

Schaalverkleining van een neutralisatiebassin; een onderzoek naar de optimale plaats van de roerder bij gegeven bassingeometrie

Samenvatting

Aan de hand van dimensie-analyse werden gelijkvormigheidscriteria afgeleid voor het mengproces in een neutralisatiebassin en in een laboratoriuminstallatie. In de laboratoriuminstallatie werd die plaats van de roerder bepaald, waar bij een gegeven toerental de kortste mengtijd werd bereikt. Enkele metingen in het neutralisatiebassin wezen uit dat de onderzoekresultaten in het schaalmodel goed overdraagbaar zijn op het neutralisatiebassin.



IR. I. G. RACZ
TH Twente, Enschede,
Onderzoekgroep
Procestechniek



G. ASMUS B.t.w..
TH Twente, Enschede,
Onderzoekgroep
Procestechniek



PROF. IR. DRS.
J. GROOT WASSINK
TH Twente, Enschede,
Onderzoekgroep
Procestechniek

1. Inleiding en probleemstelling

Bij lozing van afvalwater op een biologische reinigingsinstallatie worden aan de samenstelling van het afvalwater bepaalde eisen gesteld. In verband met het verstoren van het biologische reinigingsproces mag bijv. de pH van het afvalwater niet lager dan ca. 6 en niet hoger dan ca. 8 zijn.

Deze eis brengt met zich mee dat het afvalwater van zeer veel bedrijven (chemische fabrieken, textielindustrie, galvanische industrie enz.) geneutraliseerd dient te worden, voordat het aan een biologische reinigingsinstallatie kan worden toegevoerd. Afhankelijk van de aard van het afvalwater en de bedrijfsomstandigheden, kan dit neutralisatieproces op meerdere manieren worden uitgevoerd. Alkalisch afvalwater kan bijv. met rookgassen (meestal kosteloos te verkrijgen) worden geneutraliseerd in een gepakte kolom. Zuur afvalwater kan bijv. door afvalloog uit het eigen of andermans bedrijf worden geneutraliseerd in een goed geroerd neutralisatiebassin.

Het zure afvalwater van de NV Chemische Industrie Servo te Delden wordt in neutralisatiebassins met loog behandeld om de pH binnen aanvaardbare grenzen te

bringen voor de daarop volgende biologische zuivering.

De loogdosering geschiedt automatisch en wordt bestuurd door de gemeten pH waarde in het bassin (het regelsysteem zelf is onderwerp van een ander onderzoek).

Het neutralisatiebassin wordt verondersteld te werken als een ideaal geroerde tank-reactor, d.w.z. de pH in de afvoer van het bassin is gelijk aan de pH in het bassin.

In technologische termen vertaald betekent dit dat de mengtijd voldoende klein moet zijn t.o.v. de gemiddelde verblijftijd in het bassin; een algemeen aanvaarde waarde hiervoor is [1]:

$$t_m \leq 1/10 \tau \quad (1)$$

waarbij

$$\tau = \frac{V}{\Phi_v}$$

met

V = volume neutralisatiebassin [m^3]

Φ = volumestroom door het bassin [$m^3 \text{ sec}^{-1}$]

t_m = mengtijd [sec]

τ = gemiddelde verblijftijd [sec]

Bij een bepaalde waarde van V en Φ_v moet dus een zodanige waarde van t_m worden gerealiseerd dat aan betrekking (1) wordt voldaan.

Afb. 1.

B = breedte bassin (4,00 m),
 L = lengte bassin (4,00 m),
 X = 2,00 m,
 Y = 1,10 m,

H = hoogte vloeistofniveau (0,92 m),
 h = hoogte roerder boven de bodem (0,18 m),
 d_r = diameter roerder (0,175 m).

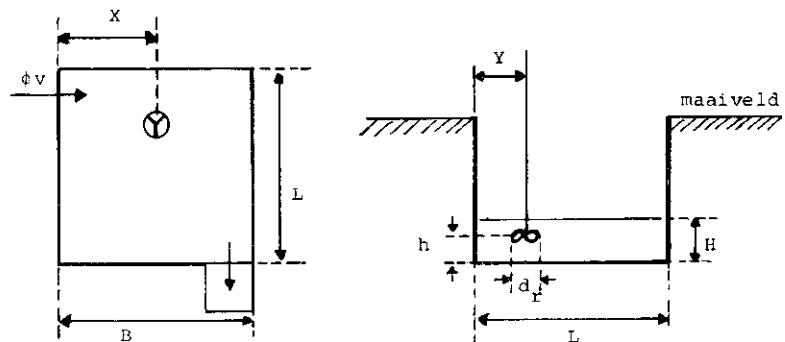
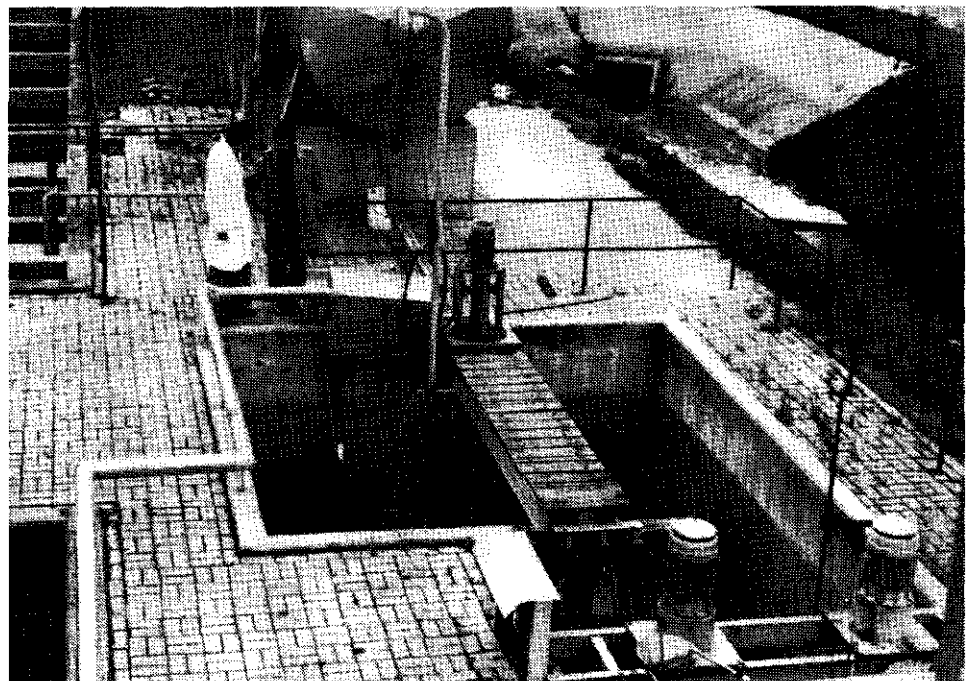


Foto 1 - Neutralisatiebassin NV Chemische Industrie Servo te Delden.



De mengtijd t_m is afhankelijk van een groot aantal factoren (waarover later), w.o. de plaats van de roerder in het bassin. Bij visuele waarneming van het stromingspatroon in de neutralisatiebassins bij Servo rees het vermoeden dat de plaats van de roerder niet gunstig was gekozen. Gevraagd werd een onderzoek in te stellen naar de meest gunstige plaats van de roerder met betrekking tot de mengtijd, waarbij alle overige parameters, zoals type roerder, toerental roerder enz. constant bleven. Bij het onderzoek diende tevens aandacht gegeven te worden aan mogelijke instabiliteitsverschijnselen in de stroming, zoals het ontstaan van vortices, die in verband met de zeer lange roerderas de levensduur van deze as en van het aandrijfmechanisme nadelig zouden kunnen beïnvloeden. Voor vierkante bassins — met de roerder uit het midden geplaatst — waarin eventueel ook nog obstakels zijn aangebracht, staan ons niet voldoende gegevens ter beschikking voor het berekenen van de mengtijden en voor het voorspellen van instabiliteitsverschijnselen. Wij zijn daarom aangewezen op het doen van proeven in het betreffende bassin of in een model van het bassin.

Het uitvoeren op praktijkschaal stuit in de meeste gevallen — zo ook in het onderhavige geval — op bezwaren van economische en/of technologisch-praktische aard. Onze voorkeur gaat uit naar het doen van proeven in een model van het bassin, waarbij wordt verondersteld dat de resultaten van de modelproeven ook

geldig zijn voor het bassin op ware grootte (zo mogelijk dient dit door een praktijkmeting te worden gecontroleerd). De processen op praktijkschaal en kleine schaal dienen dus gelijkvormig te zijn: in ons geval moeten wij streven naar hydrodynamische gelijkvormigheid der processen.

2. Schaalverkleining van het neutralisatiebassin

De afmetingen van neutralisatiebassin en roerder op praktijkschaal worden aangegeven in afb. 1, zie tevens fotografische opnamen (foto 1 en 2). De volumestroom Φ_v van het zure afvalwater bedraagt $\approx 72 \text{ m}^3/\text{hr}$. Type roerder: Turbo-Müller KG, type L, conische ring om drie propellerbladen. Toerental roerder: 1800 omwentelingen per minuut. Overeenkomstig de resultaten bij het 'standaard-mengvat' [2] spelen de volgende variabelen een rol bij het homogenisatieproces in een vierkante bassin:

- geometrie bassin
- geometrie roerder
- toerental roerder
- mediumeigenschappen
- omgevingsinvloeden

Tot de geometrie van het bassin behoren naast de afmetingen van het bassin ook de eventueel in het bassin aangebrachte obstakels (stroomgeleiders) en de plaats van de roerder in het bassin. Als mengtijd wordt gedefinieerd de tijd

die nodig is om een bepaalde inhomogeniteit over de inhoud van het bassin te verspreiden, waarbij een afwijking van 2 % van de eindwaarde is toegestaan [2]. Resumerend komen wij tot de volgende variabelen die bij het mengproces van belang zijn:

- t_m = mengtijd [sec]
- H = hoogte vloeistofniveau in het bassin [m]
- B = breedte bassin [m]
- L = lengte bassin [m]
- O = afmetingen en plaats obstakels [m]
- d_r = diameter roerder [m]
- n = toerental roerder [sec^{-1}]
- ρ = dichtheid te mengen vloeistoffen [kg m^{-3}]
- μ = kinematische viscositeit te mengen vloeistoffen [$\text{kg m}^{-1} \text{sec}^{-1}$]
- g = versnelling zwaartekracht [m sec^{-2}]
- Φ_v = volumestroom door het bassin [$\text{m}^3 \text{sec}^{-1}$]

Uit deze variabelen kunnen dimensieloze groepen worden gevormd (bijv. methode van Gauss-Jordan [3, 4], die in een bepaalde relatie tot elkaar staan:

$$\frac{t_m \cdot \Phi_v}{V} = f\left(\frac{H}{L}, \frac{B}{L}, \frac{O}{L}, \frac{d_r}{L}, \frac{\rho n d_r^2}{\eta}, \frac{n^2 d_r}{g}, \frac{\Phi_v}{n d_r^3}\right) \quad (2)$$

waarbij V = volume bassin [m^3].

Vergelijking (2) kan ook als volgt worden geschreven:

$$\frac{t_m}{\tau} = f\left(\frac{H}{L}, \frac{B}{L}, \frac{O}{L}, \frac{d_r}{L}, \text{Re}, \text{Fr}, \frac{\Phi_v}{n d_r^3}\right) \quad (2')$$

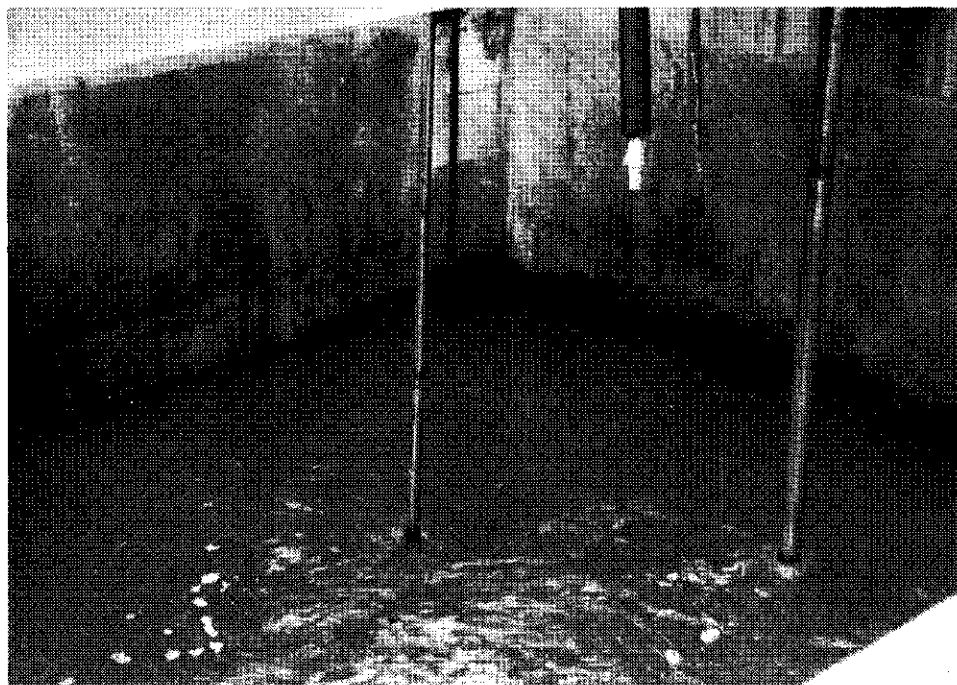
- waarbij
- τ = gemiddelde verblijftijd [sec]
 - Re = getal van Reynolds, betrokken op de roerder [-]
 - Fr = getal van Froude, betrokken op de roerder [-]
 - $\frac{\Phi_v}{n d_r^3}$ = verhouding van de volumestroom door het bassin tot de volumestroom veroorzaakt door de roerder

Willen wij nu volledige procesgelijkvormigheid bereiken tussen ware grootte en model, dan moet het model aan de volgende voorwaarden voldoen (ware grootte wordt aangegeven door index 1, model door index 2):

a. $\frac{H_2}{L_2} = \frac{H_1}{L_1}$

b. $\frac{B_2}{L_2} = \frac{B_1}{L_1}$

Foto 2 - Detail met rechts roerder, links pH meetcel, daartussen toevoertuit loogdosering.



$$c. \frac{O_2}{L_2} = \frac{O_1}{L_1}$$

$$d. \frac{d_{r_2}}{L_2} = \frac{d_{r_1}}{L_1}$$

$$e. Re_2 = Re_1$$

$$f. Fr_2 = Fr_1$$

$$g. \frac{\Phi_{v_2}}{n_2 d_{r_2}^3} = \frac{\Phi_{v_1}}{n_1 d_{r_1}^3}$$

Als aan genoemde voorwaarden a. t/m g. wordt voldaan, geldt dus:

$$\frac{t_{m_2}}{\tau_2} = \frac{t_{m_1}}{\tau_1} \quad (3)$$

Als bovendien voldaan wordt aan de voorwaarde:

$$h. \tau_2 = \tau_1$$

dan geldt: $t_{m_2} = t_{m_1}$ de mengtijden in het bassin op ware grootte en in het model zijn aan elkaar gelijk.

Wij voeren nu een capaciteive schaalverkleiningsfactor in, volgens:

$$\Phi_{v_2} = k \cdot \Phi_{v_1} \quad (4)$$

Volgens voorwaarde h. geldt nu:

$$V_2 = k \cdot V_1 \quad (5)$$

Uit vergelijking (5) en uit de voorwaarden a. t/m d. kunnen wij nu afleiden:

$$H_2 = k^{1/3} H_1 \quad (6)$$

$$B_2 = k^{1/3} B_1 \quad (7)$$

$$L_2 = k^{1/3} L_1 \quad (8)$$

$$O_2 = k^{1/3} O_1 \quad (9)$$

$$d_{r_2} = k^{1/3} d_{r_1} \quad (10)$$

Bij mediumgelijkheid (in beide gevallen water) leiden de resterende voorwaarden tot de volgende eisen:

$$e. n_2 d_{r_2}^2 = n_1 d_{r_1}^2 \quad (10)$$

$$f. n_2^2 d_{r_2} = n_1^2 d_{r_1} \quad (10)$$

$$g. n_2 d_{r_2}^3 = k \cdot n_1 d_{r_1}^3 \quad (10)$$

Terwijl reeds werd afgeleid $d_{r_2} = k^{1/3} d_{r_1}$ (10)

Wij hebben hier een stelsel van 4 onafhankelijke vergelijkingen met 2 onbekenden, nl. n_2 en d_{r_2} , de vergelijkingen zijn met elkaar strijdig. Dit betekent, dat wij in dit

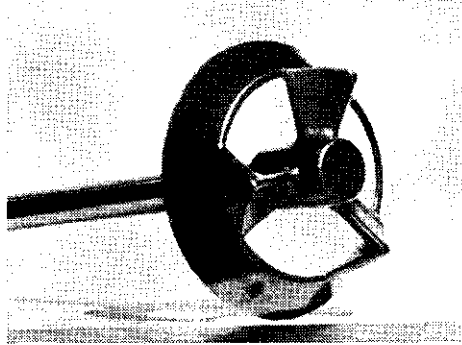


Foto 4 - Model van de roerder.

geval niet aan alle gelijkvormigheidscriteria kunnen voldoen, er kan dus geen volledige gelijkvormigheid worden bereikt, wij moeten genoegen nemen met partiële gelijkvormigheid: twee van de vier voorwaarden moeten wij laten vervallen.

— Voorwaarde e. (gelijke Reynoldsgetallen) kunnen wij laten vervallen, mits in beide gevallen hetzelfde stromingsregiem (hier turbulente stroming, $Re > 2 \times 10^4$) voorhanden is.

— De voorwaarden f. en g. worden belangrijker geacht t.a.v. de mengtijden en instabiliteitsverschijnselen dan voorwaarde d. (geometrische gelijkvormigheid) — een motivering zou ons te ver voeren op deze plaats — zodat wij verder werken met de voorwaarden f. en g. Hieruit volgt:

$$d_{r_2} = k^{2/5} d_{r_1} \quad (11)$$

$$n_2 = k^{-1/5} n_1 \quad (12)$$

Resumerend vinden wij:

$$H_2 = k^{1/3} H_1$$

$$B_2 = k^{1/3} B_1$$

$$L_2 = k^{1/3} L_1$$

$$O_2 = k^{1/3} O_1$$

$$d_{r_2} = k^{2/5} d_{r_1}$$

$$n_2 = k^{-1/5} n_1$$

Voor het toegevoerde vermogen per volume-eenheid betekent dit:

$$\frac{N_2}{V_2} = k^{2/5} \frac{N_1}{V_1} \quad (13)$$

met N = toegevoerd vermogen ($\approx \rho n^3 d_r^5$) [W]

Afhankelijk van de aanwezige technische mogelijkheden t.a.v. de grootte van het model, toerental roerder enz. kan nu de waarde van de schaalverkleiningsfactor k worden bepaald.

In ons geval werd k bepaald op $1/25$, dus

$$\Phi_{v_2} = \frac{1}{25} \Phi_{v_1}$$

$$H_2 = 0,342 H_1 = 0,315 \text{ m}$$

$$B_2 = 0,342 B_1 = 1,37 \text{ m}$$

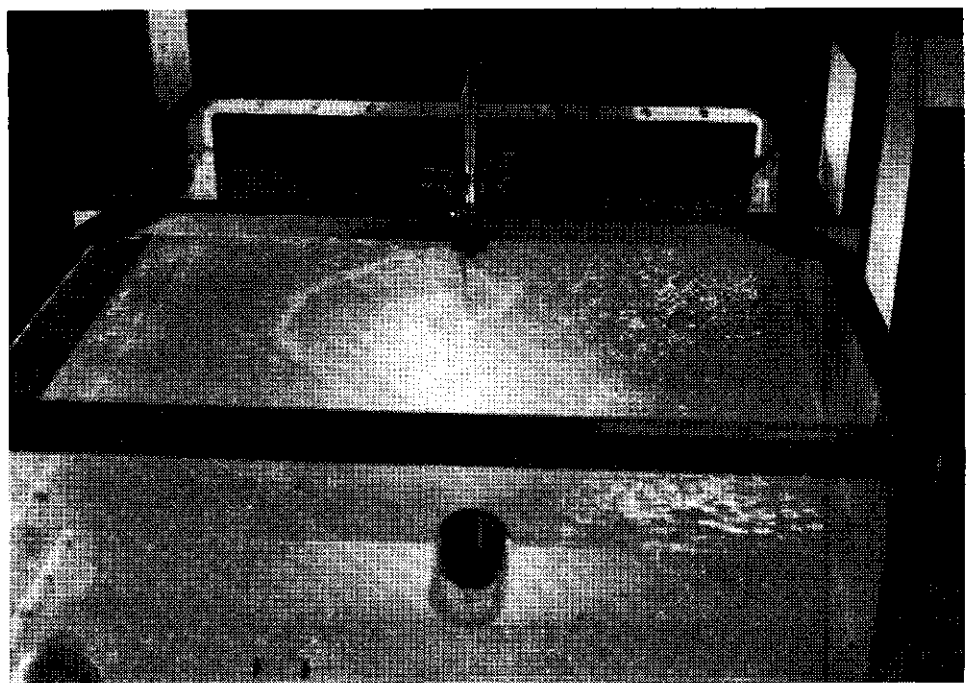
$$L_2 = 0,342 L_1 = 1,37 \text{ m}$$

$$d_{r_2} = 0,276 d_{r_1} = 0,048 \text{ m}$$

$$n_2 = 1,904 n_1 = 3425 \text{ omwentel./min.}$$

Dit model-bassin werd geconstrueerd door door de Centrale Technische Dienst van de THT; als constructiemateriaal werd doorzichtig perspex gekozen, zodat ook de stromingspatronen en instabiliteitsver-

Foto 3 - Semitechnisch model van het neutralisatiebassin.



schijnselen konden worden waargenomen (zie foto 3). De model-roerder werd ons door de fabrikant ter beschikking gesteld (zie foto 4).

3. Metingen in het model en op ware grootte

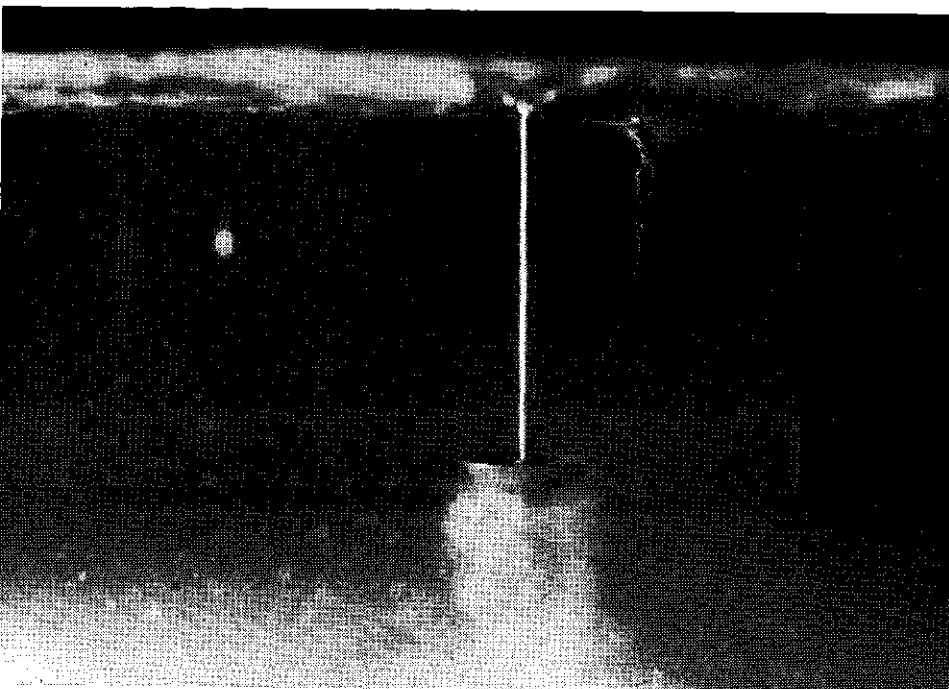
De mengtijdsmetingen werden uitgevoerd door de geleidbaarheid te meten als functie van de tijd na toevoeging van een bepaalde hoeveelheid KCl-oplossing [1, 2].

Aangezien in het bassin een neutralisatie-reactie wordt uitgevoerd, hebben wij ook de neutralisatietijd (t_n) gemeten: hieronder wordt de tijd verstaan die nodig is om een 'constante' eind-pH te bereiken als gevolg van een zuur-base reactie.

Bij deze meting wordt de pH gevolgd als functie van de tijd. De mengtijden waren langer dan de overeenkomstige neutralisatietijden, hetgeen met de traagheid van het pH-meetsysteem moet worden verklaard [6]. Aangezien de verhouding tussen de mengtijd en neutralisatietijd als constant mag worden verondersteld (in ons geval was $t_m = 1,6 t_n$), is het niet van belang welke van deze twee wordt gemeten. Om praktische redenen hebben wij de neutralisatietijden gemeten, waar nodig zullen wij deze omrekenen in mengtijden. (Voor uitvoerige meetgegevens wordt verwezen naar het baccalaureaatsverslag van G. Asmus [5]).

— In het neutralisatiebassin werd de neutralisatietijd gemeten volgens de situatie zoals vermeld in afb. 1. Vervolgens werd de neutralisatietijd gemeten in het model

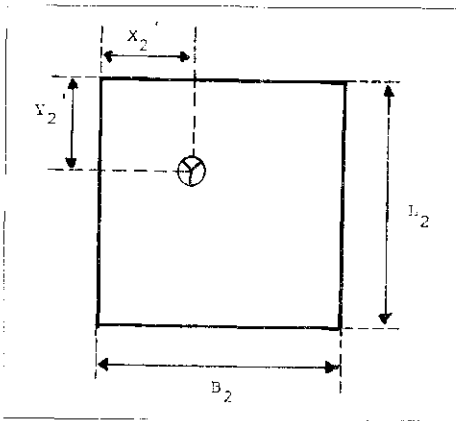
Foto 5 - Vortex in het model.



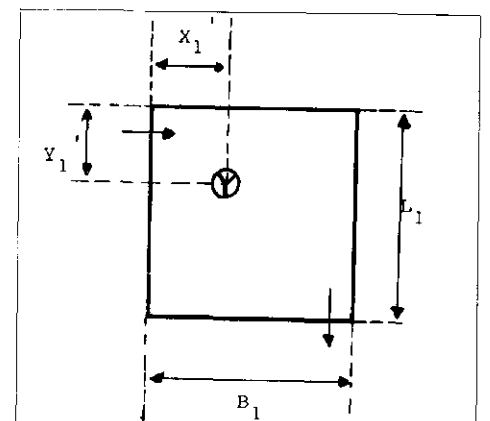
TABEL I - Samenvatting meetresultaten.

	Oorspronkelijke roerderplaats			Gewijzigde roerderplaats		
	neutralisatie-tijd t_n [min]	mengtijd t_m [min]	$\frac{t_m}{\tau}$ [-]	neutralisatie-tijd t_n [min]	mengtijd t_m [min]	$\frac{t_m}{\tau}$ [-]
Bassin op ware grootte	1,8	2,9	1	1,4 *	2,2 *	1 *
			4,2			5,6
Model	1,6	2,6	1	1,2	1,9	1
			4,7			6,4

τ = gemiddelde verblijftijd = 12,25 minuten
 * = berekende waarde



Afb. 2 - Plaats van de roerder bij minimale mengtijden in het model $L_2 = 1,37$, $B_2 = 1,37$ m, $X_2' = 0,51$ m, $Y_2' = 0,51$ m.



Afb. 3 - Plaats van de roerder bij minimale mengtijden, in het bassin op ware grootte. $B_1 = 4,00$ m, $L_1 = 4,00$ m, $X_1' = 1,49$ m, $Y_1' = 1,49$.

onder gelijkvormige omstandigheden. De gemeten neutralisatietijden stemden goed met elkaar overeen, de afwijking was ca. 10 % van de gemeten waarde. Ook de

reproduceerbaarheid van de metingen was bevredigend.

— Vervolgens werd de neutralisatietijd gemeten in het model van het bassin als functie van een aantal parameters, zoals plaats van de roerder, plaats van doseren en meten, hoogte van de roerder boven de bodem, enz. Wij zullen hier volstaan met de bespreking van de invloed van de roerderplaats op de neutralisatietijd, respectievelijk de mengtijd en op de instabiliteitsverschijnselen.

De roerderplaats werd systematisch gevarieerd en de bijbehorende neutralisatietijden bepaald. Het bleek dat er een minimum in de neutralisatietijden (mengtijden) optrad, en wel in de situatie zoals geschetst in afb. 2.

De bij deze configuratie horende neutralisatietijd (mengtijd) was 3/4 van de neutralisatietijd die in het model gemeten werd bij de oorspronkelijke opstelling (zie tabel I). Uit symmetrie-overwegingen volgt, dat er in een batch-systeem eigenlijk 4 gelijkwaardige plaatsen zijn in het bassin t.a.v. deze minimale mengtijd. Om echter zo veel mogelijk kortsluiting te vermijden in een doorstroomd systeem tussen toevoer en afvoer van het bassin, werd de in afb. 2

aangegeven plaats gekozen als de meest gunstige roerderplaats.

De meest gunstige plaats van de roerder in het bassin op ware grootte wordt aangegeven in afb. 3.

De instabiliteitsverschijnselen in het model werden visueel waargenomen en fotografisch vastgelegd (zie foto 5).

Een voordeel van de gewijzigde roerderplaats t.o.v. de oorspronkelijke roerderplaats is dat de stroming stabiel werd, door de roerder werden er geen vortices meer getrokken [7].

Bij deze geometrie zal de neutralisatietijd in het bassin korter worden — in dezelfde mate als in het model — dan bij de oorspronkelijke geometrie. Wat dit voor het menggedrag van het bassin betekent, zal nu worden besproken aan de hand van tabel I, waarin de meetresultaten zijn samengevat.

Voor een ideaal geroerde tankreactor geldt volgens relatie (1)

$$\frac{t_m}{\tau} \leq \frac{1}{10}$$

Wij zien dat noch in het model, noch in het bassin op ware grootte, ook niet bij de gewijzigde roerderplaats, aan dit criterium wordt voldaan, het menggedrag van het bassin komt dus niet overeen met dat van een ideaal geroerde tankreactor.

Om het gewenste menggedrag te bereiken staan ons nu twee mogelijkheden ter beschikking:

- De gemiddelde verblijftijd in het bassin langer maken door de volumestroom door het bassin te verkleinen (deze mogelijkheid is niet realistisch).
- De mengtijd te verkorten door de diameter van de roerder en/of het toerental van de roerder te vergroten.

In ons geval dient de mengtijd met een faktor 2 te worden verkleind. Aangezien de mengtijd omgekeerd evenredig is met de volumestroom, veroorzaakt door de roerder (1) ($\approx nd^3$), dient het toerental met een faktor 2 te worden verhoogd of de roerderdiameter met een faktor $3\sqrt{2}$. Op deze manier zal het menggedrag van het bassin het menggedrag van de ideaal geroerde tankreactor benaderen, waardoor met het bestaande regelsysteem een betere pH-regeling mogelijk zal zijn.

4. Slotconclusies

- Onderzoek van de menging en van instabiliteitsverschijnselen aan de hand van een modelapparaat is zeer wel mogelijk.

- Voor het onderzochte bassin werd gevonden dat door een kleine verandering — verplaatsing van de roerder — kortere mengtijden kunnen worden bereikt.
- Om het menggedrag in het bassin te verbeteren konden op grond van ons onderzoek concrete aanbevelingen worden gedaan.

Literatuur

1. Groot Wassink, *Technologisch ontwerp van procesapparatuur 2*, Collediktaat TH Twente, 1967.
2. Voncken, *Circulatiestroming en menging in geroerde vaten*, Universitaire pers Rotterdam, 1966.
3. Groot Wassink, *Gelijkvormigheid van processen en schaalverandering van procesapparatuur*, Collediktaat TH Twente, 1971.
4. Kattanek c.s. *Aehnlichkeitstheorie*, Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1967.
5. Asmus, *pH regeling in het neutralisatiebassin van een afvalwaterreinigingsinstallatie*, TH Twente, afd. CT, 1972, Baccalaureaatsverslag.
6. Geerlings, *Dynamic behaviour of pH-glass electrodes and of neutralisation processes*, Soc. of instrument technology conference, april 1956.
7. Clark, Vermeulen, *Incipient vortex formation in baffled agitated vessels*, A. I. Ch. E. J. 10 (1964) nr. 3, p. 420-422.

