

# Modellen van beluchtingsbassins en de praktijk

Voordracht uit de 11de vakantiecursus in de behandeling van afvalwater 'Beluchting', die op 22 en 23 april 1976 werd gehouden aan de TH Delft.

## 1. Inleiding

In vele biologische rioolwaterzuiverings- inrichtingen wordt de voor het instandhouden van het zuiveringsproces benodigde zuurstof toegevoerd met behulp van oppervlaktebeluchters. De ruimtes waarin de zuurstof aan de watermassa wordt toegevoegd kunnen een veelheid van vormen en afmetingen hebben. Voor de oppervlaktebeluchters geldt hetzelfde.

De ervaring heeft geleerd dat de goede werking van het systeem beluchtings-bassin-oppervlaktebeluchter afhankelijk is van



I.R. J. B. M. WIGGERS  
Ingenieursbureau  
Dwars, Heederik en Verhey bv  
Amersfoort

diverse factoren, zoals de geometrie van de onderdelen, de afmetingen ten opzichte van elkaar en de omtreksnelheden van de beluchters. Om in bepaalde gevallen tot een optimaal ontwerp te kunnen geraken, kan een modelonderzoek zeer behulpzaam zijn.

In dit artikel zullen de volgende aspecten van het gebruik van fysische modellen, in het bijzonder die van beluchtingstanks, worden belicht:

- de waarde die aan een modelonderzoek kan worden toegekend;
- de afleiding, de toetsing en het gebruik van schaalregels;
- de resultaten van een aantal modelonderzoekingen.

## 2. De betekenis van modelonderzoek

Voor sommige technische problemen geldt dat deze zo complex zijn, dat met de ten dienste staande reken- en ontwerpmethoden geen of slechts benaderende oplossingen kunnen worden bereikt.

Daarnaast zijn er veel vraagstukken waarbij de rekenkundige bewerkingen, die nodig zijn om tot een oplossing te geraken, zoveel tijd en daarmee ook geld vergen, dat naar andere wijzen van oplossen moet worden gezocht.

In beide gevallen kan dikwijls vruchtbaar gebruik worden gemaakt van schaalmodellen.

Het gebruik van dergelijke modellen heeft het voordeel dat voor relatief lage kosten een groot aantal alternatieve mogelijkheden op hun onderlinge verschillen kunnen worden onderzocht. De beste oplossing in het model zal ook in de praktijk optimaal zijn.

Naast het bepalen van een optimale oplos-

sing in kwalitatieve zin zijn sommige schaalmodellen ook geschikt om het gedrag van het systeem in de praktijk in kwantitatieve zin te voorspellen. Dergelijke modellen maken het mogelijk om met betrekking tot belangrijke parameters waarmee het systeem kan worden beschreven (zoals bijv. het zuurstofinbrengvermogen (OC)) een goede schatting te maken van het gedrag in de praktijk. Dit kan vooral van belang zijn in die gevallen waarin nog geen betrouwbare of toepasbare praktijkgegevens beschikbaar zijn.

Ook zijn modelonderzoeken toegepast in gevallen waarbij het langs theoretische weg voorspelde gedrag niet in overeenstemming was met het gedrag in de praktijk.

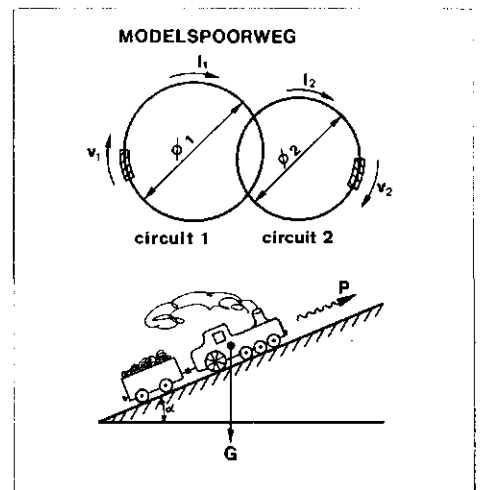
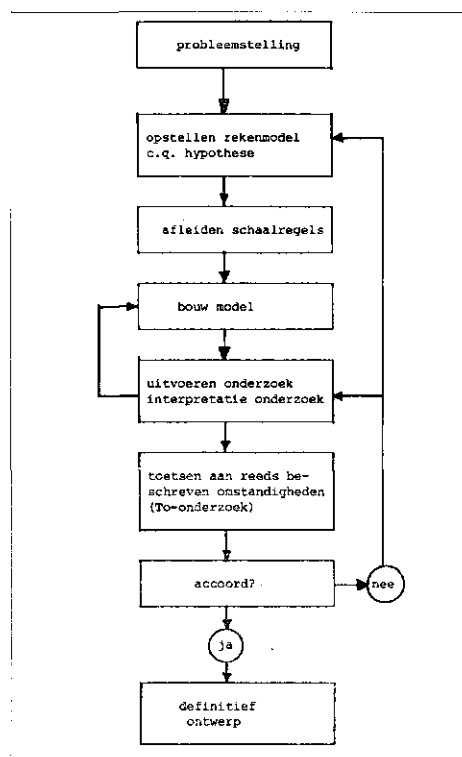
In al die gevallen was het de opzet de ontstane situatie op schaal na te bootsen en vervolgens met deze situatie als uitgangspunt te bepalen op welke wijze de ongewenste effecten te niet konden worden gedaan.

Bij de uitvoering van een modelonderzoek moeten de in afb. 1 weergegeven activiteiten worden ontplooid.

Van zeer groot belang is de toepassing van de juiste schaalregels en het toetsen van de modelresultaten. Dit laatste kan geschieden direct in de praktijk of met behulp van een serie modellen op verschillende schaal (zgn. schaalonderzoek).

Een voorwaarde bij dit alles is dat bepaalde regels in acht worden genomen. De schaalregels spelen in dit opzicht een belangrijke rol.

Afb. 1.



Afb. 2.

## 3. Schaalregels

Het is gerechtvaardigd te veronderstellen dat het afleiden en toepassen van schaalregels geen gemeengoed is van degenen die zich bezig houden met het tegengaan en terugdringen van de vervuiling van het oppervlaktewater. Teneinde begrip te kweken voor de wijze waarop schaalregels worden vastgesteld en gehanteerd, zullen de regels worden afgeleid waaraan een modelspoorweg moet voldoen opdat uit de waarnemingen conclusies kunnen worden getrokken die voor de praktijk (= ware schaal situatie = prototype) van belang kunnen zijn.

Vervolgens zullen de schaalregels worden bepaald die een rol spelen bij de bestudering van fysische verschijnselen in rechthoekige beluchtingstanks en oxydatiesloten.

### 3.1. Modelspoorweg

#### 3.1.1. Probleemstelling

Veronderstel dat twee cirkelvormige spoorbanen van verschillende grootte moeten worden aangelegd. Gegeven is dat de banen elkaar op twee plaatsen gelijkvloers kruisen. Op de banen zullen continue treinen gaan rijden met verschillende snelheden en lengten (zie afb. 2). Als eis wordt gesteld dat geen automatische baanbeveiliging behoeft te worden aangebracht. Daarnaast geldt de eis dat slechts 1 maal per  $x$  jaar ( $x$  = zeer groot) door de wagenbestuurders een botsing behoeft te worden voorkomen. De vraag nu luidt: welke is de botsingsfrequentie die in deze fictieve situatie zal optreden?

#### 3.1.2. Oplossing

Het behoeft geen betoog dat in dit eenvoudige geval de vraag ook langs rekenkundige weg kan worden beantwoord. Besloten wordt echter een model te bouwen om tot

een oplossing van het probleem te geraken. De voordelen verbonden aan het onderzoeken in een model op kleine schaal zijn evident:

- een groot aantal situaties kunnen binnen korte tijd worden onderzocht;
- de kosten zijn relatief gering;
- mensenlevens zullen er niet mee zijn gemoeid.

3.1.3. Schaalregels

Met de schaal wordt op de gebruikelijke wijze het getal aangeduid waarmee de waarde van een parameter van het model moet worden vermenigvuldigd om de waarde in de praktijk te vinden.

In symbolen:

$$X_p = \lambda_x \cdot X_m$$

$X_p$  = de parameter in de praktijk (prototype);

$X_m$  = de parameter in het model;

$\lambda_x$  = de schaal van de parameter X.

Aan de hand van afb. 2 valt af te leiden dat bij het geschetste probleem de volgende parameters een rol spelen:

- $v_1$  = de snelheid van trein 1 (m/s);
- $v_2$  = de snelheid van trein 2 (m/s);
- $\phi_1$  = de diameter van baan 1 (m);
- $\phi_2$  = de diameter van baan 2 (m);
- $l_1$  = de lengte van trein 1 (m);
- $l_2$  = de lengte van trein 2 (m).

Daarnaast speelt de tijd een rol. Deze is echter een afgeleide parameter, immers de afgelegde weg is gelijk aan de snelheid maal de tijd ( $S = v \cdot t$ ).

Worst met S de weg aangeduid die door trein 1 wordt afgelegd gedurende een tijdspanne t, dan geldt:

$$S_{1p} = v_{1p} \cdot t_p, \text{ maar ook: } S_{1m} = v_{1m} \cdot t_m \quad (1)$$

$$\text{en } S_{2p} = v_{2p} \cdot t_p \text{ en: } S_{2m} = v_{2m} \cdot t_m \quad (2)$$

Stel nu:

$$\frac{\phi_{1p}}{\phi_{1m}} = \frac{\phi_{2p}}{\phi_{2m}} = \frac{l_{1p}}{l_{1m}} = \frac{l_{2p}}{l_{2m}} = \frac{S_{1p}}{S_{1m}} = \frac{S_{2p}}{S_{2m}} = \lambda \quad (3)$$

$\lambda$  is per definitie de lengteschaal.

Uit (1) en (3) volgt:

$$S_{1p} = \lambda \cdot S_{1m} = v_{1p} \cdot t_p = \lambda_v \cdot v_{1m} \cdot \lambda_t \cdot t_m$$

Maar ook:

$$S_{1p} = \lambda \cdot S_{1m} = \lambda \cdot v_{1m} \cdot t_m$$

of:

$$\lambda = \lambda_v \cdot \lambda_t \quad (4)$$

Als  $\lambda_t$  wordt gekozen, dan staat daarmee  $\lambda_v$  vast.

Het ligt in dit geval voor de hand  $\lambda_v$  klein te kiezen, waardoor  $\lambda_t$  naar verhouding groot wordt.

Dit heeft tot gevolg dat binnen een relatief

korte tijdspanne in het model 'resultaten' (botsingen) zouden kunnen worden geboekt. Stel bijv.  $\lambda = 100$  en  $\lambda_v = 1$ , dan betekent dit dat 100 jaren worden samengekrompen tot nog slechts 1 jaar ( $\lambda_t = 100$ ). (In principe is het mogelijk  $\lambda_v < 1$  te kiezen, d.w.z. de trein rijdt in het model harder dan in de werkelijkheid!)

Het zal duidelijk zijn dat de relatie (4) ook geldt voor circuit 2.

Met inachtneming van de regels (3) en (4) kan nu het modelonderzoek worden bedreven. De resultaten zijn rechtstreeks te vertalen naar de praktijkomstandigheden.

3.1.4. Meerdere parameters spelen een rol

Bij het voorgaande werd er van uitgegaan dat de spoorbanen in het horizontale vlak zijn gelegen en de treinen zich éénparig met constante snelheden voortbewegen. Een wezenlijk meer gecompliceerde situatie doet zich voor zodra bijv. één van de treinen een terreinoneffenheid moet overwinnen.

Versnelling en vertraging gaan dan een rol spelen.

Als van belang zijnde parameter zal de versnelling van de zwaartekracht in de beschouwing moeten worden betrokken. Dit geldt vervolgens ook voor het vermogen en het gewicht van de trein en de terreinhellingen die moeten worden overwonnen. Aan de lijst met van belang zijnde parameters moeten daarom de volgende worden toegevoegd:

$P_1, P_2$  = vermogen van trein 1, resp. 2 (W);

$G_1, G_2$  = gewicht van trein 1, resp. 2 (N);

$\alpha$  = de terreinhelling (O);

$g$  = de versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>).

Tussen model en prototype treedt gelijkvormigheid op zodra bepaalde kentallen (verhoudingsgetallen) in het model en het prototype dezelfde waarde hebben (het bewijs wordt hier niet geleverd, zie [1]. Een serie van dergelijke kentallen is reeds weergegeven door de vergelijking (3). Kenmerkend voor deze kentallen is dat ze dimensieloos zijn. Met behulp van de dimensie-analyse kunnen de relevante kentallen worden bepaald.

In het onderhavige voorbeeld worden de volgende kentallen gevonden:

$$\frac{P_1}{v_1}, \frac{P_1}{G_1 \cdot (g \cdot \phi_1)^{1/2}}, \frac{G_1 \phi_1}{G_2 \phi_2}, \frac{v_1}{v_2}, \alpha, \frac{v_1}{(g \cdot \phi_1)^{1/2}}, \frac{l_1}{l_2}, \frac{\phi_1}{\phi_2} \quad (5)$$

Het aantal kentallen is per definitie 3 minder dan het aantal parameters. De kentallen hebben een fysische betekenis. Zonder hierop in detail in te gaan,

is het misschien van nut het in (5) vermelde kental  $v_1/(g \cdot \phi_1)^{1/2}$  nader te beschouwen.

Uit de mechanica is bekend dat bij een vrije val geldt:

$$S = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \text{ en } v = g \cdot t \quad (6)$$

S = afgelegde weg (m);

t = tijd (s);

g = de versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>);

v = de snelheid op tijdstip t (m/s).

Uit (6) is af te leiden:

$$v = (2 \cdot g \cdot S)^{1/2} \quad (7)$$

De analogie van (7) met  $v_1/(g \cdot \phi_1)^{1/2}$  is duidelijk.  $v_1/(g \cdot \phi_1)^{1/2}$  heeft te maken met het 'vallen' en 'stijgen' van de trein.

Met behulp van de vergelijking (5) kunnen de volgende gelijkheden worden afgeleid:

$$\frac{P_{p1}}{P_{p2}} = \frac{P_{m1}}{P_{m2}}, \frac{P_{p1}}{G_{p1} \cdot (g \cdot \phi_{p1})^{1/2}} = \frac{P_{m1}}{G_{m1} \cdot (g \cdot \phi_{m1})^{1/2}} \text{ enz.} \quad (8)$$

Wanneer wederom wordt gesteld:

$$\phi_{1p} = \lambda \cdot \phi_{1m} \quad (9)$$

kan uit (8) worden afgeleid:

$$\phi_{2p} = \lambda \cdot \phi_{2m} \quad (10)$$

$$v_{1p} = \sqrt{\lambda} \cdot v_{1m} \quad (11)$$

$$v_{2p} = \sqrt{\lambda} \cdot v_{2m} \quad (11)$$

$$\alpha_p = \alpha_m$$

$$l_{1p} = \lambda \cdot l_{1m}$$

$$l_{2p} = \lambda \cdot l_{2m}$$

Stel verder:

$$G_{1p} = \lambda^3 \cdot G_{1m} \text{ en dus ook } G_{2p} = \lambda^3 \cdot G_{2m}$$

hetgeen een redelijke veronderstelling is.

(Wanneer de treinstellen in model en prototype van het zelfde materiaal zijn gemaakt, zullen immers de gewichten recht evenredig zijn met de volumina. De schaal van het volume is gelijk aan de lengteschaal ( $\lambda$ ) tot de derde macht, hetgeen rechtstreeks uit de gedane aanname met betrekking tot de lengteschaal (9) volgt.)

Nu wordt:

$$P_{1p} = \lambda^{7/2} \cdot P_{1m} \quad (12)$$

en:

$$P_{2p} = \lambda^{7/2} \cdot P_{2m} \quad (13)$$

Uit (10) en (11) is op te maken dat de keuze van  $\lambda_v$  in tegenstelling met het eerste voorbeeld niet meer vrij is.  $\lambda_v$  is immers nu gelijk aan  $\sqrt{\lambda}$ . Wordt deze waarde ingevuld in (4), dan volgt:  $\lambda_t = \sqrt{\lambda}$ .

Wordt  $\lambda = 100$  gesteld, dan is:

$$\lambda_v = 10 \text{ en}$$

$$\lambda_t = 10$$

100 jaren rijden van de treinen wordt nu ineengekrompen tot 'slechts' 10 jaren.

De tijdschaal ( $\lambda_t$ ) kan nu alleen kleiner worden door  $\lambda$  groter te kiezen.

Wanneer bijv. als eis wordt gesteld dat de

proef ook nu slechts een duur van 1 jaar mag hebben en de te beschouwen periode wederom 100 jaar moet zijn, dan kan dit alleen wanneer de lengteschaal op 10.000 wordt gesteld. Dit is vermoedelijk niet haalbaar. Een spoorbaan met een breedte van 1435 mm heeft dan nog slechts een breedte van 0,1435 mm! Hierin schuilt een van de redenen waarom een modelonderzoek ook zijn beperkingen kent. Uit het bovenstaande volgt dat, wanneer het effect van de hellingen in de baan in de beschouwing moet worden betrokken, het vermogen, het gewicht en de snelheid van de treinstellen aan strikte schaalregels onderworpen zijn.

Aanvullend moet hier worden opgemerkt dat in bepaalde gevallen aan de schaalregels m.b.t. het vermogen, de snelheid en het gewicht niet strikt hoeft te worden voldaan.

Stel dat het nemen van de hindernis door de ene trein slechts resulteert in een langere reistijd dan wanneer wordt gereden over een volkomen horizontale baan en bijv. belangrijke zaken zoals het energieverbruik geen rol spelen in de studie. In dat geval is het mogelijk in het model de lengte van de baan zodanig te vergroten, dat de rijtijd dezelfde is. Er is dan sprake van een zgn. 'vertrokken model'. De lengteschaal voor  $\phi_1$  en  $\phi_2$  is als het ware uiteengerekt.

3.1.5. Ook wrijvingskrachten gaan een rol spelen

In de bovenstaande beschouwing zijn alleen traagheidskrachten geïntroduceerd. Het is niet onwaarschijnlijk dat het te bestuderen verschijnsel wordt beïnvloed door wrijvingskrachten (= visceuze krachten).

Indien alleen de luchtweerstand wordt beschouwd, moeten de volgende twee parameters worden toegevoegd aan de 12 reeds bekende:

$\nu_l$  = kinematische viscositeit van lucht (m<sup>2</sup>/s);

$\rho_l$  = dichtheid van lucht (kg/m<sup>3</sup>).

Dit houdt in dat met twee extra kentallen moet worden gerekend.

$$\frac{G_1}{\rho_l \cdot g \cdot \phi_1^3} \text{ en } \frac{\nu_l \cdot \phi_1}{\nu_l}$$

Uit het eerste kental volgt de schaalregel voor het gewicht van de trein,  $G_{1p} = \lambda \cdot {}^3G_{1m}$ , immers  $\rho_{1p} = \rho_{1m}$ . Dit is geen nieuwe regel maar slechts een bewijs dat de eerder gedane aanname gerechtvaardigd was.

Uit het tweede kental volgt, onder de aanname dat de viscositeit van de lucht in het model en het prototype dezelfde is, een schaalregel voor de snelheid.

$$v_{1p} = \lambda^{-1} \cdot v_{1m} \tag{14}$$

Deze regel is in tegenspraak met vergelijking (10):

$$v_{1p} = \sqrt{\lambda} \cdot v_{1m} \tag{15}$$

Hoe kan nu een oplossing worden gevonden voor dit probleem?

Eén mogelijke oplossing hiervan is terzijde reeds besproken. Het model kan worden 'vertrokken'. In dat geval hoeft aan de voorwaarde (15) niet te worden voldaan en rest slechts voorwaarde (14). Stel wéér  $\lambda = 100$  dan volgt uit (14) dat de tijdsduur van de proef 0,01 jaar = 3,65 dagen wordt. Nu wordt  $\lambda_v = 0,01$ , hetgeen inhoudt dat de snelheid van de trein in het model 8.000 km/h moet bedragen, wanneer  $v_p = 80$  km/h! Een andere oplossing zou kunnen worden gevonden door de viscositeit van de lucht in het model te wijzigen. Uit het kental

$$\frac{\nu_l \phi_1}{\nu_l} \text{ kan met behulp van de regel } v_{1p} = \sqrt{\lambda} \cdot v_{1m} \text{ (15) worden afgeleid dat}$$

$$\frac{\nu_{1p} \cdot \phi_{1p}}{v_{1p}} = \frac{\lambda_v \cdot \nu_{1m} \cdot \lambda \phi_{1m}}{\lambda_v \cdot v_{1m}} = \frac{\nu_{1m} \cdot \phi_{1m}}{v_{1m}}$$

of:

$$\frac{\lambda_v \cdot \lambda}{\lambda_{v_l}} = \frac{\sqrt{\lambda} \cdot \lambda}{\lambda_{v_l}} = 1$$

$$\lambda_{v_l} = \lambda^{3/2}$$

Dit houdt in dat in het tot nu toe gehanteerde voorbeeld de kinematische viscositeit van de lucht 100<sup>3/2</sup> = 1000 maal kleiner moet worden gemaakt! Bij handhaving van dezelfde dichtheid van de lucht in het model, hetgeen in dit geval noodzakelijk is in verband met de voorwaarde dat:

$$\frac{G_{1p}}{\rho_{1p} \cdot g \cdot \phi_{1p}^3} = \frac{G_{1m}}{\rho_{1m} \cdot g \cdot \phi_{1m}^3}$$

TABEL I.

	$\lambda$	$\lambda_v$	$\lambda_t^1$	$\lambda_p$	$\lambda_G$	$\lambda_{v_l}$	$\lambda_{\rho_l}$
zonder helling	100	$\lambda_v$	$\frac{100}{\lambda_v}$	nvt	nvt	nvt	nvt
geen weerstanden in rekening gebracht	100	$\frac{100}{\lambda_t}$	$\lambda_t$	nvt	nvt	nvt	nvt
met helling, idem	100	10	10	10.000.000	1.000.000	nvt	nvt
met helling (viscositeit op schaal)	100	10	10	10.000.000	1.000.000	1.000	1
met helling <sup>2</sup> m.b.v. vertrokken model, viscositeit niet op schaal	100	0,01	10.000	10.000.000	1.000.000	1	1

In alle situaties  $\lambda_g = 1$ .

<sup>1</sup>  $\lambda_t$  = een afgeleide schaal.

<sup>2</sup> Weerstand echter toch op schaal doordat als gevolg van de vertrekking de keuze van  $\lambda_v$  weer vrij is.

behoort een vermindering van de kinematische viscositeit met een factor 1000 tot de onmogelijkheden. Slechts bij kleine waarden van de lengteschaal ( $\lambda < 4$ ) behoort deze oplossing tot de praktisch uitvoerbare mogelijkheden.

In tabel I zijn de diverse beschouwde situaties samengevat.

In het bovenstaande voorbeeld is er van uit gegaan dat uit het modelonderzoek exacte waarden moeten kunnen worden afgeleid met betrekking tot de botsingskans. Bij vele onderzoeken is het echter niet noodzakelijk een kwantitatief inzicht te verkrijgen. Dikwijls is het voldoende te weten welke oplossing de 'beste' is. In dergelijke gevallen hoeft meestal niet aan alle schaalregels worden voldaan.

In het voorgaande is aangetoond dat de keuze van de schalen van de diverse parameters zorgvuldig moet gebeuren. Van zeer groot belang hierbij is het opstellen van een hypothese met betrekking tot het te bestuderen verschijnsel.

In het voorgaande is aangetoond dat de wanneer niet aan alle schaalregels kan worden voldaan (hetgeen vrijwel altijd het geval is), de volgende maatregelen kunnen worden getroffen, opdat toch m.b.v. modellen voorspellingen van het gedrag van het systeem in de praktijk kunnen worden gedaan:

- het 'vertrekken' van schalen;
- een schaalonderzoek (meerdere modellen op bijv. verschillende lengteschaal);
- m.b.v. een vooronderzoek nagaan of alle aanvankelijk beschouwde grootheden het te bestuderen verschijnsel wél of niet beïnvloeden. Is dat niet het geval dan hoeft bij het kiezen van schalen met deze parameters niet gerekend te worden;
- of combinaties van de opgesomde mogelijk te treffen maatregelen.

In de volgende paragraaf zal worden uiteengezet hoe met behulp van de dimensie-analyse en de aanwezige kennis de theoretische schaalregels kunnen worden afgeleid die moeten worden gehanteerd bij de bestudering van met name het zuurstof-inbrengvermogen van puntbeluchters. Ruime aandacht zal worden geschonken aan de relevantie van de diverse beschouwde parameters.

In paragraaf 5 zal worden aangegeven hoe met behulp van een schaalonderzoek de praktische schaalregel voor het zuurstof-inbrengvermogen (OC) kan worden bepaald. In paragraaf 6 worden andere toepassingen van modelonderzoekingen beschreven. Bijzondere aandacht zal worden geschonken aan hoe de resultaten van onderzoekingen naar het zuurstofinbrengvermogen kunnen worden verwerkt tot ontwerpgrondslagen voor omloopbassins.

4. Schaalregels voor beluchtingsbassins

De OC (= oxygenation capacity = zuurstofinbrengvermogen) van puntbeluchters is mede bepalend voor de afmetingen die beluchtingsbassins moeten krijgen.

Een ander aspect is het rendement ( $\eta$ ) van de beluchter. Met rendement wordt bedoeld de hoeveelheid O<sub>2</sub> die per tijdseenheid en eenheid van vermogen wordt ingebracht (zie ook par. 5.3.). Zowel de OC als  $\eta$  zijn afhankelijk van het type beluchter. Daarnaast is bekend dat deze grootheden worden beïnvloed door de geometrie van de bassins, de atmosferische omstandigheden, het bassintype (oxydatiesloot of rechthoekige bak) etc.

Het aantal factoren dat van invloed is, is derhalve groot. Om toch efficiënt en op korte termijn inzicht te krijgen in de mate, waarin de OC en  $\eta$  wordt beïnvloed, kan een modelonderzoek worden uitgevoerd. Daartoe dienen allereerst schaalregels te worden afgeleid.

Om met behulp van de dimensie-analyse schaalregels te kunnen afleiden, moet allereerst worden bepaald welke grootheden van invloed kunnen zijn op het te bestuderen verschijnsel. Voor de OC zouden dit de volgende parameters kunnen zijn;

Fysische grootheden

- $\nu$  = kinematische viscositeit van water (m<sup>3</sup>/s);
- $\sigma$  = oppervlaktespanning van water (kg/s<sup>2</sup>=N/m);
- $\rho_l$  = dichtheid van lucht (kg/m<sup>3</sup>);
- $\rho_w$  = dichtheid van water (kg/m<sup>3</sup>);
- $c_s$  = verzadigingsconcentratie van zuurstof in water (kg/m<sup>3</sup>);
- $E$  = compressiemodulus van water (kg/(s<sup>2</sup>. m)) = (N/m<sup>2</sup>);

- $k_1 A$  = stofoverdracht coëfficiënt (m<sup>3</sup>/s);
- $D$  = diffusiecoëfficiënt (m<sup>2</sup>/s).

Geometrische grootheden

- $d$  = diepte van de tank of omloopbassin (m);
- $b$  = breedte van de tank of omloopbassin (m);
- $l$  = lengte van de tank of omloopbassin (m);
- $\emptyset$  = diameter van de beluchter (m);
- $dd$  = dompeldiepte van de beluchter (m).

Dynamische grootheden

- $g$  = de versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>);
- $P$  = het vermogen van het aggregaat (kgm<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>) = (W);
- $n$  = het toerental van de beluchter (1/s);
- $v$  = de stroomsnelheid van het water (m/s).

Aangenomen wordt dat de proeven worden uitgevoerd bij de standaard atmosferische druk en temperatuur.

Met behulp van de dimensie-analyse kan de volgende relatie worden opgesteld:

$$\frac{k_1 \cdot A}{n \cdot \emptyset^3} = f \left\{ \frac{d}{\emptyset}, \frac{b}{\emptyset}, \frac{l}{\emptyset}, \frac{\emptyset \cdot n^2}{g}, \frac{\emptyset^2 \cdot n}{\nu}, \frac{\rho_w \nu}{\rho_l n \cdot \emptyset}, \frac{\rho_w dd}{c_s \emptyset}, \frac{E}{\rho_w \cdot n^2 \cdot \emptyset^2}, \frac{P}{\rho_w \cdot n^3 \cdot \emptyset^5}, \frac{\sigma}{\rho_w \cdot n^2 \cdot \emptyset^3}, \frac{D^2}{\emptyset^3 \cdot g} \right\} \quad (16)$$

De vraag kan worden gesteld of alle kentallen van invloed zijn op het te bestuderen verschijnsel. De navolgende kentallen kunnen buiten beschouwing worden gelaten om de daarachter vermelde reden:

$$\frac{E}{\rho_w \cdot n^2 \cdot \emptyset^2}$$

is een vorm van het getal van Mach en speelt alleen een rol bij de bestudering van snel verlopende verschijnselen (waterslag!);

$$\frac{\sigma}{\rho_w \cdot n^2 \cdot \emptyset^3}$$

is een vorm van het getal van Weber. De oppervlaktespanning speelt een rol bij de bestudering van golfverschijnselen. Het getal van Weber behoeft daarom niet in beschouwing te worden genomen.

$$\frac{\emptyset^2 \cdot n}{\nu}$$

is het getal van Reynolds. Zodra het te bestuderen verschijnsel zich voordoet in turbulente stroming speelt ook het getal van Reynolds geen rol van betekenis.

$$\frac{D^2}{\emptyset^2 \cdot g}$$

is een vorm van het getal van Schmidt. De stofoverdracht coëfficiënt  $k_1 \cdot A$  is onder meer een functie van de diffusiecoëfficiënt  $D$ . De diffusiecoëfficiënt is daarmee geen onafhankelijke grootheid meer. Het kental van Schmidt mag om deze redenen niet in de beschouwing worden betrokken.

$$\frac{n \cdot \emptyset}{v}$$

is een vorm van het getal van Froude. Dit kental is van toepassing zodra de stromingstoestand in de beluchtingszone moet worden beschreven. Bij de bestudering van het verschijnsel van de zuurstofoverdracht speelt dit getal van Froude geen rol. Er mag immers worden uitgegaan van een geheel gemengde watermassa (total mix).

Als alle afmetingen conform blijven (geen vertrokken model) dan geldt verder dat

$$\frac{P}{\rho_w \cdot n^3 \cdot \emptyset^5} \text{ een functie van alleen } \frac{\emptyset \cdot n^2}{g} \text{ is.} \quad (17)$$

(De stroming is turbulent zowel in model als in de werkelijkheid. De weerstand die de beluchter tijdens het draaien ondervindt, is dan nog slechts afhankelijk van het toerental en de diameter).

Voor het kental

$$\frac{k_1 \cdot A}{n \cdot \emptyset^3} \text{ kan worden geschreven } \frac{OC}{c_s \cdot n \cdot \emptyset^3}$$

immers  $OC = c_s \cdot k_1 \cdot A$

Met inachtneming van het bovenstaande wordt de relatie (16):

$$\frac{OC}{c_s \cdot n \cdot \emptyset^3} = f \left\{ \frac{d}{\emptyset}, \frac{b}{\emptyset}, \frac{l}{\emptyset}, \frac{dd}{\emptyset}, \frac{\rho_w}{\rho_l}, \frac{\rho_w}{c_s}, \frac{P}{\rho_w \cdot n^3 \cdot \emptyset^5} \right\} \quad (18)$$

Nu is:

$$\left(\frac{\rho_w}{\rho_l}\right)_{\text{model}} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_l}\right)_{\text{prototype}}$$

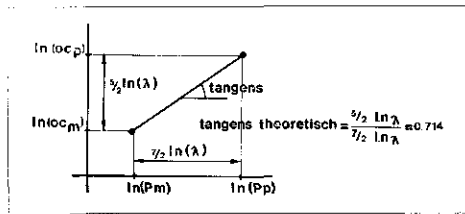
$$\left(\frac{\rho_w}{c_s}\right)_{\text{model}} = \left(\frac{\rho_w}{c_s}\right)_{\text{prototype}}$$

Maar ook:

$$\left(\frac{l}{\emptyset}, \frac{b}{\emptyset}, \frac{d}{\emptyset}, \frac{dd}{\emptyset}\right)_{\text{model}} =$$

$$\left(\frac{l}{\emptyset}, \frac{b}{\emptyset}, \frac{d}{\emptyset}, \frac{dd}{\emptyset}\right)_{\text{prototype}}$$

Stel nu  $\emptyset_p = \lambda \cdot \emptyset_m$  (lengteschaal) dan kan m.b.v. (18) een schaalregel voor de OC worden bepaald.



Afb. 3.

Hierbij moet gebruik worden gemaakt van de relatie (17), waaruit volgt:

$$\left(\frac{\phi \cdot n^2}{g}\right)_m \text{ moet gelijk zijn aan } \left(\frac{\phi \cdot n^2}{g}\right)_p$$

Hieruit volgt rechtstreeks:

$$n_p = \frac{n_m}{\sqrt{\lambda}} \quad (19)$$

Uit:

$$\left(\frac{OC}{c_s \cdot n \cdot \phi^3}\right)_p = \left(\frac{OC}{c_s \cdot n \cdot \phi^3}\right)_m$$

volgt:

$$OC_p = \lambda^{5/2} \cdot OC_m \quad (20)$$

Het is noodzakelijk de juistheid van deze langs theoretische weg verkregen schaalregel voor OC te verifiëren door het uitvoeren van zgn. schaalproeven.

Uit (18) en de keuze van de lengteschaal ( $\lambda$ ) volgt:

$$\frac{OC}{c_s \cdot n \cdot \phi^3} = F \left(\frac{P}{\rho_w \cdot n^3 \cdot \phi^5}\right) \quad (21)$$

De juistheid van (20) kan worden getest door  $\lambda$  te variëren tezamen met het toerental  $n$ , waardoor het gedrag van de relatie (21) kan worden onderzocht.

Zklokarnik [2] komt op grond van een dimensie-analyse tot de conclusie dat de volgende schaalregel moet gelden:

$$OC_p = \lambda^3 \cdot OC_m \quad (22)$$

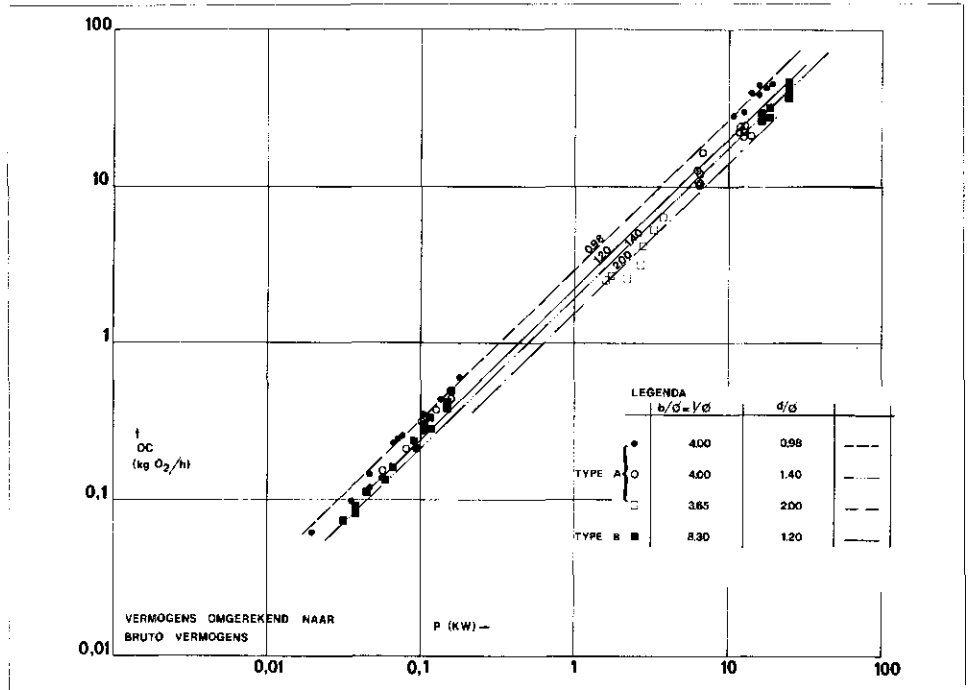
De door hem gevonden schaalregel wijkt af van de hierboven afgeleide schaalregel. Dit is een gevolg van het feit dat door Zklokarnik de dimensie-analyse niet geheel juist is toegepast. Voordat bepaalde kentallen, op overigens goede gronden, als niet van toepassing werden verklaard, heeft Zklokarnik andere wel van belang zijnde kentallen met de belangrijke kentallen vermenigvuldigd. Dit druist in tegen de regels van de dimensie-analyse.

In de volgende paragraaf worden de resultaten van enkele schaalproeven besproken.

### 5. Resultaten van modelonderzoekingen

#### 5.1. De schaalregels voor OC in vierkante bakken

Uit (17) is af te leiden:



Afb. 4.

$$P_p = \lambda^{7/2} \cdot P_m \text{ of } \ln(P_p) = 7/2 \ln(\lambda) + \ln(P_m)$$

Uit (20) volgt:

$$\ln(OC_p) = 5/2 \ln(\lambda) + \ln(OC_m)$$

Worden de resultaten van de modelmetingen en de praktijkmetingen van de OC en het vermogen op logaritmische schaal tegen elkaar uitgezet, dan maakt de lijn die de punten verbindt een hoek waarvan de tangens  $5/7 = 0,714$  moet zijn. Zie afb. 3.

In afb. 4 zijn de resultaten van metingen uitgezet, waarvoor geldt:

$$\frac{b}{\phi} = \frac{1}{\phi} = 4,0 \text{ en } \frac{d}{\phi} = 0,98$$

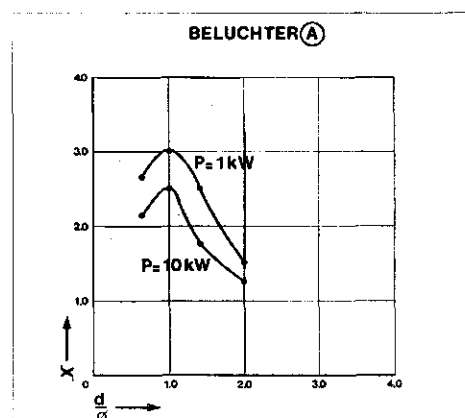
terwijl  $\lambda$  en het toerental werden gevarieerd (zie vergelijking (21)).

Een analyse van de metingen leert dat:

$$0,953 < \beta < 0,993 \text{ (} p = 95 \% \text{)}$$

waarbij  $\beta$  de werkelijke waarde van de tangens voorstelt. De gevallen gelden voor

Afb. 5.



een betrouwbaarheidsinterval,  $p$ , van 95%.

De helling van de lijnen is vastgesteld met behulp van een regressieanalyse.

Bij een tweede serie metingen, waarbij gold:

$$\frac{b}{\phi} = \frac{1}{\phi} = 8,3 \text{ en } \frac{d}{\phi} = 1,20$$

volgde:

$$0,899 < \beta < 0,936 \text{ (} p = 95 \% \text{)}$$

De gevonden waarden van  $\beta$  wijken daarmee significant af van de theoretische gevonden waarde van  $0,714 = 5/7$ . Ook de door Zklokarnik voorgestelde waarde van  $\beta = 6/7 = 0,857$  wijkt significant af van de gevonden waarden.

Bij het op schaal weergeven van de OC treden, zoals hiermede is aangetoond, schaaffecten op. Dit is een extra complicatie bij het uitvoeren van de onderzoeken, waarbij het zuurstofinbrengvermogen een rol speelt. Immers alvorens conclusies kunnen worden getrokken, zullen eerst schaalproeven moeten worden verricht teneinde de schaalregels te kunnen vaststellen. Een dergelijke complicatie is echter niets bijzonders en doet zich bij vele andere fysische modelonderzoeken voor.

#### 5.2. Invloed van de bakafmetingen op het rendement van puntbeluchters

In afb. 5 zijn resultaten van zowel model- als praktijkmetingen weergegeven. Voor deze metingen gold dat:

$$\frac{b}{\phi} = \frac{1}{\phi} = 4,0$$

terwijl  $d/\phi$  evenals uiteraard de lengte-

schaal werd gevarieerd. Bij alle proeven werd hetzelfde beluchtertype gebruikt. Op deze wijze kan de invloed van de diepte van de bak op de OC worden onderzocht. Uit afb. 5 valt af te leiden dat er een zekere diepte-diameter beluchterverhouding bestaat, waarbij de OC maximaal is. Uit afb. 4 is de volgende betrekking af te lezen

$$OC = X \cdot PY \quad (23)$$

$$\text{Voor } \frac{b}{\emptyset} = \frac{1}{\emptyset} = 4,0 \text{ volgt dat } Y = 0,974.$$

De waarde van Y is, zo leert een analyse van de meetresultaten, ongevoelig voor variaties van  $d/\emptyset$ . Hieruit volgt dat  $X = f(d/\emptyset)$ .

In afb. 5 is X uitgezet als functie van  $d/\emptyset$ . Blijkens de afbeelding treedt de optimale OC op zodra de bakdiepte-diameter verhouding ongeveer gelijk aan 1 is.

De in paragraaf 5.1 beschreven proeven wijzen erop dat Y in hoofdzaak een functie van de verhouding  $b/\emptyset = 1/\emptyset$  is. Samengevat kan nu worden gesteld:

$$OC = f\left(\frac{d}{\emptyset}\right) \cdot P \cdot f\left(\frac{b}{\emptyset} = \frac{1}{\emptyset}\right)$$

### 5.3. Rendement

Om de werking van diverse typen beluchters, die zijn opgesteld in vierkante bakken, onderling te kunnen vergelijken wordt dikwijls gebruik gemaakt van het begrip zuurstofinbrengrendement. Dit rendement,  $\eta$ , is als volgt gedefinieerd:

$$\eta = \frac{OC}{P} \quad (24)$$

De vergelijking (23) en (24) tesamen leveren:

$$\eta = X \cdot P^{(Y-1)} \quad (25)$$

Daar  $Y \approx 1$  is, volgt:

$$\eta \approx X = f\left(\frac{d}{\emptyset}\right)$$

Het rendement is daarmee binnen het beschouwde toepassingsgebied in hoofdzaak afhankelijk van de gekozen diepte-diameter verhouding en binnen zekere grenzen slechts weinig van de breedte-lengte-diameter-verhouding.

Hier moet worden aangetekend dat het getal van Froude  $= \emptyset \cdot n^2/g$  bij de hierboven beschreven proeven slechts weinig werd gevarieerd. Het is bekend dat  $\eta$  afhankelijk is van het toerental en dus van  $\emptyset \cdot n^2/g$ . Het toerental werd echter zodanig gekozen dat op grond van door anderen verrichte onderzoekingen [3] de invloed op het rendement gering was.

Ook wordt het rendement in zekere zin beïnvloed door de dompediepte van de

beluchter. De dompediepte werd bij de proeven constant gehouden.

Naast van  $d/\emptyset$  is  $\eta$  uiteraard afhankelijk van het type beluchter.

In afb. 4 zijn ter vergelijking een aantal meetpunten opgenomen die betrekking hebben op een ander type beluchter.

De ligging van de punten doet een naar verhouding lager rendement vermoeden.

Daar het rendement van het samenstel puntbeluchter en vierkante bak en omloopbassin een belangrijke rol speelt bij een economische vergelijking met andere systemen, leek het gerechtvaardigd te onderzoeken welke invloed de keuze van het beluchtertype heeft op deze vergelijking.

### 5.4. Onderlinge vergelijking rendementen beluchters

In dit geval gaat het om een vergelijkend onderzoek. Daarom kan worden volstaan met het uitvoeren van slechts een modelonderzoek. Bij dit onderzoek werden alleen het toerental en de dompediepte gevarieerd. De diameters en de toerentalen van de verschillende beluchters werden ontleend aan door de beluchterfabrikanten verstrekte gegevens. Hierbij gold als criterium dat de hoeveelheid ingebrachte zuurstof voor alle typen beluchters dezelfde was. Een viertal in Nederland gangbare beluchters werden onderzocht. De resultaten zijn samengevat in tabel II. De resultaten zijn gegeven in procenten van beluchter 'A'. Beluchter 'B' en 'C' waren significant

TABEL II - Rendementen van puntbeluchters.

A	100 %
B	85 %
C	86 %
D	106 %

slechter dan de beluchter 'A' en 'D'.

Beluchter 'D' bleek niet significant beter te zijn dan beluchter 'A'.

Het voert hier te ver in te gaan op de consequenties die deze resultaten kunnen hebben in de praktijk. Zowel ontwerpers als gebruikers van puntbeluchtingssystemen mogen competent geacht worden het vraagstuk van de beluchterkeuze te kunnen oplossen.

## 6. Andere toepassingen

### 6.1. Temperatuurcorrectie voor $k_1A$

Over het onderzoek, dat heeft geleid tot het in gebruik nemen van een andere temperatuurcorrectie voor de  $k_1A$  van puntbeluchters, is reeds eerder in dit tijdschrift uitvoerig gepubliceerd door Bakker en Van Sluis [4]. Het onderzoek wordt hier echter vermeld omdat het een goed voorbeeld kan worden genoemd van wat met een betrekkelijk eenvoudig modelonderzoek kan worden bereikt.

### 6.2. Opheffen van cadans in vierkante bakken

Het onderzoek naar de hydraulische gedragingen van vierkante bakken en omloopbassins is tot nu niet ter sprake gebracht. Het mag bekend worden verondersteld dat het hydraulisch gedrag van beluchtingsruimtes met vrucht kan worden onderzocht met behulp van modellen.

In dit verband kan worden verwezen naar het door de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging van Afvalwater (STORA) uitgebrachte rapport dat als titel draagt: Oriënterend onderzoek naar de optimalisering van puntbeluchtersystemen. In dit rapport wordt aandacht besteed aan het dynamisch gedrag van vierkante bakken, in het bijzonder aan de wijzen waarop het optreden van cadans kan worden bestreden.

### 6.3. De OC van puntbeluchters opgesteld in omloopbassins

In de loop van de achterliggende jaren zijn in vele vierkante bakken en omloopbassins praktijkmetingen met betrekking tot de OC verricht. Bij een onderlinge vergelijking van de meetresultaten bleek dat een identieke beluchter met nagenoeg gelijk toerental in een vierkante bak een lager rendement te zien gaf dan in een omloopbassin. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat het hogere rendement in het omloopbassin een gevolg is van de aanwezigheid van een, in verhouding tot een vierkante bak, groot oppervlak dat met de buitenlucht in contact is. Wie wel eens aan de oever van een carrousel heeft gestaan, zal hebben bemerkt dat het water als gevolg van de werking van de puntbeluchters in een heftige turbulente beweging verkeert. Het grensvlak zal daar dus vaker dan bij een rustige stroming worden vernieuwd. Op grond van de bovenstaande overweging kan de volgende hypothese worden opgesteld:

$$OC_{\text{tot}} = m \cdot OC_{\text{bel}} + K \quad (25)$$

$\{F_{\text{tot}} - m \cdot F_{\text{kop}}\}$

K = een beluchtingsconstante

( $\text{kgO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ );

m = het aantal draaiende beluchters (O);

$F_{\text{tot}}$  = het totale oppervlak van het omloopbassin ( $\text{m}^2$ );

$F_{\text{kop}}$  = het oppervlak van de kop ( $\text{m}^2$ );

$OC_{\text{bel}}$  = het zuurstofinbrengvermogen van de beluchter in een vierkante bak met dezelfde afmetingen als de 'kop' van de oxydatiesloot ( $\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{h}$ );

$OC_{\text{tot}}$  = totaal gemeten OC ( $\text{kg} \cdot \text{O}_2/\text{h}$ ).

Van de turbulentie-intensiteit en dus ook K mag worden aangenomen dat deze een functie is van het specifieke vermogen ( $P/V$ ).

$$K = f\left(\frac{P}{V}\right)$$

V = het volume van de bak (m<sup>3</sup>).

Uit de model- en/of praktijkmetingen in vierkante bakken volgt de relatie [23]:

$$OC_{bel} = X \cdot P^Y$$

De waarde van de coëfficiënt K kan aan de hand van de metingen worden bepaald. Daarna kan de relatie tussen K en (P/V) met behulp van een regressie-analyse worden vastgesteld. In afb. 6 is (P/V) uitgezet als functie van K. De correlatie-coëfficiënt, r<sup>2</sup>, is 0,806 [5]. De vraag moet nu worden gesteld of r<sup>2</sup> significant afwijkt van 0. Is dit het geval dan is er een correlatie tussen K en (P/V).

Het aantal waarnemingen, n, bedraagt 39. Voor (n-2) graden van vrijheid geldt, dat de waarde van t uit de studentverdeling bij een 95 % betrouwbaarheidsinterval gelijk is aan 2,021. Dit wil zeggen dat zodra de waarde van

$$t = r \left( \frac{n-2}{1-r^2} \right)^{1/2}$$

is gelegen tussen - 2.021 en + 2.021 er geen sprake is van een correlatie. De berekende waarde van t is echter 8,28. Er is wel degelijk sprake van een correlatie. Er is dus een verband tussen K en (P/V). Bestudering van afb. 6 leert dat de bijdrage tot de OC als gevolg van zuurstofopname van het oppervlak van de kanalen, vooral bij laag belaste systemen, niet onbelangrijk is. Deze bijdrage maakt 10 à 40 % van de totale OC uit. Bij een hoog belast systeem is deze bijdrage slechts 5 à 15 %.

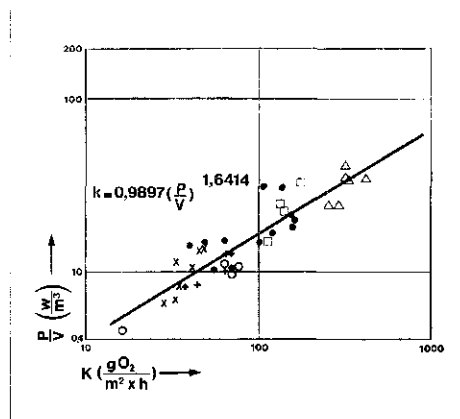
## 7. Conclusies

a. Met behulp van een modelonderzoek kan het hydraulisch gedrag van zowel een vierkante bak als van een omloopbassin worden onderzocht. Een dergelijk onderzoek maakt het mogelijk uitspraken te doen met betrekking tot het gedrag op ware grootte en over maatregelen die moeten worden getroffen om het gedrag te verbeteren.

b. Het zuurstofinbrengvermogen kan op schaal worden weergegeven. Dit vermogen volgt echter niet de langs theoretische weg afgeleide schaalregels. Deze laatste moeten experimenteel worden bepaald.

c. Een vergelijkend onderzoek naar het rendement van diverse typen puntbeluchters heeft aangetoond dat een aantal typen een, in statistisch opzicht, significant slechter rendement te zien gaven.

d. De efficiency van puntbeluchters opgesteld in omloopbassins ontworpen onder de zgn. Pasveer-condities, is belangrijk hoger dan de efficiency van beluchters



Afb. 6.

opgesteld in hoog belaste omloopbassins of vierkante bakken.

## Literatuur

1. Rouse, H., *Fluid Mechanics for hydraulic engineers*, second printing, 1958, Dover, New York.
2. Zlokarnik, M. and Mann, T., *Problems in the operation of surface aerators*, Paper presented at the mixing conference, August 18-22, 1975, Rindge, N.M., USA.
3. Robertson, W. S., *Aeration in the activated sludge process*, Paper presented at the Symposium on Aspects of Biochemical Engineering, 1969, University of Manchester.
4. Bakker, K. en Sluis, J. W. van, *De invloed van de temperatuur op de zuurstofoverdracht in schoon water bij puntbeluchting*, H<sub>2</sub>O, nr. 26, 18 december 1975.
5. Chao, L. L., *Statistics: Methods and Analyses*, International Student Edition, 1969, McGraw-Hill, New York.



## Praktische Corrosiedag 10 juni 1977

De Stichting Nederlands Corrosie Centrum (NCC) houdt met medewerking van de TH Eindhoven een Praktische Corrosiedag op 10 juni 1977 in gebouw W-hoog van de TH Eindhoven onder de titel: 'Corrosie en corrosiebestrijding bij weg- en railtransport'.

Kosten f 45,—, exclusief lunch f 35,—. Exemplaren van het eind maart verschijnende programma met inschrijvingsformulier aanvragen bij: secretariaat NCC, p/a Verfinstituut TNO, Postbus 203, 2600 AE Delft; telefoon (015) 569330. toestel 2454.

## Zesde IAWR-Arbeitstagung 6 - 8 juni in Wiesbaden

De Int. Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet IAWR houdt van 6 t/m 8 juni a.s. te Wiesbaden haar 6e Arbeitstagung. Het programma luidt als volgt:

Maandag 6 juni: opening door de Minister für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Hessen, Willi Görlach.

'Bericht zur Lage' door de Präsident der IAWR, dir. dipl.-ing. Maarten Schalekamp, Zürich.

Feestvoordracht: 'Die Wasserwirtschaft als Problem der Volkswirtschaftslehre', door prof. dr. K. H. Hansmeyer, Köln.

Dinsdag 7 juni:

'Neuester Stand der Rheinverschmutzung', door prof. dr. H. Sontheimer, Karlsruhe.

Hygienische Bedeutung der Schadstoffe im Rhein', door prof. dr. J. Borneff, Mainz.

'Möglichkeiten und Grenzen der Trinkwasseraufbereitung aus der Sicht der Erfahrung der niederländischen Wasserwerke', door ir. G. Wijnstra, Rijswijk.

'Neue technologische Entwicklungen zur Verbesserung der Rheinwasseraufbereitung', door dr. K. Haberer, Wiesbaden.

'Technologische Möglichkeiten und Grenzen der Abwasserreinigung', door prof. R. Heierli, Zürich.

'Abwasserreinigung in der chemischen Industrie am Beispiel der Hoechst AG', door dr. K. Trobisch, Frankfurt/Main.

'Möglichkeiten und Grenzen gesetzgeberischer Massnahmen zur Gewässer-sanierung', door prof. dr. J. Salzwedel, Bonn.

'Sauberer Rhein - technisch-wirtschaftliche Probleme und politische Aufgabe', door prof. dr.-ing. G. Rincke, Darmstadt.

Woensdag 8 juni is bestemd voor excursies.

Nadere inlichtingen: secretariaat IAWR, p/a Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Postbus 8169, Condensatorweg 54, Amsterdam, telefoon 020 - 820862.

## P.V. cursus pijpleidingen

Op 9, 10 en 11 mei a.s. organiseert de Stichting Postakademie Vorming Gezondheidstechniek aan de TH Delft de cursus 'Transport van vloeistoffen en gassen per pijpleiding een probleemloze zaak?'

Eén van de twaalf inleiders is ir. P. Stoter, directeur van de NV Watermij Zuid-West-Nederland, die zal spreken over het pijpleidingtransport van (drink)water. Inlichtingen bij bovengenoemde stichting, Stevinweg 1, Delft, tel. (015) 133222 tst. 5486.