

Grote oxydatiesloten

1. Inleiding

Men zou zich misschien kunnen afvragen: „Wat is er nu zo bijzonder aan *grote* oxydatiesloten, dat er in de 6e vakantie cursus een aparte voordracht aan wordt besteed?” Een oxydatiesloot is een oxydatiesloot en de grondslagen van het ontwerp lijken muurvast te liggen. Dat is door prof. Koot in zijn bijdrage wel duidelijk gemaakt. Er is eigenlijk geen aardigheid meer aan, veel nieuws is er niet meer te beleven.

De bedoeling van deze bijdrage is de lezer ervan te overtuigen dat er zich bij het ontwerpen van grote oxydatiesloten speciale problemen kunnen voordoen, die men bij het ontwerpen van kleine oxydatiesloten niet tegenkomt. Of anders gezegd: Men lost de problemen bij het ontwerpen van kleine oxydatiesloten vrij eenvoudig op, men is er zich in sommige gevallen misschien niet eens van bewust geweest, dat er een probleem was, omdat het zo eenvoudig was op te lossen.

Om aan te geven welke problemen zich kunnen voor-

doen, zal allereerst het ontwerp van een kleine oxydatiesloot voor bijvoorbeeld 1.500 i.e. aan een nadere beschouwing worden onderworpen.

2. Kleine oxydatiesloot

Het betreft een kleine woonkern ergens in Nederland, met uitsluitend huishoudelijke afvalwater. Stel $dwa = 1.500 \text{ i.e.} \times 10 \text{ l/i.e. uur} = 15 \text{ m}^3/\text{uur}$, de rwa zal dan in de orde van grootte van $50 \text{ m}^3/\text{uur}$ zijn. Een vijzel met een diameter van 30 cm zal het afvalwater enige meters opvoeren. De motor heeft een vermogen van enkele pk's. O ja, en vòòr de vijzel wellicht een handgeruimd grof-rooster. Een zandvang . . . ? Nee, dat is niet de moeite waard. Als er zand in de sloot zou blijven liggen, dan wordt dat er wel eens met de baggerbeugel uitgehaald. De oxydatiesloot zelf: inhoud $1.500 \text{ i.e.} \times 250 \text{ l/i.e.} = 375 \text{ m}^3$. Beluchtingsapparatuur: kooiroten met een capaciteit van 500 i.e./m' , dus $1.500 \text{ i.e./}500 \text{ i.e./m'}$ = 3 m' rotor nodig, 2 roten van 1,50 m' elk. Sloot dan

niet te breed maken: waterspiegelbreedte 3,50 m', taluds 1 : 1 en waterdiepte 1,20 m'. Het dwarsprofiel wordt dan

$$F = \frac{3,5 \text{ m}' + 1,1 \text{ m}'}{2} \times 1,2 \text{ m}' = 2,75 \text{ m}^2$$

en de hydraulische straal

$$R = \frac{2,75 \text{ m}^2}{2 \times 1,2 \text{ m}' \sqrt{2} + 1,1 \text{ m}'} = 0,62 \text{ m}'.$$

Dan wordt de lengte van het circuit $375 \text{ m}^3 / 2,75 \text{ m}^2 = 136 \text{ m}'$ en de afstand tussen de rotoren $136 \text{ m}' / 2 = 68 \text{ m}'$.

Bij een snelheid in de sloot van 35 cm/s, wordt het debiet in de sloot $2,75 \text{ m}^2 \times 0,35 \text{ m/s} \cong 1 \text{ m}^3/\text{s}$. De vermenging van het afvalwater bij rwa met de slootinhoud geschiedt dan in de verhouding $50 \text{ m}^3/\text{uur} : 1 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/uur} = 1 : 72$. Dit is geen probleem.

De nabezinktank met een oppervlakte belasting van $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ en 1,5 uur verblijftijd kan een ronde tank worden met een oppervlakte = 50 m^2 — diameter van de tank 8 m'. Dit is wel een erg kleine tank. Misschien past een cirkelvormig kanaal met slibafzuiging beter. Dan wordt hydraulische belasting van de nabezinkruimte met de slibretourcapaciteit = $\frac{1}{2}$ rwa verhoogd, en wordt de oppervlakte = 75 m^2 . Bij een breedte = 2 m' wordt de lengte van de bezinkkanaal = 37,50 m' en dit brengt de binnencirkel op $R = 5,50 \text{ m}'$ en buiten-cirkel op $R = 7,50 \text{ m}'$. Dan komt de sloot er met een bocht omheen met een gemiddelde straal = 9,50 m'. De lengte van de beide bochten van de sloot = $2 \cdot \pi \cdot 9,50 \text{ m}' = 60 \text{ m}'$.

De totale lengte van de sloot moet 136 m' worden en dus worden de 2 rechte stukken $\frac{136 \text{ m}' - 60 \text{ m}'}{2} = 38 \text{ m}'$ lang.

De vorm van de sloot en de nabezinkruimte liggen nu vast. Resteert nog de lengte van de overstortrand van de afvoer van de sloot naar de nabezinkruimte. De niveau verandering tussen aanvoer $\frac{1}{2}$ rwa en $1\frac{1}{2}$ rwa wordt bij kooirotoren bij voorkeur niet groter genomen dan 3 cm om te veel variatie in de indompeldiepte van de kooirotoren te voorkomen (max. toelaatbaar 6 cm). Bij een overstortlengte van 2 m', zal aan deze voorwaarden ruimschoots zijn voldaan.

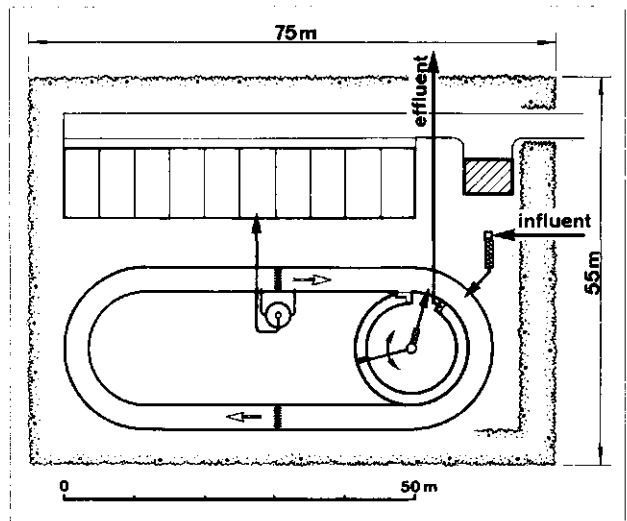
Tenslotte het slibbedrijf. Een slibput, waarin het te verwijderen surplusslib kan bezinken en die wordt gevoed door een — instelbare — retourstroom, waarbij gebruik wordt gemaakt van het verval over één van de kooirotoren. Bij een slibproductie van 30 g/i.e. dag, een vijfdaagse werkweek en een dr.st.gehalte na een dag verblijftijd in de slibput van 25 kg/m^3 , is de minimaal per werkdag af te tappen hoeveelheid slib te berekenen:

$$\frac{1.500 \text{ i.e.} \times 30 \text{ g/i.e. dag} \times 7 \text{ dagen} / 5 \text{ werkdagen}}{25 \text{ kg/m}^3} = 2,5 \text{ m}^3/\text{werkdag}.$$

De oppervlakte van de handgeruimde droogbedden is gebaseerd op 3 i.e./m²; dus $1.500 \text{ i.e.} / 3 \text{ i.e./m}^2 = 500 \text{ m}^2$ droogbedden zijn nodig.

Met een bedrijfsgebouw, een groenstrook van 5 m' breedte en een afrastering is de zuiveringsinstallatie nagenoeg volledig.

Afb. 1 geeft een mogelijke terreinverdeling aan. Het totale oppervlak dat door de installatie wordt ingenomen



Afb. 1 - Oxydatiesloot voor 1.500 i.e. type „Kettingkast”.

bedraagt $55 \text{ m}' \times 75 \text{ m}' = 4125 \text{ m}^2$. Dat is $2,75 \text{ m}^2/\text{i.e.}$. De totale bouwkosten zullen bij het prijspeil van 1971 ca. f 300.000,— bedragen. Dit betekent, dat de kosten voor een gemiddeld gezin op ca. f 100/jaar komen.

Nu in sneltreinvaart het ontwerp van een kleine oxydatiesloot is doorlopen, is het wellicht interessant na te gaan, welke problemen ongenoemd zijn opgelost en de lezer mag voor zich zelf nagaan of hij er zich op dat moment van bewust was.

Eén aanvoervijzel: splitsing in dwa- en rwa-vijzels kwam niet aan de orde.

Handgeruimd grofrooster: fijnrooster en mechanische ruiming zijn niet overwogen.

Zandvang: alleen wellen-nietes, een keuze kwam niet aan de orde.

Sloot: één of meer circuits was geen vraag.

Beluchtingselement: keuze direct gevallen op kooirotoren, andere mogelijkheden niet beschouwd, alleen aantal geargumenteed.

Afmetingen circuit: diepte zonder discussie aangenomen.

Vermenging afvalwater: is berekend met vermelding: „geen probleem”. De vraag is of dit dan wel eens een probleem zou kunnen worden.

Nabezinkruimte: hier is bewust een keuze gedaan tussen twee mogelijke alternatieven.

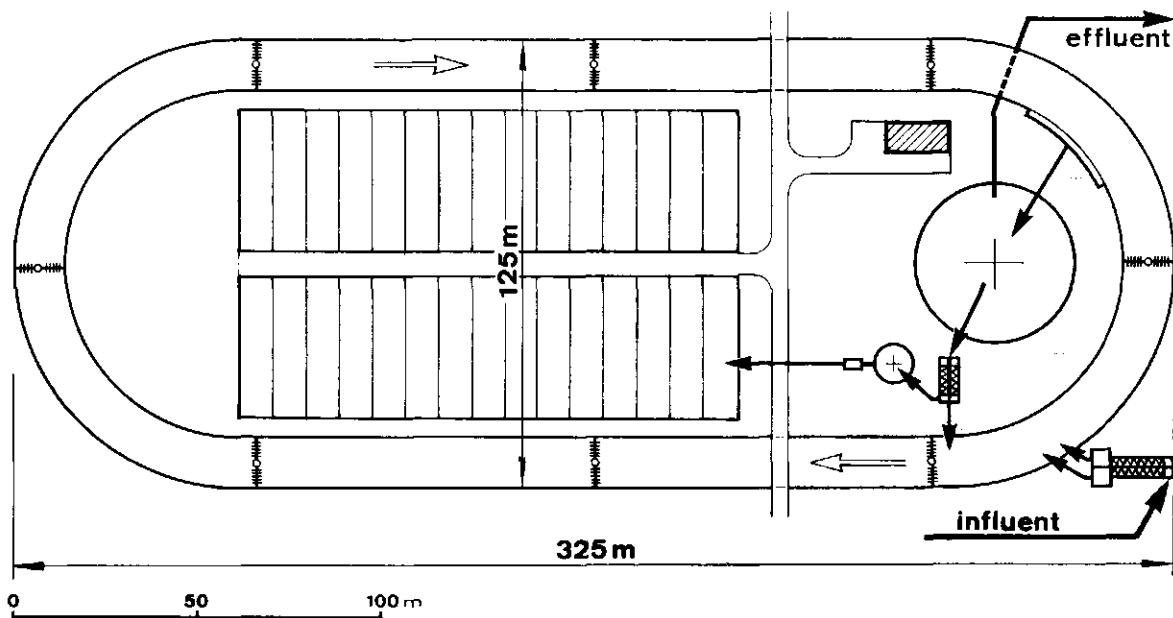
Overstortlengte: vaste overstort als uitgangspunt gekozen. Verstelbare rotoren of regelbare overstort zijn niet aan de orde gesteld.

Slibbedrijf: zonder discussie gekozen voor slibput en handgeruimde droogbedden.

Als wordt overgegaan tot het ontwerpen van een middelgrote installatie, komen sommige van de hiervoor genoemde punten wel aan de orde.

3. Middelgrote oxydatiesloot

Wat gebeurt er met het ontwerp van de oxydatiesloot voor 1.500 i.e., als een installatie moet worden gebouwd die bijvoorbeeld een 30 x zo grote capaciteit heeft, dus voor 45.000 i.e.? Men zal dan niet 30 kleine slootjes moeten bouwen, maar tot schaalvergroting moeten overgaan.



Afb. 2 - Oxydatiesloot voor 45.000 i.e. type „DSM”.

Hoe moet deze schaalvergroting plaatsvinden? Als alles n x zo groot wordt gemaakt zullen de lengte, de breedte en de diepte van de sloot n x zo groot worden. Dan zullen de kooiroteren n x zo lang en n x zo dik worden.

Het natte profiel van de sloot en de oppervlakte van de bezinkruimte zullen n^2 x zo groot worden en de inhoud van de sloot en die van de bezinkruimte zullen n^3 x zo groot worden. Het zal duidelijk zijn, dat op die manier de grondslagen van de oxydatiesloot in het gedrang komen en er bovendien enkele moeilijk uitvoerbare dimensies uit volgen.

Eén oplossing voor dit probleem is, de verticale dimensie in eerste instantie ongemoeid te laten en alleen de horizontale afmetingen te vergroten. Dan zal de horizontale oppervlakte met een factor $n^2 = 30$ moeten toenemen. Dit betekent een horizontale schaalvergroting van $n \cong 5,5$.

Een oxydatiesloot voor 45.000 i.e.: $dwa = 450 \text{ m}^3/\text{uur}$, $rwa = 1.500 \text{ m}^3/\text{uur}$. Eén vijzel? Liever 2 vijzels om de belasting van de nabezinktank wat meer te egaliseren. Welk type zandvanger? Twee oplossingen uit vele mogelijkheden: 2 gootzandvangens met een oppervlaktebelasting van $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$, of een Dorr-zandvanger met een opp.bel. van $30 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$. Het grofrooster voor de vijzels kan nog handgeruimd blijven. Voor of na de zandvanger zal echter een versnijding of een verwijdering van de grove delen moeten plaatsvinden.

Het natte dwarsprofiel van de sloot wordt alleen in breedterichting vergroot tot $5,5 \times 2,75 \text{ m}^2 = 15 \text{ m}^2$. Bij taluds 1 : 1 wordt de bodembreedte van de sloot 11,35 m' en dit brengt de hydraulische straal op:

$$R = \frac{15 \text{ m}^2}{2 \times 1,2 \text{ m}' \times \sqrt{2} + 11,35 \text{ m}'} = 1,02 \text{ m}'.$$

De lengte van de sloot wordt $5,5 \times 136 \text{ m}' = 750 \text{ m}'$ en de inhoud van de sloot $750 \text{ m}' \times 15 \text{ m}^2 = 11.250 \text{ m}^3$. Dit klopt met 45.000 i.e. x 250 l/i.e.

De lengte van de kooiroteren moet 45.000 i.e./500 i.e./m' = 90 m' worden. Hier komt een conflict met de horizontale vergroting 5,5 x, en zullen op meerdere

plaatsen roteren moeten worden aangebracht. Bovendien is er een technische grens aan de lengte van kooiroteren van ca. 6 m' lengte. Een oplossing is 8 bruggen met ieder 2 roteren van 5,60 m' lengte. In totaal dus 16 kooiroteren, twee aan twee aangedreven door in totaal 8 motoren. De afstand tussen de roteren bedraagt dan $750 \text{ m}'/8 \cong 94 \text{ m}'$.

Het debiet door de sloot zal in eerste instantie 5,5 x zo groot worden. Bovendien is de hydraulische straal van de grote sloot 1,02 m' terwijl die van de kleine sloot van 0,62 m' was. Nog afgezien van een vergroting van de coëfficiënt van de Chézy zal de snelheid in de grote sloot

met een factor $\sqrt{\frac{1,02}{0,62}} = 1,3$ toenemen. Er kan dus een

snelheid van $1,3 \times 0,35 \text{ m/s} \cong 0,45 \text{ m/s}$ worden verwacht. Dit brengt het debiet in de grote sloot tot $15 \text{ m}^2 \times 0,45 \text{ m/s} = 6,75 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bij rwa is de vermenging van het afvalwater met de slootinhoud $1.500 \text{ m}^3/\text{uur} : 6,75 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/uur} = 1 : 16$. Met 650 m' tussen de inloop en uitloop van de sloot is de kortsluitingstijd $650 \text{ m}/0,45 \text{ m/s} \cong 25 \text{ min}$. Bij een vermengingsfactor van 1 : 16 betekent dit dat bij rwa $6\frac{1}{4}\%$ van het ruw aangevoerde afvalwater, na een verblijftijd van 25 min. in het circuit van de oxydatiesloot, naar de nabezinktank stroomt.

Bij een slibretour capaciteit = $\frac{1}{2}$ rwa, zal $\frac{2}{3}$ van deze $6\frac{1}{4}\%$, d.w.z. ca. 4%, na $1\frac{1}{2}$ uur verblijftijd in de nabezinktank, als effluent tot afstroming komen. Dit cijfer was voor de kleine oxydatiesloot $< 1\%$, vandaar de melding „geen probleem”. Een 4% „kortsluiting” kan een zekere verhoging van de BOD van het effluent bewerkstelligen.

Aan de wens dat de waterstand tussen aanvoer = $\frac{1}{2}$ rwa en aanvoer = $1\frac{1}{2}$ rwa niet meer dan 3 cm mag variëren, kan alleen worden voldaan met een zeer lange vaste overlaat, bij de maximaal toegestane variatie van 6 cm wordt de overstortlengte ca. 12 m. De nabezinktank wordt lineair 5,5 x zo groot en krijgt een diameter van 44 m' en een kantdiepte van 1,50 m'.

De slibput is nu als slibdikker uit te voeren met een slibbelasting van 30 kg dr.st./m² dag. Met een slibproductie van 30 g/i.e. dag en een 5-daagse werkweek wordt de oppervlakte van de slibdikker:

$$\frac{45.000 \text{ i.e.} \times 30 \text{ g/i.e. dag} \times 7 \text{ dagen/5 werkdagen}}{30 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{werkdag}} = 63 \text{ m}^2$$

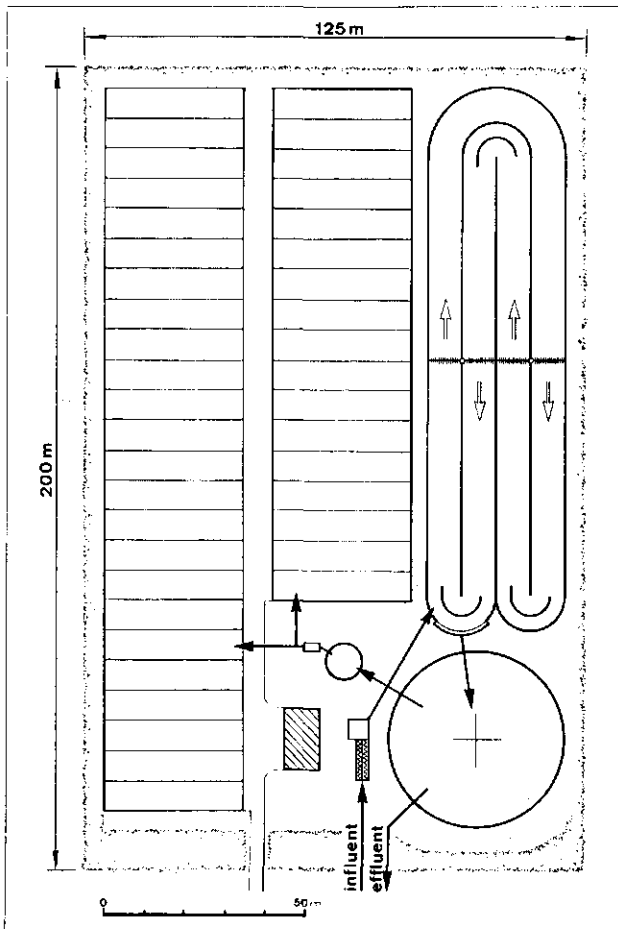
d.w.z. een slibdikker met een diameter van 9 m'.

Als slibdroogvelden met mechanische slibuiming worden toegepast, dan kunnen deze op 5 i.e./m² worden gedimensioneerd. De oppervlakte wordt 45.000 i.e./5 i.e./m² = 9.000 m². Met nog wat wegen, een bedrijfsgebouw, groenstrook en afrastering is de installatie weer nagenoeg volledig opgesomd en als dit alles in tekening is gebracht (afb. 2) dan lijkt e.e.a. veel op de oxydatiesloot, zoals deze voor de Staatsmijnen is gebouwd. Hier is destijds dus de zojuist behandelde horizontale schaalvergroting toegepast. De oppervlakte die een dergelijke installatie inneemt is echter erg groot. Voor 45.000 i.e. is 325 m' x 135 m' = 4,5 ha nodig. Dit is 1 m²/i.e. Het zal geboden zijn oplossingen te vinden die minder oppervlakte vragen.

4. Mammoetrotoren

Als het dan niet uit de lengte én de breedte kan, dan zal het in de diepte moeten worden gezocht. Bij schaalvergroting van ca. 30, maar nu in 3 dimensies is $n = \sqrt[3]{30}$. Bij beschouwing van de beluchtings-elementen blijkt dat

Afb. 3 - Oxydatiesloot voor 45.000 i.e. met Mammoetrotoren en droging van het slib op slibdroogvelden.

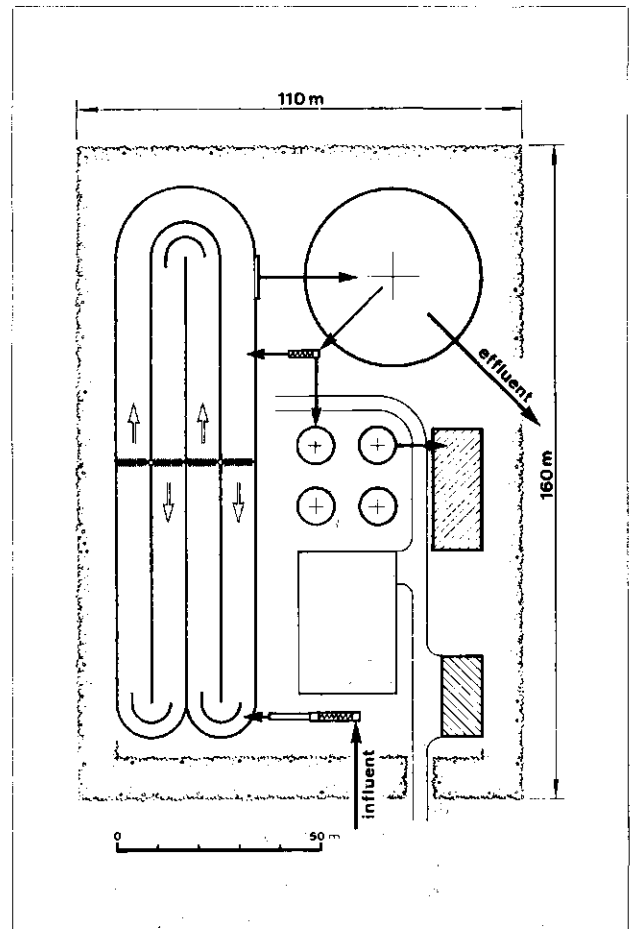


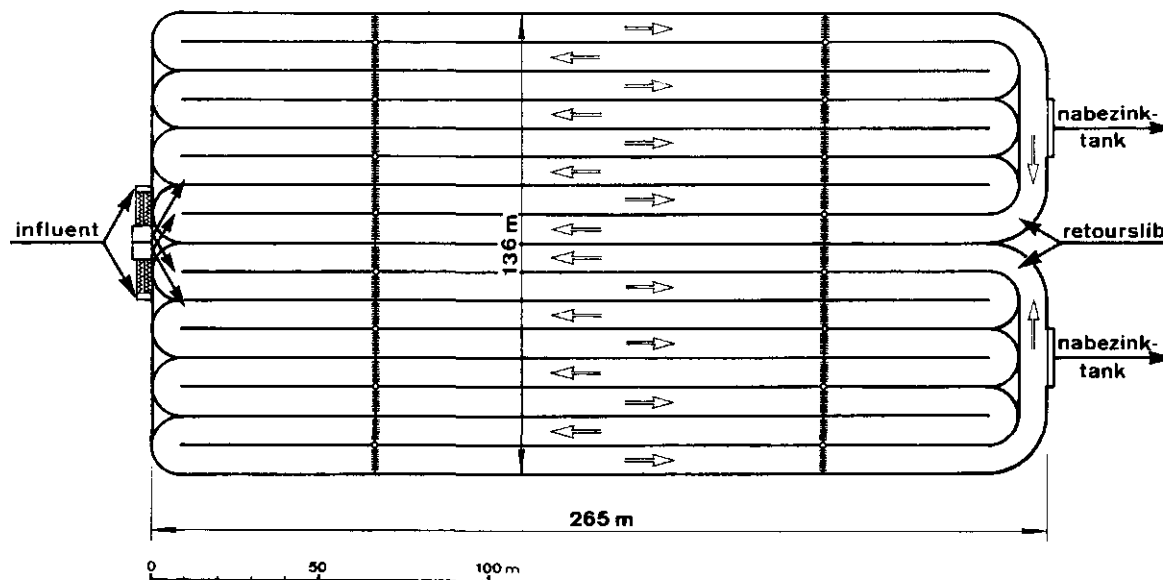
er sinds enige jaren een beluchtingsrotor wordt gefabriceerd, met een diameter van 1 meter, de zgn. Mammoetrotor. Deze rotor heeft per m' een beluchtingscapaciteit die ca. 3x zo groot is als die van de kooirotor met een diameter 70 cm. Uit proeven is gebleken dat bij toepassing van Mammoetrotoren, de diepte van de sloot kan worden vergroot tot 2,50 m. Benedenstreams van de rotoren wordt een schuin duikschot aangebracht, dat ten doel heeft de oppervlakte-stroming die door de rotor wordt opgewekt, naar de diepte af te leiden. Hierdoor zou ook langs de bodem voldoende stroomsnelheid aanwezig zijn.

De rest van de schaalvergroting moet deels uit de breedte en deels uit de lengte komen. Nu is er nog een praktische begrenzing nl. dat de gangbare maat van Mammoetrotoren tot 7,50 m' gaat. Het dwarsprofiel van de oxydatiesloot wordt nu geheel door het beluchtingselement bepaald nl. 8,50 m' breed en 2,50 m' diep — $F = 21,25 \text{ m}^2$. Dit is 7,5 x de afmeting van het profiel van de 1.500 i.e. sloot. Er moet dus nog een factor $30/7,5 = 4$ uit de lengte van de sloot komen.

Twee rotoren ieder van 7,50 m' lengte, aangedreven door een motor van 80 pk zijn samen voldoende voor de beluchting van 22.000 i.e. bij een OC/load van 2,5. Afb. 3 geeft een schets voor een oxydatiesloot voor 45.000 i.e. met Mammoetrotoren en slibdroogvelden. Het beluchtingscircuit is duidelijk veel compacter geworden dan bij de vorige schets (afb. 2) en de slibdroogbedden overheersen nu het beeld. Alleen al aan de hand van deze plattegrond zou men al de neiging krijgen om voor de

Afb. 4 - Oxydatiesloot voor 45.000 i.e. met Mammoetrotoren en mechanische droging van het slib.





Afb. 5 - Beluchtingsruimte voor een oxydatiesloot met Mammoetrotoren voor 350.000 i.e.

slibverwerking naar andere oplossingen te gaan zoeken. Het oppervlak van de installatie is inmiddels reeds van 4,5 ha naar 2,5 ha afgenomen.

In plaats van de slibdroging op slibvelden, kan worden gedacht aan een mechanische slibontwatering d.m.v. centrifuges of zeefbandpersen. Indien voor het mechanisch ontwaterde slib een opslagplaats wordt gecreëerd, alwaar het slib voor een periode van ca. 1 maand kan worden opgeslagen, is hiervoor bijzonder weinig plaatsruimte nodig. In afb. 4 is een schets gegeven van een oxydatiesloot met mechanische slibdroging en opslag van het ontwaterde slib. De terreingrootte is nu ingekrompen tot $110 \text{ m}' \times 160 \text{ m}' = 1,75 \text{ ha}$, d.w.z. $0,4 \text{ m}^2/\text{i.e.}$

5. Grote oxydatiesloten

Het wordt tijd de schaal nogmaals te vergroten, bv.: 8 x de middelgrote installatie, naar 350.000 i.e. Wat de oxydatiesloot met de Mammoetrotor betreft kan men niet verder in de breedte noch in de diepte. Het moet dus in de herhaling ofwel in de lengte worden gevonden. Hoe dan ook, het worden 3,5 ha water van 2,50 m' diep, met 32 Mammoetrotoren, ieder 7,50 m' lang. In totaal dus 240 m' aan Mammoetrotoren, die worden aangedreven door 16 motoren.

In de schets van afb. 5 is de beluchtingsruimte in 2 circuits voor ieder 175.000 i.e. ingedeeld. Dan kan voor een eventuele controle één van de circuits buiten bedrijf worden genomen en het andere circuit tijdelijk als zgn. Hochlastgraben worden belast.

Het debiet in deze grote circuits zal ca. $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn, maar de rwa is inmiddels aangegroeid tot $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Zelfs bij verdeling van deze afvalwaterstroom over 2 circuits, zal de invoer per circuit nog over meerdere punten dienen te worden verdeeld, opdat er nog een mengverhouding van 1 : 12 met de inhoud van het circuit kan plaatsvinden. Door de grote lengte van het circuit is de kortsluittijd tot ruim $3/4$ uur opgelopen.

Hoewel de Mammoetrotoren grotere wisseling in de pompdiepte verdragen wordt een vaste overstortrand wel erg lang. Er zal iets verstelbaars moeten komen. Nu laten de Mammoetrotoren — de naam suggereert al zo

iets — zich niet zo gemakkelijk manipuleren. Door instelling van de overstortrand zal daarom het niveau moeten worden geregeld.

In principe is dit vrij eenvoudig op te lossen. Minder eenvoudig wordt de sturing als men ook nog het O_2 -gehalte in de sloot wil regelen, iets wat bij een dergelijk grote installatie zeker interessant is.

Samenvattend kan worden gezegd dat een oxydatiesloot met Mammoetrotoren weliswaar een stap vooruit is t.o.v. de kooirotoren, maar dat er bij schaalvergroting een groot aantal meters rotoren nodig zijn, en een groot oppervlakte door het beluchtingscircuit wordt ingenomen.

6. Oppervlaktebeluchters

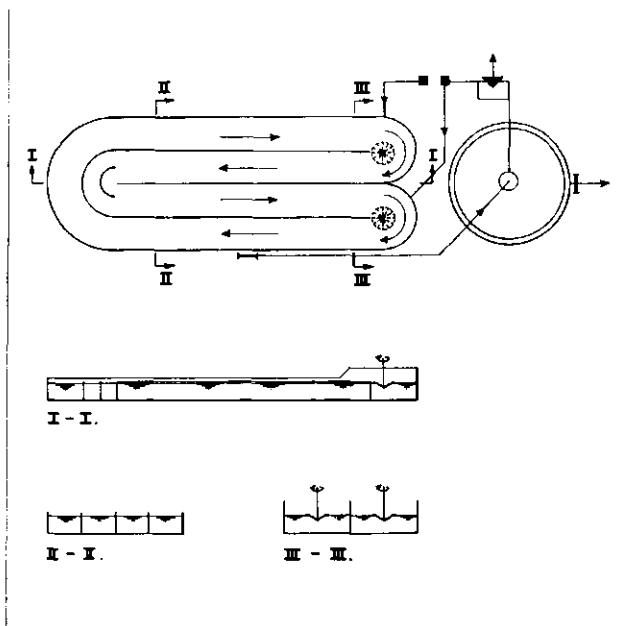
Gelukkig is er nog andere apparatuur beschikbaar voor de beluchting van oxydatiesloten nl. de zgn. oppervlaktebeluchters draaiende om een verticale as. Deze beluchters worden in een grote variëteit aangeboden. Voor toepassing in oxydatiesloten — waar het afvalwater hooguit een vuilrooster en een zandvanger is gepasseerd — is het van groot belang de keuze bij de oppervlakte beluchters te laten vallen op de zgn. open typen, teneinde de kans tot verstopping van de beluchter tot een minimum te beperken. Hoe de oppervlaktebeluchter in oxydatiesloten kan worden toegepast is o.a. door A. de Man en de auteur uiteengezet in een artikel in H_2O in september van het afgelopen jaar [1].

Een citaat hieruit:

„Als goedkope apparatuur dienen zich de oppervlakte beluchters aan. Deze zijn echter in eerste instantie ontwikkeld voor actief slib tanks met belastingen van 700 à $1000 \text{ g BOD}/\text{m}^3$. Plaatst men deze beluchters in grotere tanks, dan neemt het rendement van de zuurstofinbreng drastisch af. Het is dus zaak de beluchtingszone in de oxydatiesloot tot een gedeelte van de slootinhoud te beperken.

Blijft nog de vraag: „Hoe krijgen we de rest van de sloot in beweging”? Het antwoord op deze vraag is Carrousel. Dit is de naam voor een puur hydraulische oplossing van het probleem. Het recept is als volgt:

— Men neemt een tank waarvan de afmetingen zijn aan-

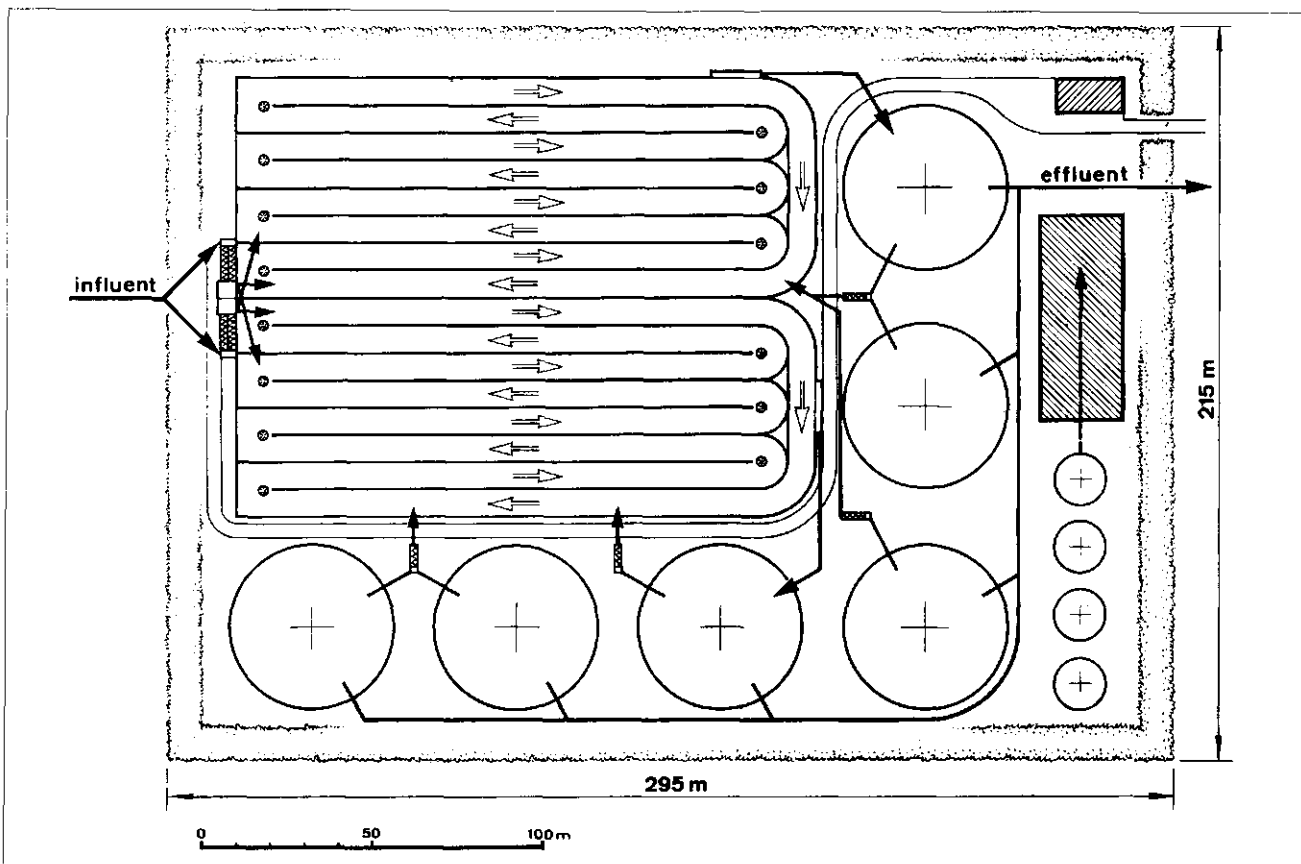


Afb. 6 - De Carrousel tank.

gepast aan een optimale werking van een oppervlaktebeluchter van de benodigde capaciteit.

- Men verwijdert één zijde van deze tank en verlengt de tank tot de benodigde inhoud aanwezig is.
- Men bouwt een middenwand in de lengte-as van de tank, behalve aan beide einden van de tank.
- Men installeert de oppervlaktebeluchter in het midden van de oorspronkelijke tank.

Afb. 7 - Carrousel-installatie voor 350.000 i.e.



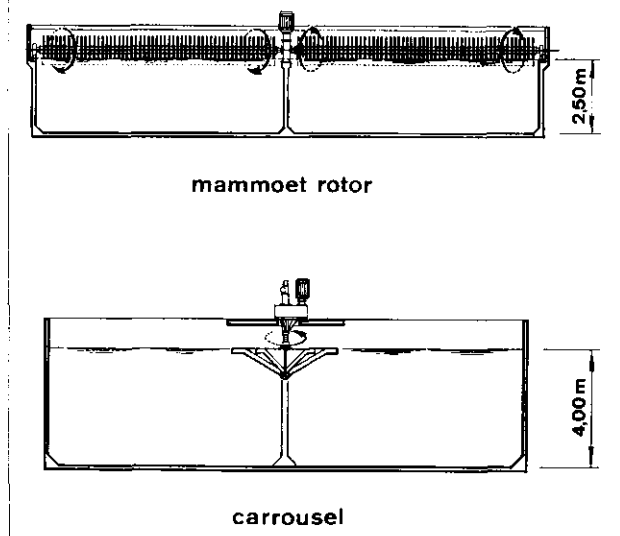
Zodra nu de oppervlaktebeluchter wordt gestart blijkt er niet alleen zuurstof te worden ingebracht, maar begint ook het water in de „benen” van de tank te stromen (afb. 6). De door de beluchter opgewekte spiraalstroming wordt door de scheidingswand in de Carrousel onderschept en geeft een deel van de daarin aanwezige energie af in het aanliggende „been”. De stuwning aan de ene zijde en de zuiging aan de andere zijde van de scheidingswand resulteert in de gewenste stroming van de vloeistof in het circuit”.

Behalve metingen in een model, schaal 1 : 20, voor het ontwerp van het prototype van de Carrousel in Oosterwolde en later metingen in een model, schaal 1 : 10, zijn thans ook metingen verricht in Carrousel installaties voor resp. 8.000 i.e. bij een melkfabriek te Ursem en voor 19.000 i.e. voor de gemeente Zuidlaren. Van de eerstgenoemde installaties zijn de afmetingen van het circuit 5 m' breed en 2,50 m' diep. In Zuidlaren is het circuit 6 m' breed en 3 m' diep.

Van de thans in aanbouw zijnde Carrousel's zijn er een aantal, waarvan het circuit 8 m' breed en 4 m' diep is, t.w.:

Maarn/Woudenberg	40.000 i.e.
Lichtenvoorde	48.000 i.e.
Beemster	65.000 i.e.
Ubach over Worms	75.000 i.e.
Winterswijk	77.000 i.e.
Geestmerambacht	100.000 i.e.
Kerkrade	150.000 i.e.

Hierbij wordt de — tot nu toe grootst bekende — beluchter toegepast, d.w.z. een beluchter met een diameter



Afb. 8 - Dwarsdoorsneden over de circuits van de Mammoetrotor en de Carrousel.

van 3,66 m'. De capaciteit van deze beluchter is bij 28 t/min. 140 kg O₂/uur — dit is voldoende om 25.000 i.e. bij een OC/load van 2,5 van zuurstof te voorzien. Indien deze beluchters in een Carrousel installatie voor 350.000 i.e. worden geplaatst zijn 14 beluchters met 14 motoren voldoende. Afb. 7 geeft een schets van een dergelijke installatie. De watervlakte is van 3,5 ha tot ruim 2 ha verminderd, een reductie van ca. 40 %.

Als de bouwkosten van beide circuits met elkaar worden vergeleken, dan blijkt dat het diepe Carrousel circuit per m³ inhoud ca. 15 % goedkoper is dan het circuit met Mammoetrotoren. Ook als de beide beluchtingseenheden op dezelfde schaal worden getekend (afb. 8), dan valt het op dat de oppervlakte beluchter met verticale as er eenvoudiger en goedkoper uitziet. Bovendien kunnen de oppervlakte beluchters met verticale as vrij eenvoudig op- en neer worden bewogen, waardoor aanpassing aan wisselende waterstanden zowel als aan wisselende zuurstofbehoefte tot de mogelijkheden behoort.

De totale oppervlakte van de Carrousel oxydatiesloot voor 350.000 i.e. met een bedrijf voor mechanische- en thermische slibdroging, is 215 m' x 295 m' = 6 1/3 ha, d.w.z. 0,18 m²/i.e.

De totale kosten van een dergelijke installatie bij het prijspeil 1971 is ca. f 20.000.000,—. De zuiveringskosten per aangesloten gezin zijn ca. f 30,— per jaar. Dat is nog geen dubbeltje per dag.

7. Zuurstofgehalte

Het vergroten van de schaal van de beluchtingsapparatuur doet de vraag rijzen: „Hoe is het verloop van het O₂-gehalte in de oxydatiesloot, speciaal bij de toepassing van grote beluchtingseenheden én een vrij grote afstand tussen deze beluchters? Wordt de sprong in O₂-gehalte vóór en na de beluchter niet zo groot, dat dit ten koste gaat van het rendement?”

Om met dit laatste punt te beginnen. Bij de 1.500 i.e. oxydatiesloot was het debiet in de sloot ∞ 1 m³/s en een kooirotor van 1,50 m' lengte kan per uur 4,2 kg O₂ in het water brengen. De sprong in O₂-gehalte vóór en na de kooirotor wordt dan:

$$\frac{4,2 \text{ kg O}_2/\text{uur}}{1 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/uur}} = 1,15 \text{ kg O}_2/\text{m}^3 = 1,15 \text{ mg O}_2/\text{l.}$$

Als we één kooirotor van 3 m' hadden toegepast was deze sprong 2,3 mg O₂/l geworden.

Bij de brede oxydatiesloot met de kooirotoren wordt de sprong:

$$\frac{11,2 \text{ m}' \times 2,8 \text{ kg O}_2/\text{m}' \text{ uur}}{6,75 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/uur}} = 1,25 \text{ mg O}_2/\text{l.}$$

Bij de Mammoetrotoren levert dezelfde berekening:

$$\frac{7,5 \text{ m}' \times 8,5 \text{ kg O}_2/\text{m}' \text{ uur}}{\infty 8,5 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/uur}} = 2,1 \text{ mg/l.}$$

Tenslotte bij de grote puntbeluchters:

$$\frac{140 \text{ kg O}_2/\text{uur}}{\infty 12 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s/uur}} = 3,25 \text{ mg/l.}$$

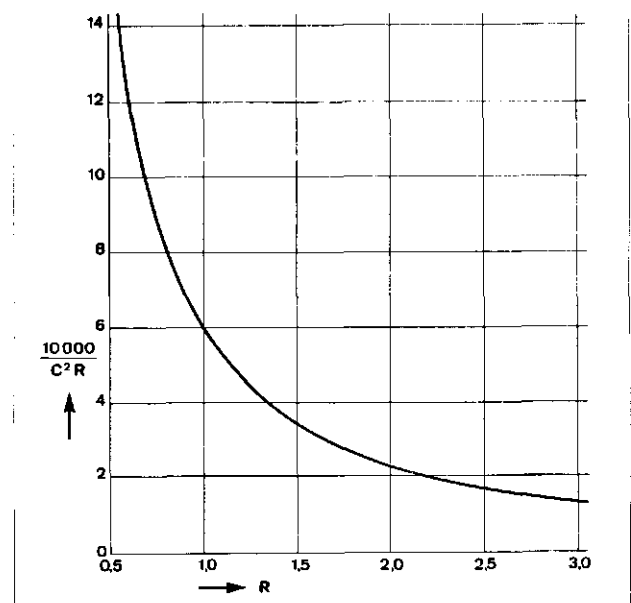
Bij de puntbeluchters heeft het water tijdens de beluchting een zekere verblijftijd. Het verbruik in deze tijd reduceert de zuurstofsprong van 3,25 mg/l tot 2,85 mg/l.

De zuurstofsprong neemt bij toenemende grootte van de beluchter inderdaad toe. De genoemde cijfers hebben allen betrekking op de maximale belasting bij de OC/load van 2,5. In de praktijk zullen deze cijfers ongeveer 2/3 van de genoemde waarden bedragen, ten eerste omdat de installatie niet continu volbelast is en ten tweede omdat in de OC/load van 2,5 een grote reserve aanwezig is.

Het vorenstaande betoog gaat echter geheel voorbij aan de beïnvloeding van de zuurstof-huishouding door de bio-chemische processen welke plaats vinden. Om hierover enig inzicht te verkrijgen zijn in de 2e helft van oktober 1970 door de heer J. A. H. Nusink, practikant van de Landbouw Hogeschool te Wageningen tijdens zijn stage bij de Ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey een aantal metingen verricht van het verloop van het zuurstofgehalte in de Carrousel te Oosterwolde [2]. Uit deze proeven is gebleken, dat het zuurstofgehalte na de beluchting, rechtlijnig afneemt in de lengterichting van het circuit, d.w.z. evenredig met de tijd.

Het zuurstofverbruik van het slib, bij een slibgehalte in de sloot van 3,5 à 4 kg/m³ varieerde tussen 3,3 en 7,3 g.

Afb. 9 - Relatie tussen de hydraulische straal en de energiefactor voor de beweging van de inhoud van een oxydatiecircuit.



O₂/uur.kg organische stof met een gemiddelde waarde van 4,8 g. O₂/uur.kg organische stof, tijdens belasting van de sloot met BOD. Een uur na het stopzetten van de aanvoer van afvalwater was het zuurstofverbruik van het slib 2,7 g. O₂/uur.kg organische stof.

Een opvallende bijzonderheid hierbij is dat bij normaal bedrijf, d.w.z. effluent met een BOD van 3 mg/l en een goede slibkwaliteit, het water na 1/3 tot 1/2 (afhankelijk van de belasting) van de lengte van het circuit te hebben doorlopen zuurstofloos was.

De zuurstofsprong, die, wanneer gerekend zou worden met een doorgaande ademhaling, gemiddeld 1,5 mg/l en max. 2,2 mg/l zou bedragen, bleek onder de genoemde praktijk omstandigheden max. 0,8 mg/l te zijn.

De metingen in Oosterwolde geven aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- het O₂ verbruik in de beluchttingszone kan niet worden gemeten, dit verbruik reduceert uiteraard de zuurstofsprong;
- de verhouding tussen de ingebrachte O₂ (OC) en de substraatademhaling na de beluchttingszone doet vermoeden dat tijdens de beluchting een verhoogde O₂-opname plaats vindt;
- blijkens de metingen wordt onder normale omstandigheden de substraatademhaling in de oxydatiesloot geëgaliseerd over een langere tijd, waardoor een zekere onafhankelijkheid van de belasting ontstaat;
- automatische zuurstofregeling in de oxydatiesloot zal zich moeten instellen op het gebruikelijke (voor het proces noodzakelijke?) zeer lage gehalte;
- een (beter) inzicht in het bio-chemisch proces, met name wat zich afspeelt in de tijd dat de inhoud zuurstofloos is, is gewenst.

8. Energieverbruik vs. snelheid vs. diepte

Het is interessant na te gaan hoe groot de benodigde energie is om de vloeistof in de oxydatiesloot in beweging te houden. Deze energie is het produkt van het gewicht van de vloeistof die per tijdseenheid door de sloot stroomt en het totale verval in de sloot. Het debiet van de sloot = $Q = v \text{ m/s} \times F \text{ m}^2 = v \cdot F \text{ m}^3/\text{s}$, of uitgedrukt als gewicht per seconde $10.000 \cdot v \cdot F \text{ N/s}$.

Het verval ΔH = lengte van de sloot \times het verhang in de

$$\text{sloot. Uit } v = C \sqrt{RI} \text{ volgt } I = \frac{v^2}{C^2 R} \quad \Delta H = \frac{v^2 L}{C^2 R}$$

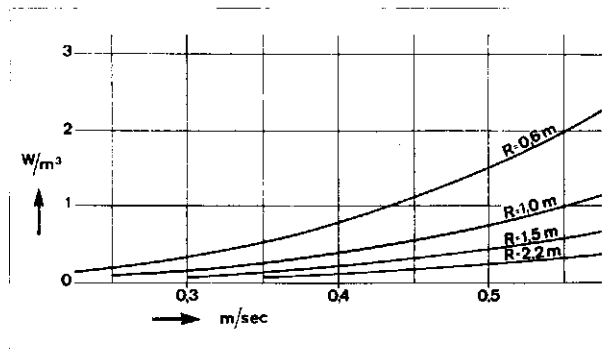
De totale hoeveelheid energie nodig om de vloeistof in beweging te houden is: $Q \times \Delta H = \frac{10.000 v^3}{C^2 R} \times F \times L$ Nm/s. (= Watt).

Omdat de inhoud van de sloot = $F \times L$, is deze energie per m³ inhoud van de sloot $\frac{10.000 v^3}{C^2 R}$ Watt. De grootte

van $\frac{10.000}{C^2 R}$ is in afb. 9 uitgezet als functie van de

hydraulische straal R. Omdat de hydraulische straal R op de coëfficiënt C van de Chézy van invloed is, wijkt de grafiek van afb. 9 af van een gewone hyperbool. De ingevoerde waarden voor de coëfficiënt van de Chézy zijn vastgesteld uit de praktijk van stroomsnelheidsmetingen in oxydatiesloten.

De afhankelijkheid van het energieverbruik voor de



Afb. 10 - Relatie tussen de energie voor de beweging van de inhoud van een oxydatiecircuit en de snelheid van deze beweging.

voortbeweging van de sloot met v^3 geeft te denken, vooral indien in kleine oxydatiesloten hoge snelheden worden opgewekt, is de daarbij verbruikte energie niet gering. In afb. 10 is die energieverbruik per m³ slootinhoud uitgezet tegen de watersnelheid in de sloot, voor sloten met verschillende hydraulische straal. Daarbij zal men deze cijfers moeten vergelijken met de totale hoeveelheid energie die door de beluchters aan de oxydatiesloot wordt toegevoegd voor hun primaire taak, nl. het beluchten van de inhoud van de oxydatiesloot. Bij een rendement van 1,8 kg O₂/uur per as pk, een OC/load verhouding van 2,5 en 4 i.e. per m³ slootinhoud is te berekenen hoeveel W/m³ hiervoor nodig is. Per uur is er per m³ water nodig:

$$\frac{4 \times 54 \text{ g BOD/etm.}}{24 \text{ uur/etm.}} \times 2,5 \frac{\text{g O}_2}{\text{g BOD}} = 22,5 \text{ g O}_2/\text{uur.}$$

$$\text{Hiervoor is nodig } \frac{22,5 \text{ g O}_2/\text{uur}}{1.800 \text{ g O}_2/\text{uur pk}} = 12,5 \times 10^{-3} \text{ pk} =$$

9 Watt.

Deze 9 W/m³ is de hoeveelheid energie die aan een oxydatiesloot moet worden toegevoegd om bij een OC/load verhouding van 2,5 en bij volle belasting van de sloot de gewenste hoeveelheid zuurstof in het water te brengen.

Is de sloot slechts voor ongeveer 2/3 belast (in het begin) of blijkt dat de gemiddelde belasting ca. 75 % is en een OC/load verhouding van 2,0 voldoende is, dan neemt de energie behoefte af tot ongeveer 6 W/m³. De conclusie uit deze beschouwingen is dat voor de beluchting van een oxydatiesloot 6 à 9 W/m³ vermogen, netto aan de as gemeten, nodig is.

Als deze energie behoefte wordt vergeleken met de energie die verbruikt wordt voor de voortbeweging van de vloeistof in de sloot — zoals aangegeven in afb. 10 — dan blijkt dat in ondiepe sloten, — vooral bij watersnelheden van 0,40 à 0,50 m/s — de voortbewegingsenergie oploopt tot ca. 10 % van de beluchttingsenergie.

Verder blijkt dat diepe sloten een bijzonder laag vermogen nodig hebben voor de voortbeweging en voldoende stroming manifesteren bij een vermogen dat ca. 1 % is van de door de beluchters in te brengen energie, d.w.z. minder dan 0,1 W/m³.

Literatuur

1. Zeper, J en Man, A. de. *Grote oxydatiesloten type „Carrousel”*. H₂O, 19, 17 september 1970.
2. Nusink, J. A. H. Interne nota Ingenieursbureau Dwars, Heerderik en Verhey NV.