

Prof. Huisman heeft in zijn voordracht o.a. een overzicht gegeven van de klassieke zuiveringsmethoden van grondwater, en daarin de nieuwere ontwikkelingen zoals de zgn. 'droogfiltratie' en 'meerlagenfiltratie' vermeld.

Bij de bespreking van de zuiveringscapaciteit van de 'droogfiltratie' zal een vergelijking worden getrokken met de klassieke methoden van snelfiltratie en langzame zandfiltratie.

In 1875 werd in Chateaudun bij Parijs voor het eerst een 'droogfiltratiesysteem' ontwikkeld door 'Miquel en Mouchet'.



DRS. H. J. BOORSMA

Het betrof hier een systeem van langzame zandfiltratie in zgn. 'droogfilters' of zoals de uitvinders het noemden 'filtration non submergée'. Het langzame droogfilter in Chateaudun werd in de eerste wereldoorlog verwoest en niet meer opgebouwd.

Kort na Chateaudun werd een langzaam droogfilter gebouwd voor de watervoorziening van 'Yper' in België dat in de vijftiger jaren nog voortreffelijk functioneerde voor de zuivering van het oppervlaktewater uit een recreatiemeer. Ook bacteriologisch voldeed het water geheel aan de eisen.

De filters in Yper waren overdekt en tevens uitgerust met terugspoelmogelijkheden.

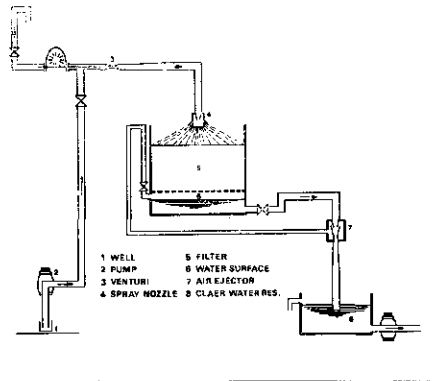
In de beginperiode vindt men dit droogfilter herhaaldelijk in de literatuur aangehaald. Dr. Imbaux en Allen Haren hebben zich met de droogfiltratie beziggehouden in 1907, in het 14e Internationale Congres voor Hygiëne in Berlijn. Tillmans roemt de kwaliteiten van het filter in 1912.

Prof. dr. Beyerink, de voorganger van A. J. Kluijver in Delft, bespreekt het filtratiesysteem in een lezing over waterzuivering aan de TH in 1908.

Voor het eerst schrijft ir. Pennink van de Amsterdamse Waterleiding in 1908 in 'De Ingenieur': 'Het komt mij voor dat een soortgelijk filtratiesysteem voor de ontijzering zou kunnen dienen'.

Het werkingsprincipe van een langzaam droogfilter berust in veel sterkere mate dan een normaal langzaam zandfilter op diepbedfiltratie.

In Yper werd in het in bedrijf zijnde filter géén filterkoek waargenomen. Het oppervlak zag er uit als schoon zand. De totale filterbeddikte was daar ook aanzienlijk groter bij dan bij een normaal langzaam zandfilter.



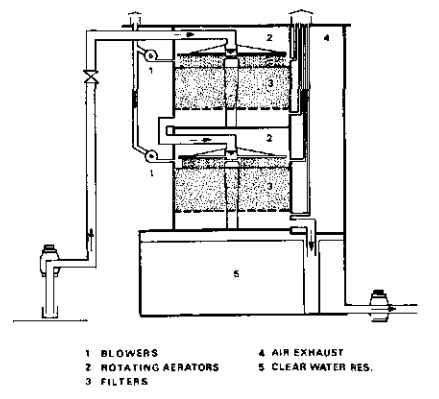
Afb. 1 - Schematic section of non sub-merged filter with air suction.

In het begin van deze eeuw tot en met de dertiger jaren kwam het principe van de droogfiltratie tot ontwikkeling als voorfiltratiesysteem in de zgn. 'cokesbedden'. Hier hebben we voor het eerst te maken met een 'zuiver droogfiltratie systeem' waarbij lucht en water het filter ongehinderd aan de onderzijde van het filter kunnen verlaten. Een zelfde ontwikkeling deed zich ook voor bij de afvalwaterzuivering door de constructie van de biologische contactbedden, meestal gevuld met cokes of lava.

In de jaren '32 tot '34 komt dan bij het Oostelijk Zwembad te Rotterdam een systeem tot ontwikkeling, dat later ook industriële toepassing vindt en door enkele waterleidingbedrijven wordt toegepast (o.a. bij de waterleiding maatschappij Overijssel). Het wordt bij toeval ontdekt, doordat de luchtafvoer van de gesloten snelfilters wordt gesloten. Er ontstaat dan een intermitterend droogfilter, dat stootsgevijs afwisselend water en lucht afvoert. Het octrooi wordt ook verleend op grond van het principe van de intermitterende lucht en waterpassage, wat bij de voorafgaande droogfiltratie systemen nimmer het geval was.

Onderzoek door het Rijksinstituut voor

Afb. 2 - Schematic section of non sub-merged pressure filters double filtration.



Drinkwatervoorziening in 1948 en '49 toonde aan dat het ijzergehalte aan sterke variaties onderhevig was als gevolg van de drukstoten. Het ijzer passeerde het filter in affiltreerbare vorm. Later, bij een proefinstallatie in Enschede, werden zelfs variaties gevonden tussen 0,02 en 10 mg Fe per liter.

Het is de verdienste van Linn geweest, die de oorzaken van de doorslag, de drukstoten onder de filterbodem, het eerst heeft onderkend en in Zandvoort het eerste zuivere droogfilter heeft geconstrueerd met luchtafvoer onder de filterbodem, door middel van luchtafzuiging boven het water-niveau in het bodemcompartiment van het filter.

Ongeveer gelijktijdig met de experimentele fase van droogfilteronderzoek met bedrijfsfilters werd door ir. Stoel Feuerstein bij de Waterleiding Maatschappij Midden-Zeeland het eerste mechanisch met water en lucht terugspoelbare cokesbedfiltratiesysteem geconstrueerd. De verfijnde technische uitvoering verried zeer duidelijk de stijl en constructieve visie van de werktuigbouwkundige ingenieur. De filters konden op elegante wijze na de filtratieperiode naar een centrale terugspoelplaats worden getransporteerd en dan worden gereinigd. Daar de eerste systemen van luchtafzuiging onder de droogfilters waren gebaseerd op waterkracht was de hoeveelheid lucht die door het filter werd getransporteerd nog relatief gering.

Dit type van droogfiltratiesysteem bleek voldoende voor ammoniumgehalten in het water van 3 à 5 mg/l bij filtratiesnelheden tot 3 à 4 m³/m²/h.

Bij hogere ammoniumgehalten en hogere ijzergehalten bleek volgens dit systeem onvoldoende zuurstof toegevoerd te kunnen worden.

In dit ontwerp stadium en bij hogere filtratiesnelheden, bleek een kunstmatige luchtpassage noodzakelijk.

Geleidelijk ontwikkelde zich met goede resultaten het gesloten droogfiltratiesysteem met luchtpassage met behulp van ventilatoren met een overdruk van ± 80 cm waterkolom.

De capaciteit van de ventilatoren werd aangepast aan de om te zetten hoeveelheid ammoniak, de filtratiesnelheid en de voor de koolzuurverwijdering gewenste hoeveelheid lucht, die voor de filterpassage boven het filter diende te worden afgevoerd. In dit geval zijn dus zowel de compartimenten boven het filter, als die onder de filterbodem voorzien van luchtafvoerpijpen. De luchtafvoer onder de bodem moet de volle capaciteit van de ventilator kunnen verwerken zonder drukopbouw onder de filterbodem, waardoor de lucht ook via het waterafvoerkanaal kan verdwijnen.

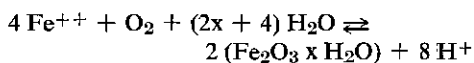
In dat geval realiseert men namelijk opnieuw een intermitterend filter. Het zal duidelijk zijn dat een normaal geconstrueerd snelfilter ongeschikt is zonder deze ingrepen als droogfilter te functioneren. Het is vermoedelijk hierdoor dat de waarde van het droogfiltratie systeem zo traag werd aanvaard in de waterleidingwereld.

De autoöxidatie van ijzer, mangaan en ammonium

Het filtratieproces van de gevormde en volgroeide vlok wordt voorafgegaan door de vorming van colloïdaal opgeloste ijzer-verbindingen.

Het is dit proces dat verantwoordelijk is voor de vaak tegenstrijdige resultaten van vergelijkend filtratie-onderzoek.

Alvorens het verschil in werking van droog- en snelfilters te bespreken, moet ik u een overzicht geven van de grondprincipes van ontijzering, ontmanganing en nitrificatie. Hieronder vindt u de reactievergelijking van de ijzeroxidatie bij beluchting van grondwater voor het eerst gegeven door Just in 1909,



en de reactiesnelheidsvergelijking:

$$\frac{d [\text{Fe}^{++}]}{dt} = k [\text{O}_2] \frac{[\text{Fe}^{++}]}{[\text{H}^+]^2}$$

Theoretisch is de reactiesnelheid van de eerste orde voor O_2 en Fe^{++} , dus daarmee recht evenredig. Practisch blijkt hij van de pseudo $1\frac{1}{2}$ orde te zijn, hetgeen betekent, dat de oxidatie langzamer verloopt dan volgens de reactiesnelheidsvergelijking.

Dit wordt veroorzaakt door andere aanwezige ionen die het ijzerhydroxide kunnen opladen tot een positief of negatief geladen colloïd. Het isoelectrisch punt (d.w.z. lading nul) van de ijzerhydroxide vlok ligt bij $\text{pH} = 8$. Beneden die pH heeft het sol een positieve lading, daarboven een negatieve lading. Zoals Lerk (Diss. Delft 1965) heeft aange- toond, kon omlading van een positief sol tot een negatief ijzersol plaatsvinden door verdunning, wat feitelijk neerkomt op de desorptie van ladingbepalende ionen van het colloïd door het waterige milieu of door het filtermateriaal. De rest ijzer beneden 0,1 mg/l die niet door filtratie te verwijderen is, komt altijd voor als negatief geladen colloïd.

Filtratie van de gevormde ijzervlok

Lerk heeft voor het eerst een consequente studie gemaakt van de gescheiden filtratie processen van de colloïdvrije ijzervlok en een colloïdale ijzeroplossing.

Het principe van de filtratie van de gevorm-

de vlok berust op de Van der Waals-London attractie krachten.

Dit principe is gelijkelijk geldig voor snelfilters en voor droogfilters.

Maar op grond van de stroomsnelheid van het water in de poriën bestaat er een competitie tussen de aanhechtingskracht van de vlokken en de hydrodynamische krachten van de stroming.

Als het sorptieproces overheerst maakt de zandlaag het water helder en vindt geen transport van vlokken door het zandbed plaats.

Wanneer de krachten met elkaar in evenwicht zijn, is een voorwaarde geschapen voor transport van zwevende deeltjes zodra de bovenliggende lagen zijn verzadigd met vlokken.

Volgens Mintz betekent dit, dat de tijdsduur van de beschermende werking van de filterlaag tegen doorslag, korter is dan de tijd die nodig is om de toelaatbare limiet van filterweerstand te bereiken, ook met de tijd van de filtratiecyclus.

Mintz heeft aangetoond dat een verlaging van de filtratiesnelheid of een verhoging van de filterbeddikte zal resulteren in een verlenging van de beschermende werking van de filterlaag tegen vlokdoorslag.

Nemen we voor het gemak een poriënvolume aan van 33 % dan is de nominale snelheid in de poriën 3 x groter in de geheel met water gevulde poriën van een snelfilter. In de onverzadigde stroming in een droogfilter echter is deze bij een lucht-water verhouding 1 : 1, tweemaal hoger dan in een normaal snelfilter. Deze snelheid neemt bovendien toe naarmate de hoeveelheid lucht wordt vergroot.

Dit betekent dat we in een droogfilter in meerdere mate te maken krijgen met een diepbedfiltratie.

Dit verschijnsel werd reeds in de beginjaren van de droogfiltratie onderkend.

Een eerste aanwijzing dat de vorming van negatief geladen, colloïdaal ijzerhydroxide de reden kon zijn van een traag verlopende en niet geheel voldoende ontijzering, werd in het begin van de vijftiger jaren gevonden door Linschoten bij de zuiveringsinstallatie te Amersfoort.

Het hier gewonnen grondwater is zacht, ijzer- en mangaanhoudend en relatief arm aan opgeloste stoffen.

De bestaande filterinstallatie werd ontworpen als open snelfilters, met een capaciteit van $3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ per filter, voorzien van een beluchting door versproeiing van het water boven de filtermassa.

Het zo beluchte ruwe water, met een zuurstofgehalte van 7 - 8 mg/l, passeerde via een bepaalde waterstand op het filter, de filtermassa en leverde dan een filtraat met een ijzergehalte van 0,05 mg/l direct na het spoelen, waarna dit gehalte aan het einde

van de filtratieperiode was opgelopen tot 0,25 mg/l.

De filtratiesnelheid werd gedurende de filtratieperiode constant gehouden door een regelingmechanisme in de filterafvoer; deze filtratiesnelheidsregeling leidde echter wel tot een waterstandsverhoging op de filtermassa variërend van enige centimeters, direct na de spoeling, tot meer dan een meter aan het einde van de filtratieperiode. Nu bleek, dat op het moment dat de waterstand de hoogte van 15 cm passeerde, het ijzergehalte van het filtraat boven de limiet van 0,10 mg/l kwam. Het ijzer in het filtraat was dan in opgeloste vorm aanwezig en bleef dit, ook na een filtratie door papier. Kennelijk heeft men in dit geval te maken met een negatief geladen colloïd of een oplosbaar metaalcomplex.

Het voorkomen van dit fenomeen van de vorming van colloïdale ijzeroplossingen werd reeds vermeld door Boorsma [4]. Bij een later onderzoek ter plaatse met een proeffilter, ingericht als droogfilter, voorzien van een zandbed van 2 meter hoogte en met een zand van een afmeting 1 - 2 mm, werd ditzelfde water ontijzerd tot beneden 0,05 mg/l, zelfs met filtratiesnelheden tot $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$.

Het heeft ertoe geleid dat de in die tijd gebruikelijke filterbeddikten van 80 cm tot soms 1,20 m, werden verhoogd tot 1,80 à 2,00 m voor de constructie van droogfilters. Overigens heeft een verhoging van de maximale filtratiesnelheid minder invloed op de snelheid in de poriën zolang die nog gedeeltelijk met lucht gevuld zijn. De stroomsnelheid wordt bepaald door de zwaartekracht.

Mangaanverwijdering

De aard van de mangaanverwijdering in een snelfilter is lange tijd onderwerp van discussie en strijd geweest, omdat er bacteriën bekend zijn die in staat zijn ijzer en/of mangaan te oxideren. In deze biologische conceptie paste uitstekend de lange duur van de geleidelijk op gang komende ontmanganing.

In 1954 heeft de spreker reeds gepostuleerd in een artikel in de Comptes rendus du XXVII^{ème} congrès de Chimie Industrielle in Brussel dat de ontmanganing in snelfilters op een zuiver contact-katalytisch oxidatieproces berust.

Dit is later bevestigd door Lerk en Graveland (Proefschrift Delft).

Op afb. 2 ziet u de reactievergelijkingen zoals Graveland die heeft gegeven.

De werkzame verbinding in de contact-katalytische laag is het Mn_3O_4 , dat veel sterker mangaanionen uit de oplossing absorbeert dan het verder geoxideerde MnO_2 .

Bij langdurig stilzetten van een filter wordt het Mn₃O₄ tot MnO₂ door geoxydeerd en is de mangaan verwijdering goeddeels verloren. Ook dit verschijnsel werd vroeger vaak biologisch verklaard. Graveland heeft aangetoond dat de mangaanverwijdering evenredig is met het contact-katalytisch mangaan oppervlak dat op de zandkorrels gevormd is. Dit houdt dus ook in dat een zand met een groter specifiek oppervlak bij volledige bedekking een groter specifiek mangaanoppervlak zal leveren waarbij ontmanging bij hogere snelheden mogelijk is.

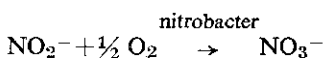
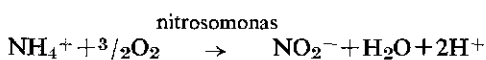
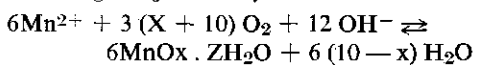
Ammoniumverwijdering of nitrificatie

Anaeroob grondwater in de kust- en poldergebieden van Nederland is vaak rijk aan ammonium.

De herkomst van het ammonium in het water in deze gebieden is zeker van mariene oorsprong.

De ammoniumverwijdering in filters is in ieder geval een zuiver biologisch proces. Bacteriën van de geslachten nitrosomonas en nitrobacter veroorzaken de fermentatieve oxidatie zoals die als volgt is weergegeven.

Ontmanging en nitrificatie



Iedere mg/l ammonium verbruikt bij de achtereenvolgende oxidaties \approx 3,8 mg O₂ per l.

De aanwezigheid van meer dan 2 mg ammonium in een grondwater zal dan ook anaerobie bewerkstelligen in het filtraat van een normaal snelfilter.

In een droogfilter is de ammoniumoxidatie niet gelimiteerd door zuurstofgebrek.

Bij de onverzadigde stroming in de poriën is het stromende water in voortdurend contact met de lucht en wordt de verbruikte zuurstof voortdurend aangevuld.

Wanneer de filtratiesnelheid in een droogfilter te veel wordt verhoogd kan de hierdoor gereduceerde luchthoeveelheid worden verhoogd door geforceerde luchtdoorvoer.

Bij hogere aanvangsammonium gehalten vindt men nooit de berekende hoeveelheid nitraat terug en vaak aanmerkelijk minder. Dit is een gevolg van de afscherming van de zandkorrel door de bacterieflora welke veel zuurstof verbruikt. In het zuurstofarme milieu juist om de korrel kan nu een facultatief anaerobe bacterie het nitraat reduceren tot elementair stikstofgas.

Een deel verdwijnt tengevolge van denitrifi-

catie d.w.z. nitraatreductie tot elementaire stikstof.

Het werkingsprincipe van een droogfilter

Een deel van de oorspronkelijke conceptie van Linn als verklaring voor het mechanisme van een verhoogde efficiënte van de zuivering in een droogfilter in vergelijking met een normaal snelfilter, kon niet door de spreker in later onderzoek en uit praktijkresultaten worden bevestigd.

Als één van de oorzaken voor een betere werking van het droogfilter postuleerde Linn namelijk het optreden van een turbulente stroming in de poriën tussen de zandkorrels. Linn veronderstelde dat de intensiteit van de contact-zuivering in de poriën tussen de zandkorrels werd bevorderd of een gevolg was van de turbulente stroming. Linn veronderstelde dat de reactiesnelheid en de snelheid van vloggroei (kriticalisatiesnelheid) toenam bij toenemend Reynoldgetal.

Linn meende die conclusie te moeten trekken uit een vergelijkend onderzoek met twee identiek uitgeruste bedrijfsfilters, waarvan het ene filter een gegradeerd zand als filtermateriaal bevatte en het ander een even dikke laag van een grovere gradering van gebroken tegeltjes.

Het filter met gebroken materiaal gaf een duidelijk beter resultaat ten opzichte van de ontijzering dan het eerste filter met zand.

Ook al werd de stroming in het gebroken materiaal gekenmerkt door een hoger Reynolds getal, dan is die conclusie niet geoorloofd, want Linn zag over het hoofd, dat hij door de toepassing van gebroken tegeltjes gelijktijdig 3 parameters wijzigde, die invloed uitoefenen op de zuivering, t.w.:

1. een wijziging van de potentiaal van het filtermateriaal;
2. een belangrijke vergroting van het specifiek oppervlak van het filtermateriaal (wat neerkomt op een groter filterbedhoogte);
3. een verhoging van het Reynoldgetal van de stroming in de poriën.

Linn vertaalde zijn conclusies van dit experiment in de praktijk door bij afwezigheid als filtermateriaal van gebroken tegels een grover gegradeerd zand toe te passen; 2 - 3 mm i.p.v. 1 - 2 mm.

Uit later onderzoek door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening bleek dat bij vervanging van dit filtermateriaal door fijner materiaal (1 - 2 mm of 0,8 - 1,5 mm) een beter resultaat van de ontijzering kon worden bereikt, maar in veel sterkere mate een betere ontmanging en nitrificatie kon worden bewerkstelligd.

Deze twee laatste oxydatieprocessen zijn

namelijk zuiver contactkatalytische processen, te weten een chemisch contactkatalytisch proces met het Mn₃O₄ als katalysator en een biologisch contactkatalytisch proces waarbij de zuurstof wordt overgedragen via het bacterie-enzym (bacteriële katalysator).

De oxydatiesnelheid wordt in beide gevallen dus bepaald door het specifiek oppervlak van de 'katalysator'.

Bij een volledige bedekking van de zandkorrel zal het oppervlak van de katalysatorlaag groter zijn naarmate de korrel kleiner is of, en daar kom ik later op terug: naarmate het specifiek oppervlak van de zandkorrel of het filtermateriaal groter is.

Naarmate de procentuele bijdrage van de kleinere korrelfracties van een filterzand groter is, zal een zand een groter specifiek oppervlak bezitten, ook al bevinden zich 100 % van de korrels tussen de beoogde korrelgrenzen (bijv. 1 - 2 mm).

Dit is een van de redenen waarom in het verleden verschillen in resultaten vaak verkeerd geïnterpreteerd werden.

Overigens is het Linn's waarneming van de verbetering van de ontijzering bij filtratie over gebroken 'tegeltjes' die geleid heeft tot het onderzoek naar de invloed van het specifiek oppervlak van het filtermateriaal op de zuivering en tot de invoering van gebroken zand of grind als filtermateriaal. Er zijn echter nog heel andere verschillen tussen het snelfiltratieproces en het droogfiltratieproces, waardoor de zuivering van het water in het laatste veel effectiever kan verlopen dan in het eerste.

a. Contacttijd

De contacttijd van het zuurstofvrije grondwater met de toegevoegde lucht buiten de contactmassa, wordt in een droogfilter namelijk praktisch tot nul gereduceerd. Het gesproeiende water wordt direct over de contactmassa verdeeld en beweegt zich in een onverzadigde stroming door het poriënnet van de contactmassa naar het bodemcompartiment van het filter. Gedurende deze passage wordt het oppervlak van de waterdruppels voortdurend vernieuwd en wordt de verbruikte zuurstof voortdurend aangevuld. Deze continue toevoer van zuurstof tijdens het filtratieproces is vooral van belang i.v.m. de biologische afbraak of nitrificatie van ammonium, daar hierdoor anaerobie op de korrelmassa en(of) van het filtraat, praktisch kan worden voorkomen. Ook wordt, door het ontbreken van de contacttijd buiten de contactmassa en door de intensieve menging van het water en de lucht, mede als gevolg van de turbulente stroming tussen de poriën, de vorming van colloïdaal opgelost ijzer voorkomen.

De vorming van colloïdaal of gecomp-

eed ijzer kan pas optreden op het moment dat het zuurstofvrije water met ionogeen opgelost ijzer in contact komt met de luchtzuurstof. De ijzerverbinding die daar ontstaat is zeer slecht oplosbaar. Het produkt van de concentraties van ferri en hydroxylionen van een verzadigde oplossing van ferrihydroxide bedraagt 10^{-38} . Het zal u dus duidelijk zijn dat als het filtraat van een filter dan 15 of 20×10^{-2} ijzer bevat, er iets aan de hand moet zijn. Dit is de complexering door colloidvorming.

b. Katalytische verschijnselen

Na de versproeiing van het water komen de daarbij juist gevormde ferrihydroxide micellen in direct contact met reeds in de poriën van de contactmassa aanwezige ijzer-vlokken.

Lerk heeft aangetoond dat indien de oxidatie en hydrolyse plaatsvindt in geforceerd contact met eerder gevormd ijzerhydroxide er een sterk versnellende werking van het ijzerhydroxide op de oxidatie plaatsvindt. En dat gebeurt nu juist in een droogfilter.

Gedurende de lange verblijftijd van de pas gevormde ijzerhydroxide micellen in het bovenwater van een snelfilter, kan het eerder tot colloidvorming en omlading komen dan in de poriën van een droogfilter die voorzien zijn van een ijzerhydroxide katalysator. Eenmaal gevormd negatief colloid passeert zowel een snelfilter als een droogfilter (Amersfoort).

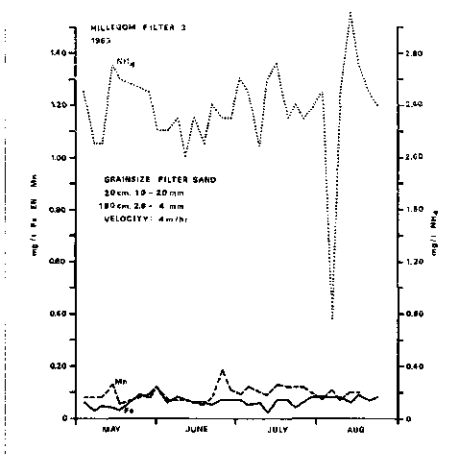
c. Grensvlak verschijnselen

Er is nog een derde fysische oorzaak die bevorderend werkt op de vlokvorming en die berust op een grensvlakverschijnsel. De onoplosbare ijzerhydroxide micellen concentreren zich in het grensvlak water/lucht. Lerk heeft in een proef in Delft aangetoond dat bij capillaire opstijging in glascapillairen van een juist belucht grondwater, de vlokken concentreren in het grensvlak van lucht en water. Het is deze concentratie van vlokken, die bevorderend werkt op de vlogroei. Zodra de vlok een kritische grootte heeft overschreden kan geen peptisatie meer optreden.

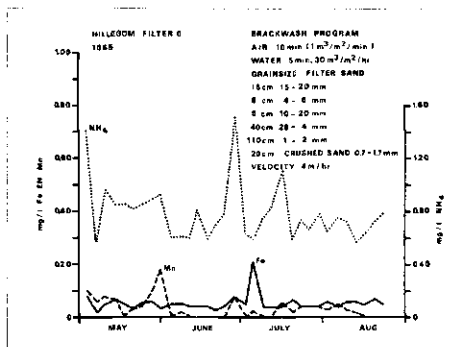
Invloed korrelgrootte en specifiek oppervlak op de ammonium- en mangaanverwijdering

We hebben al gezien dat de ammoniumoxidatie en de ontmanganing in hoofdzaak bepaald worden door het beschikbare specifiek oppervlak van de korrelmassa. De parameters die het totaal beschikbare specifiek oppervlak bepalen zijn:

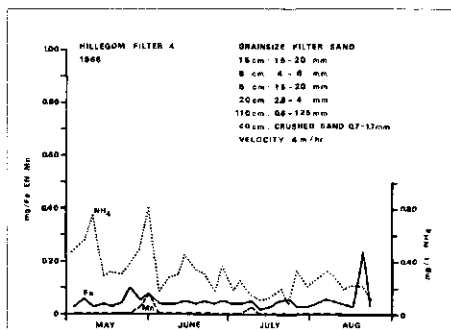
1. de dikte van de korrelaag;
2. het gesommeerde specifiek oppervlak van de korrels.



Afb. 3.

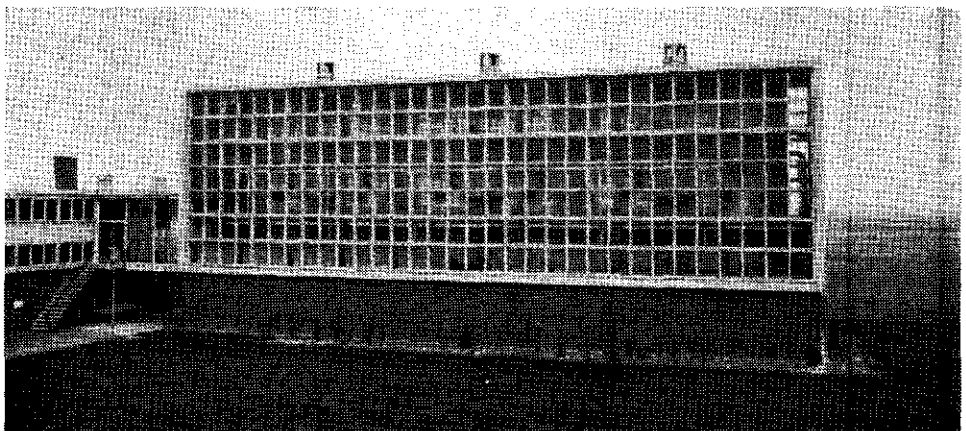


Afb. 4.



Afb. 5.

Pompstation Ridderkerk; zuiveringsgebouw.



Doorgaans wordt niet het specifiek oppervlak bepaald, maar de korrelgrootte verdeling door middel van zeefanalyses. Daarbij wordt de korrel bolvorming verondersteld. Iedere afwijking van de bolvorm levert een onbekende verhoging van het specifiek oppervlak op.

De gewenste ervaring van Linn bij de filtratie over gebroken tegels, leidde tot een onderzoek naar het specifiek oppervlak van gebroken zand in vergelijking met het bijna bolvormig rivierzand. Van een fractie bolvormig zand en een fractie gebroken zand, gezeefd tussen 1 en 1,2 mm werd in Delft door prof. Houtman en dr. Meidema het specifiek oppervlak bepaald door adsorptie van een mono moleculaire laag van radio-actief krypton gas.

De rest radio-activiteit van de gasfase is een maat voor de hoeveelheid geadsorbeerd kryptongas. Uit de berekening bleek dat het gebroken zand meer dan het dubbele specifieke oppervlak had.

Vergelijkend onderzoek Hillegom

Een vergelijkend praktijkonderzoek naar de invloed van de korrelgrootte en het specifiek oppervlak is daarna ingesteld in Hillegom met 8 geheel identieke bedrijfsfilters.

Het ruwe water bevatte ± 3 mg ijzer, $\pm 0,4$ mg mangaan en 4 - 4,5 mg ammonium-ion per liter.

In afb. 4 ziet men de resultaten van het chemisch onderzoek in grafiekvorm, van de wekelijkse monsters, die werden onttrokken aan filter 3 met een filterzand met een korrelgrootte van 2,8 - 4 mm, rond zoals dit in 1965 werd aangetroffen. Filtratiesnelheid 4 m/h.

De ontijzering liep goed, de ontmanganing schommelde rond 0,1 mg/l en het ammoniumgehalte bevond zich gemiddeld boven 1 mg/l.

In filter 6, werkend met dezelfde filtersnelheid, werd een laag filter zand van 110 cm, afmetingen 1 - 2 mm (rond) plus

een laag filterzand van 20 cm 0,7 - 1,7 mm (gebroken) ingebracht.

Ontijzering en ontmangning waren redelijk; ammoniumgehalte gemiddeld 0,40 mg/l.

In filter 5 werd een laag filterzand van 130 cm, afmetingen 1 - 2 mm (rond) ingebracht met daarop een laag van 15 cm afmetingen 0,7 - 1,7 mm (gebroken).

Het gemiddelde ammoniumgehalte van het filtraat was daarna < 0,30 mg/l.

In filter 4 werd 110 cm filterzand 0,6 - 1,25 mm (rond) met 40 cm materiaal 0,7 - 1,7 mm (gebroken) ingebracht. De filtratiesnelheid werd op 9 m/h gehouden.

Gemiddeld ammoniumgehalte was 0,10 - 0,20 mg/l.

Filter 1 werd tenslotte uitgerust met een laag van 170 cm zand 0,7 - 1,7 mm (gebroken).

Na een half jaar waren hier de resultaten:

- ijzer ± 0,05 mg/l
- mangaan ≤ 0 mg/l
- ammonium < 0,1 mg/l

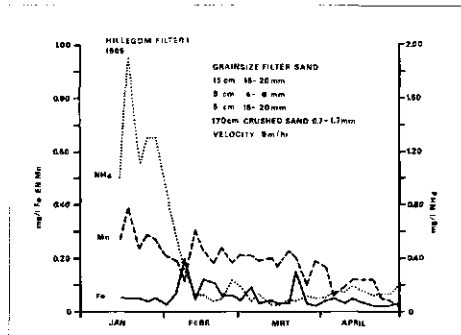
De filtratiesnelheid was ingesteld op 9 m/h.

Ontzuring door middel van tegenstroom droogfiltratie

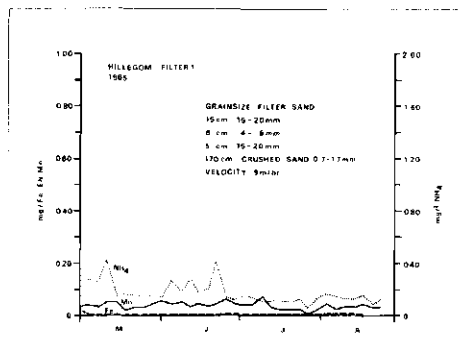
Uitwassen van gassen en vluchtige stoffen door tegenstroom beluchting van een stroom vloeistof in torens met Raschigringen wordt al zeer lang toegepast door de chemische industrie.

De tegenstroomuitwassing van grondwater wordt ook reeds toegepast door de Waterl. Maatschappijen Drente en Overijssel om in het ruwe water het koolzuurgehalte te verminderen en dient tevens als beluchtingsmechanisme.

Het bezwaar is dat vervuiling van de uitwastorens optreedt. Het uitwasprincipe is zeer effectief, omdat steeds weer zuiver lucht, vrij van de bestanddelen die moeten worden uitgewassen, in contact komt met in de richting van de stroming steeds lagere concentraties van de uit te wassen stoffen. Combineert men dit met het principe van de voortdurende vernieuwing van opper-



Afb. 6.



Afb. 7.

vlak, dan is te verwachten dat een beter resultaat bereikt wordt door het oppervlak van de korrelmassa te vergroten en door de hoeveelheid tegenstroom lucht op te voeren. Er is echter een grens, omdat bij bepaalde luchtsnelheden en te kleine korrelgrootte van het materiaal stuwning kan gaan optreden in het filter.

Het pompstation Beegden te Baexem van de Waterl. Mij. Noord- en Midden-Limburg, dat aanvankelijk uitgerust was met vóór-droogfilters in gesloten compartimenten met instelbare bovenfilter ontluchting en bodemontluchting gevolgd door normale nafiltsers gevuld met magno, functioneerde niet naar wens t.a.v. de ontzuring, omdat, zoals bleek, het matig harde water bij de filtratie over magno een gedeelte van de

korrel met kalk inkapselde en onwerkzaam maakte.

Aanvankelijk werd een vooronderzoek gedaan met een tegenstroomproeffilter-installatie om de meest effectieve korrelgrootte en luchthoeveelheden te bepalen. Vervolgens werd het systeem ten uitvoer gebracht, nadat de bestaande nafiltsers waren omgebouwd tot droogfilters met een syphon als bodemafsluiting en een ontluchting boven het filtergrind.

Als filtermateriaal werd filtergrind gebezigd met een korrelgrootte van 4 - 6 mm. De lucht/water verhouding bedroeg 3 : 1 à 4 : 1.

Het koolzuur werd uitgewassen tot een koolzuurgehalte van 0 mg/l bij een pH=8,3. Het filtraat kleurt phenolphtaline rood. Door het bedrijf is tenslotte in 1971 een kostenvergelijking gemaakt met de kosten over voorafgaande jaren van de ontzuring met akdolit op kostenbasis van 1971. U kunt dit zien op het volgende staatje.

Kostenvergelijking ontzuring pompstation Beegden

Uitgangspunten: 20 mg/l CO₂ verwijderen, 30 x 10⁶m³/jaar capaciteit, 1971.

akdolit filter	ct/m ³	tegenstroom filter	ct/m ³
verbruik akdolit (25 gr/m ³ à 4 ct/gr)	1,0	stroomverbruik (2,5 kwh/100 m ³)	0,14
verbruik spoelwater (600 spoelingen à 80 m ³ à 10 ct/m ³)	0,16	verbruik spoelwater (150 spoelingen à 120 m ³ à 10 ct/m ³)	0,06
		rente en afschrijving verhoging filter (1 meter)	0,16
totaal	1,16	totaal	0,36

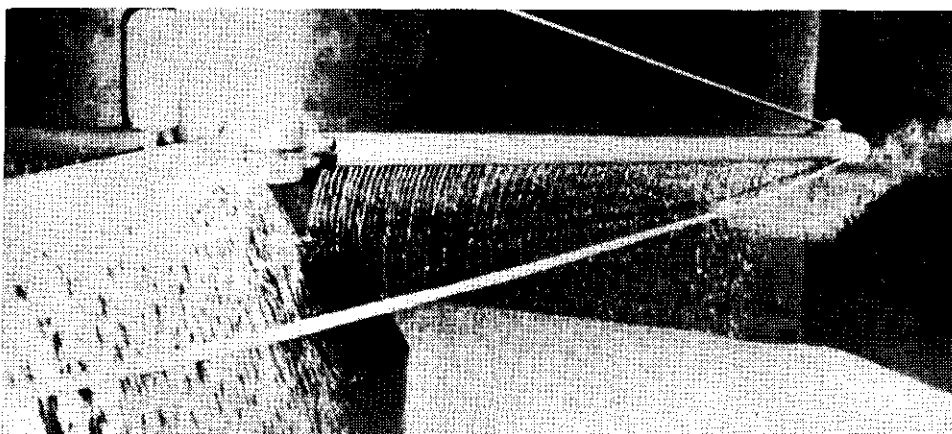
Technologische voorwaarden voor toepassing van droogfiltratie

Ik kan dit het beste inleiden aan de hand van de eerst twee afbeeldingen.

De eerste afbeelding geeft een schematekening van een droogfiltratie met lucht-afzuiging onder het filter. De afzuiging geschiedt met behulp van het waterstraal-principe. Gezien de geringe voordruk die onder het filter beschikbaar is, zijn de doorgevoerde luchthoeveelheden beperkt. Dit systeem heeft zijn diensten bewezen o.a. in Zandvoort en voert voldoende zuurstof aan voor de omzetting van 3 à 4 mg NH₄ bij filtratiesnelheden tot 5 m³m²/h. De venturi-voorbeluchting voerde enkele mg extra zuurstof toe aan het door Dresdenersproeiers verdeelde water.

De tweede afbeelding is een schematekening van een dubbele droogfiltratie met ventilatorbeluchting in de bovencompartimenten van de filters en instelbare ontluch-

Draaisproeiers Pompstation Ridderkerk.



ting in de boven- en ondercompartimenten met luchtafvoeren naar het dak. Gemeten en ingesteld werd de luchttoevoer door het filtermateriaal, de overmaat werd afgevoerd in de bovencompartimenten. Technologische voorwaarde voor een rustig verloop is dat de luchtsnelheden in de dakafvoeren voldoende laag zijn om het condenswater onder invloed van de zwaartekracht terug te voeren naar de betreffende compartimenten.

Bij een te hoge luchtsnelheid ontstaat periodiek een stuwning die zich bij plotselinge expansie uit in drukstoten. Het zijn deze drukstoten die een verhoogde afvoer van onoplosbare, in het filterbed aanwezige, bestanddelen bewerkstelligen. De filtratie in een droogfilter is in veel meerdere mate dan bij een snelfilter een diepbedfiltratie en als zodanig ook gevoeliger dan een snelfiltratie voor plotselinge veranderingen in de snelheid. Bij constructie van enkelvoudige snelfilters als zuiveringsstelsysteem, moet de schakeling dan ook gebaseerd zijn op handhaving van de stromingstoestand.

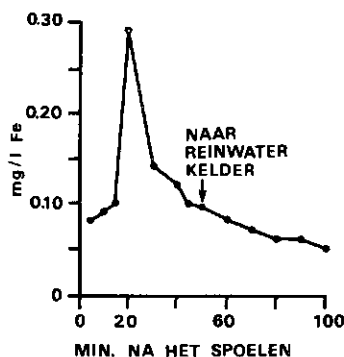
In een automatisch pompstation dient het spoelsignaal en de sluiting van de ruwwater toevoer gekoppeld te worden met een reductie van de ruwwater aanvoer voor de resterende filters. Deze ingrepen zijn noodzakelijk indien de ontijzering kritiek is, dus moeilijk verloopt.

In dergelijke gevallen kan de ontijzering door een wijziging van de stromingstoestand in het filter achteruitgaan en tijdelijk een doorslag te zien geven. Een dergelijke wijziging treedt op bij een stopperiode die periodiek door een waterstand van de kelder hoog wordt gecommandeerd. Na het stopcommando loopt het droogfilter geheel leeg, de stroming komt geleidelijk geheel tot stilstand. Bij inschakeling wordt plotseling de maximale stroomsnelheid in de poriën hersteld. Bij een watertype dat moeilijk ontijzert, zal dit een tijdelijke doorslag ten gevolge hebben.

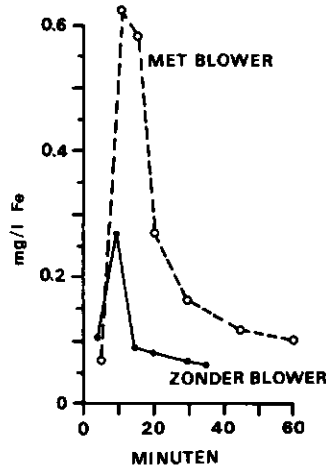
Een dergelijk geval deed zich voor in het Pompstation Bremerberg in Oostelijk Flevoland. Het in Bremerberg opgepompte ruwwater is Veluwewater gemengd met een geringe hoeveelheid infiltratiewater uit het Veluwerandmeer. Door snelfiltratie wordt het water onvoldoende ontijzerd.

Met behulp van droogfiltratie wordt het water volledig ontijzerd, ontmangaand en genitificeerd, maar uit de bemonstering van een inlooperperiode blijkt dat de ontijzering zeer kritisch is. Een dergelijke lange inlooperperiode is in het algemeen vrij zeldzaam. Meestal is het filtraat na een periode van 10 tot 30 minuten weer beneden 0,11 mg/l.

Afbeelding 8 laat een kortdurende



Afb. 8 - Inlooperperiode na spoelen droogfilter Bremerberg (1975).



Afb. 9 - Inlooperperiode na onderbreking filtratie Bremerberg 1975.

14/10	12.00 uur	filter 10	aanvang spoelen	
einde	12.30 uur	spoeling		mgFe/l
	12.35 uur	na 5 min.		0,08
	12.40 uur	na 10 min.		0,09
	12.45 uur	na 15 min.		0,10
	12.50 uur	na 20 min.		0,29
	13.00 uur	na 30 min.		0,14
	13.10 uur	na 40 min.		0,12
	13.15 uur	na 45 min.		0,10
	13.20 uur	na 50 min.		0,09
	13.20 uur	overgegaan op reinwaterkelder		
	13.25 uur	na 5 min.		0,08
	13.30 uur	na 10 min.		0,07
	13.35 uur	na 15 min.		0,07
	13.40 uur	na 20 min.		0,06
	13.50 uur	na 30 min.		0,06
	14.00 uur	na 40 min.		0,06
	14.10 uur	na 50 min.		0,05

verhoging zien van het ijzergehalte na een stopperiode, waarbij de invloed zichtbaar is van het tijdstip van inschakelen van de beluchtingsventilatoren na het in bedrijf komen van het filter.

Aanvankelijk zoals ik reeds gezegd heb liepen de filters droog en werd de ruwwaterpomp gecommandeerd door de kelderstand. In die periode trad een doorslag op, die

afhankelijk van het betrokken filter $\frac{1}{2}$ uur tot een uur voortduurde. Vervolgens is na onderzoek een systeem uitgevoerd waarbij op het signaal van hoge kelderstand, de filtraatafvoer werd gesloten en de ruwwater toevoer pas nadat het filterzand juist onder water stond. Bij automatisch inschakelen, ging er eerst een signaal naar de ruwwater pompen en de ventilatoren, terwijl gelijktijdig de afvoer met behulp van een fijnregelklep zo langzaam werd geopend, dat eerst na 30 minuten de klep geheel geopend was. U ziet uit afb. 9 dat ook de invloed van de ventilator kan worden verminderd, door deze op een later tijdstip tijdens in bedrijf komen van het filter in te schakelen. De invloed van een stopperiode zou volledig kunnen worden uitgeschakeld indien de fijnregelkleppen werkelijk die naam verdienden.

om 11.45 uur filters 7 en 8 stopgezet het ruwwater; naar droogstelsysteem; na $\frac{1}{2}$ uur stop, ruwwater aan, regelklep in werking

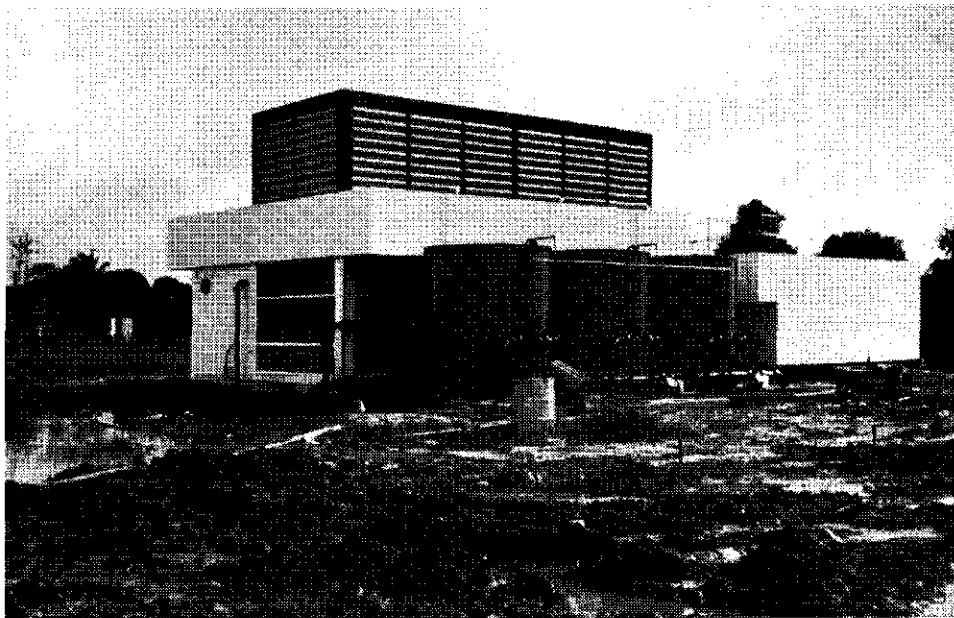
	filter 7	filter 8
5 min. na stop	0,08	0,07
10 min. na stop	0,21	0,63
15 min. na stop	0,32	0,58
20 min. na stop	0,16	0,27
30 min. na stop	0,13	0,16
45 min. na stop	0,10	0,11
60 min. na stop	0,11	0,10

filter 10 looptijd ± 15 à 16 uur

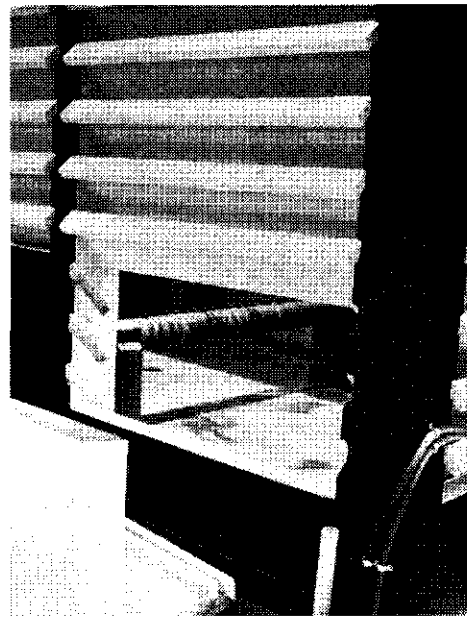
ruw + rein uit, lucht bij; na 5 min.	0,27
ruw + rein uit, lucht bij; na 10 min.	0,26
ruw + rein uit, lucht bij; na 15 min.	0,15
ruw + rein uit, lucht bij; na 25 min.	0,09
ruw + rein uit, lucht bij; na 30 min.	0,08
ruw + rein uit, lucht bij; na 35 min.	0,07

Ik wil tenslotte nog iets in het algemeen zeggen over het terugspoelen van filters die moeten dienen om het water gelijktijdig te ontijzeren, ontmangaan en te nitrificeren en dit geldt dus even zeer voor de snelfilters van een enkelvoudig filtratiesysteem.

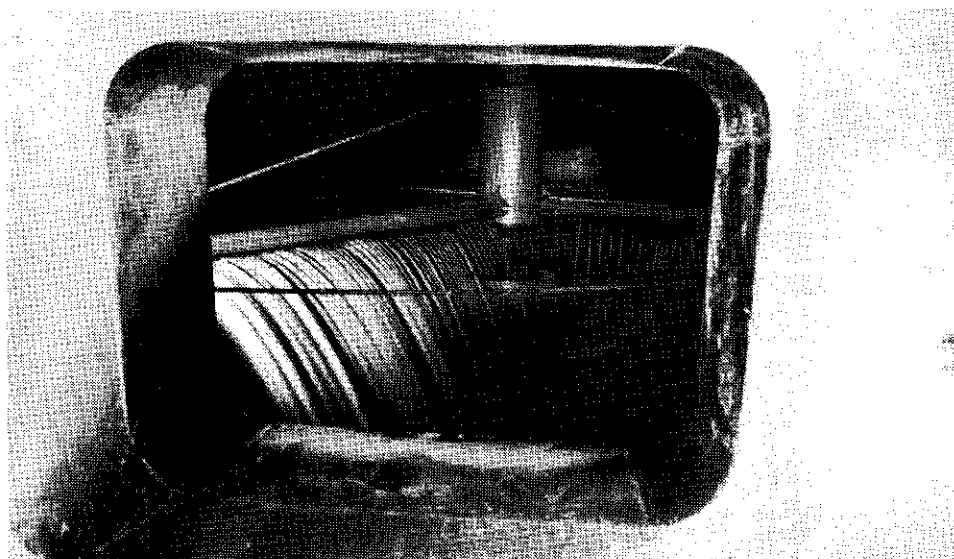
Wil men voorkomen dat een aanvankelijk goed lopende zuivering, achteruitgaat en een doorslag van mangaan gaat vertonen en meestal gelijktijdig een achteruitgaande nitrificatie, dan moet men eerst bedenken dat een dergelijke enkelvoudige snelfiltratie altijd een compromis is ten opzichte van de efficiency van de verwijdering van de drie genoemde componenten. Want een ontijzeringfilter moet goed gespoeld worden om de blijvende vervuiling niet te laten toenemen, dus bij voorkeur met water en lucht. Een ontmangaanend filter moet feitelijk minder veelvuldig gespoeld worden en eigenlijk alleen met water om de schurende werking op de contact katalysator laag te verminderen.



Beluchtingsgebouw.



Detail beluchting.



Droogfilter Ridderkerk.

In wat mindere mate geldt dit voor het nitrificatieproces, dat zich in het algemeen na een paar uur volledig hersteld heeft, tenzij de blijvende vervuiling toeneemt.

In feite hangt alles af van de overcapaciteit van de contactmassa ten opzichte van de ontmanging en nitrificatie. Eerder heb ik u gezegd dat er middelen zijn om die capaciteit te vergroten en het zuiveringsproces minder kwetsbaar te maken.

In de meeste gevallen zult u niets van deze verschijnselen gemerkt hebben. Er zijn grondwateren waarbij de ontijzing zo gemakkelijk verloopt, dat deze vrijwel direct na het spoelproces weer tot beneden 0,1 mg/l plaats vindt.

Als dit bij u het geval is en de zuivering er ook op andere wijzen nooit uitloopt, dan zit u op satijn, want dan heeft u ook nog

een brandschoon leidingnet.

Ik heb mij hoofdzakelijk beperkt tot de technische middelen en ingrepen waarmee men de filtratie efficiency van een droogfilter kan verbeteren.

Ik resumeer dan nog even puntsgewijs:

1. verhoging van de filterbeddikte, dus van de effectieve contactmassa;
2. vermindering van de korrelgrootte van de korrelmassa;
3. meer effectieve verhoging als onder 2 van het specifieke oppervlak door de toepassing van gebroken korrelmateriaal;
4. bij hoge ammoniumgehalten verhoging van de luchtdoorvoer;
5. uitschakeling van plotselinge verhogingen van lucht- of waterafvoer ten gevolge van automatische regelingen.

Er zijn echter ook nog chemische middelen om een niet bevredigend zuiveringstelsel te verbeteren, nl.:

door dosering vóór de beluchting van

1. loog

2. kalkmelk

(beiden tot een eind pH van $\pm 8,0$ en niet hoger).

Voorwaarde is een *z er* goede menging, zodat niet plaatselijk, door bijv. het meevoeren van nog niet opgeloste kalkkorrels op het zandbed een *verhoogde* pH ter plaatse ontstaat en zoals ik u in het begin van mijn voordracht heb vermeld, omlading kan plaatsvinden *na* de beluchting van het gevormde ijzerhydroxide of positief geladen ijzersol. (Ik verwijs hier weer naar de dissertatie van Lerk c.a. 1965.)

Voorbeelden hiervan zijn het Pompstation Eibergen van de WOG (kalk), het Pompstation Hoogeveen van Gem. Bedrijven Hoogeveen (kalk) en het Pompstation De Berenkuil van het WMN (loog).

3. In de derde plaats tenslotte is er de mogelijkheid van de toepassing van coagulatiemiddelen.

Literatuur

1. Bemmelen, v., Rec. Trav. Chim. 7, 106 (1888).
2. Just, G., Ber. Deutsche Chemische Gesellschaft 3695 - 3701 - 1907 en Z. Phys. Chem. 63, 385 (1908).
3. Gavrilov, Kolloid Z. 37, 46 (1925).
4. Boorsma, H. J., Compte rendu du XXVIIe Congrès de Chimie Industrielle   Bruxelles. Vol. 1, 340, 1954.
5. Lerk, C. F., diss. Delft 1965.
6. Graveland, A., diss. Delft 1971.
7. Mints, D. M., JWA 1966 en Dokl. Akad. Nauk. 555 R. 98, 2 (1951).
8. Weiser en Milligan, J. Phys. Chem. 39, 25 (1935).