

SUMMARY

The practice of aeration

Aeration serves different purposes, as most important of which in drinking water practice may be mentioned increase of oxygen content, decrease of carbon dioxide content and removal of various taste and odor producing volatile compounds. Under specified conditions, each aerator has a fixed efficiency, but these efficiencies may differ for addition and removal, while the effects obtained depend heavily on the difference between the original and the saturation concentration of the relevant gas. The intimate contact between air and water necessary for aeration may be obtained in different ways. On this basis aerators may be classified in 3 groups, in waterfall aerators, bubble aerators and in mechanical aerators. From each group, the most important representatives are described and discussed in terms of cost of construction and operation, space requirements, operational difficulties, flexibility and so on. In drinking water practice, the cost of aeration is usually small and the selection of the aerator best suited for the specified job is commonly made on other factors as financial ones.

Praktijk van de aeratie*)

1. Inleiding

1.1. Doel en toepassing

Aeratie is het proces, waarbij het te behandelen water in innig contact wordt gebracht met lucht, teneinde de gehalten van in het water opgeloste gassen te veranderen. Deze verandering kan beogen een verhoging van het gehalte aan opgeloste zuurstof, dan wel een verlaging van het gehalte aan opgelost koolzuur om de agressiviteit van het water weg te nemen, of een verlaging van het gehalte aan opgelost methaan, zwavelwaterstof, vluchtige organische verbindingen e.d. voor verbetering van reuk en smaak. In het buitenland wordt het aeratieproces ook wel voor andere doeleinden gebruikt, zoals voor verhoging van het koolzuurgehalte na ontharding met overmaat kalk en voor ozonisering.

Bij de drinkwaterbereiding in Nederland wordt aeratie op grote schaal toegepast bij de behandeling van grondwater, dat veelal anaeroob wordt gewonnen en soms een overmaat aan koolzuur en andere gassen bevat. Bij de behandeling van oppervlaktewater uit meren en rivieren behoort aeratie eigenlijk niet nodig te zijn. Dit water is immers reeds geruime tijd in contact met de atmosfeer, waarbij een evenwichtssituatie moet zijn verkregen met een zuurstofgehalte nagenoeg gelijk aan de verzadigingswaarde en slechts geringe gehalten van de bovengenoemde ongewenste gassen. In West-Europa moet echter op steeds grotere schaal gebruik worden ge-

maakt van oppervlaktewater, dat door lozing van huishoudelijk en industrieel afvalwater is verontreinigd. Enerzijds zal hierdoor het zuurstofgehalte dalen, anderzijds het gehalte van koolzuur en andere gassen toenemen en wederom wordt aeratie noodzakelijk.

Aeratie is ongetwijfeld het goedkoopste proces bij de bereiding van drinkwater met totale kosten variërend tussen ongeveer 1/10 en 1/4 cent per m³. Aan de andere kant is het effect van de aeratie slechts beperkt. Voor de verwijdering van koolzuur uit zacht water is wel een zeer intensieve beluchting noodzakelijk om de evenwichtslijn van Tillmans te bereiken en kan in vele gevallen het gewenste resultaat gemakkelijker en goedkoper door ontzuring met kalk of loog worden verkregen. Door beluchting is het niet wel mogelijk het zuurstofgehalte van het water met meer dan 9 mg/l te verhogen. In droge perioden kan voor oxydatie van in Rijnwater aanwezige ammoniak en organische stof wel 50 mg/l zuurstof nodig zijn. Dit zou niet minder dan 6 beluchttingsinstallaties met tussenliggende oxydatie-inrichtingen vereisen, waardoor oxydatie met chloor wederom eenvoudiger en goedkoper wordt.

Ook de bij aeratie optredende verbetering van reuk en smaak door verwijdering van vluchtige organische verbindingen is slechts beperkt, in vele gevallen kunnen door behandeling met actieve kool betere resultaten worden verkregen. Aeratie heeft zelfs nadelen. Diep grondwater dat hygiënisch betrouwbaar is wordt hiermede aan besmetting blootgesteld, terwijl een stabiel hard water door verlies aan koolzuur kalkafzettend kan worden met

alle moeilijkheden in het distributiesysteem daaraan verbonden.

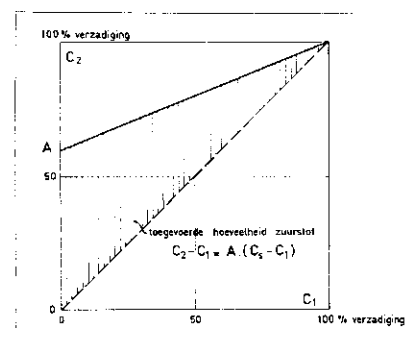
Beluchting wordt op grote schaal toegepast bij de oxydatief-biologische reiniging van afvalwater volgens het actief slib proces, waar enorme hoeveelheden zuurstof aan het water moeten worden toegevoerd, orde van grootte enige honderden milligrammen per liter.

Hiermede zijn aanzienlijke kosten gemoeid, globaal een paar cent/m³ en wordt het interessant om door verbetering van het beluchtingssysteem een financiële besparing te verkrijgen. Dit is de reden, dat speurwerk op het gebied van de beluchting vooral ten aanzien van het afvalwater wordt verricht. Bij de bereiding van drinkwater kan van de resultaten van dit speurwerk echter goed gebruik worden gemaakt. Helaas geschiedt dit in de praktijk nog steeds op beperkte schaal.

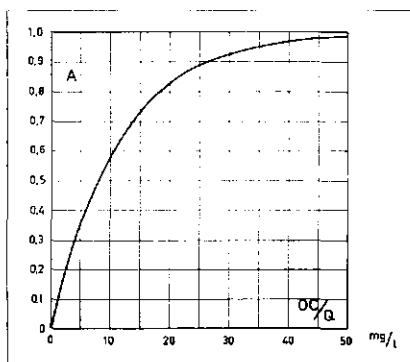
1.2. Theoretische beschouwingen

Wanneer water in een hoeveelheid van Q m³/uur door een aeratieinrichting wordt gevoerd, dan zal het zuurstofgehalte hierbij toenemen van

Afb. 1 - Verband tussen het zuurstofgehalte C_1 vóór en C_2 na beluchting.



*) 20e Vacantiecursus in Drinkwatervoorziening, gehouden door de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde van de TH Delft, op 4 en 5 januari 1968. Les no. 2.



Afb. 2 - Verband tussen werkingsgraad A en het specifiek zuurstoftoevoervermogen OC/Q van een aerator.

c_1 op c_2 mg/l. Uit de in de vorige les gegeven theorie der aeratie volgt, dat tussen beide gehalten nog een betrekking bestaat:

$$c_2 - c_1 = (c_s - c_1) \cdot A$$

waarin c_s de verzadigingsconcentratie bij de onderhavige druk en temperatuur voorstelt en de factor A voor de gegeven aeratieinrichting een constante is. Volgens de grafische voorstelling van bovenstaande formule in afb. 1 wordt door aeratie het aanvangsgehalte c_1 met een bepaald percentage A van de oorspronkelijke aanwezige onderverzadiging ($c_s - c_1$) verhoogd. De factor A zou dan ook de werkingsgraad van de aeratieinrichting kunnen worden genoemd.

De totaal door de aeratieinrichting toegevoerde hoeveelheid zuurstof OA (Oxygen Adsorbed) is gelijk

$$OA = (c_2 - c_1) \cdot Q = (c_s - c_1) \cdot A \cdot Q$$

gram/uur en zal dus bij dezelfde aeratieinrichting geringer zijn naarmate de aanvangsconcentratie groter is:

$$c_1 = 0 \quad 0,25 \quad 0,5 \quad 0,75 \quad 1,0 \quad \times \quad c_s$$

$$OA = 1,0 \quad 0,75 \quad 0,5 \quad 0,25 \quad 0,0 \quad \times \quad c_s \cdot A \cdot Q$$

Is eenmaal de factor A als functie van Q bekend, dan kan voor de betrokken aeratieinrichting bij elke aanvangsconcentratie c_1 het gehalte c_2 na beluchting worden berekend. Voor een bepaalde cascade met een totale valhoogte van 2 m b.v. geldt dat bij hoeveelheden tussen 25 en 100 m³/m³uur de waarde van A nagenoeg constant is, globaal gelijk 0,6. Met deze aerator kan het zuurstofgehalte van het doorgevoerde water nu worden verhoogd van 0 tot 60 % verzadiging, dan wel van 30 tot 72 %, van 60 tot 84 % of van 90 tot 96 % saturatie.

In de praktijk wordt in plaats van de werkingsgraad A vaak een andere grootte gebruikt om de aeratieinrichting te karakteriseren. Bij de

oxydatief-biologische zuivering van afvalwater vindt naast zuurstoftoevoer terzelfdertijd zuurstofverbruik plaats, waardoor het zuurstofgehalte in de beluchtingsbak laag blijft, slechts één tot enkele mg per liter. Onder het zuurstoftoevoervermogen OC (Oxygenation Capacity) wordt nu verstaan de hoeveelheid zuurstof in grammen per uur welke de beschouwde aerator in het water kan brengen wanneer het zuurstofgehalte hiervan nul is en blijft. Het is praktisch onmogelijk dit zuurstoftoevoervermogen rechtstreeks te meten. Wanneer echter bij aeratie van schoon water de concentratie stijgt van c_1 op c_2 , dan kan dit vermogen worden berekend volgens de formule:

$$OC = Q \cdot c_s \cdot \ln \frac{c_s - c_1}{c_s - c_2}$$

Uit deze betrekking volgt voor de samenhang met de reeds eerder genoemde werkingsgraad A :

$$A = 1 - e^{-\frac{OC}{Q \cdot c_s}}$$

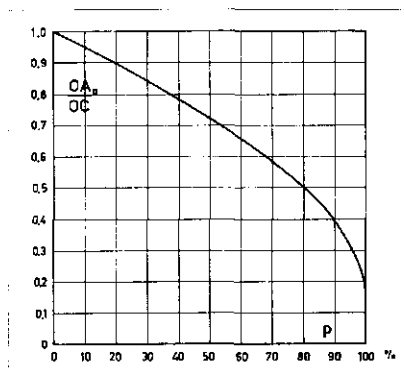
welk verband voor $c_s = 11,33$ mg/l bij een temperatuur van 10° C en een barometerstand van 760 mm kwik kolom grafisch in afb. 2 is weergegeven. Uiteraard kan de opgenomen hoeveelheid zuurstof ook rechtstreeks in het zuurstoftoevoervermogen worden uitgedrukt:

$$OA = \frac{c_2 - c_1}{c_s} \cdot \frac{OC}{\ln \frac{c_s - c_1}{c_s - c_2}}$$

Bij de beluchting van anaeroob water is $c_1 = 0$ en vereenvoudigt deze formule zich tot

$$OA_0 = \frac{c_2}{c_s} \cdot \frac{OC}{\ln \frac{c_s}{c_s - c_2}}$$

welk verband grafisch in afb. 3 is voorgesteld. Ook bij gebruik van het zuurstoftoevoervermogen zijn de berekeningen simpel en eenvoudig. Wordt b.v. voor de beluchting van 1000 m³/uur water beschikt over een borstel met een OC van 15000 gram/uur, dan is OC/Q gelijk 15 mg/l en heeft volgens afb. 2 de werkingsgraad A een waarde van 0,73. Met een verzadigingsconcentratie van 11,33 mg/l kan deze aerator het zuurstofgehalte verhogen van 0 op 8,3 mg/l, van 4 op 9,3 mg/l, van 8 op 10,4 mg/l, enz. Moet omgekeerd dezelfde hoeveelheid water van 0 op 85 % verzadiging worden gebracht, dan is de benodigde zuurstoftoevoer OA gelijk 0,85.11,33. 1000 = 9600 gram/uur, waarvoor volgens afb. 3 een zuurstoftoevoerver-



Afb. 3 - Verhouding tussen zuurstoftoevoer OA_0 en zuurstoftoevoervermogen OC bij verhoging van het zuurstofgehalte van 0 tot p % verzadiging.

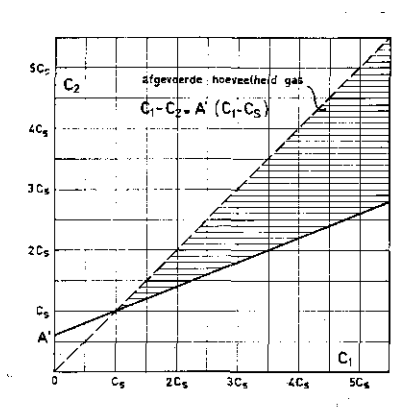
mogen OC van 9600/0,45 of rond 21000 gram/uur is vereist.

Voor het verwijderen van opgeloste gassen zoals koolzuur geldt dezelfde wetmatigheid als hierboven voor de opname van zuurstof is aangegeven. Bij het passeren van de aerator daalt nu het gehalte van c_1 op c_2 volgens de formule:

$$c_1 - c_2 = (c_1 - c_s) \cdot A^1$$

waarin A^1 de werkingsgraad voor desorptie. Zelfs bij geheel gelijk blijvende constructie van de aeratieinrichting behoeft deze werkingsgraad intussen niet dezelfde waarde te hebben als de factor A voor absorptie. De bovengegeven formule is nog eens grafisch weergegeven in afb. 4 en wederom blijkt het effect uitgedrukt als verwijderde hoeveelheid gas groter te zijn naarmate de aanvangsconcentratie c_1 meer van de verzadigingsconcentratie c_s verschilt. Bij de verwijdering van koolzuur doet zich intussen nog de moeilijkheid voor, dat het gewenste resultaat mede van het bicarbonaatgehalte afhankelijk is. Bedraagt dit gehalte b.v. 260 mg/l, dan is het bijbehorende koolzuurge-

Afb. 4 - Verband tussen koolzuurgehalte C_1 vóór en C_2 na beluchting.



halte volgens de kromme van Tillmans gelijk 20 mg/l. Met een aanvangsgehalte c_1 van 50 mg/l, een werkingsgraad A van 0,6 en een verzadigingsconcentratie c_s van 1 mg/l wordt bij aeratie het koolzuurgehalte verlaagd met $0,6 (50 - 1) = 29,4$ mg/l tot 20,6 mg/l, hetgeen net voldoende is. Is het evenwichtskoolzuurgehalte echter slechts 4 mg/l groot (bicarbonaatgehalte 150 mg/l), dan moeten 3 aeratieinrichtingen als bovengenoemd in serie worden geschakeld om het gewenste resultaat te verkrijgen. De eerste trap verlaagt het koolzuurgehalte dan van 50 tot 20,6 mg/l, de tweede van 20,6 tot 8,8 mg/l en de derde van 8,8 tot 3,9 mg/l.

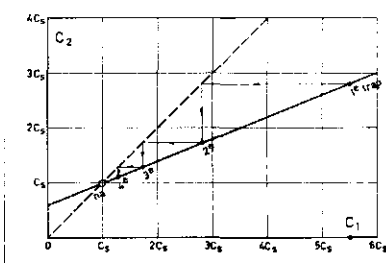
Volgens de afb. 1 en 4 is het zowel bij absorptie als desorptie onder normale omstandigheden onmogelijk de verzadigingsconcentratie te bereiken en bijzonder moeilijk om deze concentratie te benaderen. Bij verhoging van het zuurstofgehalte is dit ook niet nodig; doorgaans is een waarde van 70 à 80 % van de verzadigingsconcentratie meer dan voldoende. Reuk en smaak veroorzakende gassen en vluchtige organische stoffen kunnen echter in uiterst geringe concentratie nog moeilijkheden veroorzaken. Er moet dus wel naar worden gestreefd om de verzadigingsconcentratie zoveel mogelijk te benaderen.

Waar volgens afb. 5 het effect van in serie geschakelde aeratieinrichtingen met elke volgende trap kleiner wordt, zijn nu een groot aantal trappen nodig hetgeen hoge kosten van aanleg en exploitatie met zich mee brengt. Dit is de reden dat in vele gevallen reuk en smaakbestrijding door toevoeging van actieve kool eenvoudiger en goedkoper is.

1.3. Onderverdeling

Het voor aeratie benodigde contact tussen lucht en water kan op verschillende manieren worden verkregen. Naar de wijze waarop dit geschiedt worden de aeratieinrichtingen in drie klassen verdeeld:

- watervalbeluchters, waarbij het water in druppels of in dunne lagen door de lucht valt;
- bellenbeluchters, waarbij de lucht in bellen door het water omhoog stijgt;
- oppervlaktebeluchters, in het engels mechanical aerators genoemd, waarbij zowel de lucht als het water fijn worden verdeeld en de luchtbellen van een waterfilm, c.q. de waterdruppels van een luchtfilm worden voorzien.



Afb. 5 - Effect van in serie geschakelde ontgassingsinstallaties.

Bij verschillende aeratieinrichtingen treedt intussen een combinatie van bovengenoemde beluchtingswijzen op, waardoor de indeling in één van bovengenoemde drie klassen slechts historische betekenis heeft.

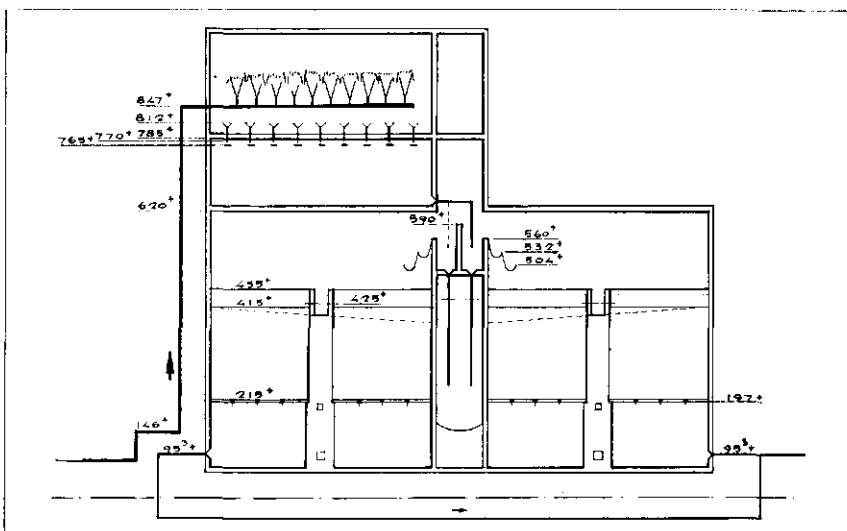
Uiteraard dienen beluchtingsinrichtingen steeds zodanig te worden ontworpen, dat bij minimaal energieverbruik een hoge gasuitwisselingscapaciteit wordt verkregen. Volgens de theorie van de aeratie, in de eerste les door prof. Beek ontwikkeld, kan dit worden bereikt door een groot contactoppervlak, een lange contacttijd en vooral door een voortdurende vernieuwing van het lucht-water grensvlak. De uitwisseling is immers groot op het moment dat het grensvlak wordt gevormd, doch neemt met de leeftijd van het grensvlak sterk af.

De laatste factor is van doorslaggevende betekenis en juist door een kunstmatige vergroting van de turbulentie is het de laatste decennia mogelijk gebleken het rendement van de aeratie aanzienlijk te verbeteren. In de praktijk wordt dit rendement uitgedrukt als het aantal kilowatts nodig voor een zuurstoftoevoervermogen

(OC) van 1000 gram per uur. Bij de in de volgende paragrafen gegeven cijfers is in dit energieverbruik het rendement van pomp, motor, compressor, transmissie e.d. zo goed mogelijk begrepen en heeft het kWh-getal dan ook betrekking op de energie aan het elektriciteitsnet onttrokken.

In de vorige paragraaf is er reeds op gewezen, dat de werkingsgraad van een aerator voor absorptie en desorptie niet dezelfde behoeft te zijn. Dit is wel het geval met watervalbeluchters, waarbij de aeratie uitsluitend en alleen plaatsvindt bij de val van de waterdruppels door de lucht (sproeiers). Bellenbeluchters daarentegen kunnen een hoog rendement hebben voor zuurstofopname, doch zijn voor de verwijdering van koolzuur in het algemeen minder geschikt. Bij het opstijgen van de luchtbel door het water, neemt namelijk het zuurstofgehalte van de lucht af en het koolzuurgehalte daarvan toe. De daling van het zuurstofgehalte is slechts gering, bv. 5 %, waardoor het effect van de zuurstofoverdracht slechts onbetekenend vermindert. De toeneming van het koolzuurgehalte is echter zeer groot, waardoor reeds spoedig het koolzuurgehalte van de lucht in de bel in evenwicht is met dat van het omringende water. Bij 10° C en atmosferische druk is 1 mg/l koolzuur in de lucht in evenwicht met 0,84 mg/l koolzuur in het water, waardoor bij een verhouding van 0,5 m³ lucht per m³ water zelfs de allerbeste bellenbeluchter het koolzuurgehalte van het water met niet meer dan 1/3 kan verminderen. Betere resultaten kunnen nu alleen worden bereikt door de lucht-waterverhouding drastisch te verhogen.

Afb. 6 - Sproeiinstallatie van de IWGL te Noord-Bergum.



Bij de in 3.1 te bespreken Inka Intense beluchters varieert deze verhouding van enkele tientallen tot enkele honderden m³ lucht per m³ water en is het wel mogelijk om zelfs hoge koolzuurgehalten tot enkele mg/l te reduceren. Smaak- en reukverwekkende gassen en vluchtige verbindingen kunnen nu ook tot uiterst geringe concentraties worden weggeblazen.

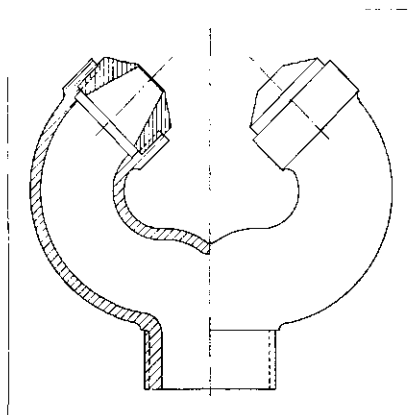
Het verschil in effect bij zuurstofopname en koolzuurafvoer behoeft in-tussen geen nadeel te zijn. Duinwater heeft een tamelijk hoog CO₂-gehalte, doch dit koolzuur is met het bicarbonaat in evenwicht. Aeratie blijft nodig om het zuurstofgehalte te verhogen, doch teneinde daarbij een verschuiving naar het kalkafzettende gebied te verhinderen, dient deze aeratie nu zodanig te worden uitgevoerd, dat geen koolzuur verloren gaat. Door de infiltratie van rivierwater is het mengsel van natuurlijk en kunstmatig duinwater thans een weinig agressief geworden en verschillende duinwaterleiding bedrijven zijn er dan ook reeds toe overgegaan hun aeratieinrichtingen zodanig te veranderen, dat nu wel een bescheiden afvoer van koolzuur wordt verkregen.

2. Watervalbeluchters

2.1. Sproeiers

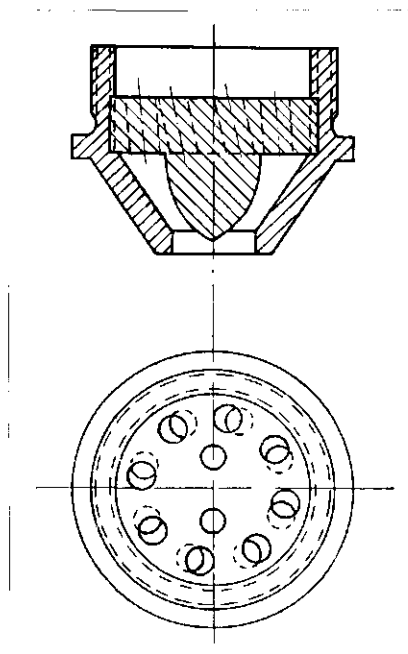
De klassieke sproeiinstallatie bestaat uit een systeem van buizen, voorzien van sproeiers, waardoor het water fijn verdeeld verticaal of schuin naar boven in de lucht wordt gespoten (afb. 6). Door de fijne verdeling is het contactoppervlak met de lucht groot. De contacttijd is echter slechts gering, niet meer dan 2 seconden bij een sproeihoogte van 5 m, terwijl bij de val van de waterdruppel door de lucht geen vernieuwing van het grensvlak plaats vindt. De werkingsgraad, gelijk voor adsorptie en desorptie, is dan ook maar bescheiden.

De constructie van de sproeiers zelf moet zodanig zijn, dat zonder nauwe openingen of bewegende delen een fijne verdeling van het water wordt verkregen en schoonmaak gemakkelijk mogelijk is. In het verleden zijn hiervoor verschillende oplossingen gevonden, waarvan afb. 7 enkele voorbeelden laat zien. De afstand tussen de sproeiers onderling moet zo groot worden gekozen, dat geen of slechts weinig interferentie tussen de verschillende delen mogelijk is, waardoor immers de fijne druppels zouden samensmelten en het contactoppervlak met de lucht geringer wordt. De benodigde plaatsruimte is hierdoor

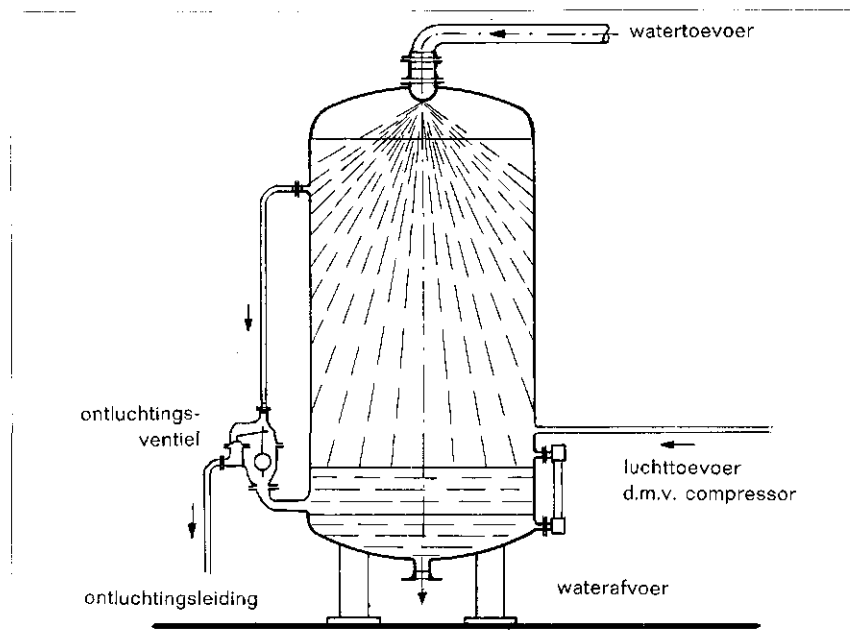


Afb. 7a - Amsterdamse sproeier.

Afb. 7b. - Talfordse sproeier.

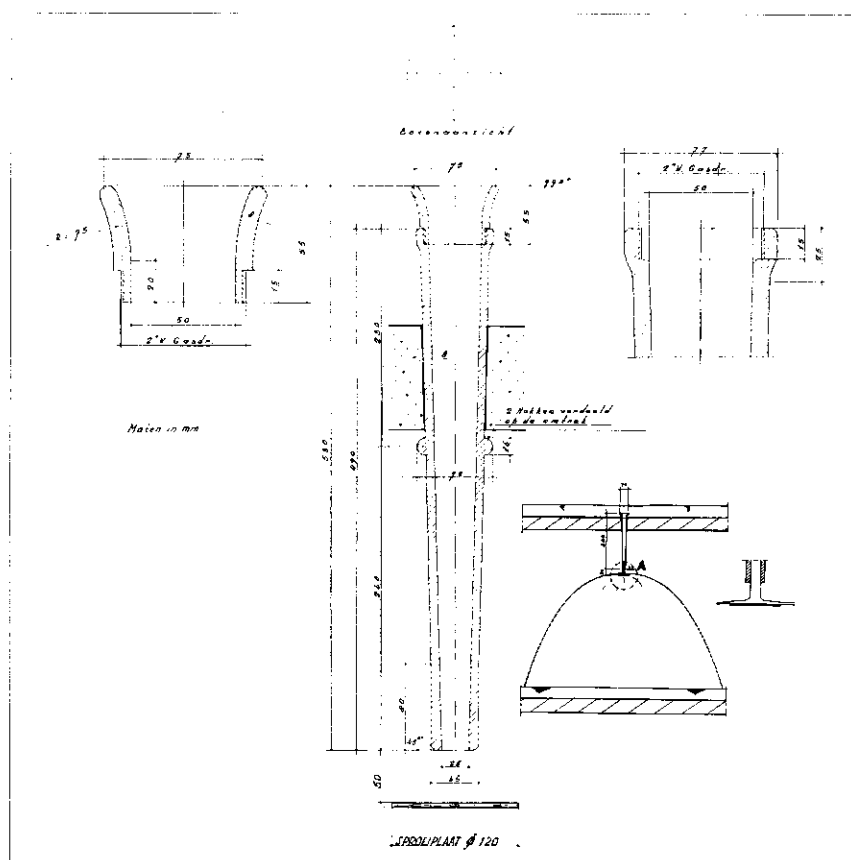


Afb. 8 - Beluchting onder druk.



groot, reden waarom sproeiinstallaties veelal in de open lucht worden opgesteld. Een wand voorzien van jalouzieën blijft dan echter gewenst om te verhinderen dat de wind de vallende druppels buiten het ontvangbassin blaast. Is gevaar van bevroren aanwezig of moet de kans op besmetting zoveel mogelijk worden gekeerd, dan is opstelling in een gesloten gebouw noodzakelijk. Een krachtige ventilatie, zo nodig onder tussenschakeling van luchtfilters, is nu nodig om te verhinderen dat de partiële druk van de zuurstof teveel daalt of die van het koolzuur teveel stijgt. Met het oog op de corroderende werking van de zeer vochtige atmosfeer is een goede materiaalkeuze noodzakelijk om excessief onderhoud te voorkomen. Moet het te aereren water onder druk blijven, dan kan de beluchting in drukkettels geschieden (afb. 8). Wederom is een intensievere luchtverversing noodzakelijk om een daling van het beluchtingseffect te verhinderen. Voor deze luchtverversing zijn nu echter compressoren noodzakelijk.

Het energieverbruik van sproeiinstallaties is tamelijk hoog en bedraagt zelfs bij goed ontwerp en uitvoering al gauw 0,8 kwh per kg zuurstoftoevoervermogen, terwijl bij minder geslaagde constructies waarden van 1,5 en 2 kwh/kg OC geen uitzondering zijn. Ook de benodigde plaatsruimte is groot, 100-200 m² per 1000 m³/uur, waardoor tesamen met het leidingwerk nodig voor aanvoer en verdeling van het water de aanlegkosten hoog zullen zijn.



Afb. 9 - Dresdener sproeier.

De moderne sproeiinstallaties spuiten het water intussen niet omhoog, doch laten dit in dikke stralen omlaag vallen. Op korte afstand onder de uitstroomopening is een cirkelronde schijf van glas op plastic gemonteerd, welke de straal in een paraplu-vormige film uiteentrekt (afb. 9).

Aan de randen desintegreert deze film in druppels, welke met grote snelheid in het met water gevulde opvangbassin plonsen. Tijdens de val door de lucht is de werking dezelfde als van de bovenbeschreven klassieke sproeiinstallatie, met alleen een geringer effect door de kortere contacttijd. Wanneer de druppels echter in het opvangbassin vallen, zijn zij omhuld met een laagje lucht, dat mede omlaag wordt genomen en het is vooral uit deze lucht dat zuurstof wordt opgenomen (oppervlakte beluchting). Ten aanzien van zuurstofopname is de werking dan ook aanzienlijk beter dan van de klassieke sproeiinstallaties, ten aanzien van koolzuurverwijdering echter geringer. Het energieverbruik van Dresdener sproeiers varieert weer van installatie tot installatie. Een waarde van 0,3 kwh/kgOC is bijzonder gunstig, doch zal in de praktijk doorgaans hoger liggen, ongeveer 0,5-0,8 kwh/kgOC,

afhankelijk van de gewenste verzadigingswaarde aan zuurstof. Het plaatsgebruik is wat geringer dan bij de klassieke sproeiinstallaties, globaal 100-150 m² per 1000 m³/uur, terwijl de atmosfeer ook iets minder vochtig is. Tegen opstelling in een gesloten ruimte bestaan nu minder bezwaren.

2.2. Schotelbeluchters

Wanneer een aantal bakken met geperforeerde bodem op elkaar worden gestapeld en hierboven het te aeren water wordt versproeid, dan zal elke bak de val van het water onderbreken (afb. 10). Hierbij wordt het luchtwater grensvlak vernieuwd, hetgeen tesamen met de lange contacttijd een hoge werkingsgraad geeft. Deze werkingsgraad kan nog worden verbeterd door het aantal bakken per m¹ hoogte te vergroten, dan wel door deze bakken met gebroken materiaal te vullen. Het laatstgenoemde is het eerst toegepast, waarbij vooral cokes als vulmateriaal zeer populair was, daar hierbij het afgezette ijzer katalytisch de ontijzering versnelt. Aan de andere kant trad nu een snelle vervuiling en verstopping op en werden deze cokesbedden tot broedplaats van wormen en andere onaangename organismen. In Zuid-Beveland is dit bezwaar on-

dervangen door de cokesbedden terugspoelbaar te maken (afb. 11), terwijl het droogfilter (afb. 12) de uiterste ontwikkeling in deze richting voorstelt. Behoeft echter geen ijzer te worden verwijderd, dan kan goedkoper het eerstgenoemde principe worden gevolgd en de bakken, zonder vulling, op korte onderlinge afstand worden geplaatst, dan wel door een kruisgewijze stapeling van latten of pijpen worden vervangen (afb. 13). Zowel hier als bij het droogfilter is de natuurlijke luchttoevoer onvoldoende en zal door een geforceerde ventilatie, in gelijk- of tegenstroom moeten worden vervangen.

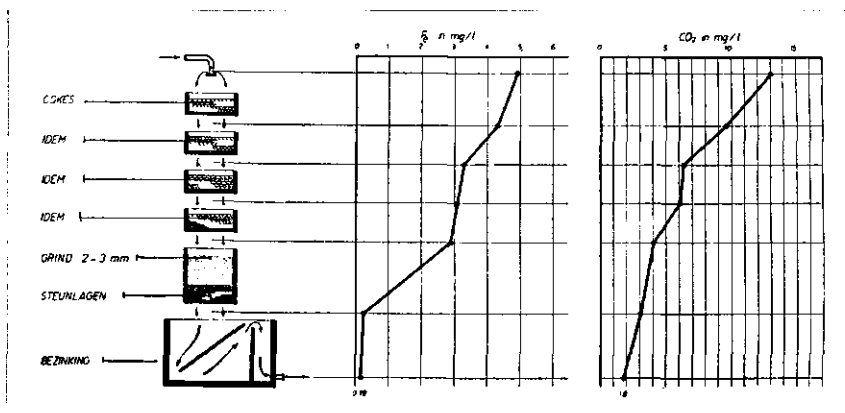
Door de vrij grote waterdruppels en het relatief geringe contactoppervlak is het rendement van schotelbeluchters intussen niet zo groot als uit bovenstaande beschrijving mocht worden verwacht en moet toch op energieverbruiken van 0,6-1,0 kwh/kgOC worden gerekend. Voor ontzuring bestaat er echter geen betere methode om het overtollige koolzuur te verwijderen. De benodigde plaatsruimte varieert sterk, van 10 tot 100 m² per 1000 m³/uur, waarbij het laatste getal op droogfilters betrekking heeft.

2.3. Cascadebeluchting

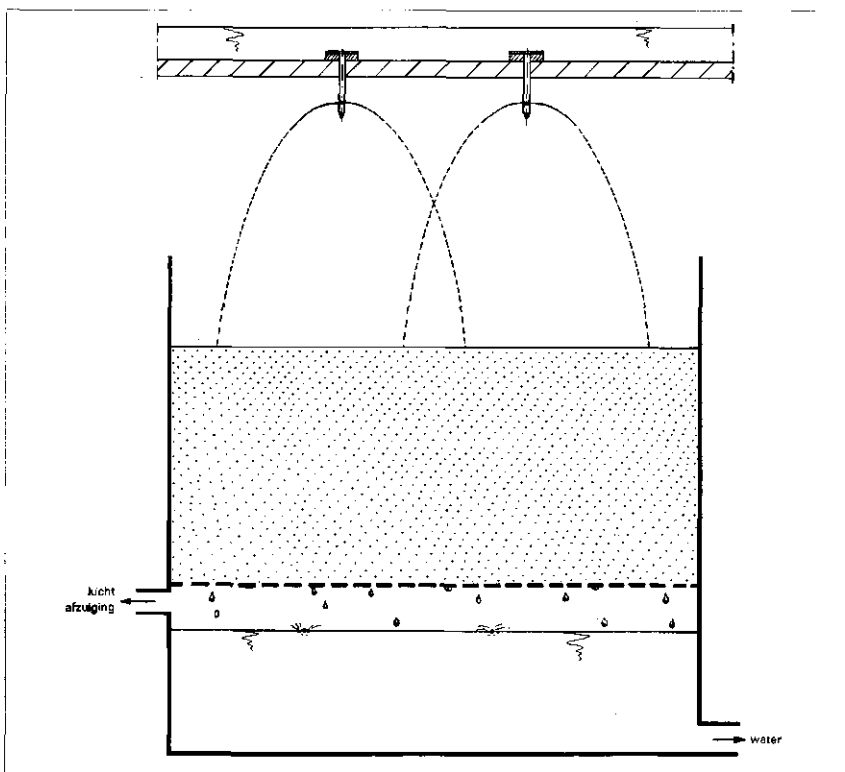
Oorspronkelijk werden cascades volgens dezelfde beginselen als de hierboven genoemde schotelbeluchters gebouwd, met slechts dit verschil dat de verschillende trappen niet onder doch naast elkaar waren geplaatst, terwijl door het aanbrengen van obstakels werd getracht de turbulentie d.w.z. de vernieuwing van het luchtwatergrensvlak nog verder te verbeteren (afb. 14). Met deze constructie worden nog

Afb. 10 - Schotelbeluchter.



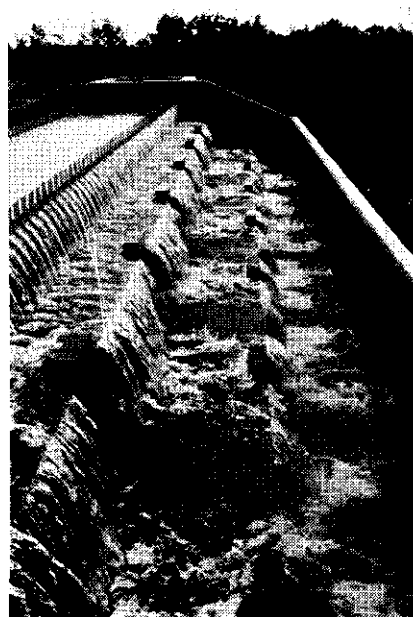
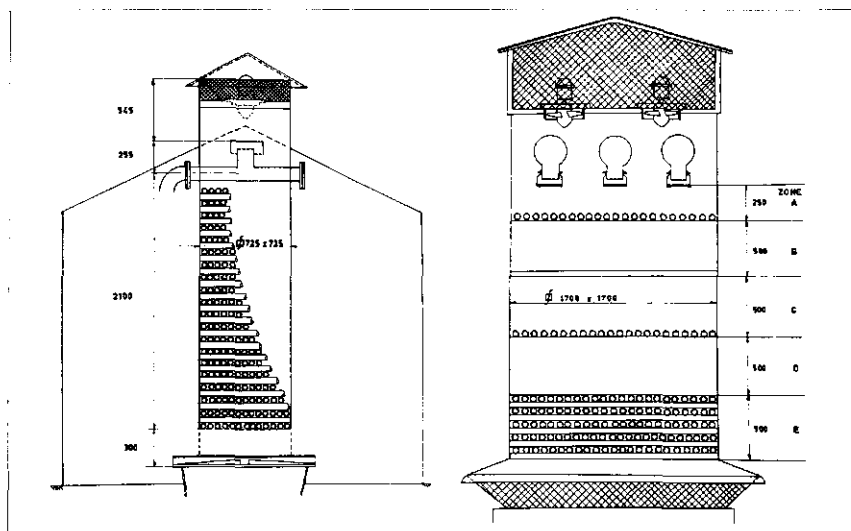


Afb. 11 - Cokesfilters Zuid-Beveland (De Ingenieur 1952).



Afb. 12 - Droogfilter.

Afb. 13 - Schotelbeluchter met kruisgewijze stapeling van plasticenbuizen (Waterleiding mij. Overijssel N.V.).



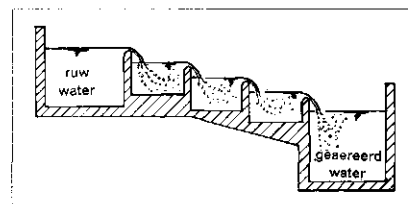
Afb. 14 - Cascade met treden.

altijd goede resultaten verkregen, zowel wat betreft zuurstofopname als verwijdering van koolzuur.

De moderne cascade laat echter een serie van naast elkaar geplaatste bakken zien, waarin het water uit elke voorgaande bak valt (afb. 15).

Tijdens de val door de lucht is het contactoppervlak gering, de contacttijd klein en treedt geen vernieuwing van lucht-watergrensvlak op. De gasuitwisseling is dan ook slechts gering. Bij het vallen van de straal in de benedenstrooms gelegen bak, sleurt het water door zijn impuls echter lucht mede en wanneer deze bak nu maar voldoende diepte en verblijftijd heeft, vindt hierin de opname van de zuurstof plaats. In totaal wordt een goede zuurstofopname verkregen, doch de verwijdering van koolzuur is slechts gering. Dit is echter juist de reden dat deze cascades bij de duinwaterleidingbedrijven zo populair zijn. Ten aanzien van de constructie van deze cascades kan nog worden opgemerkt, dat de valhoogte per trap gewoonlijk 0,2-0,4 m bedraagt en het aantal trappen tussen 4 en 10 varieert. De belasting kan wisselen tussen 20

Afb. 15 - Cascade met naast elkaar geplaatste bakken (Gemeente waterleidingen te Leiden).



en $100 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{uur}$ zonder het effect wezenlijk te beïnvloeden. Wanneer bij geringe stroomsterkte gevaar voor kleven van de straal bestaat, moet deze straal worden onderbroken, hetgeen ook wel bij grotere stroomsterkten wordt toegepast om een beter doordringen van de straal in de ontvangbak te verzekeren, om de hierin plaats vindende oppervlaktebeluchting te versterken.

Dit laatste kan intussen eveneens worden verkregen door de valhoogte per trap te vergroten tot 0,5 à 1 m en een evenredig geringer aantal trappen toe te passen. Op het Laboratorium voor Civiele Gezondheidstechniek aan de TH Delft worden reeds geruime tijd systematische metingen verricht om na te gaan hoe een optimaal resultaat kan worden verkregen. Eind 1968 zullen de resultaten van deze onderzoeken worden gepubliceerd. Door hun grote capaciteit per strekkende meter nemen cascades maar weinig ruimte in, terwijl de gladde straal slechts een geringe hoeveelheid vocht in de atmosfeer brengt, waardoor een beperkte ventilatie reeds voldoende is om een droog gebouw te verzekeren. Cascades zijn ook fascinerend om naar te kijken en laten niet na een diepe (en gunstige) indruk op het bezoekende publiek te maken.

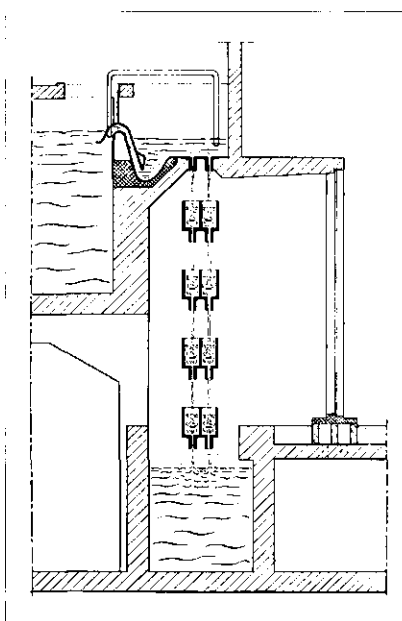
Bij de allernieuwste vorm van cascades is weer tot de opstellingswijze van schotelbeluchters teruggekeerd en worden de bakken onder elkaar geplaatst (afb. 16). Uit het voorgaande zal echter wel duidelijk zijn geworden, dat de wijze van aeratie totaal verschillend is, hetgeen vooral in de geringe afvoer van koolzuur tot uitdrukking komt.

Bij de moderne cascades varieert het energieverbruik van 0,5 tot 0,7 kWh/kgOC. Zoals reeds opgemerkt is de benodigde plaatsruimte gering, slechts $15\text{-}30 \text{ m}^2$ per $1000 \text{ m}^3/\text{uur}$ capaciteit.

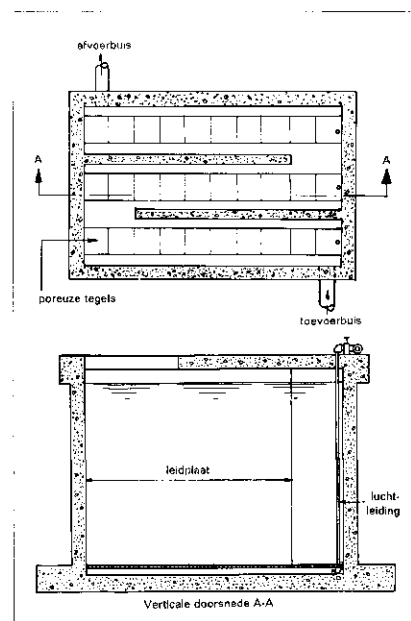
3. Bellenbeluchters

3.1. Met gecompriëerde lucht

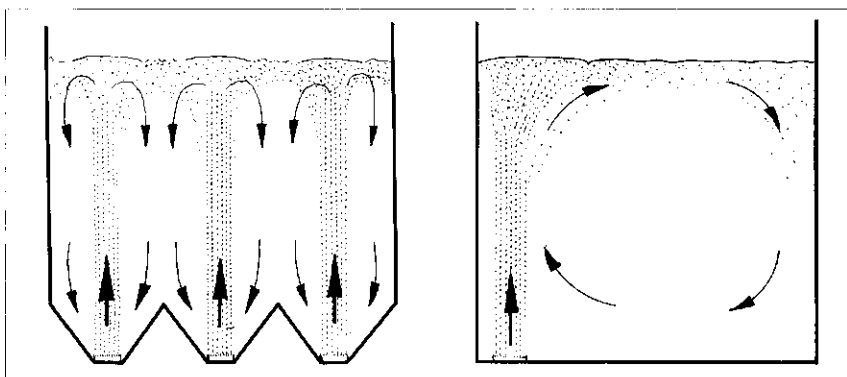
Bellenbeluchters bestaan in het algemeen uit een langgerekte tank van gewapend beton, met ongeveer vierkante dwarsdoorsnede en een waterdiepte van 3 à 4 m, waarin door middel van geperforeerde of poreuze platen of buizen de samengeperste lucht wordt geïnjecteerd (afb. 17). Bij de oudere uitvoeringen werd de lucht min of meer gelijkmatig over het bodemoppervlak van de tank verdeeld in het water gebracht. De opstijgende



Afb. 16 - Cascade met onder elkaar geplaatste bakken (PWN te Castricum).



Afb. 17 - Bellenbeluchter met gelijkmatig verdeelde luchtinpersing.



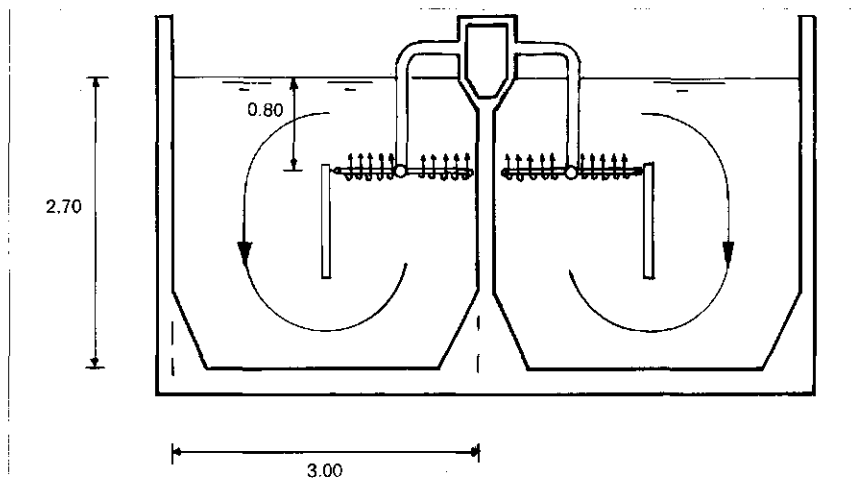
Afb. 18 - Bellenbeluchters met retourstromingen.

lucht neemt water mede, waardoor retourstromingen ontstaan, welke bij dit systeem echter geheel willekeurig zijn en van tevoren niet kunnen worden voorspeld. De plaats van deze retourstromingen kan worden gefixeerd, door het inblazen van lucht tot smalle stroken te beperken (afb. 18 links) dan wel aan de zijkant van de tank te concentreren (afb. 18 rechts).

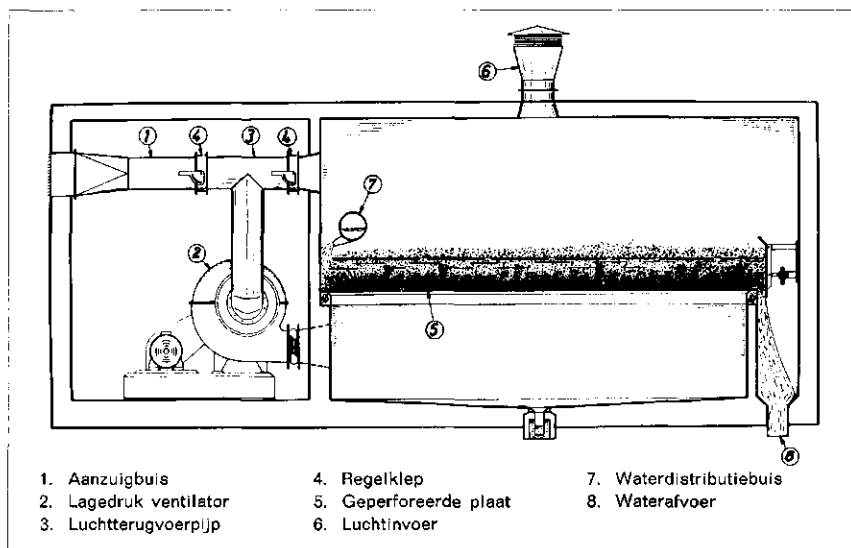
In beide gevallen ontstaan spiraalstromen, welke bij de oxydatief biologische behandeling van afvalwater onmisbaar zijn om bezinking van de actief slibvlokken te verhinderen. Ten aanzien van het rendement van de beluchting zijn deze spiraalstromen echter een tweesnijdend zwaard. Enerzijds neemt hierdoor de stijgsnelheid van de luchtbelletjes toe en wordt de contacttijd kleiner, anderzijds zal een deel van de belletjes niet aan het wateroppervlak ontsnappen, doch met het circulerende water weer omlaag wor-

den genomen, waardoor voor deze belletjes de contacttijd groter wordt. Wanneer bij drinkwaterbereiding geen spiraalstromen nodig zijn om bezinking van gesuspendeerde stof te verhinderen, is het nog zeer de vraag of de bij rioolwaterbehandeling gevonden oplossingen wel de meest gunstige resultaten geven.

Bij het opstijgen van de luchtbel door het water wordt het lucht-water grensvlak voortdurend vernieuwd. De gasuitwisselingscoëfficiënt is hierdoor hoog, terwijl de opname van zuurstof nog verder kan worden vergroot door toepassing van fijne luchtbelletjes met een geringe stijgsnelheid en een grote contacttijd en met een groot contactoppervlak. De diameter van de luchtbel is echter 10 maal zo groot als de opening waaruit hij ontsnapt. Voor fijne luchtbelletjes, met een diameter van 2 mm b.v., zijn dus zeer nauwe openingen nodig en moet van poreuze platen of buizen gebruik worden ge-



Afb. 19 - Inka beluchting.



Afb. 20 - Inka Intense beluchter.

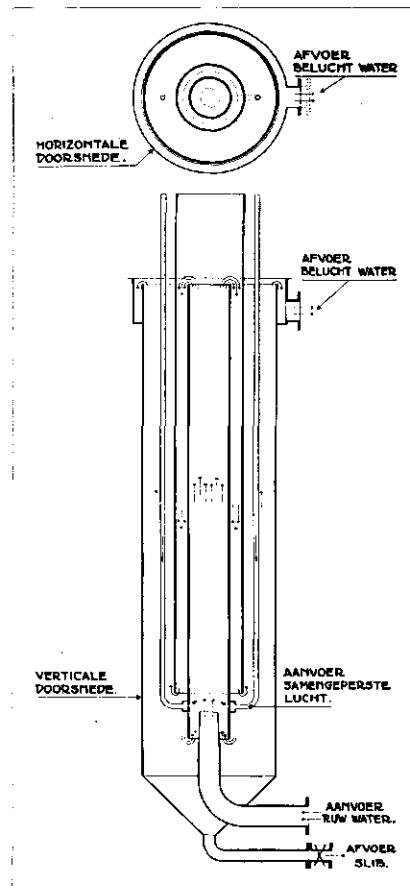
maakt, welke ook bij tussenschakeling van luchtfilters gemakkelijk verstopten. Om deze bedrijfsmoeilijkheden te ondervangen kunnen geperforeerde buizen of platen met grotere openingen aantrekkelijker zijn. Het energie- en luchtverbruik is dan echter groter, doch bij de bereiding van drinkwater speelt dit geen grote rol. Bij fijnblazige beluchting bedraagt de benodigde energie 0,5-0,6 kwh/kgOC, terwijl om drinkwater van 0 tot 80 % verzadiging te brengen rond 0,5 m³ lucht per m³ water nodig is. Bij middel- en grofblazige beluchting is het energieverbruik hoger, rond 1 kwh/kgOC en moet voor hetzelfde resultaat ook weer lucht worden ingeperst, globaal 1 m³ lucht per m³ water. Hoe langer het water in de beluchtingstank verblijft, hoe hoger bij beide systemen het rendement zal zijn. In de praktijk varieert de plaatsruimte tussen 50 en 150 m² per 1000 m³/uur capaciteit.

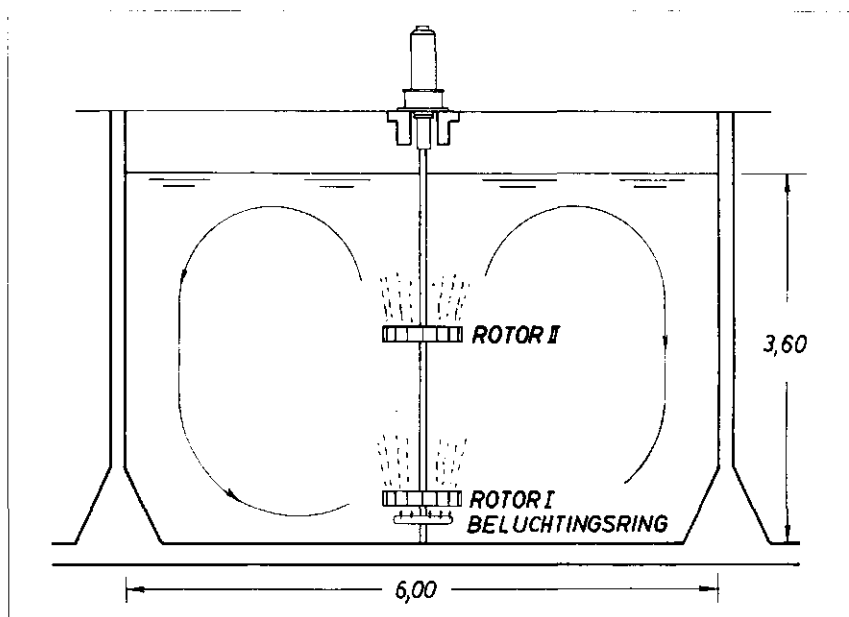
Zolang de drukverliezen bij aanvoer en verdeling van de lucht kunnen worden verwaarloosd, is het energieverbruik van de luchttoevoer evenredig aan het product van luchthoeveelheid en inblaasdiepte. Dit betekent dat het evenveel energie kost om 1000 m³ lucht op een diepte van 4 m in het water te persen als 5000 m³ lucht op een diepte van 0,8 m. Waar de contacttijd tussen lucht en water primair evenredig is met de inblaasdiepte, verandert hiermede het product van contactoppervlak en contacttijd niet. Wel wordt door de grotere luchthoeveelheid een sterkere turbulentie en een meer frequente vernieuwing van lucht-water grensvlak verkregen, waardoor het energieverbruik per kgOC een weinig zou kunnen dalen. Veel belangrijker is echter, dat bij de geringe inblaasdiepte de totale samendrukking minder dan 1 m waterkolom bedraagt, waardoor geen echte compressoren nodig zijn, doch

met eenvoudige centrifugaal ventilatoren kan worden volstaan en een eenvoudiger en goedkoper bedrijf wordt verkregen. Wordt bovendien de in afb. 19 getekende geleidewand aangebracht, dan wordt de pompwerking van de grote luchthoeveelheid nog verder versterkt.

De circulatiesnelheden zijn nu zo hoog, dat de luchtbelllen van de luchtuittredeopeningen worden afgeschoven alvorens zij hun uiteindelijke grootte hebben bereikt, waardoor met relatief grotere openingen toch fijne luchtbelllen kunnen worden verkregen. Bij deze z.g. Inka beluchting varieert het energieverbruik tussen 0,4 en 0,6 kwh/kgOC. Om water van 0 tot 80 % verzadiging te brengen is rond 2 m³ lucht per m³ water nodig, terwijl de benodigde plaatsruimte tussen 50 en 100 m² per 1000 m³/uur varieert. Hoewel bij het laatstgenoemde Inka systeem een wat grotere lucht-water verhouding wordt toegepast, is het effect ten aanzien van het uitdrijven van opgeloste gassen toch gering. Speciaal voor de verwijdering van koolzuur uit drinkwater is het in afb. 20 weergegeven Inka Intense beluchtingssysteem ontwikkeld, waarbij per

Afb. 21 - Beluchtingsput (Leidsche Duinwatermaatschappij N.V.).





Afb. 22 - Rotorbeluchting.

m^3 water niet minder dan 25 tot 500 m^3 lucht worden gebruikt. Het water wordt hierbij boven een geperforeerde roestvrij stalen plaat versproeid, waardoor de met een eenvoudige ventilator (opvoerhoogte 70 mm waterkolom) voortgestuwde lucht omhoog stijgt. Boven de plaat ontstaat een enkele decimeters dikke schuimlaag, door een mengsel van luchtbellen en waterdruppels, waarvan de grensvlakken door de sterke turbulentie voortdurend worden vernieuwd (oppervlaktebeluchting). De gasuitwisselingscoëfficiënt is hierdoor hoog, waardoor zowel een goede zuurstofopname als een goede verwijdering van koolzuur wordt verkregen. Als nadelen moeten worden genoemd het grote energieverbruik, 1-1,5 kWh/kg O_2 en het gevaar van verstopping van de openingen in de roestvrij stalen plaat door afzetting van ijzer en kalk. De menselijke fantasie is intussen onbeperkt en dit geldt ook ten aanzien

van het aantal systemen voor bellenbeluchting met gecomprimeerde lucht. Als voorbeelden hiervan laat afb. 21 de Leidse beluchtingsput zien, waarbij door recirculatie, door een intensiever contact tussen lucht en water de benodigde plaatsruimte is beperkt tot 60 m^2 per 1000 m^3 /uur. Het energieverbruik is echter minder gunstig, globaal 1 kWh/kgOC, terwijl om water van 0 tot 80 % verzadiging te brengen rond 1 m^3 lucht per m^3 water nodig is. In afb. 22 is de rotorbeluchting getekend, waarbij de uit de beluchtingsring opstijgende grove bellen langs mechanische weg fijn worden verdeeld, terwijl dit bij het Spargersysteem van afb. 23 geschiedt door de waterstraal welke met grote snelheid lang de luchtuitblaas openingen strijkt.

Bellenbeluchting met gecomprimeerde lucht heeft bij de behandeling van rioolwater de grote charme, dat door vergroting van de luchttoevoer hoge zuurstoftoevoervermogens in klein bestek kunnen worden ondergebracht. Bovendien wordt de voor beluchting vereiste energie, hier al gauw overeenkomende met een opvoerhoogte voor het te behandelen water van 50 à 100 m waterkolom, van buiten af toegevoerd. Bij de bereiding van drinkwater is de voor aeratie benodigde energie echter veel geringer en komt met een opvoerhoogte van het te beluchten water voor slechts een paar meter overeen, hetgeen gemakkelijk door de ruwwaterpompen kan worden geleverd, terwijl de aanwezigheid van luchtcompressoren met bij-

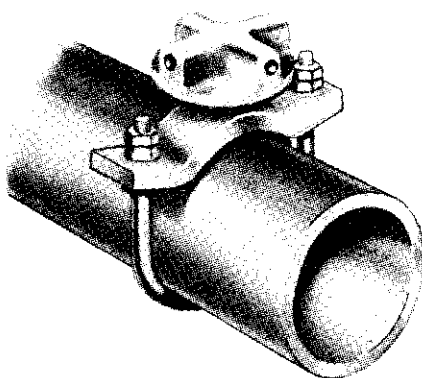
behorende leidingen en verdeelinrichtingen steeds een ongewenste complicatie van de mechanische inrichting betekent. De voor beluchting nodige opvoerhoogte is intussen meestal niet aanwezig wanneer aeratie achteraf bij een bestaande installatie moet worden verwezenlijkt, en dan komt bellenbeluchting wel degelijk in aanmerking. Als verdere voordelen hiervan kunnen nog worden genoemd, dat kans op bevriezing bijna uitgesloten is en opstelling in de open lucht dus zeer wel mogelijk. Bij de beluchting van hygiënisch betrouwbaar grondwater kan door gebruik van luchtfilters besmetting vergaand worden geweerd, terwijl in andere installaties de bellenbeluchting tevens kan worden gebruikt om voor waterbehandeling nodige chemicaliën hiermede te mengen. Met uitzondering van het Inka Intense beluchtingssysteem is het effect ten aanzien van desorptie echter gering en kunnen hiermede slechts bescheiden hoeveelheden koolzuur worden verwijderd.

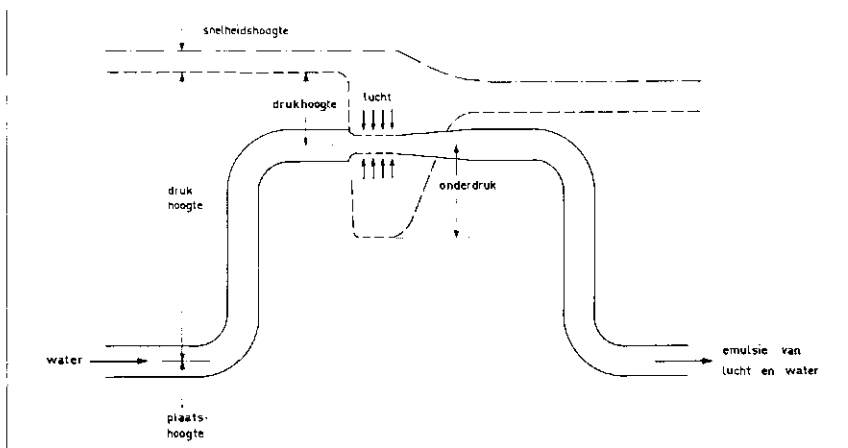
3.2. Met aangezogen lucht

De energiehoogte van het door een leiding stromende water bestaat uit drie delen: de plaatshoogte, de drukhoogte en de snelheidshoogte. Volgens deze beluchting kan de drukhoogte worden verkleind door vergroting van de plaatshoogte en door vergroting van de snelheidshoogte. Het laatste kan geschieden door in de leiding een vernauwing aan te brengen en mits slechts de oorspronkelijke drukhoogte niet te groot is, kan ter plaatse van deze vernauwing gemakkelijk een onderdruk ten opzichte van de atmosfeer worden gecreëerd (afb. 24). Worden nu in het vernauwde buisgedeelte openingen aangebracht, dan wordt buitenlucht aangezogen, welke zich met het water vermengt en hierdoor wordt afgevoerd (waterstraal luchtpomp). Om na de vernauwing de snelheidshoogte weer zo goed mogelijk in drukhoogte om te zetten en het energieverlies te beperken, wordt doorgaans een venturivormige verwijding toegepast.

Venturibeluchters werken geheel volgens het bovenvermelde principe, waarbij alleen voor toepassing van luchtfilters en om lekkage bij stilstand te verhinderen een wat andere constructie wordt gebruikt (afb. 25). De in de keel aangezogen lucht wordt in de venturivormige verwijding intensief met het water vermengd, waarbij een emulsie van fijne luchtbellen

Afb. 23 - Spargerbeluchting.





Afb. 24 - Principe van de aeratie met aangezogen lucht.

wordt verkregen, welke door het water worden meegevoerd, zelfs wanneer de waterstroom omlaag is gericht. Het contactoppervlak en de contacttijd lucht-water zijn dan ook groot. Door de gelijke snelheid van water en luchtbellens is de vernieuwing van het lucht-water grensvlak echter gering en het energieverbruik toch tamelijk hoog.

Door de geringe lucht-waterverhouding, is de verwijdering van koolzuur uitermate gering.

Als voordelen kunnen hiertegenover nog worden vermeld, dat de benodigde plaatsruimte gering is, aanleg- en onderhoudskosten laag zijn, terwijl weinig vocht in het gebouw wordt gebracht.

Een bijzonder interessante en ingenieuze ontwikkeling van het beginsel der venturibeluchting toont de in afb. 26 weergegeven beluchtingsput van de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage. Wederom wordt de lucht door het creëren van een onderdruk aangezogen, maar het lucht-watermengsel wordt daarna op grote diepte, 5-20 m, gebracht. In paragraaf 1.2 is voor de stijging van het zuurstofgehalte bij de aeratie de betrekking gegeven:

$$c_2 - c_1 = (c_s - c_1) \cdot A$$

waarin de werkingsgraad van een gegeven constructie een constante is. De verzadigingsconcentratie c_s is echter

niet constant, doch neemt recht evenredig met de druk toe. Dit betekent, dat wanneer het water tot op 20 m diepte wordt gebracht en de druk van de lucht in de bellen tot 3 atmosfeer stijgt, bovenstaande vergelijking zich transformeert tot

$$c_2 - c_1 = (3c_s - c_1) \cdot A$$

Volgens deze vergelijking zou anaëroob water ($c_1 = 0$) geheel met zuurstof kunnen worden verzadigd ($c_2 = c_s$) bij een A gelijk aan slechts 1/3. Waar het water slechts kort op een diepte van 20 m blijft is een hogere waarde van A nodig om verzadiging te bereiken, doch dit blijft zeer wel mogelijk en zelfs kan oververzadiging met zuurstof worden verkregen. In het laatste geval zal het water intussen niet alleen met zuurstof, doch ook met stikstof oververzadigd zijn. Wordt nu de beluchting door filtratie gevolgd, dan wordt zuurstof verbruikt doch stikstof niet. Bij deze filtratie treedt een drukverlaging op, waarbij stikstof kan vrijkomen, dat zich dan in belletjes tussen de zandkorrels afzet. Deze belletjes belemmeren de neerwaartse waterstroming met een snelle toeneming van de filterweerstand als gevolg.

Ten aanzien van de vormgeving kan nog worden opgemerkt, dat de conus verstelbaar is om de luchthoeveelheid aan de waterhoeveelheid aan te pas-

sen. De lucht wordt aangezogen door een krans van plastiek buisjes en de luchtbelletjes worden mee omlaag genomen door de neerwaartse snelheid in de binnenbuis groter dan ongeveer 0,5 m/sec. te kiezen. Stijgt de snelheid boven 1,5 m/sec., dan zouden hydraulische verliezen het rendement der beluchting ongunstig beïnvloeden. Het regelbereik moet bij voorkeur dan ook niet groter dan 1 op 3 worden gekozen. Hoe geringer de opwaartse snelheid in de ringvormige ruimte tussen binnen- en buitenbuis, hoe hoger het aeratie rendement zal zijn. Gewoonlijk wordt deze snelheid op 1/3 tot 2/3 van de neerwaartse snelheid in de binnenbuis gesteld.

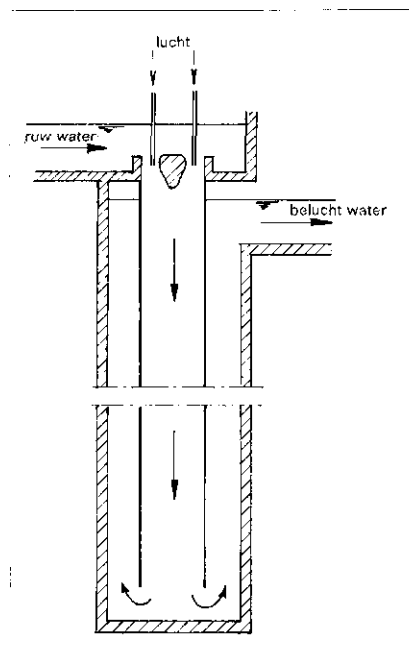
In termen van plaats- en energieverbruik is voor zuurstofopname geen beter beluchtingssysteem beschikbaar. Het plaatsgebruik is verwaarloosbaar, niet meer dan 0,5 m² per 1000 m³/uur, terwijl het energieverbruik varieert van 0,15 kwh/kgOC bij een diepte van 20 m en een beperkte verhoging van het zuurstofgehalte, tot 0,4 kwh/kgOC bij een diepte van 5 m en een sterke verhoging van het zuurstofgehalte. De verwijdering van koolzuur en andere opgeloste gassen is wederom uiterst gering.

4. Oppervlaktebeluchters

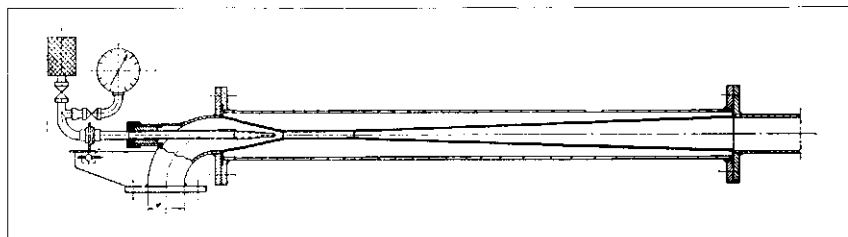
4.1. Borstelbeluchting

De borstelwals, zoals deze in de jaren 1955-58 door het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO is ontwikkeld, bestaat uit een horizontale sta-

Afb. 26 - Putbeluchting van de Duinwaterleiding van 's-Gravenhage.



Afb. 25 - Venturibeluchter (International Water Supply Association 1955).



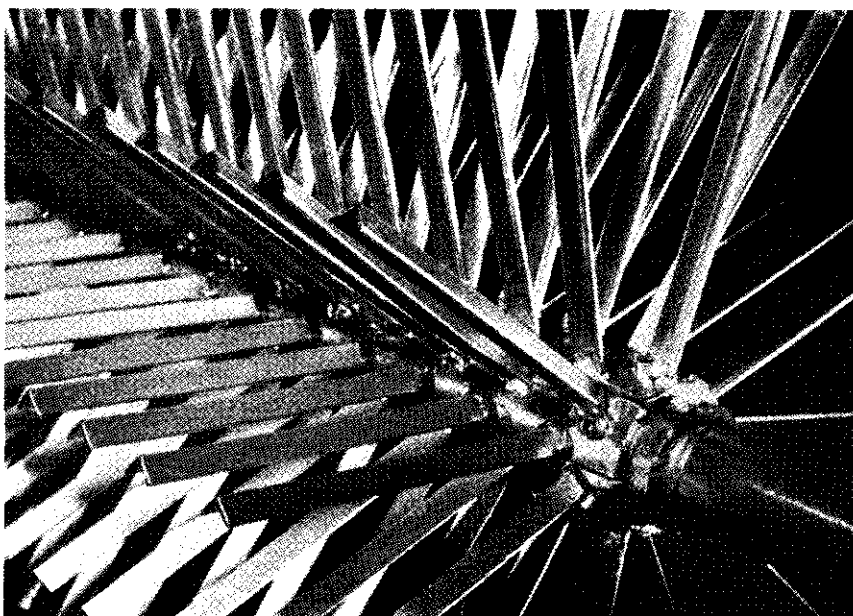
len as, waarop in radiale richting tanden zijn gemonteerd (afb. 27). De wals draait met ongeveer 100 tot 150 omwentelingen per minuut en is zodanig aan de rand van (afb. 28) of loodrecht op het beluchtingsbassin (afb. 29) opgesteld, dat de tanden voor ongeveer een kwart van de totale diameter zijn ondergedompeld. Bij de rotatie wordt nu enerzijds lucht in het water geslagen en anderzijds het water in druppels door de lucht weggeslingerd met als gevolg een sterke turbulentie, een intensieve vernieuwing van het lucht-water grensvlak en een hoog rendement voor zuurstofopname. De verwijdering van koolzuur is slechts matig, maar toch aanzienlijk beter dan met bellenbeluchters kan worden verkregen. De borstel stuwt het water ook voort, hetgeen bij het actief-slibproces nodig is om bezinking van de vlok te voorkomen, terwijl bij de bereiding van drinkwater nu met een negatieve opvoerhoogte kan worden volstaan.

De tandvorm blijkt grote invloed te hebben op het rendement en de grootte van het zuurstoftoevoervermogen, dat voorts door verandering van toerental en indompeldiepte aan de omstandigheden kan worden aangepast. Onder optimale omstandigheden bedraagt het energieverbruik slechts 0,3 kwh/kgOC. In de praktijk zal echter ook onder minder gunstige bedrijfsomstandigheden moeten worden gewerkt, waardoor het energieverbruik tot 0,4 à 0,8 kwh/kgOC zal toenemen. Het zuurstoftoevoervermogen per m³ borstel is groot, één tot enkele kg per uur, waardoor de benodigde plaatsruimte gering is, orde van grootte tot 20 tot 60 m² om 1000 m³/uur drinkwater van 0 tot 80 % verzadiging te brengen.

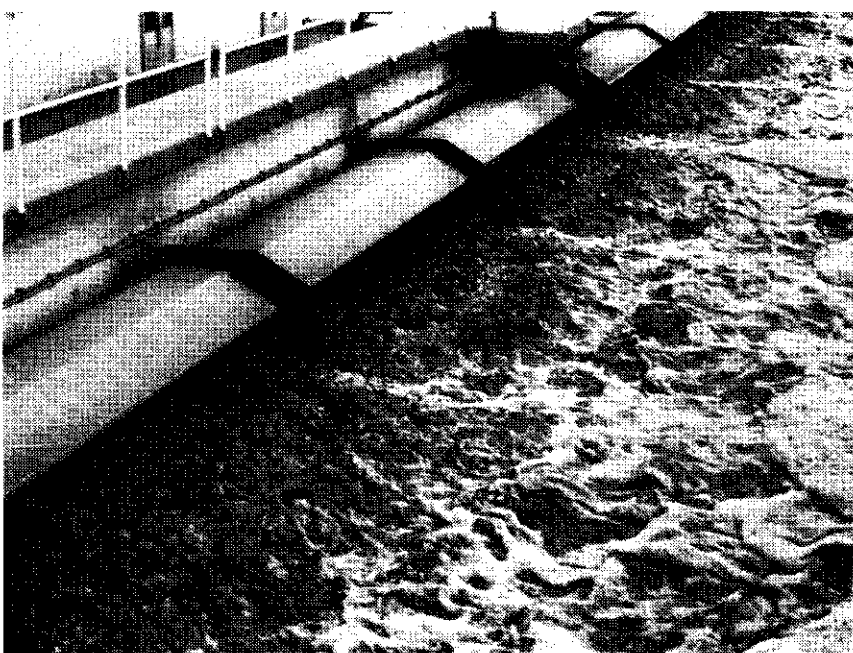
De borstelbeluchting is ontwikkeld voor de oxydatief-biologische zuivering van afvalwater en wordt daarbij op ruime schaal toegepast. Gebruik voor beluchting van drinkwater is nog slechts zeer beperkt, doch is door het hoge rendement en de geringe plaatsruimte wel degelijk aantrekkelijk. Voor bestaande installaties heeft borstelbeluchting nog het voordeel, dat geen energie aan het water wordt onttrokken, maar zelfs hierdoor het water kan worden voorgestuwd.

4.2 Schijfbeluchters

Wanneer de in afb. 30 weergegeven schijf om de verticale as draait, nemen de aan de onderzijde gemonteerde tanden het water mede. Door cen-

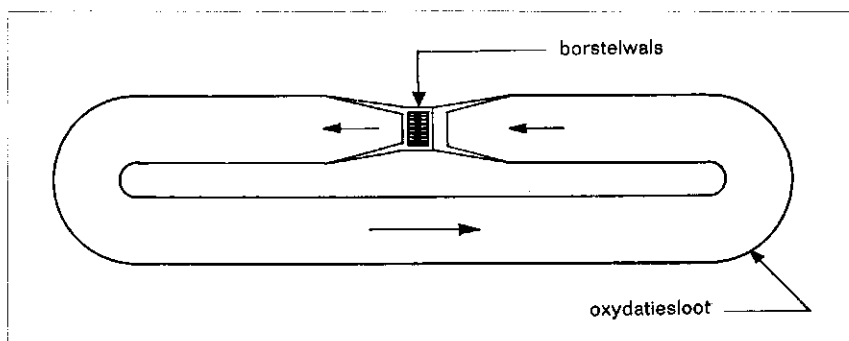


Afb. 27 - Borstelwals (Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, rapport nr. 28).



Afb. 28 - Borstelbeluchting van een actief-slib installatie (Rioolwaterzuiveringsinstallatie Eindhoven).

Afb. 29 - Borstelbeluchting van een oxydatie sloot.

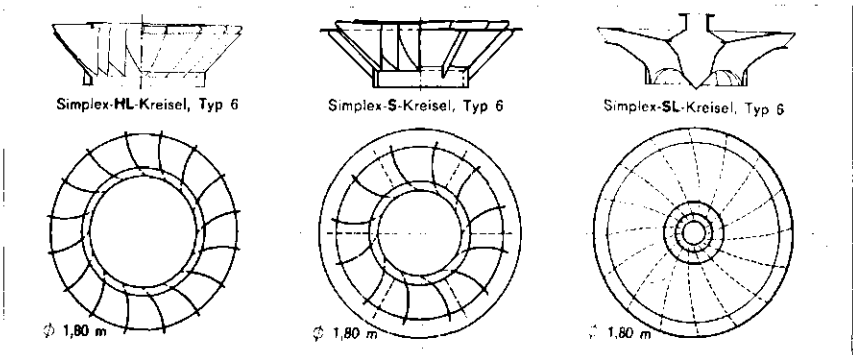


trifugaalwerking daalt de waterstand ter plaatse van de schijf en zullen de tanden net als bij de borstelwals van de vorige paragraaf enerzijds lucht in het water slaan, anderzijds waterdruppels door de lucht wegslingeren. Wederom wordt een grote zuurstofopname met hoog rendement en een bescheiden koolzuurverwijdering verkregen. De opstelling is echter eenvoudiger (hoewel bijzonder kritisch ten aanzien van de diepte) en in het bijzonder kan een defecte installatie gemakkelijk en snel worden vervangen. Ook hier heeft variatie van vorm, grootte en aantal van tanden en schijf een belangrijke invloed op de grootte en het rendement van de zuurstoftoevoer. Nog voortdurend worden door constructieve wijzigingen verbeteringen verkregen, die dan onder allerlei merknamen in de handel worden gebracht.

Energieverbruik, benodigde plaatsruimte en toepassingsmogelijkheden bij de drinkwaterbereiding zijn nagenoeg gelijk aan de in de vorige paragraaf beschreven borstelbeluchters.

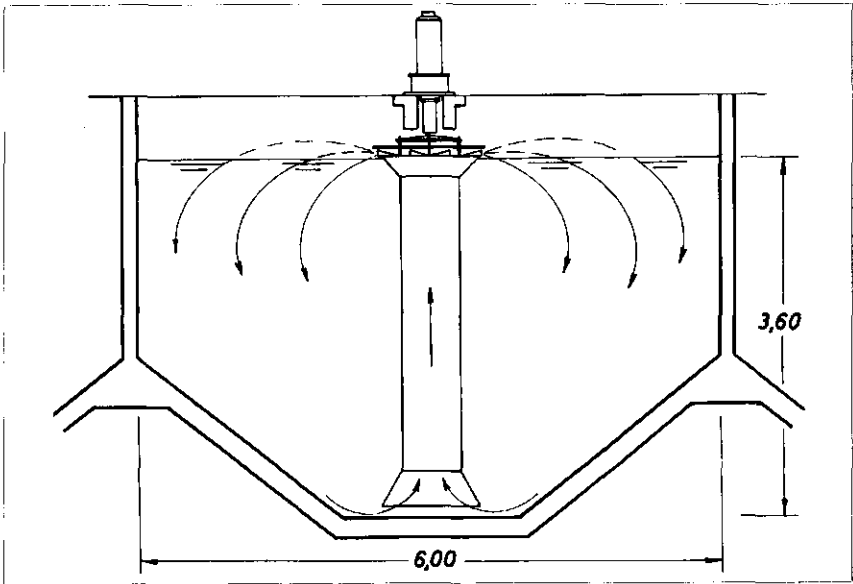
4.3. Pomp beluchters

Reeds meer dan 40 jaar wordt in de Angelsaksische landen een oppervlaktebeluchting toegepast, die eigenlijk bestaat uit een ter hoogte van de waterspiegel opgestelde centrifugaal-pomp met verticale as, voorzien van een open waaier en leidschoepen (afb. 31). Het aan de onderzijde aangezogen water wordt door deze pomp in druppels over het wateroppervlak weggeslingerd. Evenals bij de moderne cascadebeluchting van paragraaf 2.3, is aeratie niet zozeer het gevolg van de val door de lucht, maar meer van de omstandigheid dat de waterdruppels omgeven door een luchthuidje diep in het ontvangbassin doordrin-



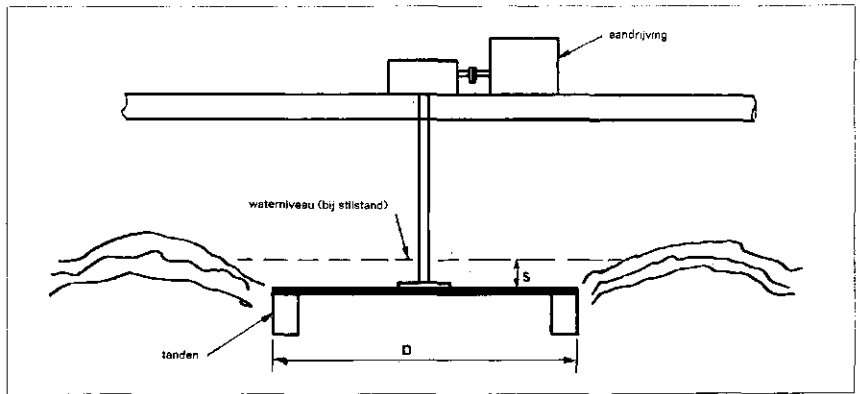
Afb. 31 - Doorsnede over Simplexbeluchters.

Afb. 32 - Simplexbeluchters met zuigbuis.



gen. Dit betekent intussen dat wel een goede zuurstofopname kan worden verkregen, doch dat de verwijdering van koolzuur gering zal zijn. Bij het actief-slibproces wordt de pomp aan de onderzijde van een zuigbuis voorzien (afb. 32) om zo een goede watercirculatie te verkrijgen en bezinking van de actief-slibvlokken te verhinderen.

Afb. 30 - Schijfbeluchter (onderdompeling *S* is kritisch afhankelijk van *D* en van de omtreksnelheid van de schijf).



deren. Deze circulatie mengt het zuurstofrijke water na aeratie met het zuurstofarme ruwe water en geeft zo een verhoging van het beluchtungsrendement. Evenals bij de schijfbeluchters wordt nog voortdurend speurwerk verricht om tot betere constructies te geraken, die dan onder verschillende merknamen in de handel worden gebracht. Thans is het energieverbruik reeds gedaald tot 0,25 kwh/kgOC voor de grote eenheden en 0,5 kwh/kgOC voor kleinere installaties. Het plaatsgebruik is wederom gering en ook hier kan een defecte installatie gemakkelijk en snel worden vervangen. Een interessante toepassing is nog de beluchting van oppervlaktewater in meren en rivieren door drijvende installaties, (afb. 33). Hiervoor is echter veel energie nodig, voor rivierwater in een hoeveelheid van 10 m³/sec. bij een verhoging van het zuurstofgehalte van 20 op 70 % verzadiging rond 150 kwh, dus energiekosten van rond f 100.000 per jaar!

4.4. Turbinebeluchters

Aan de zuigzijde van de in de vorige paragraaf beschreven pompbeluchters heerst een druk welke lager is dan de atmosferische druk. Wordt nu deze zuigzijde b.v. door middel van een holle aandrijfas met de buitenlucht in verbinding gebracht, dan wordt lucht aangezogen welke door de waaier intensief met het water wordt vermengd (afb. 34). De betreffende fabrikant verwacht hiervan een nog betere aeratie.

Ook bij waterkrachtwerken en pompstations kan het bovengenoemde principe worden toegepast en ten koste van een geringe verlaging van het rendement van turbine of pomp een redelijke aeratie van het doorstromende water worden verkregen.

5. Bastardbeluchters

Bij verschillende waterleidingbedrijven worden constructies aangetroffen, welke het uiterlijk van beluchtingsinrichtingen hebben, inderdaad ook het water beluchten, doch hier eigenlijk niet voor bedoeld zijn. De werkelijke reden voor hun aanwezigheid is een geheel andere, waarvan als voorbeeld kunnen worden genoemd:

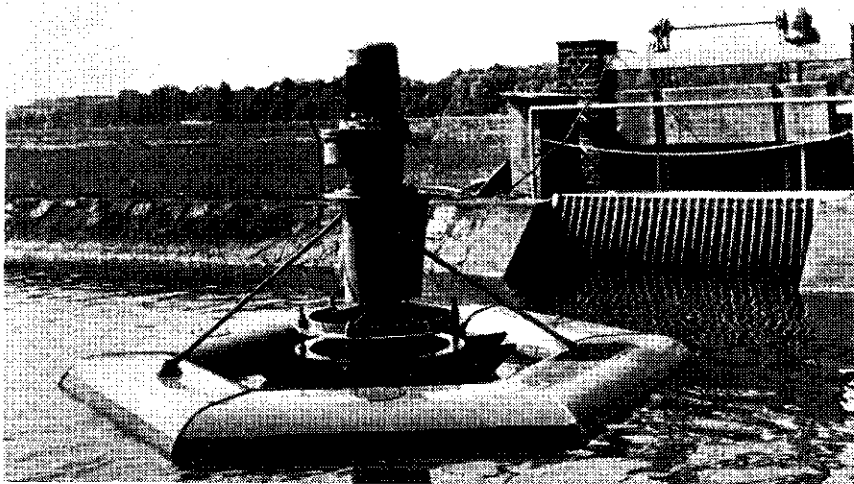
a. decoratie. Vooral een fonteinbeluchting maakt een gunstige indruk op het publiek en laat niet na de verwachting te wekken dat het afgeleverde water ook wel van een goede kwaliteit zal zijn;

b. vernietiging van overtollige druk.

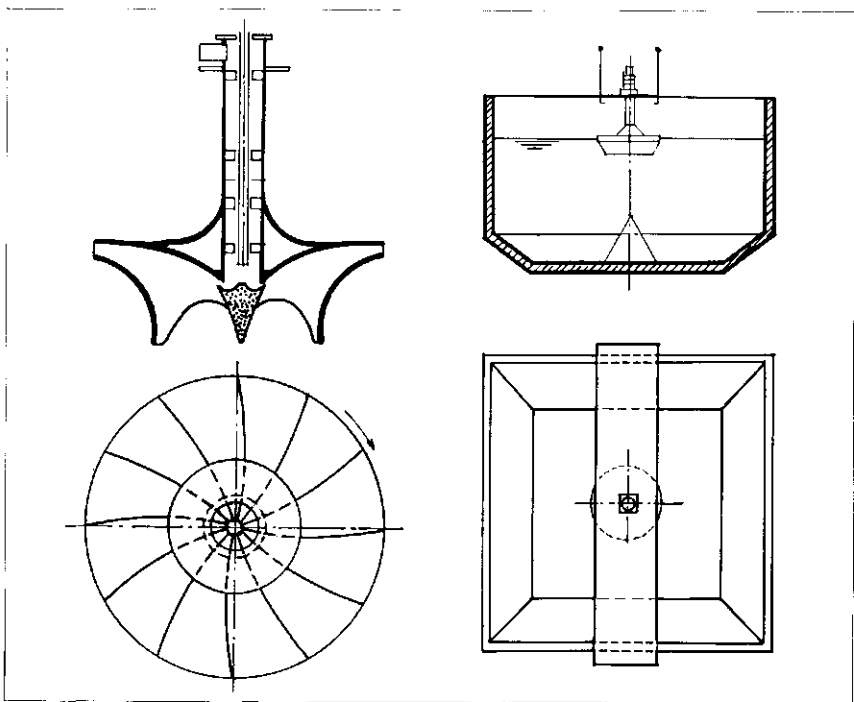
De aanvoerleiding die het water van een hoger gelegen winplaats aanvoert moet op maximum verbruik worden berekend, waardoor onder normale omstandigheden een overschot aan druk aanwezig is. In plaats van deze druk met regelafsluiters te vernietigen, kan dit gemakkelijker en nog enigermate nuttig met een aeratie-inrichting worden gedaan;

c. Onderbreking van de waterstroom teneinde bij wegvallen van de aandrijvende kracht een stroomomkering te verhinderen. Moet b.v. het water voor bereiding of opslag naar een hoger gelegen plaats worden gepompt, dan is een terugslagklep nodig om bij stilstaande pomp terugstromen te voorkomen.

Terugslagkleppen werken echter niet altijd feilloos en kunnen de kans op ongelukken door waterslag vergroten. Door de aanvoerleiding nu boven het niveau van het ontvangbassin te laten uitmonden, kan terugstroming met zekerheid worden verhinderd (afb. 35).



Afb. 33 - Drijvende Simplexbeluchter.



Afb. 34 - Turbinebeluchter.

Afb. 35 - Watervalbeluchter voor beveiliging tegen terugstromen.

