

Verwijdering van gesuspendeerde stoffen uit effluent

Inleiding

De titel van deze verhandeling is een omschrijving van de Engelse term „polishing”, die we letterlijk zouden moeten vertalen met „oppoetsen”.

Het verfraaien van effluënten is een typisch Britse aangelegenheid, ontwikkeld om de gestrengte River Inspectors tevreden te stellen. De eisen van de River Authorities zijn van oudsher gebaseerd op de in 1910 vastgestelde Royal Commission Standard. Deze norm schrijft voor dat effluent van zuiveringsinstallaties niet meer gesuspendeerd materiaal mag bevatten dan 30 mg/l, uitgedrukt als droge stof, terwijl de BOD₅ lager moet zijn dan 20 mg/l.

Royal Commission Standards

droogrest zwevende stof ≤ 30 mg/l
BOD₅ ≤ 20 mg/l

In een toelichting zet de commissie uiteen dat deze eisen gebaseerd zijn op een verdunningsverhouding van 1:8, bij lozing van het effluent op een rivier. Daar tegenwoordig een dergelijke verdunningsverhouding in vele gevallen niet meer wordt bereikt, bestaat bij de River Authorities de neiging om aan het effluent nog hogere eisen te stellen.

Het voorschrift 10/10 neemt in een toenemend aantal gevallen de plaats in van de oude 30/20-norm.

nieuwe Engelse normen

droogrest zwevende stof ≤ 10 mg/l
BOD₅ ≤ 10 mg/l

Bij een traditionele zuiveringsinstallatie met een mechanische en een biologische zuiveringstrap zal overigens zelfs de oude norm af en toe overschreden worden. Ware dit niet het geval, dan zou de normstelling te ruim zijn. Elke normstelling impliceert namelijk een „calculated risk” van een beperkt aantal overschrijdingsgevallen.

Vgl. de overstortfrequentie in de rioleeringstechniek.

Hoe dit ook zij, in een toenemend aantal gevallen is men er in Enge-

land in de jaren na de tweede wereldoorlog toe overgegaan de effluënten van oxidatiebedden (en soms ook van actief-slibinstallaties) een nabehandeling te geven ter vermindering van het gehalte aan zwevende stof, met als neveneffect een gelijktijdige vermindering van de BOD₅. Op de hierbij gebruikte methoden zullen we in het volgende nader ingaan. Doch eerst noemen we nog enkele mogelijke oorzaken van een verhoogd gehalte aan zwevend materiaal in het effluent van de nabezinking van een oxidatief-biologische zuiveringsinstallatie.

1. Denitrificatie in de nabezinking.

De reactie van nitriet met ammoniak of aminogroepen kan het ontstaan van elementaire stikstof ten gevolge hebben. De fijne stikstofbelleltjes hechten zich aan de humusvlokjes, die hierdoor gaan zweven of drijven en de nabezinking kunnen passeren.

2. Afvalwater met *hoog vetgehalte*, bv. afkomstig van slachthuizen.

Ook vetdeeltjes kunnen het soortelijk gewicht van de humusvlok zodanig beïnvloeden, dat deze gaat zweven en de nabezinking passeert.

3. Hydraulische of biologische *overbelasting* van de nabezinking, resp. de biologische zuiveringstrap.

De voor de verwijdering van gesuspendeerde stoffen toegepaste methoden zijn als volgt in te delen.

1. Mechanische methoden.

a. Snelle filtratie over gespoelde zandfilters (rapid gravity sand filters).

b. Microzeven (micro-strainers).

2. Methoden waarbij biologische processen mede een rol spelen.

c. Langzame zandfilters (slow sandfilters).

d. Vloevelden (grass plots).

e. Nabehandelingvijvers (lagoons).

3. f. Opwaarts doorstroomde filters (upward flow clarifiers).

Snelle zandfiltratie

Dit systeem is vooral bekend geworden in de waterleidingwereld. Toepassing vereist deskundig personeel en regelmatig toezicht. De filters bestaan uit een laag zand van gelijkmatige korrelgrootte met een onderlaag van grint, die op zijn beurt rust op een filterbodemp met „nozzles”. Deze sproeikoppen hebben een tweeledig doel, namelijk:

- Afvoer van het filtraat;
- terugspoelen van het filter.

Tengevolge van de afzetting van het gesuspendeerde materiaal op en in de bovenlaag neemt het hydraulische drukverlies over het filter toe. Zodra dit 2,5 m waterkolom overschrijdt, dient teruggespoeld te worden met gefiltreerd effluent en perslucht. Het spoelen kan ook op regelmatige tijden geschieden, bv. eenmaal per dag. Het spoelwater ($\approx 2\frac{1}{2}$ % van het filtraat) wordt teruggevoerd naar het begin van de zuiveringsinstallatie.

Enige gegevens omtrent inrichting en effect van gespoelde zandfilters zijn hieronder vermeld. Deze cijfers hebben betrekking op de filtratie van effluënten van humustanks met een gehalte aan zwevende stof van 20-30 mg/l.

Snelle zandfiltratie

dikte zandlaag	0,2- 1 m
korrelgrootte: bv. 0,9-1,7 mm (max. 3 mm)	
oppervlaktebelasting:	5-10 m/h
toename drukverlies over 24 h:	1- 2 m
terugspoeling:	30-40 m/h
reductie zwevende stof:	70-90 %
reductie BOD ₅ :	50-70 %

Microzeven

Ook de microzeven hebben hun eerste toepassing in waterleidingbedrijven gevonden.

De microzeef bestaat uit een om een horizontale as draaiende trommel, bespannen met een zeer fijn zeefgaas van roestvrij staal. De trommel draait in een tank met twee compartimenten. Vanuit het eerste compartiment stroomt het te filtreren water de trommel binnen, waarvan het zeefoppervlak zich geheel bevindt binnen het tweede compartiment.

Dit laatste dient om het filtraat te verzamelen en af te voeren. Het zich aan de binnenzijde van de trommel bevindende gefiltreerde materiaal wordt op het hoogste punt van de omwenteling teruggespoeld door middel van waterstralen en opgevangen in een trog met afvoer via de holle as van de filtertrommel. De verwijderde humusstoffen worden ook hier weer teruggevoerd naar het begin van het zuiveringsproces.

Bij het terugspoelen wordt in dit geval $\pm 5\%$ van de gefiltreerde hoeveelheid water gebruikt.

De drukval over het filteroppervlak is hier veel kleiner dan bij de snelle zandfiltratie, zoals uit onderstaande gegevens blijkt.

Microzeven

apertuur 35000-40000/cm ² :	(35-23 μ)
omtreknelheid:	tot 30 m/h
drukverlies over filter	< 15 cm
reductie zwevende stof:	50-80 %
reductie BOD ₅ :	25-50 %

Het vangstpercentage wordt veel geringer, indien de toevoer naar het microfilter door middel van pompen geschiedt in plaats van onder vrij verval.

Langzame zandfiltratie

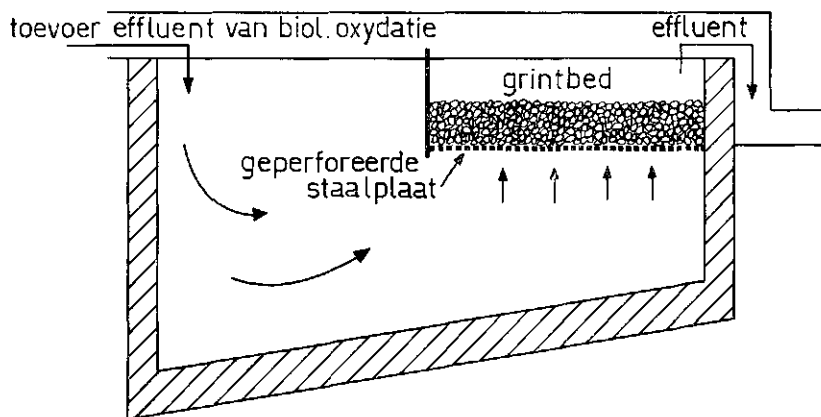
De hiervoor gebruikte filters bestaan uit een laag zand met een dikte van $\pm \frac{1}{2}$ m, met een onderlaag van grover materiaal waaronder zich een drainagesysteem bevindt.

Constructie en bedrijf zijn aanzienlijk eenvoudiger dan bij de snelle zandfiltratie, daar doorgaans geen terugspoelmogelijkheid is aangebracht. Het filter blijft in bedrijf tot duidelijke verstopping gaat optreden. Daarop wordt het buiten werking gesteld en de bovenste laag door slib verontreinigd zand na het droogvallen verwijderd. Zo nodig wordt het zand weer aangevuld. De lengte van een bedrijfsperiode bedraagt 1 à 2 maanden.

Langzame zandfiltratie

dikte zandlaag:	30-80 cm
korrelgrootte:	0,2- 3 mm
oppervlaktebelasting:	2- 4 m/dag
reductie zwevende stof:	$\pm 60\%$
reductie BOD ₅ :	$\pm 40\%$

De langzaam werkende zandfilters vergen een vrij groot oppervlak en zijn uiteraard vorstgevoelig. Ze worden dan ook slechts toegepast op kleinere installaties.



Afb. 1 - Opwaarts doorstroomd filter in nabezinking.

Vloevelden

Het gebruik van grasland voor de nabehandeling van effluent mag niet verward worden met de eveneens toegepaste irrigatie met al dan niet voorbezonden afvalwater.

Evenals de langzame zandfiltratie komen vloevelden uitsluitend in aanmerking voor niet te grote rioleringsgebieden. Het effluent wordt over het terrein verdeeld door middel van een stelsel van greppels, en door een tweede serie greppels weer verzameld. De beste methode is het afwisselend bevoeien van het terrein, gevolgd door een periode van drogen en eventueel hooien. Af en toe moeten de ontstane slibafzettingen worden verwijderd. Oorspronkelijk werd een oppervlaktebelasting van 1 inw. equivalent per m² aangehouden. Het zuiveringseffect bleek echter ook bij zesvoudige belasting nog zeer bevredigend.

Vloevelden

oppervlaktebelasting:	0,1-0,9 m/dag
reductie zwevende stof:	60-75 %
reductie BOD ₅ :	55-60 %
reductie coli-gehalte:	85-90 %

Nabehandelingsvijvers

De nabehandeling in oxidatievijvers wordt speciaal in Engeland veelvuldig toegepast, met name in de Theemsvallei en in de buurt van Birmingham. Het zuiveringseffect wordt voor een deel bewerkstelligd door bezinking; voor een ander deel echter ook door de zich in de vijver ontwikkelende microflora, waaronder zich groene algen bevinden.

Teneinde een goede zuurstofopname

te waarborgen, mag de vijver niet te diep zijn. Ook kunnen voorzieningen gewenst zijn om kortsluitstromen te voorkomen. De verblijftijd ligt in de orde van grootte van enkele dagen.

Het in serie schakelen van twee vijvers gaat het optreden van slib in het effluent van de vijvers tegen, hetgeen vooral in de warmere maanden (slibgisting op de bodem!) gewenst kan zijn.

Het in serie schakelen van meer dan twee vijvers bleek echter nauwelijks verbetering op te leveren ten opzichte van het systeem met twee vijvers.

Het aanbrengen van een duikschot kan wel nuttig zijn, daar af en toe slib kan opdrijven.

Nabehandelingsvijvers

diepte:	± 1 m
verblijftijd:	enkele dagen
reductie zwevende stof:	35-55 %
reductie BOD ₅ :	35-50 %

Opwaarts doorstroomde filters

Dit vrij recent ontwikkelde type kan worden geïnstalleerd in de nabezink-tanks ter plaatse van de afvoergoot. Het van onder naar boven doorstroomde filter bestaat uit een laag fijn grint die is aangebracht op een geperforeerde staalplaat (zie afb. 1). Het grint heeft korrels ter grootte van erwten (peagravel). Terugspoelen kan geschieden door periodiek het peil in de nabezinking te verlagen.

Semitechnisch onderzoek heeft aange-toond dat op deze wijze met een minimaal toezicht een groot gedeelte van de gesuspendeerde stof uit het effluent

van een oxidatiebed is tegen te houden, mits de oppervlaktebelasting beneden 1 m/h blijft.

Opwaarts doorstroomde filters

laagdikte:	15-20 cm
korrelgrootte:	6-10 mm
drukverlies over filter:	0- 5 cm

opp. belasting	reductie zw. stof
0,25 m/h	60 %
1,00 m/h	50 %
1,75 m/h	30 %
2,50 m/h	20 %

Het mechanisme van dit systeem van nazuivering is nog niet geheel opgehelderd. Er zijn aanwijzingen dat flocculatieprocessen er mede een rol bij spelen, zodat de eigenlijke filtratie wellicht door een vlokkendek geschiedt.

Onderlinge vergelijking

Voor een onderlinge vergelijking van de diverse tot nu toe behandelde systemen zij verwezen naar de hierbij gevoegde tabel.

Biologische microfiltratie

Bij de vergelijking van de in de tabel samengevatte resultaten van de diverse nabehandelingssystemen blijken de methoden die mede berusten op biologische processen vooral ook bacteriologisch gezien de beste resultaten op te leveren. De vraag rijst wat hiervan de verklaring zou kunnen zijn. We gaan daarom na, wat zich in de micro-wereld van de biologisch-oxidatieve zuivering zoal afspeelt.

In eerste instantie worden de organische stoffen daar gedeeltelijk gemineraliseerd en voor een ander deel vastgelegd als celmateriaal van de zich sterk vermeerderende bacteriën in het actieve slib. Zodra de beschikbare

voeding schaarser wordt, krijgt een proces de overhand dat wel wordt aangeduid als endogene ademhaling: het vastgelegde celmateriaal wordt op zijn beurt geleidelijk aan afgebroken en geoxideerd. In werkelijkheid hebben we echter te maken met een gecompliceerd systeem van „eten en gegeten worden“.

Wanneer we een kleine hoeveelheid goed werkend actief slib onder een microscoop bekijken zien we grote hoeveelheden microscopisch kleine diertjes, de protozoën. In goed slib hebben vooral de klokdiertjes zoals *Vorticella* e.d. de overhand. Deze protozoën werken min of meer als kleine stofzuigertjes: door middel van een als centrifugaalpompje fungerende krans van trilharen wordt een stroompje water letterlijk aan microfiltratie onderworpen en iedere afgevangen bacterie wordt rechtstreeks naar het spijsverteringsorgaan van het microdiertje afgevoerd. We hebben hier de misschien wel meest ideale vorm van microfiltratie ontdekt: een uiterst functioneel filter waarbij elk opgevangen deeltje onmiddellijk weer van het filter wordt verwijderd.

In feite zou deze microfiltratie echter reeds volledig zijn beslag moeten vinden in de biologische zuiveringstrap. Reynoldson (1942) constateerde dan ook dat het aantal in actief slib voorkomende *Vorticelliden* sterk correleerde met de kwaliteit van het effluent. Scherb (1958) gaat hier nader op in.

Voor de ciliaten *Opercularia*, *Aspidisca* en *Vorticella* zijn echte bacterievreters. In actief slib konden herhaaldelijk 20.000-30.000 individuen per cm^3 slib-watmengsel worden geteld.

De betekenis hiervan voor de helderheid van het effluent, die reeds eerder was aangetoond door Viehl (1937), Sugden en Loyd (1950) werd

door Scherb nog eens bevestigd. Wanneer chemische voorzuivering met ijzer- of aluminiumzouten werd toegepast, ging het ciliatengehalte van het slib en daarmee de helderheid van het effluent sterk achteruit.

De 20.000 à 30.000 protozoën per ml actief-slibmengsel hebben een gemiddelde diameter van 40μ en een totaal lichaamsvolume van $\pm 2 \text{ mm}^3$. Dat wil zeggen dat voor volledige filtratie van de omringende vloeistof omstreeks 500 maal het lichaamsvolume per individu moet worden gefiltreerd. Bij een verblijftijd van 3 uur in het aëratiebassin komt dit overeen met een pompcapaciteit van 2 à 3 maal het lichaamsvolume per minuut.

Een blik in het microscoop leert dat dit een zeer aannemelijke prestatie is. De gemiddelde verblijftijd in oxidatiebedden is in het algemeen veel korter dan 3 uur. Gesuspenderde bacteriën zullen hier dan ook gemakkelijker de dans ontspringen dan bij actief-slibinstallaties.

Hoe komt het dan dat het zuiverings-effect met betrekking tot de opgeloste organische stof wel bevredigend is? De verklaring moet gezocht worden in de relatief hoge diffusiesnelheid van de moleculair opgeloste stoffen, die dan ook een veel grotere kans maken afgevangen te worden dan de ten opzichte van moleculen reusachtige bacteriën.

Zo bezien kan nabehandeling door middel van een biologisch werkend systeem met lange verblijftijd wel zin hebben.

Waar mogelijk zou dit het meest economisch aan de natuurlijke zelfreinigingsprocessen kunnen worden overgelaten. Voorwaarde daarbij is echter het ter beschikking staan van een geschikte biotoop, die vooral voldoende aanhechtingsplaatsen voor de bacterievangende protozoën zou moeten

Vergelijkend overzicht

procédé	oppervlakte belasting m/h	kapitaalkosten (excl. grond) prijspeil 1964			zuiveringseffect in % reductie		
		m^3/dag	j.kosten/ $10^3\text{m}^3/\text{dag}$	arbeidsuren $\text{h}/10^3\text{m}^3$	zw. st.	BOD ₅	coli
micro-filters	15	4.500	f 24.200	0,01	50 - 80	25 - 50	10
snelle zandfiltratie	5 - 10	63.500	f 16.500	0,02	70 - 90	50 - 70	30
		108.000	f 17.600				
vloeiervelden	0,04 (incl. leegloop)		f 6.600	0,04 - 2	60 - 75	55 - 60	85 - 90
langzaam zandfiltratie	0,08 - 0,13		f 66.000	1 - 4,5	60 - 65	35 - 45	40 - 60
vijvers	0,01 - 0,02		f 11.000	0,02 - 0,2	35 - 55	35 - 50	70
opw. doorstr. filters	tot 1,0		f 13.200	1,1	50 - 60	25 - 40	40

leveren. Helaas werken de moderne methoden van rivieronderhoud en waterbeheersing in dit opzicht vaak averechts. Misschien zou een ondiepe vijver met kunstmatige beplanting uitkomst kunnen brengen. In dit opzicht kan gewezen worden op het bij de zeekering en oeverbeveiliging onlangs toegepaste „kunstmatige zeewier” dat bestaat uit polypropreenfilamenten.

Nieuwe ontwikkelingen: het MD-procédé

De eerste microzeefinstallatie werd in 1950 geïnstalleerd in Luton. Een jaar later werd een aansluitende zandfiltratie in bedrijf genomen. Enkele tientallen soortgelijke installaties zijn inmiddels in Engeland geïnstalleerd of in ontwerp.

Verder onderzoek heeft geleid tot de ontwikkeling van het zgn. MD-procédé, dat beoogt het gezuiverde water geschikt te maken voor industrieel gebruik. Een proefinstallatie hiervoor werd in 1965 in bedrijf genomen bij de Eastern Sewage Works van de London Borough of Redbridge.

MD is de afkorting van Micellization-Demicellizationproces. Het gehele procédé bestaat uit een inleidende filtratie over microfilters; ozonisatie en snelle zandfiltratie onder geoptimaliseerde toevoeging van chloor en coagulantia. Het proces stamt uit de waterleidingwereld, waar colloïdale organische en anorganische stoffen als volgt verwijderd werden.

1. Coagulatie en flocculatie van colloïden samen met grover gesuspendeerd materiaal door middel van elektrolieten zoals sulfaten, aluminaten e.d.;
2. bezinking;
3. snelle zandfiltratie.

Organische colloïden bleken echter relatief veel elektroliet te vragen, hetgeen op zichzelf verontreinigend werkte. Het MD-procédé kwam daaraan tegemoet. Hierbij worden de volgende bewerkingen in serie toegepast.

1. Inleidende filtratie over microzeven ter verwijdering van het niet colloïdale gesuspendeerd materiaal;
2. Micellizatie en demicellizatie.

Naast een steriliserend effect heeft ozon de eigenschap, hydrofiele colloïden tot uitvlokking te brengen, terwijl bovendien ontkleuring optreedt. De coliforme bacteriën worden tijdens de ozonisatie vrijwel volledig vernietigd. Het uitvlokkend effect wordt sterk ondersteund door de aanwezigheid van ijzer en mangaanionen. Ozon al-

leen veroorzaakt in eerste instantie aanleiding tot de vorming van micellen, die waarneembaar zijn als colloïdale troebeling. Na toevoeging van een relatief kleine hoeveelheid elektroliet komen de micellen tot uitvlokking (demicellizatie).

De toegepaste hoeveelheden zijn bv.:

ozon: 1,5-3,5 mg O₃/l
Al₂(SO₄)₃ 0-15 mg/l

3. Een snelle zandfiltratie over een gespoeld filter besluit het besproken zuiveringsproces.

Hieronder volgen nog enkele gegevens over de voortschrijdende zuiveringsgraad van het effluent van een oxidatiebed na de verschillende stadia van het MD-procédé.

Conclusie

De verwijdering van gesuspendeerde

stoffen uit effluent kan vooral nuttig zijn wanneer het water voor onmiddellijk industrieel gebruik geschikt gemaakt dient te worden.

Het procédé met microfilters en eventueel aansluitende ozonisatie en snelle zandfiltratie werkt het snelst.

De methoden waarbij biologische processen mede een rol spelen leveren in één bewerking de beste resultaten op; het benodigde oppervlak is echter relatief groot.

Het opwaarts doorstroomde filter is het gemakkelijkst te monteren en vraagt de minste zorg.

Het is de vraag of het „polishen” van effluenten kwalitatief en kostentech- nisch zal kunnen concurreren tegen enerzijds de natuurlijke zelfreiniging en anderzijds de methoden waarbij de derde zuiveringstrap bestaat uit de verwijdering van fosfaten en/of stikstofverbindingen.

MD behandeling effluent oxidatiebed	humustank	microfilter	ozonisatie	zandfilter
zwevende stof (mg/l)	51	19	15	10
droge stof (mg/l)	931			928
BOD ₅ (mg/l)	21	13	11	9
COD (mg/l)	78	54	44	39
kleur (Hazen)	36	—	4	7
troebeling (ATU)	3,4	E	—	0,9
detergent	1,4	1,4	0,6	0,6

Literatuur

- Bodien, D. G. en Stenberg, B. L., *Microscreening effectively polishes activated sludge plant effluent*. Wat. Wastes Engng. (1966) 74-77.
- Evans, G. R., *Microstraining tests on trickling filter effluents*. Publ. Wks., NY 96 (1965), 119-120.
- Fish, H., *Some basic processes for the treatment of polluting liquids*. Munic Engng., London 143 (1966), 685-689.
- Fish, H., *Some investigations of tertiary methods of treatment*. Inst. Publ. Health Engrs. J. 65 (1966), 33-47.
- Reynoldson, T. B., *Vorticella as an indicator of activated sludge*. Nature, 30 (1942), 149-150.
- Scherb, K., *Zur Biologie des belebten Schlammes*. Münchner Beiträge zum Abw., Fischerei- und Flussbiologie, 5 (1958), 86-140.
- Sudgen, B. en Loyd, L., *The Clearing of Turbid Waters by means of the Ciliat Carchesium*. Sewage and Ind. Wastes 22 (1950), 974.
- Viehl, K., *Untersuchungen über das Wesen des Selbstreinigung*. Z. f. Hygiene 119 (1937), 383-412.