

Invloed van een duikschot op de verblijftijd in rechthoekige bezinkingstanks

1. Inleiding

Vóór- en nabezinkingstanks zijn belangrijke onderdelen van een afvalwaterzuiveringsstation. Ook voor andere toepassingen dan 'bezinking' worden 'verblijfreservoirs' benut met als functie bij een continue doorstroming, de vloeistof een bepaalde tijd in het reservoir op te houden.

Voorbeelden hiervan zijn chlooreertanks en reservoirs waarin radio-actieve stoffen met een korte halveringstijd afgebroken worden. De dimensionering van zulke constructies wordt in belangrijke mate bepaald door de



PROF. DR. IR. J. BERLAMONT
Docent Hydraulica, departement
Constructie Katholieke Universiteit
te Leuven, België

'verblijftijd', d.i. de tijd die een vloeistofdeeltje doorbrenkt in de tank.

Bij het ontwerpen rekent men steeds met de theoretische of ideale verblijftijd

$$T = \frac{V}{Q}$$

waarin

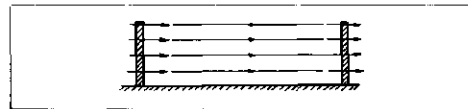
V: het volume van het bekken;

Q: het (afval-)waterdebiet.

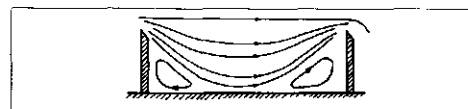
Alleen wanneer het debiet eenparig verdeeld zou zijn zowel over de inlaat- als over de uitlaatdoorsnede (afb. 1) zouden alle vloeistofdeeltjes inderdaad gedurende de tijd T in het bekken verblijven.

In werkelijkheid gebeurt de voeding meestal over een overlaat, evenals de afvoer (afb. 2). Indien er geen dode ruimten zouden bestaan in het reservoir, is T dan wel de gemiddelde verblijftijd, maar zal er een

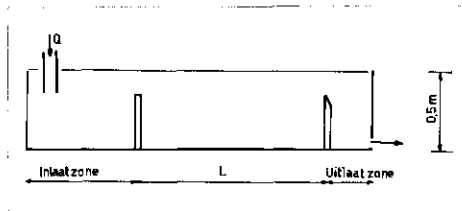
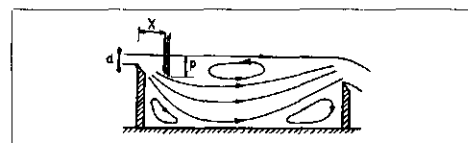
Afb. 1 - Verblijftijd is $T = V/Q$.



Afb. 2 - Gemiddelde verblijftijd $t_g < T$.



Afb. 3 - Bezinkingstank met duikschot.



Afb. 4 - Schets van de proefopstelling.

belangrijke spreiding bestaan van de verblijftijden van verschillende vloeistofdeeltjes rond T. Door de aanwezigheid van dode ruimten (afb. 2) echter, zal de gemiddelde verblijftijd t_g kleiner zijn dan T. Allerhande constructies werden voorgesteld (1) om de kinetische energie van de instromende vloeistof te vernietigen (en aldus de stromingsnelheid te reduceren van ~ 1 m/s tot 0,01 à 0,05 m/s), om kortsluitstromen te verhinderen en om een zo gelijkmatig mogelijke snelheidsverdeling over de breedte (B) en de diepte (H) van het reservoir te bekomen. Meestal wordt 0,6 à 1 m na de inlaatdoorsnede een eenvoudig vertikaal duikschot geplaatst dat reikt tot een diepte (p) van 0,4 à 0,6 m onder het wateroppervlak in de tank (2) (afb. 3).

Voorts kiest men de dikte van de overstortlaag in de inlaatdoorsnede (d) zo groot mogelijk om een goede verdeling van de stroming over de diepte te bekomen. Teneinde uitsluitel te bekomen over de grootte van de gemiddelde verblijftijd t_g , de spreiding van de verblijftijd rond t_g en de invloed van de aanwezigheid en de positie van het duikschot op de genoemde grootheden, werd in het Laboratorium voor Hydraulica van het Departement Constructie van de Katholieke Universiteit te Leuven (België) een proefondervindelijk onderzoek uitgevoerd op een schaalmodel van een rechthoekige bezinkingstank.

2. Het model (afb. 4)

Bij het bepalen van de afmetingen van het model werd getracht een werkelijke bezinkingstank op een behoorlijke schaal af te beelden, zó dat de stroming in het model goed dynamisch gelijkvormig zou zijn aan de stroming in het prototype. Hiertoe moet voldaan zijn aan de gelijkvormigheidswet van Froude en mag het Reynoldsgetal (Re) niet te klein zijn zodat de stroming in het model nog behoorlijk turbulent is, net als in het prototype.

Er worden bezinkingstanks gebouwd met een lengte van 30 à 60 m, met een maximum van 90 m. De breedte kan variëren tussen 5 en 15 m. De lengte moet minstens vier maal de breedte bedragen (2). Het model met een nuttige lengte (L) van 2 m en een breedte (B) van 0,5 m stelt

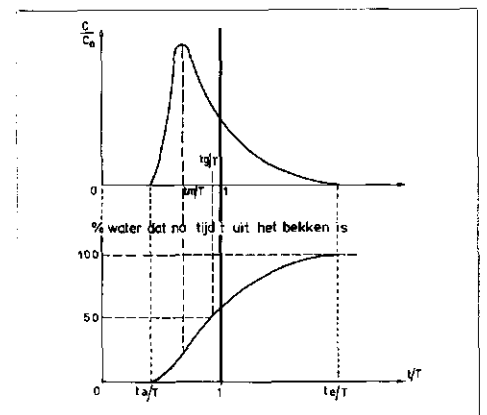
us op schaal 1/30 een bekken voor van 60 x 15 m².

De diepte (H) van het bekken en het debiet (Q) zijn instelbaar. Opdat de snelheden in het model niet te klein zouden zijn, zodat ze meetbaar zijn met een behoorlijke nauwkeurigheid en opdat het Re-getal groot genoeg zou zijn werd voor de verticale schaal 1/15 aangenomen en werd de gemiddelde diepte (H) van het prototype, die optimaal 1,5 à 2,5 m bedraagt (2), en de gemiddelde stromingsnelheid (U), die best ongeveer 1 cm/s bedraagt (2), enigszins overtroffen. Het compromis tussen de twee tegenstrijdige eisen (meetmogelijkheden en een goede gelijkvormigheid) resulteerde uiteindelijk in het volgende:

	prototype	model
L	60 m	2 m
B	15 m	0,5 m
Q	0,96 m ³ /s	0,55 10 ⁻³ m ³ /s
H	3,00 m	0,20 m
U	0,023 m/s	5,5 10 ⁻³ m/s
T	47 min.	364,0 s
Re	2 10 ⁶	2,6 10 ³
Fr	0,004	0,004

Deze schaalversterking levert geen moeilijkheden op omdat alleen hydraulische kenmerken (snelheden en verblijftijden) gemeten werden, die men bovendien dimensieloos kan voorstellen (bijv. t_g/T). De dikte van de overstortlaag in de inlaatdoorsnede (d) bedraagt maximum 1/3 H. In alle proeven was $d/H = 0,3$. De verblijftijd wordt gemeten door het kortstondig injecteren van een tracer-vloeistof (concentratie C_0) in de inlaatdoorsnede met een snelheid gelijk aan de snelheid van het water. Als tracer werd fluoresceïne gebruikt. In de uitlaatdoorsnede wordt de tracer-concentratie (C) om de 30 s gemeten d.m.v een fluorescentie spectrofotometer (Baird). Het monster wordt ogenblikkelijk opgenomen en tegelijkertijd over de ganse breedte van het bekken.

Afb. 5 - Definitie van t_a , t_m , t_g , t_e .



Aldus slaagt men erin C/C_0 in functie van t/T te meten (afb. 5). Dit is de zgn. 'Flow-through'-kurve. Uit de opgemeten flow-through-kurve kan men volgende karakteristieken afleiden, die kenmerkend zijn voor het hydraulisch gedrag van het reservoir (afb. 5):

- t_a : de verblijftijd van de eerste waargenomen tracer-vloeistof, d.i. de minimum verblijftijd in het bekken.
- t_m : de verblijftijd overeenkomend met het maximum van de concentratie C . Dit is de 'meest waarschijnlijke' waarde van de verblijftijd.
- t_g : de gemiddelde verblijftijd.
- t_b : de verblijftijd van de laatste (meetbare) concentratie tracer vloeistof d.i. de maximale verblijftijd.

De stromingssnelheden werden fotografisch opgemeten met behulp van fluorescerende drijvertjes (3 mm lengte) met een volumegewicht 1, of met kleurstof (kaliumpermanganaat).

3. Proefondervindelijke resultaten

3.1. Verblijftijd in een tank met horizontale bodem, zonder duikschot

De gemiddelde verblijftijd t_g is veel kleiner dan de theoretische verblijftijd T (afb. 6). Men heeft:

$$\frac{t_g}{T} \cong 0,55; \frac{t_a}{T} \cong \frac{t_m}{T} \cong 0,2 \text{ à } 0,3.$$

80 % van de vloeistof verblijft minder lang in de tank dan T .

50 % verblijft minder lang in de tank dan $T/2$.

3.2. Verblijftijd in een tank met horizontale bodem, met duikschot

De aanwezigheid van het duikschot heeft een grote invloed op t_m en t_g . De gemiddelde verblijftijd t_g wordt 0,75 à 0,85 T ; t_m wordt verdubbeld à verdrievoudigd. Het verschil tussen t_m en t_g wordt kleiner (afb. 6). De invloed van de diepte (p) van het duikschot onder het wateroppervlak blijkt zeer groot te zijn (afb. 6 en 7). De optimale diepte is $p/d = 1/3$ (dan is $t_m/T \cong 0,68$). Bij kleine afwijkingen van de optimale diepte vermindert t_g/T met ongeveer 10 %, wat een gevoelige vermindering van het bezinkingsrendement veroorzaakt.

Als $p/d = 1/3$ verblijft nagenoeg alle vloeistof langer dan $T/2$ en 30 % van de vloeistof langer dan T in de tank (afb. 6). De afstand van de inlaat (x) (afb. 3) waar het duikschot geplaatst wordt blijkt veel minder kritisch te zijn. Proeven gedaan met $x/d = 2/3, 4/3$ en $6/3$ gaven nauwelijks verschillende resultaten.

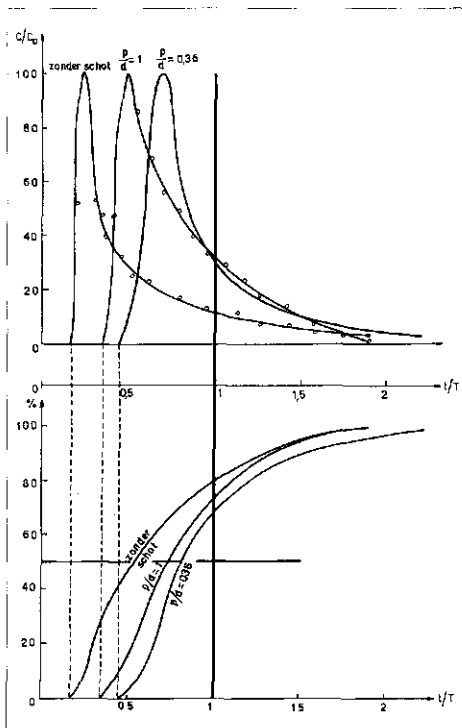
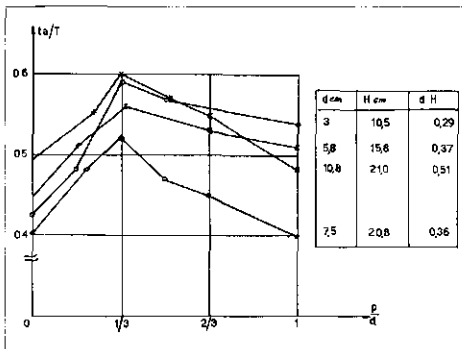


Fig. 6 - Verloop van de fluoresceïneconcentratie in functie van t/T voor een bezinkingsbekken met horizontale bodem ($H = 20,6$ cm, $Q = 0,55$ l/s; $T = 385$ s) zonder schot, met $p = d$ en met $p = 0,36 d$: optimale diepte.



Afb. 7 - Verloop van t_g/T in functie van $\frac{p}{d}$ voor verschillende waarden van d en H .

3.3. Invloed van bodemhelling

Met het doel een gemakkelijker mechanische verwijdering van het slib mogelijk te maken, wordt de bodem van bezinkings-tanks meestal aangelegd onder een helling $i = 1/17$ à $1/12$. De bodemhelling in het model is instelbaar. De flow-through-kurven, bekomen met $i = 1/12$ verschillen ter nauwernood van die bekomen met $i = 0$.

3.4. Invloed van het debiet, bij konstante waterdiepte ($i = 0$)

Terwijl de waterdiepte H in een bezinkings-tank hoofdzakelijk bepaald wordt door de hoogte van de afwaartse overlaat (en de aanwezige hoeveelheid bezonken slib),

verandert het afvalwaterdebiet Q , ruw weg, van het enkele naar het dubbele al naar gelang men te doen heeft met de droogweeer afvoer (DWA) of de regenweerafvoer (RWA). De proeven wezen uit dat de spreiding van de verblijftijden rond T ongevoelig is aan een wijziging van Q van het enkele naar het dubbele: $t_{10}/T, t_{50}/T, t_{90}/T$ blijven hetzelfde. De theoretische verblijftijd T neemt natuurlijk af met toenemende Q , zodat t_g/T konstant blijft ($t_g/T \cong 0,85$ met $p/d = 0,33$).

3.5. Invloed van de waterdiepte, bij konstant debiet ($i = 0$)

Uit de proeven bleek dat t_m/T met maximum 5 % toeneemt (van 0,7 naar 0,74) bij kleiner wordende waterdiepten (bijv. t.g.v. sedimentatie in de tank), T neemt natuurlijk af naarmate de diepte kleiner wordt. Het lijkt dus aangewezen bij het ontwerp de (gemiddelde) waterdiepte H niet te groot te kiezen maar regelmatig het bezonken slib te ruimen.

4. Besluiten

De gemiddelde verblijftijd t_g in de rechthoekige bezinkingstank zonder duikschot, is veel kleiner dan de theoretische verblijftijd $T = V/Q$: $t_g \cong 0,5 T$. Slechts 20 % van de vloeistof verblijft langer dan T in het bekken; 50 % verblijft minder lang dan $T/2$ in de tank.

Een oordeelkundig geplaatst duikschot kan de gemiddelde verblijftijd nagenoeg verdubbelen. Het optimaal resultaat $t_g/T \cong 0,85$ bekomt men wanneer de diepte van het duikschot p 1/3 bedraagt van de dikte van de overstortlaag in de intrededoorsnede (d). Ongeveer 30 % van de vloeistof verblijft dan langer dan T in de tank: praktisch alle vloeistof verblijft langer dan $T/2$ in de tank.

De proeven gebeurden met $d/H = 1/3$. Een verdubbeling van het debiet halveert natuurlijk T , maar t_g/T en de spreiding van de verblijftijden rond t_g blijven onveranderd.

Bij een vermindering van de waterdiepte daalt T en neemt t_g/T enigszins toe. Een bezinkingstank met een bodemhelling van $1/12$ gedraagt zich hydraulisch niet anders dan een tank met horizontale bodem.

Literatuur

1. Kleinschmidt, R. S.: 'Hydraulic design of detention tanks', Jnl. of the Boston society of civil engineers, oct. 61, pp. 247-294.
2. Koot, A. C. J.: 'Behandeling van afvalwater', Waltman, Delft, 1975, pp. 81-117.
3. Campo, M. en Mortelmans, E.: 'Verblijftijd in bezinkingsbekken met rechthoekige plattegrond', afstudeerwerk, Departement Konstruktie, Afdeling Bouwkunde, Katholieke Universiteit Leuven, 1977.