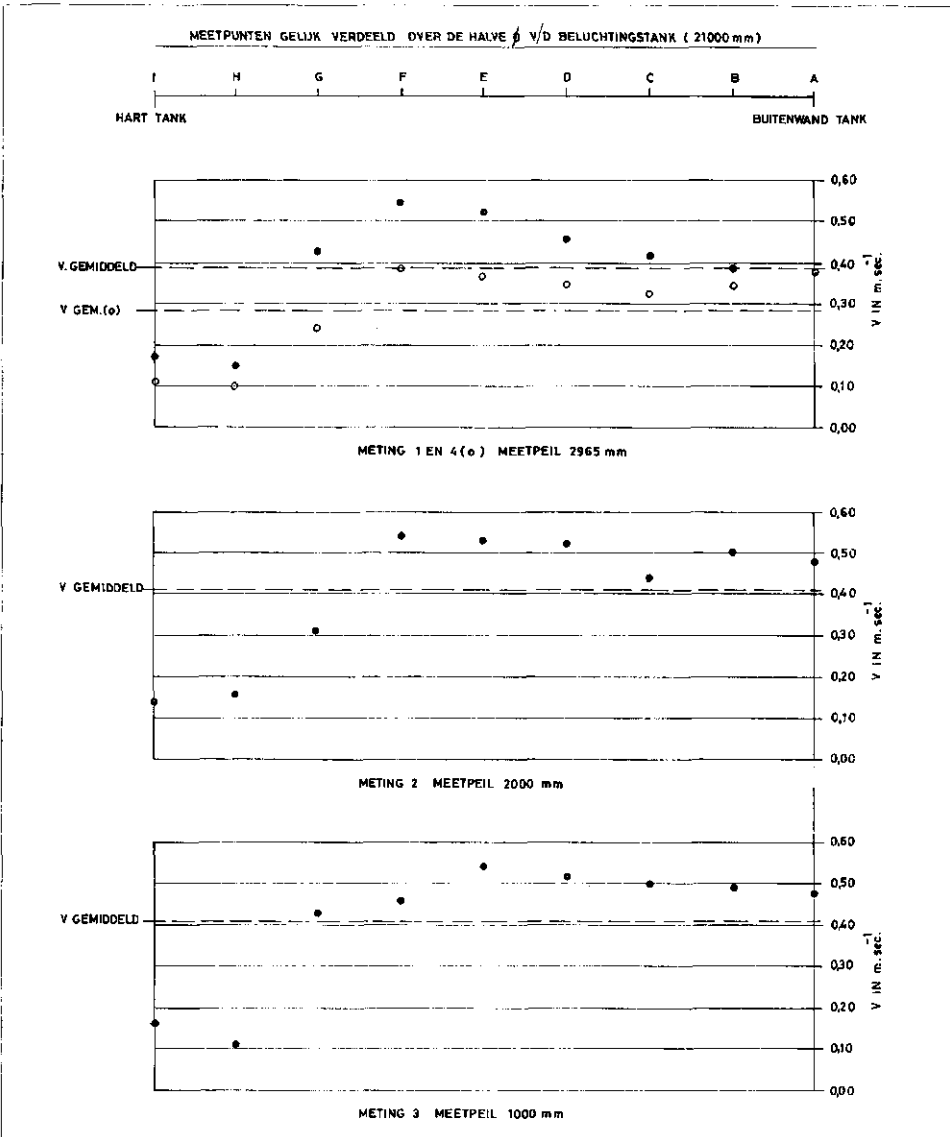
De metingen van het zuurstoftoevoervermogen (OC) zijn uitgevoerd in polderwater.

Er zijn zes metingen uitgevoerd, nl.:

1. één kompressor in laagtoeren;
2. één kompressor in hoogtoeren;
3. één kompressor in hoog- en één in laagtoeren;
4. duplometing van 3.;
5. twee compressoren in hoogtoeren;
6. één kompressor in hoog- en één in laagtoeren met uitschakeling van de propellers (voortstuwingsseenheden).

Per meting is, om het water zuurstofloos te maken, 700 kg watervrij natriumsulfiet in opgeloste vorm toegevoegd. Als katalysator is in het beluchtingsbassin eenmalig een hoeveelheid van 5 kg waterhoudend cobaltchloride toegevoegd.

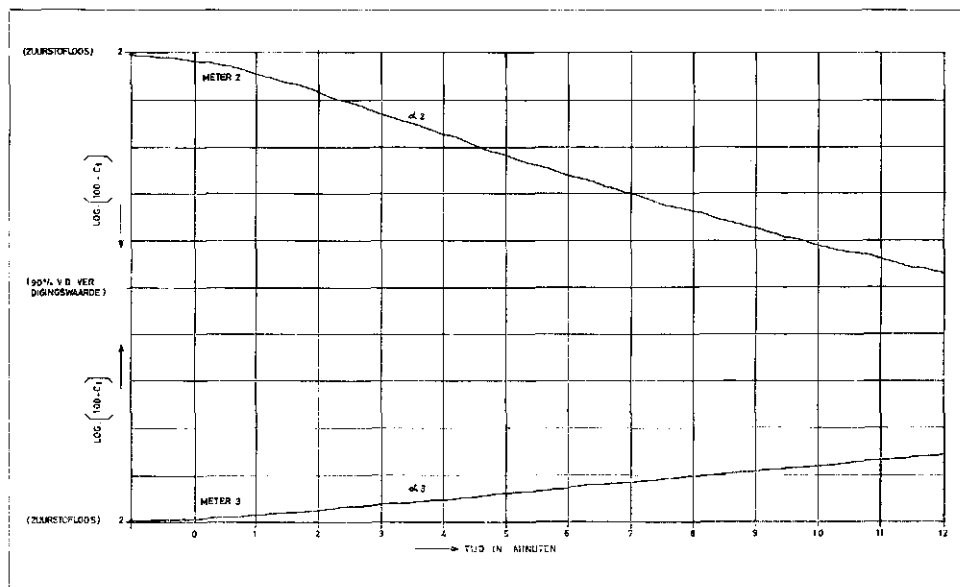
In afb. 3 zijn meetplaatsen van het zuurstofgehalte weergegeven. Door zowel het RIZA



Afb. 3 - Stroomsnelheden.

als de technologische dienst Zeeuwse waterschappen werd gebruik gemaakt van EIL zuurstofmeters model 15A om het verloop van het zuurstofgehalte in het water te volgen. Voorafgaande aan de OC-metingen is het water iedere dag gedurende ca. 1 uur belucht, teneinde het met zuurstof te verzadigen, bij de heersende temperatuur ( $T^{\circ}C$ ) en de heersende inblaasdiepte. Elke dag werd de verzadigingswaarde vastgesteld met behulp van de Winkler-analyse. De maximale schaaluitleg van de zuurstofmeters is hierop dagelijks geijkt. Nadat de sulfietoplossing in het beluchtingsbassin was ingebracht, werd de tankinhoud gedurende ca. een half uur gemengd door middel van de propellers. Vervolgens werd bij de gewenste compressorcapaciteit het verloop van het zuurstofgehalte met behulp van de zuurstofmeters gevolgd. Zodra het zuurstofgehalte begon op te lopen, werd een monster uit het beluchtings-

Afb. 4 - Registratie recorder.



bassin getrokken, 100 ml hiervan werd jodometrisch getitreerd ter bepaling van het gehalte aan 'restsulfiet'. In alle gevallen bedroeg dit jodiumverbruik minder dan 0,6 ml 0,01 n jodium per 100 n monster, hetgeen betekent dat het restsulfietgehalte verwaarloosbaar klein is. Van drie zuurstofmeters werden de uitgangssignalen via een logaritmische omvormer op recorders geregistreerd. Op deze wijze werd direct het verloop van de logaritme van het zuurstofdeficit met de tijd ( $\tan. \alpha$ ) verkregen. Als voorbeeld is in afb. 4 de registratie van een van de metingen weergegeven.

Van drie andere zuurstofmeters werden de uitgangssignalen direct op Vitraton model 5001 recorders geschreven. Uit de verkregen curven werd  $\tan. \alpha$  steeds berekend. De berekening van het zuurstoftoevoervermogen geschiedde met de volgende formule:

$$OC_{10} = C_{S10} \cdot \frac{C_{Sm}}{C_{ST}} \cdot \frac{2,303 \cdot \tan \alpha \cdot 60}{1000} \cdot V \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}} \text{ [kg O}_2 \cdot \text{h}^{-1}]$$

Hierin is:

$OC_{10}$  = zuurstoftoevoervermogen in schoon water bij  $10^{\circ}C$ , bij een zuurstofconcentratie van nul  $\text{mg l}^{-1}$ , een inblaasdiepte van m meter en een atmosferische luchtdruk van 1 atm.  
 $C_{S10}$  = de verzadigingswaarde van zuurstof in water bij  $10^{\circ}C$  en 1 atm. (=  $11,3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$ ).  
 $C_{Sm}$  = de d.m.v. Winkler-analyses vastgestelde verzadigingswaarde van zuurstof in water bij de heersende temperatuur

(T °C) en bij een inblaasdiepte van m meter.

C<sub>S,T</sub> = de verzadigingswaarde van zuurstof in water bij de heersende temperatuur (T °C) volgens de tabel voor verzadigingswaarden van zuurstof in water bij 1 atm.

$$tg\alpha = \frac{\Delta [\log (100 - Ct)]}{\Delta t} \text{ in min.}^{-1}$$

V = Volume beluchtingsbassin in m<sup>3</sup>.

D<sub>10</sub> = diffusieconstante van zuurstof in water bij 10 °C.

D<sub>T</sub> = diffusieconstante van zuurstof in water bij de heersende temperatuur.

Gezien de geringe afwijkingen van de atmosferische luchtdruk (1 atm) tijdens de metingen is hierop geen correctie ingevoerd bij het berekenen van het zuurstof-toevoervermogen.

In tabel III zijn de resultaten van de OC-metingen samengevat. De bijbehorende luchtdebieten worden behandeld in 4.b.2.

4.b.2. Luchthoeveelheidsmetingen

De voor de OC-metingen benodigde lucht werd door Aerzener blowers geleverd.

Door middel van tweetoerige elektromotoren kan het toerental van de compressoren worden gevarieerd, zodat tijdens de OC-metingen met vier verschillende luchthoeveelheden kon worden gewerkt.

In de aanzuigleidingen van het beproefde beluchtingssysteem zijn t.b.v. de hoeveelhidsmetingen meetflenzen geplaatst.

Het drukverschil over de meetflenzen, alsmede de absolute druk in de luchtleidingen werd met U-buizen gemeten.

De temperatuur van de lucht voor de meetflens werd met behulp van een thermometer gemeten.

De volgende gemeten gegevens werden vastgelegd:

a. de temperatuur van de aangezogen lucht;

b. de temperatuur van de lucht over de kompressor;

c. de barometerstand;

d. de drukverschillen over de meetflenzen;

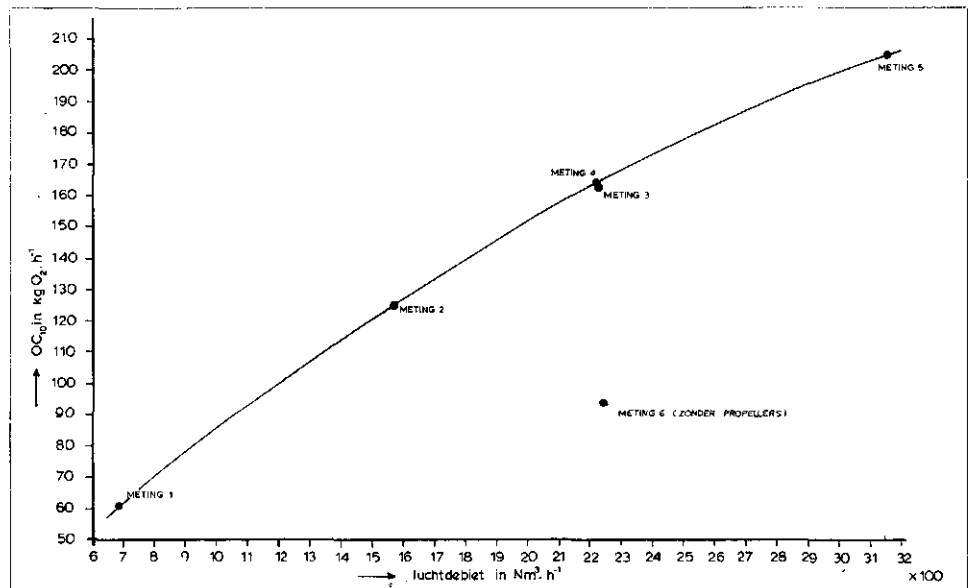
e. de absolute drukken in de persleidingen;

f. het toerental van de kompressor.

Voor de berekening wordt uitgegaan van de VDI-Durchflussmessregeln DIN 1952.

TABEL III - Zuurstoftoevoervermogen.

meting no.	water temp. °C	C <sub>S,M</sub> mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup>	C <sub>S,T</sub> mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup>	volume tank m <sup>3</sup>	inblaas diepte m	OC <sub>10</sub> in kg . O <sub>2</sub> . h <sup>-1</sup>						gemiddeld
						meter no. 1	meter no. 2	meter no. 3	meter no. 4	meter no. 5	meter no. 6	
1	19,0	10,65	9,40	5961	4,0	62,74	65,05	64,49	56,62	56,33	56,74	60,32
2	19,5	10,65	9,25	5961	4,0	123,14	119,07	132,90	118,95	120,13	127,44	123,61
3	19,5	10,65	9,24	5961	4,0	163,20	160,29	162,49	162,74	164,96	162,33	162,67
4	20,0	10,65	9,20	5961	4,0	161,81	166,34	164,07	165,52	166,30	165,48	164,92
5	19,0	10,33	9,36	5968	4,0	206,23	207,42	201,44	202,69	208,44	206,27	205,42
6	20,0	10,33	9,22	5968	4,0	87,47	96,45	87,66	95,29	95,25	97,82	93,32



Afb. 5 - Verband tussen OC<sub>10</sub> en het luchtdebiet.

TABEL IV - Luchthoeveelheden.

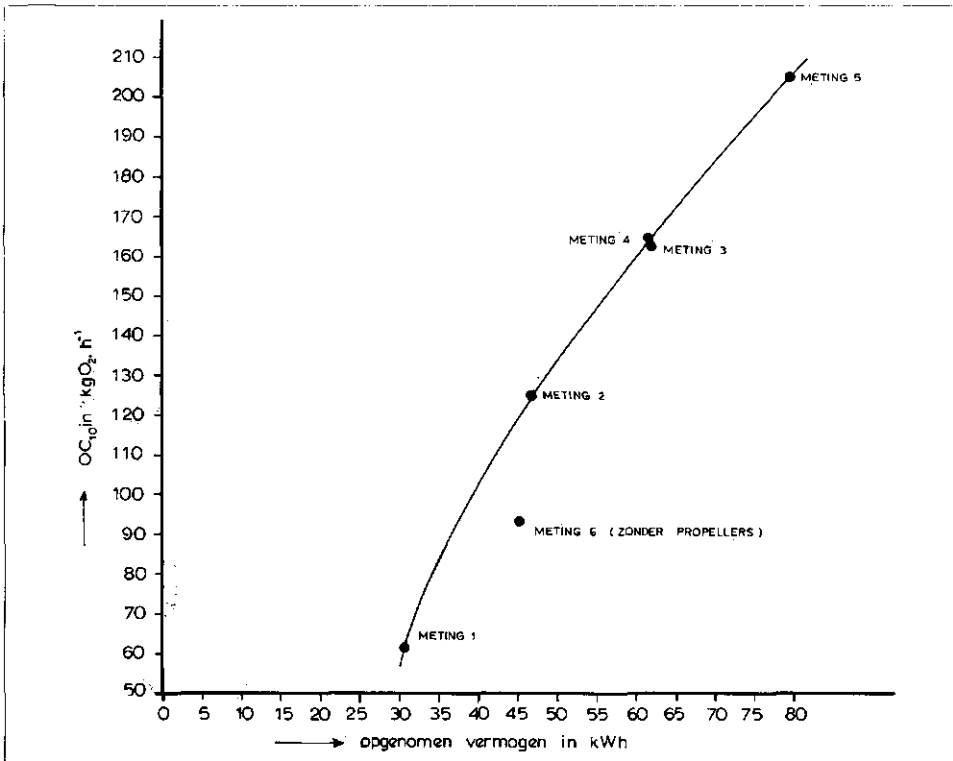
meting no.	kompressoren			kompressoren			kompressoren		
	no. 1 kg.h <sup>-1</sup>	no. 2 kg.h <sup>-1</sup>	totaal kg.h <sup>-1</sup>	no. 1 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	no. 2 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	totaal m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	no. 1 N m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	no. 2 N m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	totaal N m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
1	874	—	874	727	—	727	676	—	676
2	2026	—	2026	1700	—	1700	1567	—	1567
3	2009	866	2875	1700	734	2434	1554	670	2224
4	855	2013	2868	724	1703	2427	661	1556	2217
5	2044	2028	4072	1704	1693	3397	1581	1569	3150
6	860	2038	2898	719	1704	2423	665	1577	2242

TABEL V - Vermogens.

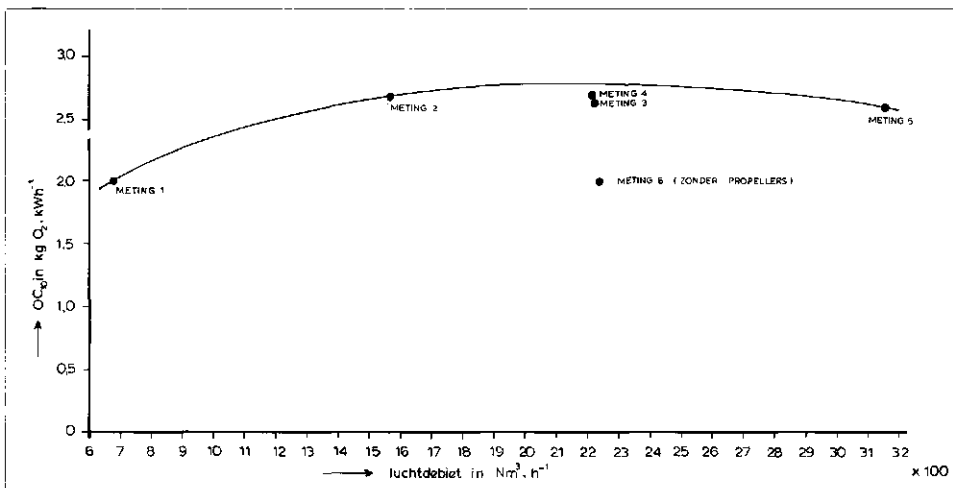
meting no.	kompressoren			propellers					
	no. 1 kWh.h <sup>-1</sup>	no. 2 kWh.h <sup>-1</sup>	totaal kWh.h <sup>-1</sup>	no. 1 kWh.h <sup>-1</sup>	no. 2 kWh.h <sup>-1</sup>	no. 3 kWh.h <sup>-1</sup>	no. 4 kWh.h <sup>-1</sup>	totaal kWh.h <sup>-1</sup>	totaal kWh.h <sup>-1</sup>
1	14,26	—	14,26	4,14	4,14	4,14	4,14	16,56	30,82
2	30,05	—	30,05	4,15	4,15	4,15	4,15	16,60	46,65
3	30,48	14,55	45,03	4,18	4,18	4,18	4,18	16,72	61,75
4	14,32	30,58	44,90	4,14	4,14	4,14	4,14	16,56	61,46
5	31,58	31,28	62,86	4,14	4,14	4,14	4,14	16,56	79,42
6	14,85	30,64	45,49	—	—	—	—	—	45,49

TABEL VI - Specifieke rendementen.

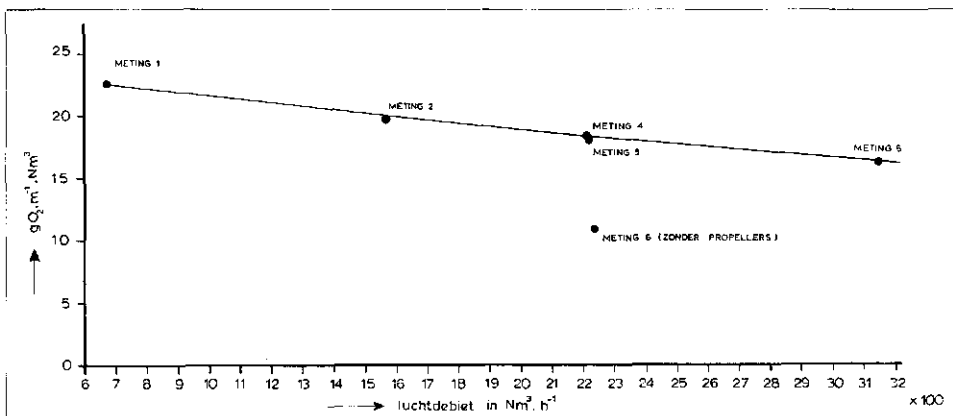
meting no.	lucht debiet Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	O.C. kg.O <sub>2</sub> .h <sup>-1</sup>	opgenomen vermogen kWh.h <sup>-1</sup>	O.C. rendement kg.O <sub>2</sub> .kWh <sup>-1</sup>	O.C. g.O <sub>2</sub> .m <sup>-3</sup> .Nm <sup>-3</sup>	luchtbelasting per element Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> .element <sup>-1</sup>
1	676	60,32	30,82	1,96	22,31	1,34
2	1567	123,61	46,65	2,65	19,72	3,11
3	2224	162,67	61,75	2,63	18,29	4,41
4	2217	164,92	61,46	2,68	18,60	4,40
5	3150	205,42	79,42	2,59	16,30	6,25
6	2242	93,32	45,49	2,05	10,41	4,45



Afb. 6 - Verband tussen de OC<sub>10</sub> en het opgenomen vermogen.



Afb. 7 - Verband tussen het OC<sub>10</sub>-rendement en het luchtdebiet.



Afb. 8 - Verband tussen het O<sub>2</sub> overdracht per meter en het luchtdebiet.

Basisformule (afgeleid uit de vergelijking van Bernouilli):

$$G = 0,01252 \cdot \alpha \cdot \epsilon \cdot d^2 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{\Delta P} \text{ [kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

G = gewicht van de lucht in kg · h<sup>-1</sup>,

α = doorstroomcoëfficiënt; deze hangt samen met de kontraktie van de stroom in de meetflens en is afhankelijk van de

$$\text{openingsverhouding } m = \left(\frac{d}{D}\right)^2, \text{ waarin } D$$

de inwendige leidingdiameter voor de meetflens in mm (α wordt bepaald uit een grafiek VDI-Durchflusmessregeln 1952). d = diameter van de boring van de meetflens.

ε = expansiegetal en is afhankelijk van het drukverschil over de meetflens, de openingverhouding m en de exponent van de adiabaat (x) van het medium, alles samenhangende met de kompressie van de lucht, t.p.v. de meetflens. (ε wordt bepaald uit de grafiek (VDI-Durchflusmessregeln 1952). γ = soortgelijke massa van de lucht t.p.v. de meetflens in kg · m<sup>-3</sup>

$$\left( = \gamma n \cdot \frac{T_n}{T} \cdot \frac{P_{abs}}{P_n} \right).$$

ΔP = gemeten drukverschil over de meetflens in mm wk.

Het luchtdebiet, uitgedrukt in normaal kubieke meters (0 °C en 76 cm Hg), is verkregen door de massa-lucht (G) te delen door γ normaal (1,293 kg · m<sup>-3</sup>).

### Resultaten

De resultaten van de luchthoeveelheidsmetingen zijn samengevat in tabel IV.

4.b.3. De metingen van het elektrisch opgenomen vermogen van de compressoraggregaten en de voortstuwseenheden.

Het opgenomen vermogen van de compressoraggregaten is gemeten met twee geijkte kWh-meters. Gezien de geringe kabellengte (± 2 m) tussen de kWh-meters en de motoren van de compressoraggregaten zijn de optredende kabelverliezen te verwaarlozen.

Het opgenomen vermogen van de voortstuwseenheden is gemeten met een geijkte meetkoffer.

De resultaten zijn verwerkt in tabel V.

### 5. Samenvatting van de resultaten

In tabel VI staan de volgende rendementen vermeld:

- het OC-rendement in kg O<sub>2</sub> · kWh<sup>-1</sup>;
- de luchtbelasting per element in nm<sup>3</sup> · element<sup>-1</sup>.