

# Onderzoek naar de verwijdering van trichlooretheen uit water door intensieve beluchting en door filtratie over geactiveerde kool

## 1. Inleiding

Reeds in de dertiger jaren vertoonde het nitraatgehalte van het opgepompte water te Zeist een stijgende tendens, waarbij de putten in het n.w. deel van de winplaats de hoogste waarden bereikten.

Een en ander was voor het waterleidingbedrijf aanleiding bij het gemeentebestuur aan te dringen op het aansluiten van de percelen in de nabijheid van de winning op de riolering.

Ook nu nog komt uit het jaarlijkse puttenonderzoek naar voren, dat de pompputten



DRS. J. VAN DER LAAN  
Waterleidingbedrijf  
Midden-Nederland

in het vorengenoemde deel nog de grootste bijdrage aan het nitraat leveren. Verder vertoonde het water in sommige putten de laatste jaren vrij grote veranderingen in het chloride- en sulfaatgehalte.

Om meer te weten te komen omtrent de kwaliteit van het grondwater op verschillende diepten waren er twee diepe waarnemingsputten gepland (wp. 7 en 8). Later is nog wp. 9 geboord op een plaats in de stroombaan van het trichlooretheen (TCE)-houdende water, juist benedenstrooms de vermoedelijke plaats van de lozing. De chemische analyse van het water uit de diverse waarnemingsputten geeft naast het verloop van het TCE-gehalte over de diepte ook informatie omtrent andere ongerechtigheden, die in de loop der tijd aan de bodem zijn toevertrouwd. Zo werden vooral ter hoogte van wp. 9 verhoogde gehalten gevonden aan nitraat en sulfaat bij een lage pH, — een gevolg van lozingen van salpeter- en zwavelzuur — nikkel, zink en in mindere mate aan chroom.

De verplaatsing van de metalen via het grondwater is o.a. afhankelijk van de aard van het metaal, van de pH van het grondwater en van de doorstroomde grondsoorten. In verband met de betrekkelijk grote afstand tot de winplaats en de neutraliserende invloed van de bodem mag verwacht worden, dat er vooralsnog geen ontoelaatbare hoeveelheden van deze metalen de winputten zullen bereiken.

Heel anders is het gesteld met stoffen als trichlooretheen en dergelijke. Deze synthetische producten met veel chlooratomen in het molecuul worden praktisch niet door bacteriën en hogere organismen afgebroken. Verder lijkt het erop, dat in betrekkelijk schone zanden de adsorptie aan vaste

deeltjes relatief gering is, waardoor dit soort stoffen over een aanzienlijke afstand met het grondwater kan worden meegevoerd.

Het grondwater te Zeist bevat ongeveer 0,5 tot 3,0 mg TCE per liter. De oplosbaarheid van TCE in water is ca. 1100 mg per liter, zodat het grondwater nog lang niet verzadigd is aan TCE.

## 2. Verwijdering TCE uit water

Welke mogelijkheden zijn er nu om het TCE uit water te verwijderen. In het hiervoor geplaatste artikel is er reeds op gewezen, dat het lozen van het TCE-houdende water op het riool als een noodmaatregel te beschouwen is. Er diende gezocht te worden naar een zuiveringsmethode, die het TCE uit het opgepompte grondwater verwijdert en wel zodanig, dat het weer als drinkwater kan worden gebruikt en de lozing en de extra onttrekking van het grondwater weer tot het verleden behoren.

De volgende mogelijkheden leken in eerste instantie zinvol om nader geanalyseerd te worden:

- hyperfiltratie;
- beluchting;
- filtratie over geactiveerde kool.

Er waren weinig concrete gegevens voorhanden, zodat het hele probleem van begin af aan opgelost diende te worden en wel op zo kort mogelijke termijn. In de literatuur waren alleen enkele gegevens te vinden over de verdamping van TCE uit oppervlaktewater en enkele beluchtingsproeven op laboratoriumschaal.

### 2.1. Hyperfiltratie

Bij deze zuiveringsmethode wordt het te behandelen water onder hoge druk door een membraan geperst. Een deel van de opgeloste zouten en organische bestanddelen kan dan uit het water worden verwijderd. Informatie op dit gebied leerde ons, dat stoffen met een laag moleculairgewicht, zoals TCE, minder goed worden tegengehouden. Verder ontstaat er bij dit proces een brijn, die tenslotte afgevoerd dient te worden, wat weer aanleiding geeft tot andere problemen.

### 2.2. Beluchting

Het verwijderen van in water opgelost kool-dioxyde, methaan en zwavelwaterstof kan middels een intensieve beluchting. Dit wordt in de praktijk veelvuldig toegepast. Vanwege de eenvoud van deze methode ligt het voor de hand deze in het onderzoek te

betrekken. Enkele systemen, die het WMN heeft beproefd, zijn:

- sproeiers;
- torenbeluchter;
- plaatbeluchter.

#### 2.2.1. Sproeiers

De proeven werden op de winplaats te Soestduinen uitgevoerd, omdat daar een voormalig langzaamzandfilter als opvangbak dienst kan doen. Verder is daar nog een grote vijver aanwezig.

Als sproeier werd een type getest, dat ook in de land- en tuinbouw toepassing vindt (wondersproeier). Het te behandelen water werd op ca. 2,5 tot 3,0 meter hoogte boven de vijver zeer fijn versproeid; voordruk 150 - 200 kPa, capaciteit 1,4 - 2,8 liter per seconde per sproeier.

Hoewel de windsnelheid van invloed is op het verwijderingspercentage wordt gemiddeld 90 % van het TCE aan de lucht overgedragen. In verband met de mogelijk niet steeds gewaarborgde bacteriologische helderheid van het op deze wijze behandelde water wordt het effluent via de vijver in de bodem geïnfilteerd, indien het gehalte aan TCE minder dan 1 µg per liter bedraagt. Met dit systeem kan water met een gehalte tot 10 µg TCE per liter worden behandeld. Voor hogere gehalten wordt het water eerst boven de opvangbak versproeid, waarna het effluent via een analoog systeem boven de vijver wordt behandeld.

Zowel het enkelvoudige als het tweetraps beluchtingssysteem wordt te Soestduinen toegepast om het water uit de putten, die dienen om de winplaats tegen TCE te vrijwaren, te behandelen. Een nadeel is, dat er bij vorst hinder wordt ondervonden van ijsafzettingen en deze methode vrij veel ruimte vereist, vooral indien het gehalte aan TCE hoog is.

Voor het probleem te Zeist, waar momenteel 80 tot 90 liter water per seconde met een gehalte van 600 - 800 µg TCE per liter wordt gewonnen, terwijl dit gehalte naar verwacht mag worden nog verder zal toenemen, zou versproeiing tenminste drie trappen vereisen.

Een en ander vergt een aanzienlijke ruimte afgezien van de mogelijkheid, dat de laatste trap minder goed werkt door de invloed van TCE-houdende lucht uit voorgaande fasen.

#### 2.2.2. Torenbeluchter

Het proefexemplaar bestond uit een 3 meter hoge toren, die gevuld was met korte stukjes PVC-pijp Ø 42 mm. Het water wordt bovenin versproeid, terwijl de lucht door een ventilator in meestroom wordt aangevoerd. Een dergelijk systeem werkt al

enige jaren te Zeist om naast beluchting een groot gedeelte van de overmaat aan kool-dioxyde uit het ruwe water te verwijderen. De capaciteit van deze installatie is 50 - 150 m<sup>3</sup> water per m<sup>2</sup> of meer.

Voor een verwijdering van het TCE van 75 % bleek bij ons proefexemplaar een lucht/water verhouding van 130 nodig te zijn. Tegenstroombeluchting zal betere resultaten geven maar heeft het nadeel, dat het een zwaardere ventilator vereist en dat het waterdebiet minder hoog kan worden opgevoerd, hetgeen ook meer of grotere eenheden nodig maakt. Bij de reeds in Zeist aanwezige torenbeluchter werd gevonden, dat bij een lucht/water verhouding van ca. 35 er een reductie optrad van ongeveer 40 - 50 % aan TCE.

### 2.2.3. Plaatbeluchter

De voor onze proeven gebruikte eenheid bestond uit een langwerpige bak 0,33 x 2,0 meter, waarin op 0,20 meter boven de bodem een geperforeerde plaat was gemonteerd (Ø gaatjes 2 mm, open opp. 1,7 %). Onder deze plaat werd met behulp van een ventilator lucht ingeblazen. Aan de korte zijden van de bak waren schuiven aangebracht om de hoeveelheid water en de hoogte van het 'schuimbed' boven de plaat te kunnen instellen.

TABEL I.

oppervlakte-belasting in m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	lucht/water verhouding	TCE-gehalte influent µg/l	effluent µg/l	verwijdering in %
24	22	185	48	74
16	33	185	28	85
14,5	37	185	27	85,5
10,5	51	185	14	92,5
6,8	80	185	0,1	>99

Vooraf bij lage oppervlakte-belastingen zijn hoge verwijderingspercentages haalbaar. De experimenten zijn nog niet afgerond.

## 3. Filtratie over geactiveerde kool

### 3.1. Algemeen

Bij de oppervlaktewater verwerkende bedrijven en de industrie wordt geactiveerde kool veelvuldig toegepast om ongewenste organische stoffen te verwijderen. Voor Zeist biedt het een aantrekkelijk perspectief, indien het nu afgevoerde water na de behandeling met kool weer aan de eisen van goed drinkwater zou voldoen en als zodanig weer beschikbaar zou zijn.

Een oriënterende proef op laboratoriumschaal wees uit, dat bij een beddike van 2 meter en een filtratiesnelheid van 5,5 mm/s het gehalte aan TCE kan worden teruggebracht van 350 naar < 0,10 µg/l. Het portiegewijs aanmaken van TCE-



Afb. 1 - Het proeffilter van transparant PVC.

houdend water en de mogelijk lange duur van deze proeven leverden moeilijkheden op wat betreft schaal en continuïteit. Daar in Zeist reeds voor andere doeleinden een transparant proeffilter Ø 300 mm stond opgesteld en wel in de nabijheid van de afvoerleiding van het TCE-houdende water, werd besloten de proeven aldaar voort te zetten, hetgeen een meer reële opzet mogelijk maakte.

Omtrent de verwijdering van TCE uit

TABEL II.

Proef	1	2	3	4	5	berekend uit 3	
Koolsoort	PK 1-3	ROW-1	ROW-1	PK 1-3	ROW-1	ROW-1	
Bedhoogte in meters	1,70	2,00	2,00	2,00	2 x 1,5	3,00	4,00
Volume kool in liters	113	133	133	133	201	201	266
Gewicht kool in kg	29,4	53	53	35	80	80	106
Filtratiesnelheid in mm/s	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Hoeveelheid gezuiverd water in m <sup>3</sup>	575	675	2770	1008	5067	5230	7710
Aantal bedvolumen (afgerond)	5200	5480	20800	7600	25200	26000	29000
Looptijd in dagen	28	31	129	43	223	ca. 240	ca. 360
Gemiddeld TCE-gehalte influent in µg/l	550	510	550	660	700	550	550
Gemiddelde belading in g TCE/kg kool in het hele bed	10,8	6,5	28,7	19,0	44,3	36,0	40,0
Gemiddelde belading in g TCE/kg kool in laag:							
3 —4 m boven bodem	—	—	—	—	—	—	51,3
2 —3 m boven bodem	—	—	—	—	—	—	51,3
1,75—2,00 m boven bodem	—	—	51,3	38,2	—	60,8	51,3
1,50—1,75 m boven bodem	—	—	40,7	35,6	—	—	40,7
1,00—1,50 m boven bodem	—	—	35,7	24,7	—	—	35,7
0 —1,00 m boven bodem	—	—	16,3	7,2	—	—	16,3
Belading onderste helft bed in % van het totaal	—	—	28,4	19,0	31,4	31,4	35,9
Bijzonderheden			gaas op 1,0 en 1,5 m	gaas op 1,0 m			

water met behulp van kool was weinig bekend, zodat deze proefinstallatie de nodige gegevens diende te leveren voor de eventuele bouw van een definitieve zuivering en wel op korte termijn.

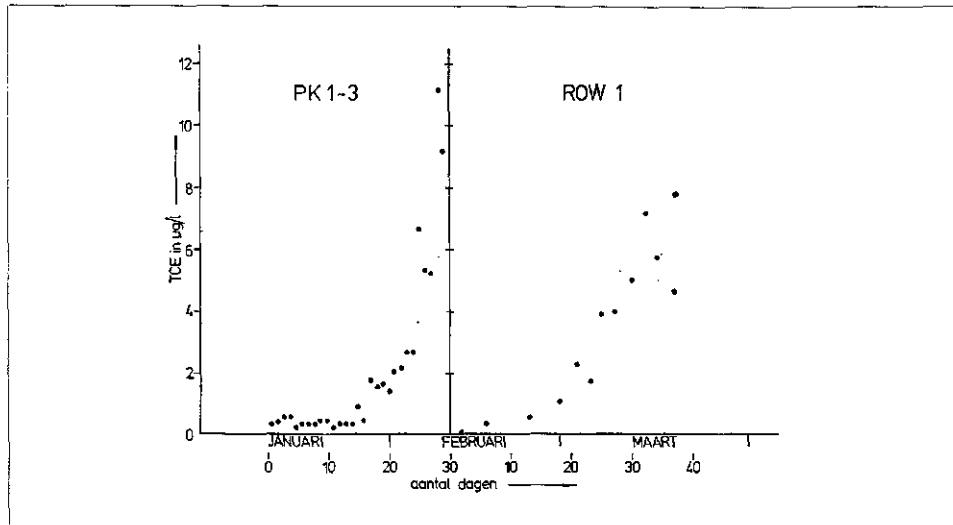
### 3.2. Opzet proefinstallatie

Het filter werd als een gesloten systeem zonder beluchting uitgevoerd. Het te behandelen water (t = 11 °C) bevatte echter naast wat ijzer en mangaan een weinig zuurstof, zodat met een onijzering c.q. ontmanganing op de kool rekening gehouden diende te worden.

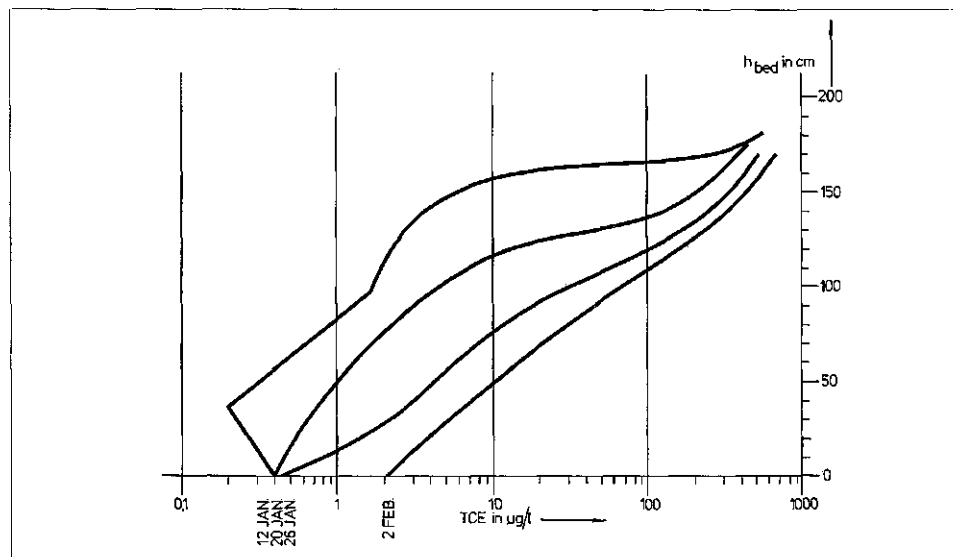
Om het verloop van het TCE-gehalte in het water tijdens de passage door de kool te kunnen volgen, waren op regelmatige afstanden monsterkranen aangebracht, die het water aan het centrale deel van de kolom onttrokken.

De hoogte van het filterbed bedroeg ongeveer 2 meter. De proeven zijn uitgevoerd met twee soorten korrelkool van de firma Norit, te weten de reactieerbare ROW-1 en de niet-reactieerbare PK 1-3.

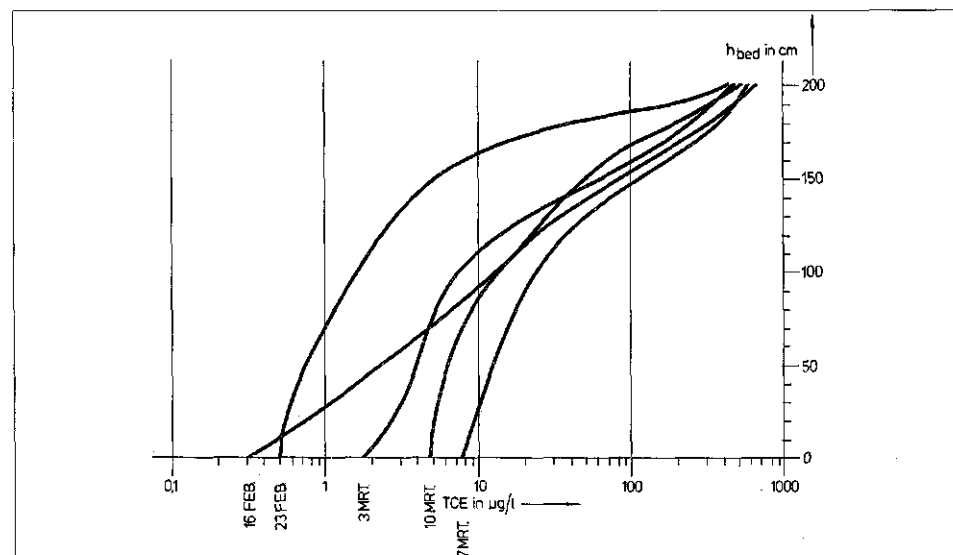
Het gehalte aan TCE in het influent was 550-700 µg per liter. Daar korte contacttijden (hoge filtratiesnelheden) bij filtratie over kool meestal geen gunstige resultaten geven, werd uitgegaan van een snelheid van 4,2 mm/s. In verband met het afzetten van vooral ijzerverbindingen op de kool diende het filter regelmatig te worden gespoeld. Bij de proeven werd de looptijd van de kool als geëindigd beschouwd, indien het effluent ongeveer 6 µg TCE per liter bevatte.



Afb. 2 - Het verloop van het TCE-gehalte in het effluent (proeven 1 en 2).



Afb. 3 - Het concentratieverloop van TCE in een filter gevuld met PK 1-3 (één maal per week bepaald).



Afb. 4 - Het concentratieverloop van TCE in een filter gevuld met ROW-1 (één maal per week bepaald).

### 3.3. Resultaten

Bij de eerste proef met de kool PK 1-3 (v.m. 260 kg/m<sup>3</sup>) kon 575 m<sup>3</sup> water worden gefiltreerd, hetgeen overeenkwam met 5200 bedvolumen (=  $\frac{\text{volume gefiltreerd water}}{\text{volume van de kool}}$ ) en een gemiddelde belading van 11 g TCE/kg kool (tabel II).

Over ROW-1 (v.m. 400 kg/m<sup>3</sup>) werd 675 m<sup>3</sup> gefiltreerd of 5480 bedvolumen. De gemiddelde belading was 6,6 g TCE/kg kool en lag dus een stuk lager, ondanks het feit dat de korrelgrootte van de ROW kleiner is. Een belangrijke rol speelt het verschil in volumieke massa.

De afb. 2 t/m 4 laten zien, dat het TCE-gehalte in het effluent en van het water op diverse hoogten in het bed een onregelmatig beeld vertoont. De oorzaak ervan werd gezocht in het frequente spoelen en het gemakkelijk expanderen van het lichte materiaal.

Daarbij kunnen de beladen korrels uit de bovenlaag van het bed naar dieper gelegen plaatsen migreren en omgekeerd, hetgeen duidelijk werd waargenomen in het transparante filter.

Verder dient dan te worden aangenomen, dat het TCE in een beladen kooldeeltje in praktisch TCE-vrij water weer gemakkelijk desorbeert (zie afb. 5).

Om een en ander te voorkómen, zijn er twee mogelijkheden: óf het bed niet spoelen door de ontijzering in een voorgeschakelde eenheid te doen plaatsvinden, óf het bed fixeren tijdens het spoelen. Doordat er op korte termijn geen ontijzeringfilter beschikbaar was, zijn de beide volgende proeven met een gefixeerd bed uitgevoerd en wel door een fijn gaas aan te brengen op 1,0 en 1,5 meter bodem na het goed aanvullen van de kool in de onderliggende sector. Het gaas werd ingeklemd tussen de flenzen met twee pakkingen.

Proef nr. 3 met ROW-1 had nu een veel gunstiger verloop, zoals uit tabel II en de afb. 5 en 6 valt af te lezen. De looptijd was ongeveer viermaal langer dan met het niet-gefixeerde bed.

Verder is in afb. 5 duidelijk te zien, dat het bovenste deel van het bed nagenoeg met TCE verzadigd is — lijn praktisch verticaal —. Indien de hoeveelheid TCE in de bovenlaag berekend wordt, geeft dit informatie omtrent de beladingsgraad van de kool onder de reeds genoemde condities. Doordat op elke hoogte in het bed de de hoeveelheid TCE te bepalen is, die door dat oppervlak passeert, kan tenslotte in elk volumedeel van het bed de hoeveelheid geadsorbeerd TCE worden berekend. De belading in de bovenste 0,25 meter is 51,3 gram TCE per kg kool bij een gemid-

deld gehalte aan TCE in het influent van 550  $\mu\text{g/l}$ .

Tenslotte is er nog een analoge proef nr. 4 gedaan met PK 1-3. De verbetering van de looptijd was hier niet zo groot (afb. 6 en 7). Mogelijk is bij de eerste proef dit materiaal door z'n ongelijkvormigheid (korrelgrootte 1 tot 3 mm) tijdens het schoonspoelen geclassificeerd en is het bed daarna minder door elkaar gehutseld.

De belading in de laag 1,75 - 2,00 meter bedroeg ruim 38 gram TCE per kg kool. Gedurende de beide laatste proeven was de bacteriologische hoedanigheid van het effluent steeds goed.

Ondanks het feit dat de niet-reactiveerbare kool goedkoper is dan de reactiveerbare blijkt de laatstgenoemde soort toch een klein voordeel op te leveren door de veel grotere hoeveelheid water, die per kubieke meter kool gezuiverd kan worden.

Verder levert de niet-reactiveerbare kool nog het probleem op waar het te laten na het gebruik. Dumping brengt met zich, dat naast verdamping het TCE door regenwater uitgewassen kan worden en dan elders bodem- en/of grondwaterverontreiniging tot gevolg heeft.

Een betere oplossing is afvoer naar een vuilverbrandingsinstallatie, hetgeen naast het vervoer nog extra kosten meebrengt. Om vorengenoemde redenen is besloten voor de verwijdering van het TCE uit het grondwater te Zeist de reactiveerbare kool te gebruiken.

#### 4. Opzet filterinstallatie

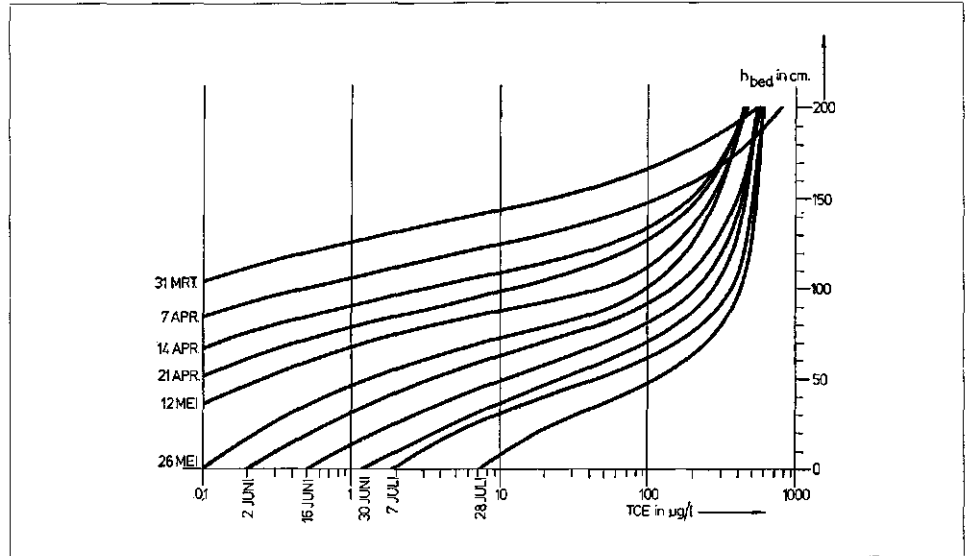
In tabel II is berekend, dat bij proef 3 de onderste meter van het bed voor slechts 28,4 % beladen is, zodat het voordelen biedt de belading in dat deel te vergroten.

Daar het gehalte aan TCE in het effluent laag dient te blijven, is een en ander te realiseren door twee kleinere filters in serie te plaatsen, waarbij de totale bedhoogte gelijk blijft. De filters dienen dan bij toerbeurt als eerste te worden geschakeld (pseudo-moving bed).

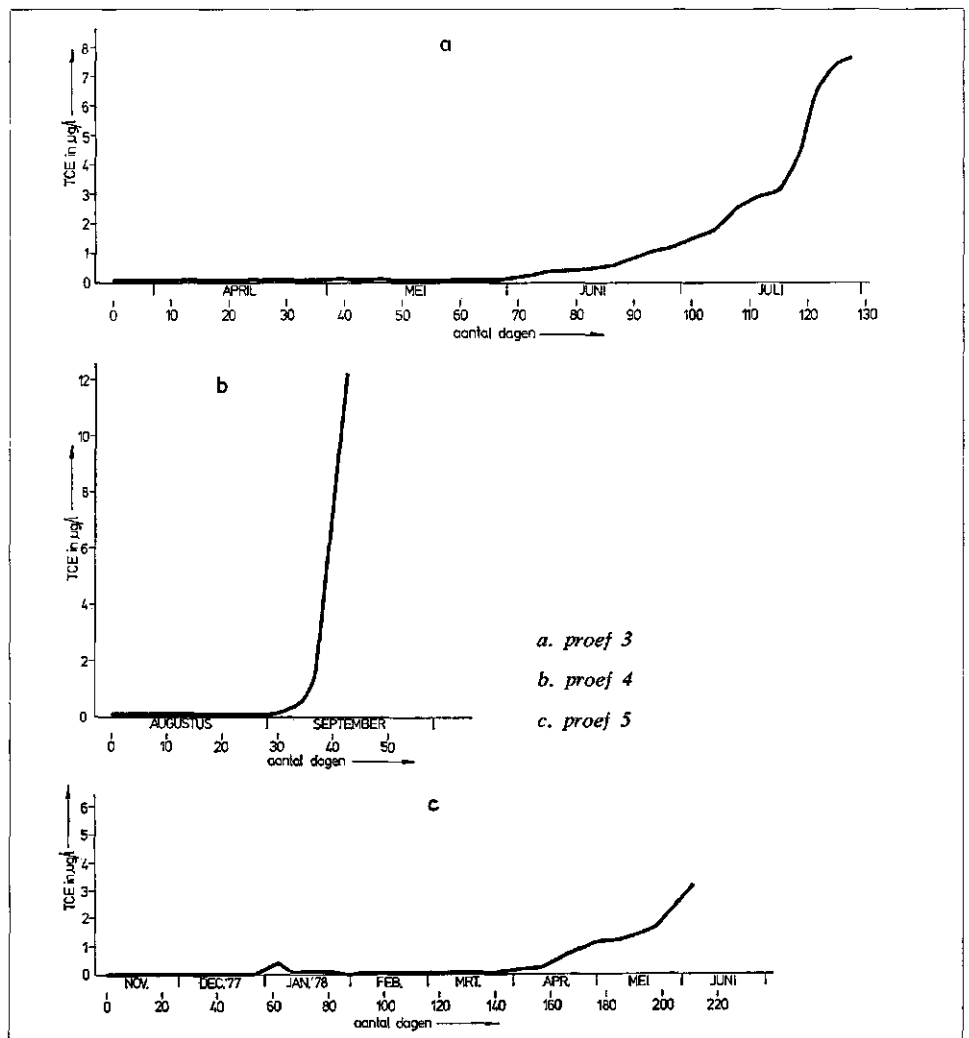
Indien het eerste filter een zodanige weerstand krijgt, dat het gespoeld moet worden, blijft het andere filter intact en wordt hoogstens het 'halve' bed verstoord.

Aan het einde van de looptijd wordt het eerste filter van nieuw materiaal voorzien en doet daarna als laatste trap dienst enz. Het aanbrengen van een systeem dat in een groot filter moet verhinderen dat het bed expandeert, levert nogal wat problemen op, temeer daar de kool op gezette tijden vervangen moet worden.

De hoeveelheid water die te Zeist dient te worden gezuiverd, is op het moment ruim 83 liter per seconde. In verband met de afscherming van de TCE-vrije putten kan



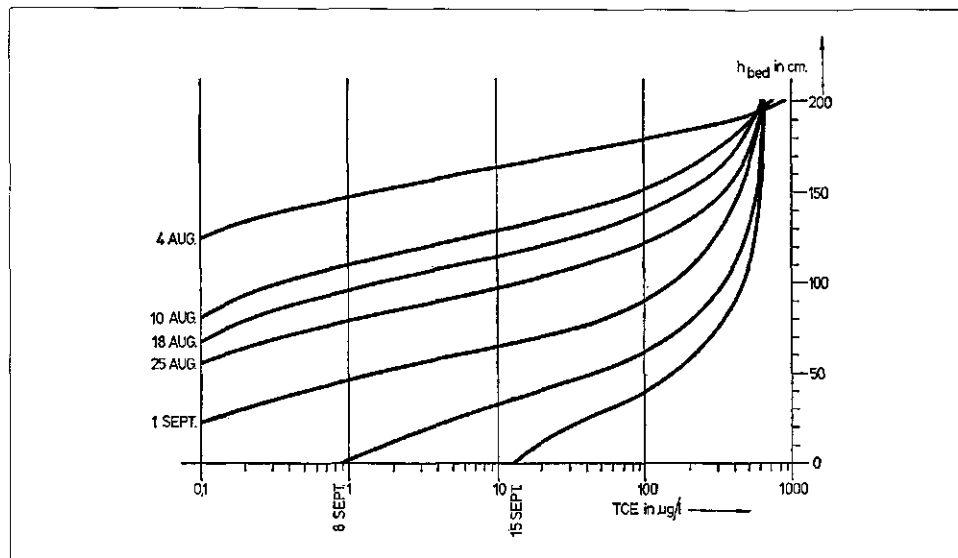
Afb. 5 - Het concentratieverloop van TCE in een filter gevuld met ROW-1 (gefixeerd) (één maal per week bepaald).



Afb. 6 - Het verloop van het TCE-gehalte in het effluent.

het in de toekomst nodig zijn dat het debiet wordt verhoogd tot 100 liter per seconde. De zuiveringsinstallatie werd op deze capaciteit afgestemd, hetgeen dus een filter-

oppervlak van 24 m<sup>2</sup> vereiste. In Zeist is momenteel 700 m<sup>3</sup> water beschikbaar met een gemiddeld gehalte aan TCE van 0,5  $\mu\text{g/l}$ . Dient het gehalte aan TCE



Afb. 7 - Het concentratieverloop van TCE in een filter gevuld met PK 1 - 3 (gefixeerd).

in het uitgaande water na het in werking stellen van de koolfilters aan de norm van minder dan 1 µg/l te voldoen, dan mag het totale effluent van de filters niet meer bevatten dan 2 µg TCE per liter.

Afb. 6 laat zien dat bij het gebruik van ROW-kool het effluent gedurende ca. 60 % van de looptijd praktisch TCE-vrij is en pas in de laatste periode oploopt. Het is dus beter om het totaal benodigde oppervlak over meerdere filters (sets) te verdelen en deze filters een verschil in starttijd te geven gelijk aan de totale looptijd gedeeld door het aantal units. Elke unit kan dan eventueel iets langer in werking worden gehouden (tot 5 à 6 µg/l in het effluent). Een en ander maakt in het algemeen een gunstige bedrijfsvoering mogelijk.

Bij gebruik als drinkwater is echter vanwege het verdachte karakter van het TCE voorzichtigheid geboden met het tot het uiterste uitsturen van de installatie.

Ook in verband met de continuïteit en het optreden van eventuele storingen kwam de bouw van één of twee units ons minder gewenst voor, zodat er een keuze gemaakt diende te worden tussen drie of meer units. Berekeningen toonden aan, dat het bouwen van drie units het voordeligst was (zie het artikel van ing. J. Speyer).

Een ander probleem vormde de afzetting van ijzer- en mangaanverbindingen op de kool. Na het schoonspelen bleek de kool nog een aanzienlijke hoeveelheid van deze verbindingen te bevatten.

Een proef met gereactiveerde 'ijzerhoudende' kool leverde een belading op van 50,5 gram TCE per kg kool, hetgeen een teruggang genoemd mag worden t.o.v. proef 5 (60,8 gram).

Hoe na herhaald reactiveren de adsorptiecapaciteit van de kool onder invloed van deze afzettingen verder zal veranderen, is op

grond van deze ene proef niet te zeggen.

In verband met deze onzekerheid zijn de koolfilters achter de ontijzering/ontmanganing in het zuiveringstelsel geplaatst. Er dient nog wel met een enkele spoelbeurt rekening te worden gehouden, daar op lange termijn de ontijzering/ontmanganing niet altijd voor 100 % hoeft te verlopen.

Weike bedhoogte dient een filter(set) te hebben?

In de bovenste 0,25 meter van het filterbed bleek de kool verzadigd te zijn met TCE bij een gehalte van het influent van 550 µg/l. De belading in deze laag was 51,3 gram TCE per kg kool (tabel II). Ingeval het bed 3 meter dik was geweest, zou de bovenste meter aan het eind van de looptijd dezelfde belading hebben verkregen. Met behulp van dit gegeven zijn de in tabel II en III vermelde grootheden berekend voor een bed van drie en vier meter hoogte.

Mede in verband met de reeds eerder genoemde mogelijkheid de filters te moeten spoelen, werd gekozen voor 3 units met 2 filters in serie, elk met een bedhoogte van 1,5 meter. Dikkere bedden geven in ons geval praktisch geen besparing meer op het koolverbruik per jaar.

Opgemerkt dient te worden dat de kortere

looptijd van de filters, indien deze in serie zijn geplaatst, wordt veroorzaakt doordat na de reactivatie zich in het eerste filter van de set kool bevindt die al voor een deel beladen is (28-36 %, tabel II).

## 5. Duurproef

Om meer zekerheid te krijgen betreffende de voorgestelde opzet zijn te Zeist twee filters in serie geplaatst, elk gevuld met ROW-1 tot 1,5 meter boven de bodem. In verband met de ontijzering diende het voorfilter regelmatig te worden gespoeld. In afb. 6 is het gehalte aan TCE in het effluent van het tweede filter uitgezet tegen de looptijd.

Er rekening mee houdende dat gedurende deze proef het gemiddelde gehalte aan TCE 700 µg/l was in plaats van 550 µg/l, is de overeenstemming met uitzondering van de belading redelijk (tabel II). De maximale belading bij 700 µg TCE per liter water is 61 gram TCE per kg kool.

De bacteriologische hoedanigheid van het water bleek steeds aan de eisen, die aan goed drinkwater gesteld mogen worden, te voldoen. Om nogmaals te controleren of het spoelen inderdaad verstorend werkt, hebben wij het nafilter volgens een bepaald programma gespoeld toen het influent van dat filter ongeveer 100 µg TCE per liter was. De belading van de kool is dan relatief gering en dichtheidsverschillen van de korrel door het geadsorbeerde en zwaardere TCE zijn dan nog minimaal.

Inderdaad bleek na het spoelen het effluent 0,40 µg TCE per liter te bevatten. Na verloop van enkele weken was het TCE in het onderste deel weer geadsorbeerd en werd weer een praktisch TCE-vrij (< 0,10 µg/l) effluent verkregen.

Dat het TCE vrij gemakkelijk desorbeert is aan het einde van de proef aangetoond door het gehalte aan TCE in het spoelwater te bepalen. In het spoelwater van het voorfilter werden gehalten gevonden tot 600 µg per liter en bij het nafilter tot 170 µg TCE per liter, afhankelijk van de spoelwater-snelheid.

In verband met de mogelijkheid, dat het gehalte aan TCE in het opgepompte water nog zal toenemen, zijn de filters zodanig

TABEL III.

3 units, 8 m<sup>2</sup> oppervlak elk, cap. 0,083 m<sup>3</sup>/s, gehalte TCE 550 µg/l, aantal bedrijfsuren 8600/jaar

	vulling in m <sup>3</sup>	looptijd in uren	koolverbruik in m <sup>3</sup> /jaar
3 filters 2 meter bedhoogte	48	3300	125
3 x 2 filters in serie 2 x 1 m bedhoogte	48	2380	86
3 filters 3 meter bedhoogte	72	6240	99
3 x 2 filters in serie 2 x 1½ m bedhoogte	72	4270	72,5
3 filters 4 meter bedhoogte	96	9280	89
3 x 2 filters in serie 2 x 2 m bedhoogte	96	5940	70

# Inrichting TCE-installatie pompstation Zeist

ontworpen dat het bed nog iets verhoogd kan worden.

Door de koolfilters na de reeds bestaande zuivering te plaatsen, is in het systeem nu ook een torenbeluchter ingebouwd, die diende om het gehalte aan kooldioxide te reduceren.

In de praktijk blijkt deze beluchter 50 % van het TCE uit het ruwe water te verwijderen, hetgeen dus een positieve invloed heeft op de looptijden en op eventuele hoge gehalten in de toekomst.

Daar slechts één torenbeluchter het TCE-houdende water verwerkt — de andere dient om het nog goede grondwater te beluchten en te ontzuren — blijkt dat afhankelijk van de windrichting en dergelijke de TCE-houdende lucht uit deze beluchter deels aangezogen wordt door de andere, waardoor een geringe toename van het TCE-gehalte in het nog goede water valt waar te nemen. Maatregelen om in deze situatie verbetering te brengen, zijn in voorbereiding.

## Inleiding

In het vorige artikel is uitgebreid ingegaan op de proeven verricht onder supervisie van het WMN-laboratorium, om te komen tot een optimale verwijdering van trichlooretheen (TCE) uit het grondwater. Deze proeven resulteerden in een aantal specifieke gegevens, aan de hand waarvan een technisch ontwerp voor de installatie kon worden opgezet. Het bestuderen van deze gegevens, door een daartoe ingestelde projectgroep (tevens belast met de technische uitvoering van de installaties),



ING J. SPEYER  
Waterleidingbedrijf  
Midden-Nederland

leidde tot het onderzoek naar alternatieve ontwerpen, waaruit een keuze moest worden gemaakt. In de volgende hoofdstukken wordt nader ingegaan op deze alternatieven en de criteria, die bij de keuze zijn gehanteerd.

## Specifieke gegevens

De projectgroep, waarin opgenomen de vakdisciplines Bouwkunde, Werktuigbouw en Elektrotechniek, beschikte bij de start van haar activiteiten over de volgende specifieke gegevens:

1. De filtratie te baseren op een capaciteit van 100 l/s (360 m<sup>3</sup>/h).
2. Filtratie over actief kool; met een filterbeddikte van 3,00 m, te verdelen over twee in serie geschakelde filtereenheden, elk met een beddikte van 1,50 m.
3. De maximale filtratiesnelheid is bepaald op 4,2 mm/s (15 m/h).
4. Gesloten filtratiesysteem.
5. Eenvoudige omschakeling van de volgorde van de in punt 2 genoemde filtereenheden. Bij het bereiken van een bepaalde verzadigingsgraad in het als eerste geschakelde filter, moet hierin het filtermateriaal worden vervangen en wordt deze filtereenheid als tweede in de serie geschakeld.
6. Er moet worden gerekend op het spoelen van de filtereenheden met water en lucht in verband met een mogelijke weerstandstoename als gevolg van afzetting van ijzer- en mangaanoxyden in het filterbed. De spoelwateraansluiting kan tevens worden gebruikt bij het vullen van het filter, alsook bij het leeghalen.
7. Er moet worden gerekend op een

vermoedelijke bedrijfstijd van de installatie van zeker 20 jaar.

8. Gegevens terzake filterbodem, aantal spoeldoppen, plaats en aantal monsterpunten.

## Onderzoek naar alternatieven

Dit onderzoek richtte zich in hoofdzaak op een viertal onderwerpen, namelijk:

1. Het aantal van twee in serie geschakelde filtereenheden.
2. De vormgeving van het gebouw, waarin de installaties zijn ondergebracht.
3. Op welke plaats de actief-koolfiltratie moet worden ingepast in de bestaande installaties.
4. De routing van de kool. Hieronder wordt verstaan het geheel van activiteiten t.b.v. het vullen en leeghalen van filtereenheden, transport en reactivatie van de kool etc.

## Resultaten, conclusies van het onderzoek naar alternatieven

1. *Het aantal van twee in serie geschakelde filtereenheden*

Uit de specifieke gegevens volgt, dat bij een capaciteit van 100 l/s en een maximale filtersnelheid van 4,2 mm/s, nodig is een totaal filteroppervlak van 24 m<sup>2</sup> voor de als eerste geschakelde filters en voor de als tweede geschakelde filters.

Het onderzoek werd bepaald op het vergelijken van 1, 2, 3 en 4 sets van elk twee in serie geschakelde filtereenheden, met een oppervlakte per eenheid van resp. 24, 12, 8 en 6 m<sup>2</sup>.

Gekozen is voor het uitvoeren van de filtereenheden in staal (ketels) op grond van een grotere flexibiliteit van de installatie dan bij een betonconstructie. Bovendien, gelet op het tijdelijke karakter van het geheel, is een toepassing van stalen ketels elders, nadat de TCE verwijdering kan worden beëindigd, mogelijk.

Een kostenvergelijking tussen stalen ketels met een voor actief-koolfiltratie passende bekleding en ketels in roestvrijstaal ligt duidelijk in het voordeel van de stalen ketel. De investeringskosten, waaronder begrepen de ketels, leidingen, appendages etc. en de exploitatiekosten zijn, voor de in het voorgaande genoemde 4 mogelijkheden, berekend naar contante waarde. Het resultaat is in de afb. 1 en 2 aangegeven.

Uit deze afbeeldingen blijkt, dat 3 sets van elk 2 ketels, zowel qua investering als qua exploitatiekosten het meest aantrekkelijk is. De volgende factoren zijn eveneens bij de keuzebepaling betrokken:

— bedrijfszonderbreking a.g.v. het leeghalen en vullen van een ketel met kool;