

# De toepassing van actieve kool bij de drinkwaterbereiding

Voordracht uit de 29e vakantiecursus in drinkwatervoorziening 'Nieuwe zuiveringstechnieken', die op 6 en 7 januari 1977 aan de TH Delft werd gehouden.

Tijdens de 21e vakantiecursus, die gehouden werd in januari 1969, werd er voor de laatste maal uitvoerig gesproken over de toepassing van actieve kool bij de bereiding van drinkwater. Dit werd gedaan door Van der Burg [1], die een lezing hield onder de titel 'Kool en Ozon', waarbij hij zeer voorzichtig als zijn persoonlijke mening gaf dat koolfilters ongeschikt zijn voor toepassing bij de drinkwaterbereiding. Het feit dat een tweetal grote Nederlandse waterleidingbedrijven thans (jan. 1977) een korrelkoolinstallatie aan het bouwen zijn,



DRS. W. C. VAN LIER  
NORIT NV

terwijl een aantal andere hierover denken, bewijst hoe hachelijk zelfs het maken van een voorzichtige prognose is.

In dit artikel zal niet worden stilgestaan bij zaken als bereiding, karakterisering, poriënstructuur van actieve kool, daar deze elders [2] uitvoerig behandeld worden.

De voornaamste functie van actieve kool bij de waterbehandeling is de gehele, dikwijls echter gedeeltelijke reductie van het gehalte aan opgelost organisch materiaal. Met opzet wordt hier de term opgelost gebruikt daar de aanwezigheid van gesuspendeerd, geëmulgeerd of kolloïdaal materiaal in het te behandelen water, wanneer we werken met bijv. vaste bedden van korrelkool tot de volgende moeilijkheden kan leiden:

— Opbouw van een extra drukverlies over de koollaag (extra t.a.v. het normale drukverval) waardoor frequent terugspoelen noodzakelijk wordt, wat resulteert in een verlies aan produktwater.

— De adsorptiekapaciteit van de kool kan nadelig worden beïnvloed.

— Onopgelost materiaal wordt slechts gedeeltelijk verwijderd hetgeen in bepaalde gevallen zeer ongewenst kan zijn.

Passen we poeder- in plaats van korrelkool toe, dan vormt de aanwezigheid van niet-opgelost materiaal niet zo'n probleem daar men bijv. de dosering van poederkool kan combineren met een chemische behandeling zoals koagulatieflokculatie. Op deze problematiek komen we nog terug. Behalve het vermogen van actieve kool om het gehalte aan opgeloste organische bestanddelen te kunnen verlagen moeten we nog enkele bijzondere eigenschappen van actieve kool, waarvan gebruik gemaakt wordt of kan worden, bij de waterbehandeling vermelden, nl.:

1. Actieve kool kan geoxideerd worden. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt bij de verwijdering van  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_3$  en chlooramingen uit water.
2. Het produkt kan fugeren als een katalysator bij oxidatieprocessen (bijv.  $\text{H}_2\text{S}$ , merkaptanen, ferroionen, etc.).
3. Actieve kool bezit voor een reeks metaalverbindingen een tamelijk grote adsorptiekapaciteit. We noemen V, U, Hg, Mo, Cr, Th (zie bijv. [3]). Vaak is de adsorptie selektief en reversibel.

Er bestaan nogal wat termen die ontleend zijn aan de adsorptie technologie. Twee begrippen, adsorptie isotherm en adsorptie snelheid, zullen hier wat meer gedetailleerd besproken worden daar kennis van deze beide termen nodig is voor een goed begrip van de rest van het verhaal. Bij de definitie van beide zullen we ons (gemakshalve) beperken tot systemen met slechts een adsorbeerbare component 'opgelost' in een inert milieu (gas of vloeistof). De adsorptie isotherm wordt gedefinieerd als de relatie die er bij een bepaalde temperatuur bestaat tussen de door het adsorbens opgenomen hoeveelheid van deze component (de zgn. belading,  $q$ , uitgedrukt meestal in gewichtshoeveelheid per eenheid gewicht van het adsorbens) en het gehalte van deze component in de vloeistof- of gasfase buiten de adsorbensdeeltjes (restconcentratie,  $c$ ) zodra zich evenwicht heeft ingesteld tussen ge-adsorbeerde en niet-geadsorbeerde fractie van deze component.

De adsorptiesnelheid wordt gedefinieerd als de snelheid waarmee bij een bepaalde temperatuur de adsorbeerbare component door het adsorbens wordt opgenomen. Voor elke combinatie adsorbens-adsorbaat hangt de adsorptiesnelheid af van een groot aantal factoren, waarbij deeltjesgrootte en temperatuur een belangrijke rol spelen. Bij toename der temperatuur daalt de adsorptiekapaciteit terwijl de adsorptiesnelheid toeneemt. In de praktijk kan het verlies aan adsorptiekapaciteit ruimschoots gecompenseerd worden door de grotere adsorptiesnelheid.

Beide begrippen, adsorptie isotherm en adsorptie snelheid spelen een belangrijke rol t.a.v. de ekonomie van het proces der kooltoepassing. De adsorptie isotherm kan in principe gebruikt worden voor een schatting van het koolverbruik vereist om een bepaald zuiveringseffekt te verkrijgen, terwijl de adsorptiesnelheid in beginsel inzicht verschaft in de voor evenwichtsinstelling benodigde tijd. Een lage adsorptiekapaciteit leidt tot een hoog koolverbruik, een lage adsorptiesnelheid tot een grote of dure installatie d.w.z. hoge investeringskosten, wat duidelijker zal worden in de volgende sectie.

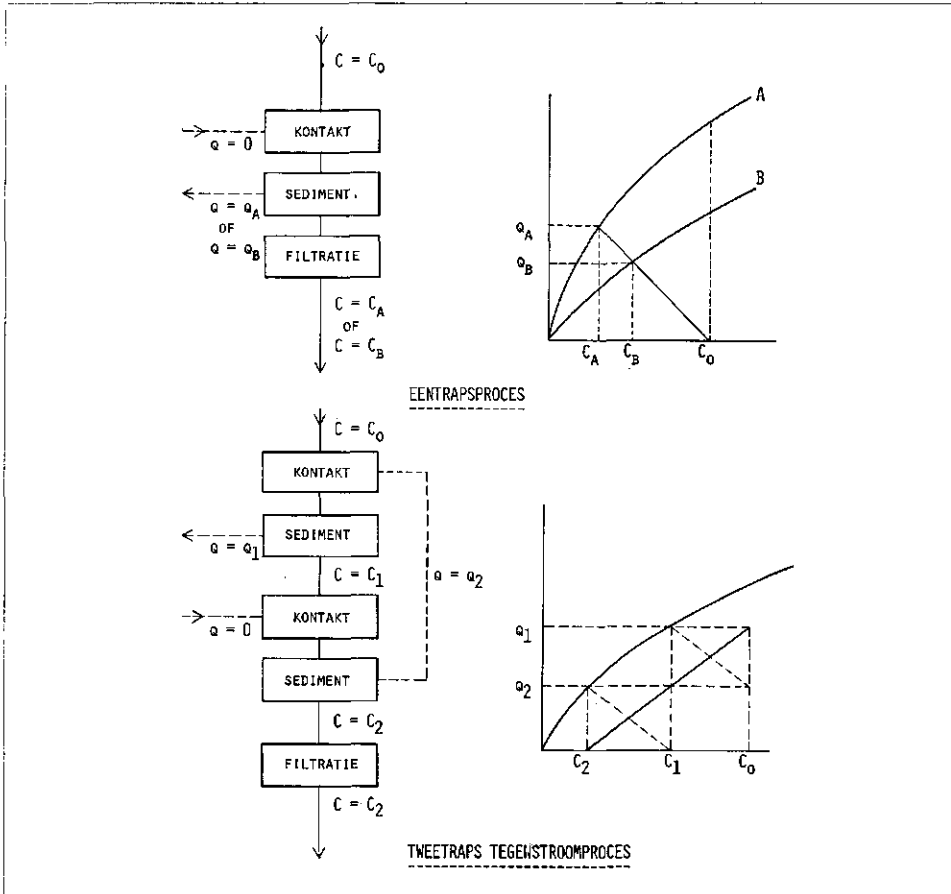
Dit zijn echter kwalitatieve overwegingen. Zodra actieve kool wordt toegepast bij de waterbehandeling doen zich meestal de volgende problemen voor:

1. Voor elke combinatie adsorbaat-kooltype zijn evenwichtsadsorptie en adsorptiesnelheid verschillend.
2. De dimensionering van een op actieve kool gebaseerde zuiveringsinstallatie op basis van adsorptie isotherm en adsorptiesnelheid staat, zelfs voor systemen met één adsorbeerbare component nog in de kinderschoenen.
3. Er is vrijwel geen (kwantitatief) inzicht in de wederzijdse beïnvloeding indien er meerdere adsorbeerbare componenten aanwezig zijn, een situatie die zich in de praktijk dikwijls voordoet.
4. De samenstelling van het te behandelen water is dikwijls onbekend en wordt vaak uitgedrukt in parameters zoals CZV (chemisch zuurstofverbruik),  $\text{KMnO}_4$ -verbruik, TOC (total organic carbon) etc., terwijl deze samenstelling daarnaast een functie van de tijd kan zijn.
5. Er bestaat geen relatie tussen parameters zoals CZV, TOC etc. enerzijds en de adsorptiekapaciteit anderzijds.

Als gevolg van bovenstaande problemen zal dikwijls een experimenteel onderzoek noodzakelijk zijn om met een redelijke mate van betrouwbaarheid te kunnen beoordelen of actieve kool in een concreet geval technisch en ekonomisch toepasbaar is.

## Procestechniek

In de inleiding is reeds melding gemaakt van de invloed die de deeltjesgrootte uitoefent op de adsorptiesnelheid. In deze sectie zal gepoogd worden duidelijk te maken hoe dit in zijn werk gaat. Ook in een ander opzicht speelt deze deeltjesgrootte een belangrijke rol, we maken nl. onderscheid tussen: poederkool (deeltjesdiameter ruwweg 5 en 100  $\mu\text{m}$ ); korrelkool (diameter tussen 0,25 en 4 mm). Dit is een tamelijk wezenlijk onderscheid daar de toe te passen procestechniek voor deze twee soorten grondig verschilt. Bij gebruik van poederkool wordt de (meestal) als natte slurrie gedoseerde kool gedurende korte tijd intensief geroerd met het te behandelen water waarna de poederkool, eventueel in combinatie met een chemische behandeling als flokkulatie-koagulatie, in een bezinkbassin wordt afgescheiden, waarna filtratie volgt. Het nadeel van deze wijze van werken is, dat zelfs in het meest gunstige geval, wanneer nl. het adsorptie-evenwicht bereikt wordt, het zuiveringseffekt onvolledig is, d.w.z. het gehalte van het te verwijderen materiaal

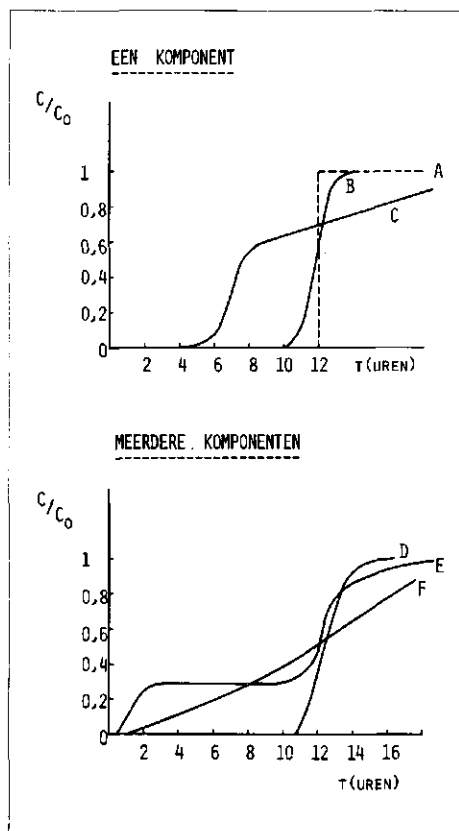


Afb. 1 - Procestechnieken poederkool.

wordt wel verlaagd maar niet tot nul gereduceerd. Dit ongunstige effect kan vermindert worden door te werken met een dosering van de kool in een tweetraps-proces met tegenstroom en/of door de keuze van een kooltype met een meer geschikte isotherm (kool A i.p.v. kool B). Een ander zal duidelijker worden bij beschouwing van afb. 1. We zien dat bij gebruik van poederkool altijd een restgehalte aan organisch materiaal achterblijft ( $C_A$  resp.  $C_B$ , zie afb. 1), tenzij we gaan werken met meerdere trappen, wat echter in economisch opzicht weinig attractief is. Bij toepassing van korrelkool is dit in principe niet het geval. Als het te verwijderen materiaal goed adsorbeerbaar is, kan het restgehalte in principe tot nul gereduceerd worden. Indien de adsorptiesnelheid van het te verwijderen materiaal laag is, kan de volledige reductie echter ook bij toepassing van korrelkool een tamelijk dure zaak worden. Dit kunnen we als volgt inzien.

Afb. 2 geeft een geïdealiseerde weergave van de vorm van de doorbraakcurve bij toepassing van korrelkool in een vast bed. De doorbraakcurve definiëren wij als de relatie tussen het gehalte aan te verwijderen materiaal (kan ook bijv. de CZV-waarde of kleur zijn) in het effluent der koolkolom

Afb. 2 - Geïdealiseerde doorbraakcurven.



en de tijd verstreken sedert de inbedrijfneming van de koolkolom. We onderscheiden een zestal gevallen.

A: De stofoverdrachtprocessen verlopen oneindig snel, waardoor de concentratie in het effluent sprongsgewijs van 0 tot  $C_0$  toeneemt. Dit is het ideale geval: het wordt in de praktijk hoogstens enigszins benaderd.

B, D: Het te adsorberen materiaal heeft een laag mol gewicht en is goed adsorbeerbaar. De doorbraakcurve wordt t.g.v. de eindige waarde der adsorptiesnelheid wat 'uitsmeerd'.

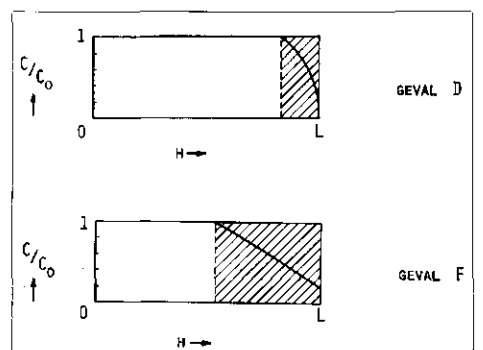
C, F: Het mol. gewicht van het te adsorberen materiaal is hoger, de adsorptiesnelheid daardoor lager wat resulteert in een grotere 'uitsmering'.

E: Een stofmengsel waarvan een gedeelte niet of nauwelijks adsorbeerbaar is, een gedeelte goed geadsorbeerd wordt, zodat over een wat langere periode een partiële doorbraak (van de niet-adsorbeerbare fraktie) optreedt.

In feite is het gebruik van de term mol. gewicht in het bovenstaande niet geheel juist. Het zou beter zijn om molekuulgrootte en -vorm te relateren aan grootte en vorm der poriën waarin het materiaal wordt opgeborgen: onze kennis van deze twee laatste grootheden is echter beperkt. Voorts moet er uitdrukkelijk op gewezen worden, dat afb. 2 een schematische en geïdealiseerde weergave der praktijk vormt.

Als we ons gemakshalve even beperken tot systemen met slechts een adsorbeerbare component kunnen we stellen, dat bij geval B het verschil tussen ideale doorbraakcurve (A) en reële (B) groter zal worden naarmate de adsorptiesnelheid van de te verwijderen stof lager is. Men dient zich te realiseren, dat de adsorptiesnelheid niet alleen afhankelijk is van molekuulgrootte en -vorm maar ook van de aktivatiegraad der kool.

Afb. 3 - Verloop van de 'concentratie' in de waterfase tussen de adsorbensdeeltjes op moment van 'doorbraak'.



Bij toenemende aktivatiegraad worden de poriën groter waardoor de adsorptiesnelheid groter, de doorbraakcurve steiler wordt. Hier komen we later nog op terug. Afb. 3 geeft voor twee gevallen, D en F, een (eveneens schematische) weergave van het verloop van de concentratie in de vloeistof tussen de kooldeeltjes in de kolom enerzijds en de plaats in de kolom anderzijds en wel op het tijdstip dat het kool-effluent niet meer aan een bepaalde eis t.a.v. de concentratie voldoet. In het gearceerde gedeelte is de belading der kool lager dan  $q_0$ , de evenwichtswaarde behorend bij de beginconcentratie  $C_0$ . We zien dat in geval F de kool minder effectief gebruikt wordt, dan in geval B; in het ideale geval, A, bezit op het moment van doorbraak, de kool overal een belading  $q_0$ . Het zal de lezer intussen duidelijk zijn dat de adsorptiesnelheid een vrij grote invloed kan uitoefenen op de mate waarin de kool benut wordt, d.w.z. op de kosten van kooltoepassing.

We hebben reeds gesteld, dat bij één van de toepassingen van korrelkool de kool zich in een vast bed bevindt, terwijl het water door de koollaag stroomt. Er zijn bij de aanwending van korrelkool een reeks modificaties, nl.:

- vaste bedden;
- geëxpandeerde bedden;
- gefluidiseerde (moving) bedden;
- pseudo moving bed;
- pulse bed.

De vaste bedden worden het meest toegepast. Hierbij kunnen meerdere bedden parallel of in serie 'geschakeld' zijn. Het water stroomt altijd van boven naar beneden. Bevat het te behandelen water gesuspenderd of kolloïdaal materiaal dan treedt er vrij snel verstopping van het bed op waardoor er frequent teruggespoeld dient te worden. Indien het niet noodzakelijk is om dit niet-opgeloste materiaal te verwijderen (bijv. bij een afvalwater waar dit materiaal zonder meer op het riool of het ontvangende oppervlaktewater geloosd mag worden) dan kan men werken met geëxpandeerde bedden, waarbij het water met een dusdanige snelheid van beneden naar boven door de kolom geleid wordt dat het koolbed ca. 15 % expandeert. Het gesuspenderde materiaal passeert het koolbed dan zonder een noemenswaardig extra drukopbouw te veroorzaken, althans in vergelijking met vaste bedden.

Vaste en geëxpandeerde bedden hebben als nadeel dat het laatste bed (als er meerdere in serie staan) of het bed (als het er een is) weinig effectief gebruikt wordt indien de adsorptiesnelheid van het te verwijderen materiaal laag is, daar in dat geval de kool,

lang voor er verzadiging is opgetreden, zoals we gezien hebben, vervangen of geregenereerd moet worden.

Als dit het geval is kunnen we de contacttijd tussen kool en water verlengen door hetzij meerdere kolommen in serie te zetten (of per kolom een grotere laaghoogte te kiezen), hetzij de kolomdiameter te vergroten; later zullen we nog zien, dat deze contacttijd een grote invloed bezit op de effectiviteit van het koolverbruik. Dit leidt echter tot hogere investeringen. Men kan echter ook in tegenstroom gaan werken. In het meest ideale geval stroomt het te behandelen water van beneden naar boven terwijl er aan de bovenzijde van de kolom continue verse kool wordt aangevoerd, aan de onderzijde uitgeputte kool wordt afgevoerd. Bij het gefluidiseerde (moving) bed is dit inderdaad het geval. Bij het pulse bed geschiedt toe- en afvoer der kool intermitterend, waarbij tijdens het 'pulsen' de waterstroom onderbroken wordt. Het grote voordeel van deze beide methoden is dat de kool in principe beter benut wordt, terwijl bij grote wisselingen in de belasting de toevoer der kool in overeenstemming hiermee gewijzigd kan worden. Het pseudo moving bed is een benadering van het tegenstroom proces. Hierbij worden een aantal vaste of geëxpandeerde bedden in serie gezet waarbij de volgorde der kolommen t.o.v. het binnenkomende water gewijzigd kan worden. Zodra het effluent van de kolom in laatste positie (no. 2 als er twee kolommen in serie staan) niet meer aan de gestelde eisen voldoet, wordt de kool uit de kolom die in eerste positie staat, er uitgehaald en vervangen of geregenereerd. Alle kolommen 'schuiven' nu een rangnummer op. Bij twee kolommen in serie komt de kolom die eerst in de tweede positie stond nu op de eerste plaats, terwijl de verse of geregenereerde kool in de kolom gebracht wordt die nu in tweede positie staat. Het leidingwerk etc. is in dit geval gekompliceerder (en dus duurder) vergeleken met gewone vaste bedden in serie die niet van positie kunnen veranderen. Gezien de relatief simpele konstruktie zijn vaste bedden het meest goedkoop. Het pulse bed heeft als grote nadeel dat het te behandelen water niet of nauwelijks gesuspenderd materiaal mag bevatten daar het niet teruggespoeld kan en mag worden (terugspoelen zou de bedopbouw verstoren). Bij het ontwerp van een op actieve kool gebaseerde zuivering heeft men te maken met een hele reeks ontwerpvariabelen.

Bij poederkool zijn de belangrijkste: keuze van het proces (één of tweetrapsdosering); de dimensies van het sedimentatiebassin; de dosis der poederkool; ingebrachte roerenergie en contacttijd.

Daarnaast moet men t.a.v. de kool de keuze maken uit:

kooltype (aktivatiegraad, bepaalt adsorptiecapaciteit en adsorptiesnelheid); deeltjesgrootte (belangrijk voor de adsorptiesnelheid en belangrijk voor de sedimentatiesnelheid, een grootheid die op zijn beurt de dimensie van het sedimentatiebassin bepaalt).

Bij de keuze van korrelkool zijn de belangrijkste ontwerpvariabelen:

keuze van de soort adsorbeurs (vaste bedden, etc);  
keuze van de configuratie der adsorbeurs;  
keuze tussen open of gesloten adsorbeurs;  
de contacttijd tussen water en kool;  
de vloeisnelheid of de laaghoogte.

Daarnaast speelt de keuze van het kooltype een erg grote rol. De adsorptiesnelheid neemt toe bij afname van de deeltjesgrootte en toename van de aktivatiegraad. Bij vaste bedden neemt echter het drukverlies over de kool bij afname der deeltjesgrootte toe en daarmee de pompkosten dus eveneens. De bedexpansie die bepaalt hoeveel spoelwater er nodig is bij terugspoelen, neemt af bij afname der deeltjesgrootte en toename der aktivatiegraad. Nog een complicatie is dat bij toename der aktivatiegraad de adsorptiesnelheid zowel voor 'kleine' als 'grote' molekulen toeneemt, terwijl voor 'kleine' molekulen de adsorptiecapaciteit op volumebasis aanvankelijk toe-, later afneemt, voor 'grote' molekulen deze grootheid over een groter traject blijft toenemen. Al deze factoren tezamen maken de dimensionering een moeilijke zaak waarvoor geen algemene regels zijn op te stellen. Wanneer reaktiveerbare korrelkool wordt toegepast is een belangrijke vraag waar de reaktivatie wordt uitgevoerd, door de leverancier der kool of ter plaatse. Een zeer belangrijk punt is de keus van het kooltype: poeder- of korrelkool. Op al deze problemen zullen we later wat meer in detail treden, daar deze nauw verbonden zijn met de economie van kooltoepassing.

#### Doel van de toepassing van actieve kool

Het lijkt zinvol om eerst enige aandacht te schenken aan de doelen die nagestreefd worden bij de toepassing van actieve kool voor de drinkwaterbereiding. Het volgende rijtje kan worden opgesteld:

1. Verbetering van geur- en smaak.
2. Reduktie van de kleur.
3. Verwijdering van vrij chloor.
4. Eliminatie van toxische bestanddelen.
5. Voorzien in een veiligheidsbarrière in geval van een zgn. kalamiteit.

6. Verwijdering van assimileerbaar organisch materiaal.

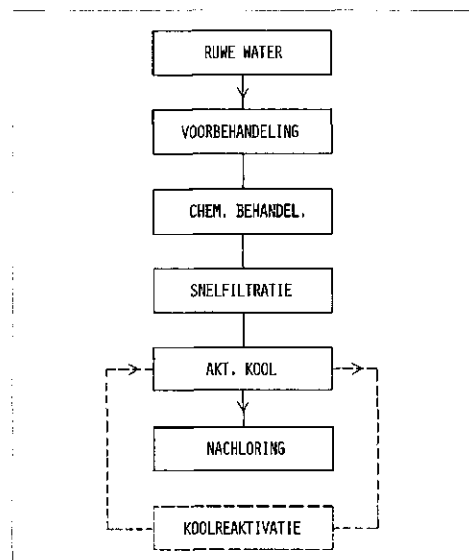
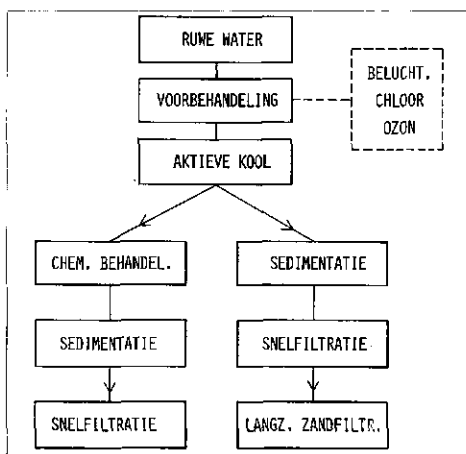
Bij dit rijtje kan in principe veel commentaar worden gegeven, maar we zullen ons beperken tot enkele opmerkingen. Bovenstaande volgorde is min of meer historisch bepaald. Bij de oudste toepassing werd (en wordt overigens nog steeds) actieve kool gebruikt voor de reductie van geur- en smaak en, in mindere mate, voor de kleurverlaging. Met de snelle toename van de industrialisatie en de gedeeltelijk daardoor veroorzaakte grote toename van het waterverbruik is de rol van het oppervlaktewater als uitgangspunt voor de drinkwaterbereiding de laatste decennia steeds belangrijker geworden, terwijl juist ten gevolge van deze industrialisatie en van de bevolkingsgroei de vervuiling van het oppervlaktewater sterk is toegenomen, zodat de rol van actieve kool t.a.v. de onder 1 en 2 genoemde punten alleen maar groter geworden is. Daarnaast bevat het oppervlaktewater een groot aantal voor de mens toxische bestanddelen, afkomstig van industrie (lozing afvalwater) en landbouw (pesticiden), hetgeen de punten 4 en 5 verklaart. Hierbij moeten we bij de onder punt 5 genoemde rol denken aan de plotselinge lozing van voor de smaak van het water desastreuze stoffen (bijv. breuk in oliepijpleiding, ongeluk met olietanker) of een lozing van voor de mens schadelijke stoffen (bijv. een pesticidenfabriek). Dit alles mogen we voldoende bekend veronderstellen. De onder punt 6 genoemde toepassing heeft te maken met het feit, dat het drinkwater over steeds grotere afstanden verpompt moet worden alvorens het de afnemer bereikt. Als het drinkwater assimileerbaar organisch materiaal bevat kan dit door bacteriën (en eventueel hogere mechanismen) worden opgenomen, waarbij echter stoffen gevormd kunnen worden die aan het aanvankelijk smaakloze water een ongewenste smaak geven. Dosering van een voldoende grote hoeveelheid chloor wordt hierbij ongewenst geacht (althans in Europa) daar de eerste klant („de buurman van het drinkwaterbedrijf”) dan een chloorbevattend drinkwater geserveerd krijgt. Daar komt bij dat Rook [20] aangetoond heeft dat bij chloring uit de in het water aanwezig humuszuren halomethanen gevormd worden (o.a. chloroform) hetgeen een ongezond verschijnsel genoemd kan worden. De aanwezigheid van kleine hoeveelheden toxische organische verbindingen in het meeste oppervlaktewater der industrielanden, baart de waterleidingchemici veel zorgen en heeft de rol van actieve kool bij de drinkwaterbereiding alleen maar doen toenemen daar de meeste van deze stoffen biologisch niet of moeilijk afbreekbaar zijn

en bij andere gangbare zuiveringstechnieken slechts gedeeltelijk verwijderd worden. De laatste tien-vijftien jaar is er in een aantal landen, o.a. de Duitse Bondsrepubliek, de USA en Nederland, een vrij systematisch onderzoek van de in het oppervlaktewater aanwezige mikroverontreinigingen op gang gekomen [21], waarbij tal van verbindingen geïsoleerd en kwalitatief en kwantitatief geanalyseerd zijn. Een van de grote problemen hierbij is dat zowel de ontwikkeling der toxicologie als die der wetgeving nogal sterk zijn achtergebleven bij de zeer snelle ontwikkeling der analysetechnieken. Vooral over de synergistische effecten t.a.v. de toxiciteit van de meeste geïsoleerde stoffen is nog weinig bekend. Daar komt bij dat in landen waar de wet normen stelt t.a.v. het gehalte aan afzonderlijke stoffen, het aantal stoffen waarvoor thans een limiet gesteld is zeer gering is in vergelijking met bijv. het aantal uit de Rijn geïsoleerde stoffen waarvan vermoed wordt dat ze schadelijk zijn voor de mens. Van een relatief groot aantal van deze stoffen mag gesteld worden dat actieve kool een van de meest doelmatige zuiveringsprocessen vormt. Een beoordeling van de kwaliteit van het water dat met actieve kool behandeld is, alsmede een vergelijking der diverse kooltypen wordt echter een moeilijke zaak, wanneer we speciaal op de effectiviteit van de kool t.a.v. reductie van het gehalte van mikroverontreiniging letten. Hier zullen we later nog op terugkomen.

**De plaats van actieve kool in de totale zuivering**

Alvorens in te gaan op een aantal technologische aspecten besteden we aandacht aan de plaats van actieve kool in de totale zuivering waarbij we onderscheid maken tussen poeder- en korrelkool. Het gebeurt maar zelden dat toepassing van actieve kool de enige zuiveringstrap vormt.

Afb. 4 - De plaats van poederkool bij de drinkwaterbereiding.



Afb. 5 - De plaats van korrelkool bij de drinkwaterbereiding.

Afb. 4 geeft een schematisch overzicht van een reeks combinatiemogelijkheden voor poederkool. Als er een chemische behandeling zoals koagulatieflokkulatie plaatsvindt, wordt deze bij voorkeur uitgevoerd tegelijk met of vlak na poederkooldosering waardoor de deeltjesgrootte der kool zo klein mogelijk genomen kan worden daar de bezinking in dat geval geen enkel probleem vormt. Wordt geen koagulatieflokkulatie uitgevoerd dan wordt, met het oog op de betere bezinking der kooldeeltjes tijdens de sedimentatie, bij voorkeur een wat grovere kool toegepast, echter met een wat hogere adsorptie capaciteit. Het spreekt vanzelf dat de afbeelding een aantal mogelijkheden geeft die zelden allemaal tegelijk worden toegepast. Hetzelfde geldt voor afb. 5 waar een dergelijk schema gegeven wordt voor korrelkool. Alle variaties hebben gemeen dat de actieve kool zoveel mogelijk 'naar achteren' geplaatst is.

**Resultaten korrelkool**

Terwijl in de Duitse Bondsrepubliek reeds vele jaren korrelkool wordt toegepast, werd tot nu toe in Nederland uitsluitend poederkool gebruikt. Enige jaren geleden begonnen enkele waterleidingsbedrijven te denken aan de toepassing van korrelkool. In verband hiermee wordt er sinds enige jaren, gedeeltelijk in samenwerking met NORIT geëxperimenteerd met proefinstallaties. Hierover is in 1975 gerapporteerd door schrijver dezes in samenwerking met drie andere auteurs [4]. We zullen hier een samenvatting geven. Het onderzoek is uitgevoerd op drie verschillende plaatsen, nl. Amsterdam (in de duinen geïnfilterd Rijnwater), Andijk (water uit het IJsselmeer) en Rotterdam

(Maaswater). Het influent der proefinstallatie was reeds aan diverse zuiverings-trappen onderworpen (in Andijk en Rotterdam werd zgn. rein water gebruikt).

Punten van onderzoek zijn geweest:

1. Invloed van de systeemparameters  $v$ ,  $\tau$  en  $h$ .
2. Het kooltype (alleen Andijk).
3. Invloed van andere zuiveringsprocessen voor en na de kool (alleen Amsterdam).
4. Invloed van het seizoen (Andijk).

Hiervan afgeleid:

5. Invloed van de aan de kwaliteit van het effluent gestelde eisen.
6. Invloed van het soort ruw water dat als uitgangspunt fungeerde.

Als kwaliteitsparameter fungeerden hoofdzakelijk: DOC,  $\text{KMnO}_4$ -verbruik en UV-absorptie. Als 'basiskool' werd Norit Row 0,8 Supra (een harde, thermisch reaktieerbare actieve kool) gebruikt. We zullen pogen de resultaten puntgewijs zo beknopt mogelijk samen te vatten.

ad 1. Bij konstante waarde van  $\tau$ , de (schijnbare) contacttijd is de invloed van  $v$ , de (schijnbare) lineaire snelheid op de looptijd der kool gering, althans voor  $2 < v < 30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{uur}^{-1}$  en  $2 < \tau < 30$  minuten. De looptijd definiëren we als de tijd gedurende welke het effluent der kool aan een bepaalde eis (DOC,  $\text{KMnO}_4$  of UV) voldoet. Tabel I geeft een voorbeeld. Deze tabel moet als volgt gelezen worden. Voor bijv.  $\tau = 4$  min. geeft de tabel aan wat de looptijd is van een drietal filters waarin zich eenzelfde hoeveelheid kool bevindt en die per uur dezelfde hoeveelheid water te verwerken krijgen.  $\tau$  is de over de gehele looptijd gemiddelde waarde van de DOC in het effluent,  $\Delta$  de kumulatieve reductie der DOC over de kool.

TABEL I - Invloed van de (schijnbare) lineaire snelheid,  $V$ , bij konstante contacttijd,  $\tau$ , op de looptijd (dagen).

Parameter: DOC.  
Plaats: Rotterdam.

Eis	C	(gr.m <sup>-3</sup> )	3,80	3,38	2,96
	$\delta$	(%)	10	20	30
	$h$	$v$			
(min.)	(m)	(m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · hr <sup>-1</sup> )			
4	0,5	7,5	152	28	
4	1,0	15	150	37	
4	2,0	30	141	28	
6	1,5	15	197	52	
6	3,0	30	172	73	
8	1,0	7,5	270	90	
8	2,0	15	240	61	
12	1,5	7,5	144	49	
12	3,0	15	137	52	

Bij konstante  $v$  is de invloed van  $\tau$  op de looptijd der kool relatief groot. Dit geldt voor bovenstaand traject van  $v$ - en  $\tau$ -waarden. Een illustratie hiervan wordt gegeven in tabel II en afb. 6.

TABEL II - Invloed van eis,  $C$ , en contacttijd,  $\tau$ , bij konstante (schijnbare) lineaire snelheid  $v$ , op de looptijd der kool.

Parameter: DOC,  $v$ -waarden; Rotterdam 7,5 m.uur<sup>-1</sup>, Andijk 10 m.uur<sup>-1</sup>.

Plaats	Rotterdam							Andijk		
eis										
C	2,84	2,90	2,96	3,01	3,06	3,11	2,05	2,11		
kontakt-tijd (min.)								kontakt-tijd (min.)		
4	3	4	5	6	8	9	7,5	6	7	
8	17	21	26	30	35	40	15	36	39	
12	35	42	49	58	65	73	22,5	85	92	
16	52	63	73	84	96	107	30	145	161	
20	74	87	100	114	127	141				
24	146	156	172	188	203	218				

ad 2. Er is geëxperimenteerd met een aantal kooltypen die varieerden in bereidingswijze en aktivatiegraad, echter niet in deeltjesgrootte. Hierbij moeten we opmerken, dat we alleen zullen rapporteren over de met Norit-kolen behaalde resultaten (er is met andere andere kolen geëxperimenteerd: de resultaten hiervan zijn uiteraard niet aan Norit meegedeeld). De voornaamste konklusie is dat er geen relatie te leggen is tussen de prestaties der kool t.a.v. de drie genoemde parameters enerzijds en de gangbare criteria voor de kwaliteitsbeoordeling van actieve kolen (diverse adsorptietesten, poriënverdeling, stortgewicht, etc.), anderzijds, een feit dat al eerder door anderen geconstateerd is [5].

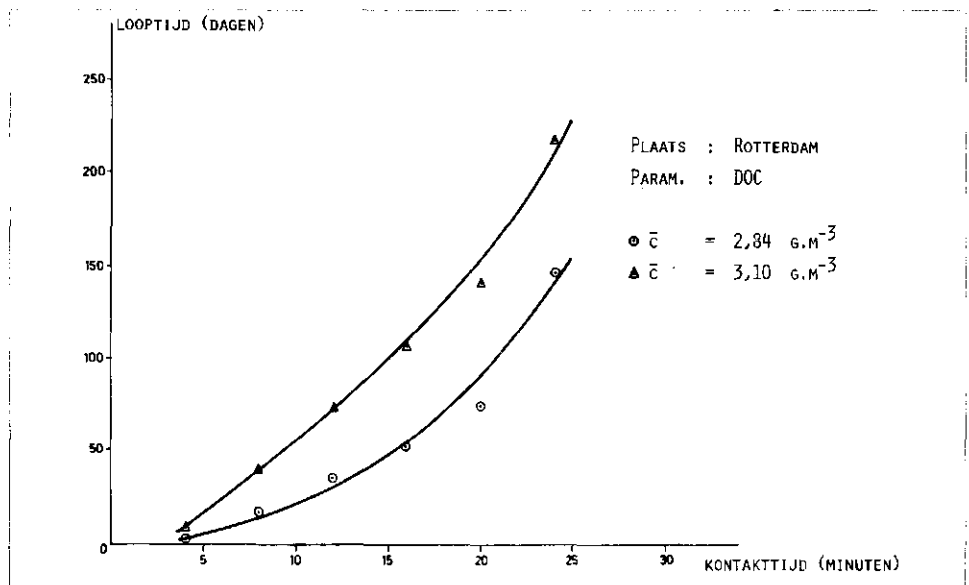
ad 3. In Amsterdam zijn de volgende 'zuiveringsstraten' parallel aan elkaar onderzocht:

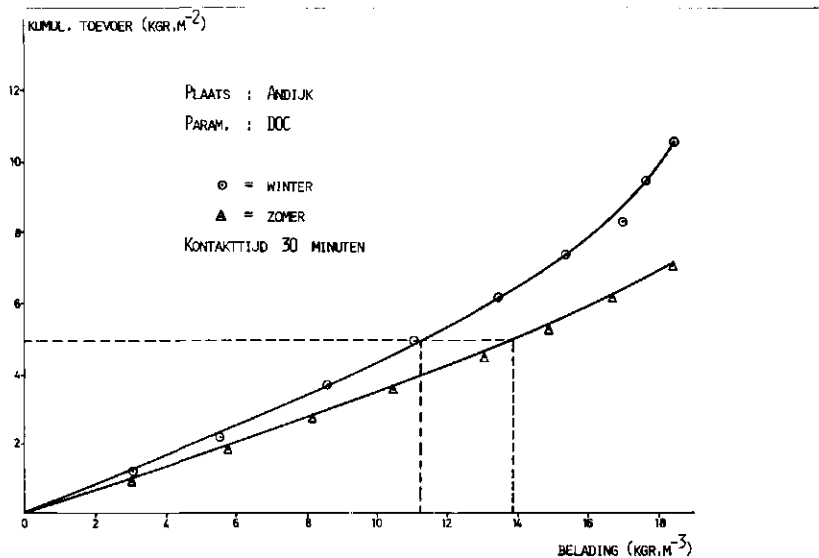
- I. ozonisatie-snefiltratie-actieve kool-langzame zandfiltratie;
- II. snefiltratie-actieve kool-langzame zandfiltratie;
- III. actieve kool-langzame zandfiltratie.

Het blijkt dat de kiemgetallen na systeem I hoger zijn dan die na de beide andere systemen. Voorts is de kwaliteitsverbetering (t.a.v.  $\text{KMnO}_4$  en UV: de DOC werd in Amsterdam niet gemeten) bij systeem I groter dan bij de beide andere systemen die weinig verschilden. Een beduidend verschil tussen systeem III enerzijds en de twee andere systemen was gelegen in de reinigingsfrequentie van het langzame zandfilter (in 1½ jaar voor systeem II 5 maal, systeem III 16 maal). In dit geval lijkt een vervanging van het zand in de snefilters door actieve kool (grote bezuiniging op de investeringskosten) niet aantrekkelijk.

ad 4. Afb. 7 geeft de invloed van het jaargetijde d.w.z. de invloed van de watertemperatuur op de prestaties der kool. De door de kool kumulatief verwijderde hoeveelheid DOC is uitgezet als functie van de kumulatief toegevoerde hoeveelheid DOC en wel voor een proef tijdens de winter (watertemperatuur 0 - 10 °C) en een proef gedurende de zomer (watertemperatuur 15 - 24 °C). De veel grotere opname tijdens de zomerperiode (ondanks de hogere toevoer per tijdseenheid gedurende de winter) kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan biologische afbraakprocessen in de koolkolom gezien het relatief grote verschil in zuurstofopname der kool:

Afb. 6 - Looptijd der kool als functie van de contacttijd.





Afb. 7 - Invloed van het seizoen, Belading (kg DOC per m<sup>3</sup> kool) als functie van de kumulative toevoer (kg DOC m<sup>2</sup> filteroppervlak).

winter:  $6 \times 10^{-3}$  gram O<sub>2</sub> per kg kool per uur;

zomer:  $23 \times 10^{-3}$  —  $30 \times 10^{-3}$  g. kg<sup>-1</sup> uur<sup>-1</sup>;

(resultaten Andijk bij  $\tau = 30$  min.).

Deze resultaten mogen niet gegeneraliseerd worden daar bij proeven met andere 'watersoorten' deze zuurstofconsumptie niet altijd gevonden wordt.

ad. 5. Zoals te verwachten is oefent de aan de kwaliteit van het kool-effluent gestelde eis een vrij grote invloed uit op de looptijd der kool, zie de tabellen I en II. Men moet bedenken dat bij de relatief lage eisen die in tabel I gesteld worden deze gelden voor het effluent van één filter. In de praktijk werkt men met meerdere filters parallel aan elkaar. Zolang een zekere doorbraak getolereerd is kan men door de filters met regelmatige tussenpozen in bedrijf te stellen de looptijd aanzienlijk verlengen zoals elders [4] uitvoerig uiteengezet is.

ad. 6. Afb. 8 demonstreert het effect van het soort ruw water en de diverse voorbehandelingen vóór de kool op de looptijd der kool. De looptijd is uitgezet als functie van de eis gesteld aan de UV-adsorptie. We zien dat een directe generalisering van de op de drie plaatsen gevonden resultaten een moeilijke en hachelijke zaak is. Het grote probleem bij de juiste interpretatie van de hierboven beschreven resultaten is de vraag of dit alles ook geldt voor allerlei mikroverontreinigingen. Sontheimer [5] heeft in ieder geval waargenomen dat er in sommige gevallen een doorbraak van bepaalde organische verbindingen op kan treden voordat de capaciteit van de kool voor organisch materiaal (criteria 'verzamelparameters' zoals DOC,

KMnO<sub>4</sub>, etc.) drastisch begint te verminderen. Deze auteur nam zelfs verdringings-effecten waar, d.w.z. reeds geadsorbeerd materiaal werd verdrongen door beter adsorbeerbaar materiaal. Thans loopt er een gezamenlijk onderzoek van het Drinkwaterleidingbedrijf Rotterdam en Norit naar de effectiviteit van een aantal in verschillende mate geactiveerde kolen t.o.v. de reductie van een bepaalde klasse van mikroverontreinigingen nl. organische verbindingen die chloor bevatten (afkomstig van lozingen van de chemische industrie, landbouwgiften en gevormd tijdens chloring van drinkwater) en waartussen zich, althans in de Rijn, zeer giftige verbindingen bevinden. Hierbij zal gepoogd worden om enerzijds de adsorptiecapaciteit van de kool voor deze groep te korreleren met de aktivatiegraad der kool, anderzijds met de capaciteit der kool t.a.v. parameters zoals DOC etc. De voorlopige resultaten laten zien dat binnen een zgn. aktivatie-reeks, d.w.z. een aantal kolen die op identieke wijze uit dezelfde grondstof bereid

zijn de adsorptiecapaciteit voor DOC toe-, die voor laagmoleculaire organische chloorverbindingen afneemt naarmate de kool verder geactiveerd is.

Bij het opstellen van dit verhaal is gearzeld tussen twee mogelijkheden:

1. uitvoerige behandeling van de resultaten van een reeks proefinstallaties;
2. uitvoerige behandeling van de resultaten van een aantal bedrijfsinstallaties.

Er is gekozen voor de eerste mogelijkheid daar in dat geval een meer systematische opzet mogelijk is aangezien bij bedrijfsinstallaties rekening gehouden dient te worden met het feit dat elk bedrijf zijn specifieke eisen stelt wat een generalisering moeilijk maakt.

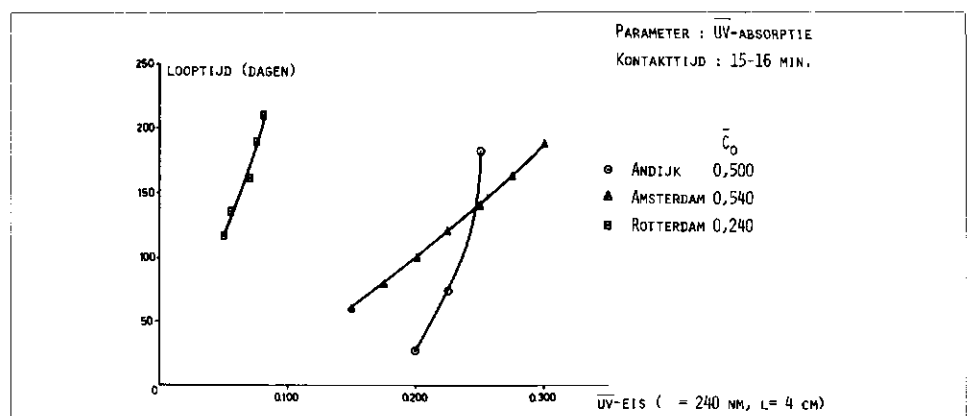
De lezer die geïnteresseerd is in de resultaten van een reeks bedrijfsinstallaties wordt verwezen naar een in 1975 in Karlsruhe gehouden symposium dat geheel gewijd was aan de toepassing van adsorptietechnieken bij de drinkwaterbereiding [7]. Hierbij speelde actieve kool als belangrijkste adsorbens op dit gebied de hoofdrol.

#### Economische aspecten: kooltype

Er is reeds een duidelijk onderscheid gemaakt tussen twee basistypen, nl. poederkool en korrelkool, een onderscheid gebaseerd op de deeltjesgrootte. Wanneer we echter de mogelijkheid van thermische reaktivatie als criterium kiezen dan kunnen we de diverse koolsoorten, die op de markt gebracht worden, onderscheiden in drie basistypen, nl.:  
poederkool;  
korrelkool zoals Norit PK;  
korrelkool zoals Norit Row 0,8 Supra.

Terwijl Norit PK een goedkoper, relatief zachte en daarom thermisch niet reaktieerbare korrelkool is, is Row een duurder maar hard kooltype dat wel thermisch reaktiebaar is. PK-soorten worden

Afb. 8 - Looptijd als functie van de aan de waterkwaliteit gestelde eis.



derhalve op weggoobasis gebruikt. Tot nu toe gold dit ook voor poederkool; met de ontwikkeling van (thermische) reaktivatie-technieken voor poederkool [8, 9, 10] behoort dit laatste in de niet al te verre toekomst niet meer te gelden.

Twee soorten overwegingen spelen een belangrijke rol bij de beantwoording van de vraag welk kooltype in een bepaald geval het meest geschikt is nl.:

- overwegingen betreffende de waterkwaliteit (zowel van het water voor als van het water na de zuivering);
- economische overwegingen.

Als we het probleem bekijken vanuit de kwaliteit van het ruwe water en vanuit de eisen die gesteld worden aan de kwaliteit van het eindprodukt kunnen we twee extreme gevallen onderscheiden, die gescheiden worden door een breed, niet goed gedefinieerd tussengebied, nl.:

1. Het ruwe water bevat geen voor de mens schadelijke stoffen, maar heeft een geringe smaak die met actieve kool gemakkelijk te verwijderen is.
2. Het ruwe water is sterk verontreinigd met een reeks voor de mens schadelijke stoffen.

In het eerste geval verdient poederkool om puur economische redenen de voorkeur. Dit hangt samen met het feit dat de investeringskosten van een poederkoolinstallatie veel lager zijn dan die van een korrelkoolinstallatie. Bij een bepaalde 'grensdosis' aan poederkool kunnen de totale kosten aan poederkooltoepassing zelfs lager zijn dan of gelijk aan de kosten van rente, afschrijving en onderhoud der korrelkoolinstallatie. Voor een bedrijf met een uurcapaciteit van bijv. 4000 m<sup>3</sup> dat over een sedimentatiebassin en snelfilters beschikt ligt deze dosis bij 20 à 25 gram per m<sup>3</sup> water. De exakte waarde van deze grensdosis is moeilijk aan te geven daar lokale omstandigheden (produktiekapaciteit, aanwezigheid snelfiltratie, transportkosten etc.) een belangrijke rol spelen.

In het andere extreme geval verdient gebruik van reaktiveerbare korrelkool de voorkeur. Het een en ander wordt nog eens schematisch weergegeven in tabel III.

Het grootste probleem wordt gevormd door de breedte en het vage karakter van het overgangsbied. In een aantal gevallen is gebleken, dat de smaakbezwaren (los van het probleem van de mikroverontreinigingen) soms zo ernstig waren dat zelfs bij een koldosis van 60 g · m<sup>-3</sup> de smaak bij toepassing van poederkool nog niet volledig geëlimineerd werd, terwijl dit bij toepassing van korrelkool wel het geval was. Anderzijds geldt, zoals reeds eerder is

TABEL III - Drinkwaterleiding, keuze van basis-type kool, factoren die de keus beïnvloeden.

Type	Toepassing
Poederkool	Licht verontreinigd water Geur- en smaakverwijdering Diskontinue toepassing
Korrelkool (PK)	Licht verontreinigd Geur en smaak Dechlorering Kontinue gebruik
Korrelkool (ROW 0,8 Supra)	Sterker verontreinigd water Kontinue gebruik

gesteld, dat van talloze verbindingen nog nauwelijks bekend is of ze schadelijk zijn. In het geval dat het water deze verbindingen bevat is men vrij snel geneigd om korrelkool te gaan toepassen in het vertrouwen dat ze er door de kool wel zullen worden uitgehaald. Een probleem hierbij is, zoals reeds eerder aangestipt is, dat een systematisch onderzoek van de wijze waarop de korrelkoolinstallatie bedreven moet worden (betreft vooral de vraag wanneer de kool vervangen of gereactiveerd dient te worden, daarnaast de optimale waarden van  $\tau$  en  $\nu$ ) willen de mikroverontreinigingen verwijderd worden, nog nauwelijks van de grond gekomen is, waarbij we gedeeltelijk althans, een uitzondering moeten maken voor één klasse van verbindingen nl. organisch gebonden chloor. Anderzijds is er weinig onderzoek uitgevoerd van de effectiviteit van poederkool t.a.v. mikroverontreinigingen, terwijl men zelfs kan stellen dat de procestechnische kanten van het gebruik van poederkool nog verbeterd kunnen worden gezien het meestal relatief grote verschil op dit terrein tussen laboratoriumproeven en de praktijk.

#### **Economische aspecten: regeneratie der kool**

Wanneer het koolverbruik te hoog wordt moet de uitgeputte kool op de een of andere wijze teruggewonnen worden d.w.z. geregenerereerd worden.

De diverse mogelijkheden hiervoor kunnen als volgt worden ingedeeld:

1. Regeneratie met stoom.
2. Chemische regeneratie, hetzij pH-regulatie, hetzij oplosmiddelen of een combinatie van beide.
3. Biologische regeneratie.
4. Thermische reaktivatie.

Bij regeneratie met stoom wordt de organische stof uitgedreven door de stoom met een temperatuur die 30 à 50 °C hoger is dan het kookpunt van het te verwijderen materiaal (uitzonderingen: gevallen waarbij

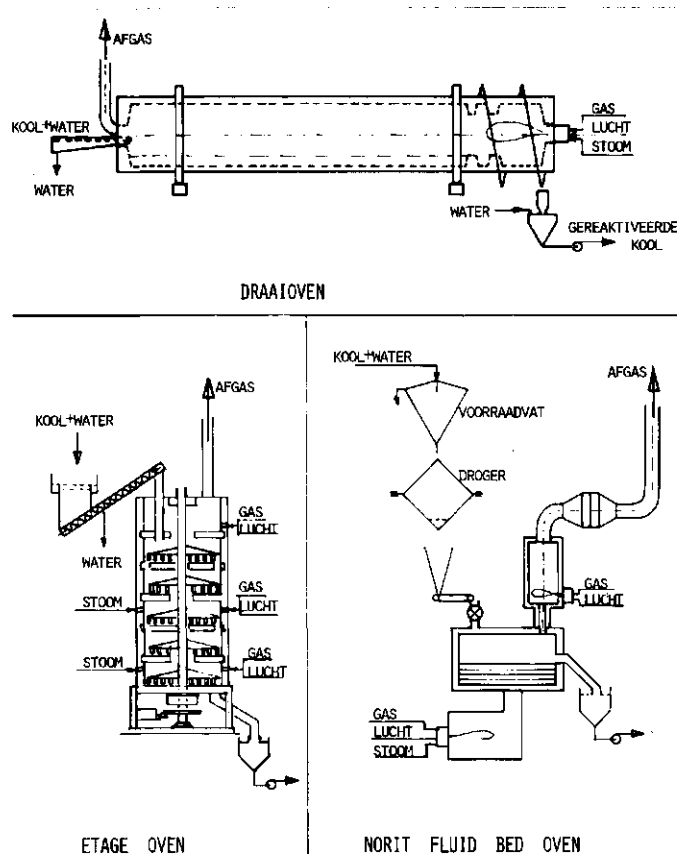
het materiaal een minimumazeetroop met water vormt). Dit verklaart ook direct de beperkte toepassingsmogelijkheden. Bij chemische regeneratie wordt de oplosbaarheid van het geadsorbeerde materiaal in het oplosmiddel drastisch veranderd door hetzij een pH-verandering, hetzij een ander oplosmiddel te nemen. Bij biologische regeneratie wordt een actief slibmassa onder luchttoevoer door de kool gepompt. Onder thermische reaktivatie verstaat men het behandelen van de uitgeputte kool in een onder rigoreuze controle te houden milieu bij hoge temperatuur (> 700 °C) waarbij het geadsorbeerde materiaal desorbeert en/of afgebroken wordt en/of rechtstreeks verbrand en/of omgezet wordt in actieve kool.

De eerste drie methoden hebben het voordeel gemeen dat de kool tijdens de regeneratie op zijn plaats blijft, terwijl bij toepassing van thermische reaktivatie de kool (als een natte slurry) tussen kolom en reaktivatie-oven heen en weer getransporteerd dient te worden. Tijdens dit hydraulisch transport treedt er slijtage van de kool op, terwijl er gedurende de eigenlijke reaktivatie eveneens verliezen optreden. Deze verliezen zijn meestal een merkbaar gedeelte der totale behandelingskosten. Het is ook niet reëel om alleen over de eigenlijke reaktivatieverliezen te spreken zoals nogal eens gebeurt. De verliezen tijdens hydraulisch transport dragen ook bij (zie bijv. [11] en [12]).

Bij het universeel toepasbaar zijn van thermische reaktivatie moeten een aantal kritische kanttekeningen geplaatst worden. Soms moeten er aan de reaktivatie-installatie speciale voorzieningen getroffen worden. Dit doet zich bijv. voor als de te reaktiveren kool grote hoeveelheden organische chloorverbindingen bevat: de rookgassen van de reaktivatie-oven bevatten dan zoutzuurgas dat zeer korrosief is. Dit geval doet zich echter uitsluitend voor bij sommige op het terrein der afvalwaterzuivering toegepaste kolen. Een ander probleem kan zich voordoen wanneer het te behandelen water ijzer bevat dat in de kool terecht komt. In dat geval kan tijdens thermische reaktivatie de adsorptiecapaciteit achteruit gaan [13]. Dit heeft echter geen betrekking op reeds uitgevlokt ferrihydroxide dat aan de buitenzijde der kool afgezet en bij terugspoelen verwijderd wordt.

Bij de regeneratie van kool afkomstig van drinkwaterleidingbedrijven of die gebruikt is bij vergelijkbare toepassingen in de industrie komen de eerste drie regeneratiemethoden niet in aanmerking vanwege de beperkte toepassingsmogelijkheden en vanwege hygiënische redenen zodat er alleen thermische reaktivatie toegepast kan





Afb. 9 - Typen reactivatie-ovens.

worden. De thermische reactivatie van korrelkool kan in drie verschillende soorten ovens worden uitgevoerd, nl.:

- draaiovens;
- etageovens;
- 'fluid bed' ovens.

Deze drie ovens worden schematisch weergegeven in afb. 9. De draaioven bestaat in principe uit een roterende buis. De te reaktiveren kool wordt aan de ene zijde afgevoerd. Er bevindt zich één brander aan de oven (meestal aan de 'afvoerszijde' d.w.z. aan de kant waar de kool wordt afgetapt). Het nadeel van dit type oven is dat de temperatuur moeilijk regelbaar is, wat niet het geval is bij de etageoven die meerdere branders bevat. Bij de etageoven wordt de kool aan de bovenzijde ingevoerd en wordt door roterende armen van de ene etage naar de andere geschoven. Voor niet al te grote capaciteiten is een draaioven goedkoper dan een etageoven waar tegenover staat dat een draaioven meer ruimte in beslag neemt. Sommige auteurs [14] stellen dat de verliezen bij een etageoven lager zijn dan bij een draaioven. Bij kleinere capaciteiten (< 50 kgr . uur<sup>-1</sup>) wordt een etageoven relatief duur terwijl de verliezen toenemen. Beide oven-types zijn van Amerikaanse herkomst. De laatste jaren is er in Europa een nieuw

type oven ontwikkeld, de fluid bed oven. Norit heeft zijn eigen oven ontwikkeld die begin 1976 bij het waterleidingbedrijf van Zürich [15] in bedrijf genomen is. Dit type oven heeft een aantal voordelen boven de beide andere, nl.:

- De verblijftijd in de oven is zeer kort (ca. 15 minuten).
- Maakt de operator een fout dan gaat er weinig kool verloren, minder dan bij een etageoven en veel minder dan bij een draaioven.
- De opstarttijd is veel korter dan bij de andere ovens waardoor dit oventype ook intermitterend te gebruiken is zonder grote brandstofverliezen zoals bij beide andere oventypes.
- De oven heeft geen draaiende onderdelen wat bij een heet proces (900 °C) voordelen oplevert.
- Dit type oven is volledig leeg te draaien, terwijl dit bij de twee overige soorten niet of slechts moeizaam het geval is.
- De reaktivatieverliezen zijn lager (3 à 5 vol. %) dan bij de twee andere ovens.
- Ook bij lage capaciteiten (10 à 20 kg . uur<sup>-1</sup>) werkt de oven nog efficiënt (de verliezen blijven laag).

Er staat tegenover dat de uitgeputte kool geen zand of grint mag bevatten en dat,

om de verliezen laag te houden en de temperatuur voldoende hoog te houden bij de door Norit ontwikkelde oven de kool voor de reactivatie eerst gedroogd moet worden.

Als de regeneratie van de kool langs thermische weg geschiedt kan deze op twee wijzen worden uitgevoerd: ter plaatse door de gebruiker van de kool; door de leverancier der kool.

Welke van deze twee alternatieven gekozen wordt, hangt af van een reeks factoren, o.a.: de jaarlijks te reaktiveren hoeveelheid kool; de afstand waarover de kool ingeval van externe reactivatie getransporteerd moet worden; de mate waarin het bedrijf personeel ter beschikking heeft om de reactivatie-installatie te bedienen.

Een keuze uit deze twee mogelijkheden dient in elk geval afzonderlijk grondig overwogen te worden.

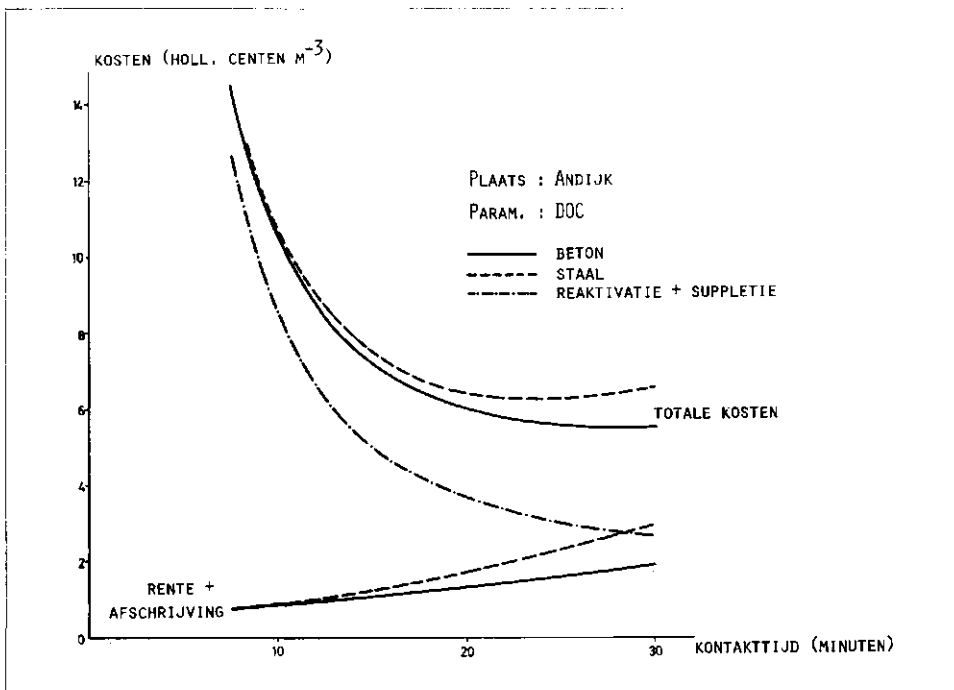
Het bedrijven van een reactivatie-installatie door de klant zelf heeft het voordeel dat op ieder gewenst tijdstip gereactiveerd kan worden doch hier staat tegenover dat men dan wel over vakbekwaam personeel dient te beschikken. Bij reactivatie der uitgeputte kool bij de leverancier heeft men uiteraard geen speciaal personeel nodig en mist men de kosten voor het onderhoud der reactivatie-installatie, doch als nadelen kan men noemen de hoge transportkosten, de grotere koolverliezen t.g.v. de extra handling der kool en het bezwaar dat het voor de leverancier niet altijd mogelijk is om op het voor de klant meest gunstige tijdstip te kunnen reaktiveren (bijv. doordat de transportmiddelen en/of de oven voor derden in gebruik zijn). Deze problematiek wordt elders [19] uitvoeriger behandeld.

#### Ekonomische aspecten: modelberekening

In de sectie 'Resultaten korrelkool' werden de resultaten van een drietal proefinstallaties waarin de toepassing van (thermisch reactiveerbare) korrelkool bij de drinkwaterleiding onderzocht werd, besproken. De in afb. 6 en tabel II weergegeven relatie tussen de schijnbare contacttijd en de looptijd der kool is gebruikt voor een berekening van de kosten als functie der contacttijd.

De resultaten weergegeven in de afb. 10 en 11 zijn ontleend aan [4], evenals tabel IV waarin de grondslagen der berekening zijn weergegeven. Alle prijzen zijn van augustus 1975. De in afb. 10 weergegeven resultaten gelden voor een DOC reductie over de kool van 55 %, wat een strenge eis genoemd kan worden. De volgende zaken vallen op:





Afb. 10 - Kosten van korreltoepassing als functie der contacttijd.

TABEL IV - Drinkwaterleiding, grondslagen kostenberekening.

Twee gevallen	: open betonnen filters : gesloten stalen filters	
Productiecapaciteit	: 6000 m <sup>3</sup> per uur	
Regeneratie der kool	: thermisch, ter plaatse	
Reaktieverlies	: 8 (vol.) %	
Afschrijving	: Annuïteitenbasis	
Rente	: 9 %	
	Beton	Staal
Aantal filters	: 12	12 —21
Diameter (m)	: 1,7— 5	3,5— 6
Laaghoogte (m)	: 1,7— 5	3,5— 5
$v$ (m <sup>3</sup> · m <sup>-2</sup> · uur <sup>-1</sup> )	: 10 —20	10 —52
Filteroppervlak	: 20 —50	
	Afschrijving (jaren)	Onderhoud (%)
Beton	30	3
Staal	15	5
Meet- en regelapparatuur	10	6

1. Vooral bij wat hogere waarden der contacttijd leidt gebruik van open, betonnen filters tot lagere kosten dan gesloten, stalen drukfilters.
2. De aan de kwaliteit van het eindproduct gestelde eisen beïnvloeden de kosten sterk.
3. Bij relatief strenge eisen t.a.v. de kwaliteit van het kooeffluent ligt het optimum in de kosten bij relatief hoge waarden der verblijftijd.
4. Als de genoemde eisen relatief streng zijn maken de kosten van reaktivatie en suppletie (van reaktivatieverliezen) der kool een relatief groot deel der totale behandelingskosten uit.

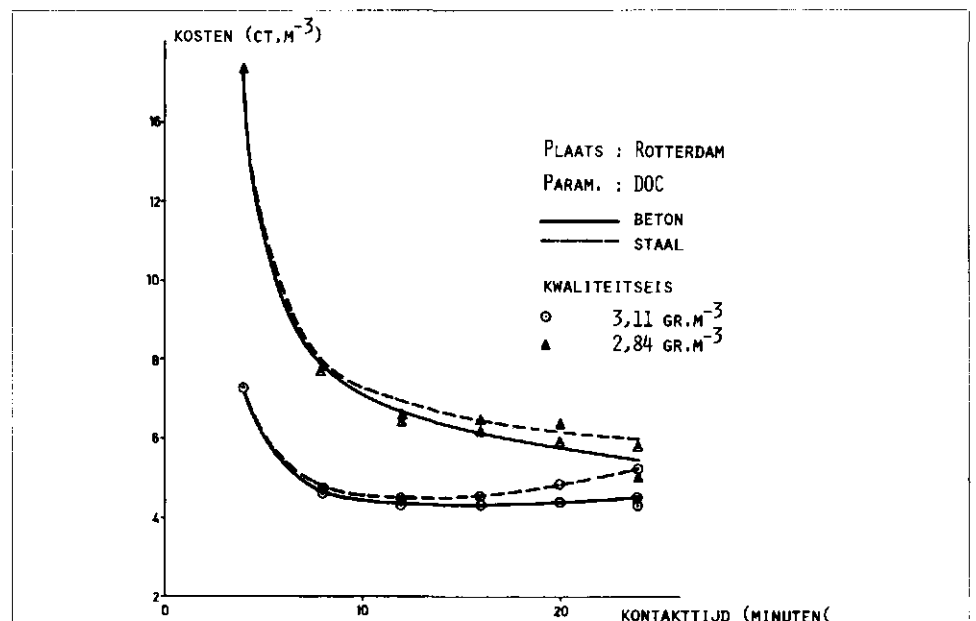
De bovengenoemde berekeningen zijn alle uitgevoerd in augustus 1975. Andere bere-

keningen hebben aangetoond dat de inflatie nauwelijks de optimale waarde van  $\tau$  beïnvloedt: wel uiteraard de kosten. Het optimum verschuift echter wel wat betreft de waarde van  $\tau$  bij variatie in het reaktivatieverlies. De bovenstaande konklusies worden dus niet of nauwelijks beïnvloed door de sinds augustus 1975 opgetreden geldontwaarding.

#### Enkele praktische zaken

Tot besluit van dit verhaal willen we nog een aantal punten bespreken die tot nu toe

Afb. 11 - Totale kosten als functie der contacttijd.



niet of nauwelijks aan de orde geweest zijn. Het belangrijkste wordt gevormd door de specificaties der kool.

Het zal de meeste lezers bekend zijn dat alle leveranciers van actieve kool werken met zgn. specificaties d.w.z. bepaalde normen waaraan de kool voldoet. Soms hebben deze specificaties een duidelijke relatie met een bepaalde toepassing, waarvoor ze dan ook opgesteld zijn. In andere gevallen is deze relatie er niet of nauwelijks. Behalve de koolfabrikanten zijn er ook een aantal instellingen die normen hebben opgesteld, waarbij we denken aan de AWWA (American Water Works Association), de ASTM (American Society for Testing Materials) en de DIN (Deutsche Normenausschuss). Deze drie instellingen hebben specificaties opgesteld voor actieve kool welke wordt gebruikt bij de bereiding van drinkwater [16, 17, 18]. Ruwweg kunnen we al deze normen als volgt indelen:

1. Normen die slechts zijdelings of niet raken aan de specifieke toepassing (bijv. asgehalte, stortgewicht).
2. Normen gebaseerd op de adsorptie van modelstoffen of mengsels (bijv. de diverse fenoltesten).
3. Normen die te maken hebben met andere aspecten der kool dan fysische adsorptie (bijv. slijtagebestendigheid, deeltjesgrootte, vochtgehalte) maar wel van rechtstreeks belang zijn.

De onbevangen leek zal vrij snel geneigd zijn om aan deze testen meer waarde, beter gezegd een andere waarde toe te kennen dan ze in feite toekomst, dit is althans de ervaring van schrijver dezes.

We hebben er reeds op gewezen dat bij een parallel onderzoek van een reeks verschillende (Norit) kooltypen in een proefinstallatie (drinkwater) er voor deze kooltypen geen relatie aantoonbaar bleek te zijn tussen de prestaties in de praktijk enerzijds en een reeks op adsorptietesten (benzeen, fenol, molasse, etc.) gebaseerde kwaliteitsnormen der kool anderzijds. Door anderen was dit reeds eerder gevonden [5].

Hier mogen we dus met grote zekerheid uit konkluderen dat de zgn. adsorptietesten (althans de bestaande) niet gehanteerd mogen worden om de verschillende op de markt zijnde kooltypen onderling te vergelijken qua adsorptiegedrag en daarbij te verwachten dat de prestaties onder praktijkomstandigheden de resultaten van deze testen zullen volgen.

Dat de meeste koolfabrikanten (ook Norit) desalniettemin dit soort testen hanteren, vindt zijn oorzaak in het feit dat bij toepassing van deze testen op een reeks kolen gemaakt volgens hetzelfde procédé en uit dezelfde grondstof er in sommige gevallen wel kwalitatieve relaties worden gevonden tussen laboratorium test en praktijkresultaat.

Het bovenstaande geldt ook voor de diverse testen die beogen om de slijtage van korrelkool in een getalwaarde uit te drukken.

Er is nog nooit een kwantitatieve relatie afgeleid tussen de aldus gemeten slijtvastheid der kool enerzijds en de slijtage tijdens hydraulisch transport en thermische reaktivatie anderzijds.

Ook hier geldt dat bij onderlinge vergelijking van volgens hetzelfde procédé uit dezelfde grondstof gemaakte kooltypen er waarschijnlijk wel een (kwalitatieve) relatie bestaat.

Een bijzondere valkuil wordt gevormd door de eis de deeltjesgrootte te bepalen (d.m.v. zeefanalyse) die inherent is aan de meeste slijtagetesten. Werkt men met een gevormd produkt (bijv. cilindertjes, zoals Row 0.8 Supra) dan mag een eventuele slijtagetest waarbij de verandering van de grootte der deeltjes d.m.v. een zeefanalyse wordt vastgesteld, niet worden toegepast op deze cilindertjes daar het zeven van een cilindrisch materiaal een puur stochastisch proces is; het resultaat is sterk afhankelijk van de zeef tijd. Tegen deze regel wordt nogal eens gezondigd o.a. [14]. In dat geval kiest men een test waarbij bijv. de stofproduktie een maat is voor de slijtvastheid.

Het voornaamste nut dat de bovenstaande testen hebben moet gezocht worden in een controlefunctie. In de eerste plaats kreëren dergelijke testen voor de afnemer der kool de mogelijkheid om te controleren of een bepaalde partij kool voldoet aan de normen

zoals deze zijn overeengekomen tussen leverancier en afnemer. Dit geldt niet alleen bij de aankoop van verse kool maar ook bij reaktivatie van uitgeputte kool (zowel als deze extern of intern plaatsvindt). Er zijn uiteraard daarnaast testen die wel degelijk zin hebben voor de praktijk waarbij we bijv. denken aan de deeltjesgrootte bij poederkool (daarover straks meer).

Daarnaast is er een aantal eigenschappen van korrelkool die weliswaar samenhangen met de deeltjesgrootte der kool waarbij echter deze relatie niet nauwkeurig te kwantificeren is en die praktisch van tamelijk groot belang zijn. Hierbij denken wij aan de waterweerstand der kool en de bedexpansie bij terugspoelen. De waterweerstand speelt bij open filters (vaste bedden) een grote rol daar deze aan een bepaald maximum gebonden is, terwijl bij gesloten drukfilters de waterweerstand de pompkosten bepaalt. De bedexpansie bepaalt het spoelwaterverbruik en daar men in de praktijk meestal produktwater als spoelwater gebruikt, betekent een lage waarde der bedexpansie grotere verliezen aan produktwater. Daar de deeltjesgrootte van de kool bij thermische reaktivatie kan veranderen [11, 12] betekent dit dat zowel de waterweerstand als de bedexpansie veranderen in dat geval. Wordt de kool 'te ver' gereactiveerd (lagere schijnbare dichtheid dan het oorspronkelijke produkt) dan neemt de bedexpansie toe daar deze behalve van de deeltjesgeometrie ook afhangt van de aktivatiegraad der kool.

Het spreekt vanzelf dat een bedrijf dat zelf reaktiveert hier rekening mee behoort te houden. Wanneer na reaktivatie der kool de bedexpansie hoger is dan die van het oorspronkelijke produkt en er wordt teruggespoeld met dezelfde snelheid als gebeurde bij de oorspronkelijke kool dan leidt dit tot koolverliezen indien de expansieruimte krap gedimensioneerd is.

Ook anderszins speelt deze bedexpansie nog een rol, waarbij een onjuist hanteren der kool tot spoelverliezen leiden kan. In het algemeen moet een koolbed nadat de kool d.m.v. hydraulisch transport in het filter gebracht is teruggespoeld worden alvorens in bedrijf genomen te worden.

Dit heeft de volgende functies:

- verwijderen van fijne deeltjes of stof gevormd tijdens het hydraulisch transport;
- verwijderen van eventueel tussen de kooldeeltjes ingesloten lucht;
- verzekering van een stabiele bedopbouw i.v.m. latere terugspoeling als het filter in bedrijf is.

In het algemeen verdient het aanbeveling om dit eerste terugspoelen niet onmiddellijk

uit te voeren maar eerst gedurende één à twee dagen (schoon) water van boven naar beneden door de kool te leiden teneinde eventueel in de poriën der kool aanwezige lucht zo volledig mogelijk te verwijderen. Zelfs als de kool direkt na het hydraulisch transport volledig en snel bezinkt is dit nog geen bewijs dat de lucht volledig uit de poriën verdreven is. In dat geval is alleen maar de dichtheid van de kooldeeltjes + water + ingesloten lucht groter dan die van het omringende water. Zodra men onder deze omstandigheden gaat terugspoelen, voert dit onherroepelijk tot (onnodige) koolverliezen.

Er is reeds gesteld dat de zeefanalyse van een poederkool een praktische waarde heeft, een bewering waarvoor nog een verklaring verschuldigd is. Zodra een bedrijf poederkool toepast zonder een simultane koagulatie-flokkulatie wordt de sedimentatiesnelheid der kool belangrijk zoals reeds eerder uiteengezet is. Een simpele en nauwkeurige kwantitatieve relatie tussen de sedimentatiesnelheid en de zeefanalyse der kool bestaat niet. Het nut der zeefanalyse is in dit geval gelegen in de controlefunctie. In verband hiermee dient men zich te realiseren dat een doorslag van de kool door de snelfilters lang niet altijd kan worden toegeschreven aan een verandering der zeefanalyse. Dit kan via de zeefanalyse vrij snel nagegaan worden. Meestal heeft deze doorslag andere oorzaken die alle gelegen zijn in een onjuiste bediening der snelfilters. De volgende fouten kunnen hierbij gemaakt worden:

1. Te sterke fluktuaties in de filtratiesnelheid.
2. Verhoging van de poederkooldosis zonder dat daar een toename der terugspoelfrequentie mee gepaard gaat.
3. Niet tijdig genoeg terugspoelen.
4. Onvoldoende terugspoelen.

Het zal derhalve duidelijk zijn, dat bij poederkool doorslag de oorzaak niet onmiddellijk bij de eigenschappen van het produkt aktieve kool gezocht behoeven te worden.

Hopelijk heeft de lezer een redelijke indruk gekregen van de diverse toepassingsmogelijkheden van aktieve kool bij de bereiding van drinkwater. Hij late zich niet afschrikken door de problemen die zich hierbij voordoen en die hier opzettelijk breed uitgemeten zijn. Er is gepoogd zinvolle informatie te verschaffen wat een bagatellisering van deze problemen uitsluit.

uit Parijs, mr. G. Dejouany, die de voorbereidingen gaat leiden voor het congres 1980 dat in Parijs wordt gehouden.

Aangezien het daaropvolgende congres 1982 in Zürich is gepland, stond Frankrijk zijn zetel in de board — waarvan mr. Dejouany nu vice-voorzitter is — af aan Zwitserland. Insiders weten al wel wie die plaats zal innemen.

### Tokyo

Een grote groep Nederlandse deelnemers aan het Congres die met een door de VEWIN voorbereide reis vlogen, bezocht voorafgaande aan het congres in Tokyo de Kanamachi Filtration Plant. Dit gigantische bedrijf, overigens één van de tien die de 11 miljoen tellende bevolking van deze metropool van betrouwbaar drinkwater voorzien, viel vooral op door zijn grote capaciteit op een klein grondoppervlak en de (als gevolg daarvan noodzakelijke) slibverwerking. De gastheer sprak geen Engels en de tolk wist niets van waterleiding, zodat de mondelinge informatie beperkt bleef.

### Hartelijke ontvangst in Delhi

In scherpe tegenstelling daarmee stond het bezoek, dat de groep in de week volgend op het congres, op weg naar huis, bracht aan een nieuw zuiveringsbedrijf van de waterleiding te Delhi in India. Het water wordt 200 km stroomopwaarts van Delhi aan de rivier onttrokken en

*Drs. G. Drost, chemicus van de DWL van 's-Gravenhage, waagt een slok uit de kraan.*



*Twee vice-voorzitters van de VEWIN, ir. F. N. Sikkens (rechts) en dr. C. J. Verplanke, planten een boom(pje) in Delhi.*

komt via een irrigatiekanaal naar het bedrijf. Men heeft niet geprobeerd met geavanceerde zuiveringsmethoden technische hoogstandjes te maken, maar met beproefde methoden en beperkte middelen bereikt wat er te bereiken was. Prof. ir. P. L. Knoppert, die namens de Nederlandse groep de gastheer mr. J. Prakash — die de ontwerper van de plant bleek te zijn — bedankte voor zijn gastvrijheid, roemde dit aspect van de nieuwe plant dan ook met name. De legendarische (voor Westerlingen) onbetrouwbaarheid van het leidingwater in India vindt haar oorzaak niet in slechte grondstof of onvoldoende zuivering, zo werd in Delhi gesteld.

De besmetting blijkt in het distributienet te moeten worden gezocht.

De deskundige gasten ontkwamen niet aan een slok uit de kraan. Daarvan hebben zij geen nadelige gevolgen ondervonden. De ontvangst was hartverwarmend en het bezoek werd kennelijk door de gastheren op hoge prijs gesteld. Aan het slot van de rondleiding over het complex was een soort boomplant-séance georganiseerd, waarbij tal van Nederlanders werden betrokken. Het bezoek toonde aan, dat de waarde van een excursie voor een belangrijk deel wordt bepaald door de goede voorbereiding en de hartelijkheid waarmee men zijn gasten tegemoet treedt. Iets om over na te denken door beroeps-ontvangers in moderne waterfabrieken in rijke landen. Zoals in Tokyo. Of in Nederland. Lf.

• *vervolg van pag. 533*

### De toepassing van actieve kool bij de drinkwaterbereiding

#### Literatuur

- Burg, L. van der: *H<sub>2</sub>O* 1970, 3 (14) 330.
- De volgende handboeken worden aanbevolen: Hasler, J. W.: *Activated Carbon*, New York, 1963. M. Smisek, S. Cerny: *Active carbon, Manufacture, Properties and Applications*, Amsterdam, 1970. Mattson, J. S., Mark Jr., H. B.: *Chemistry and Adsorption from Solutions*, New York, 1971.
- Kuzin, I. A.: *Zhurn. Vses. Khim. Obshchest.* 1968, 13 (5) 551.
- Akatsu, E., Ono, R., Tsukuechi, K., Uchiyama, H.: *J. Nucl. Sci. Technol.* 1965, 2 (4) 141.
- Lier, W. C. van, Graveland, A., Rook, J. J., Schultink, L. J.: *Ref. 7*, blz. 142.
- Sontheimer, H.: *IWSA (International Water Supply Association), 10th Congress, Brighton, 1974*.
- Fuchs, F., Kühn, W.: *Ref. 7*, blz. 160.
- Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe: *Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie, Heft 9, 1975*.
- Knopp, P. V., Gitschell, W. B.: *Proc. 25th Industrial Waste Conf., Engin. Ext. Ser. No. 137, 687*.
- Smith, S. B.: *Proc. Phys.-chem. Treatm. Activ. Carbon Ads. in Pollut. Contr. Technol. Transfer Semin., Ontario 1975*.
- Burns, D. E., Shell, G. L.: *J. Water Pollut. Contr. Fed.*, 1974, 46 (1) 148.
- Poggenburg, W.: *Ref. 7*, blz. 75.
- Strack, W.: *Ref. 7*, blz. 248.
- Juhola, A. J.: *Regeneration of activated carbon. WRA-Conference on activated carbon in water treatment, Reading 1973*.
- Friessinger, F., Richard, Y.: *Techniques et Sciences Munic. de l'Eau*, 1975, 70 (7) 271.
- Schalekamp, M.: *Ref. 7*, blz. 119.
- Deutsche Normen: *DIN 19063, 1969*.
- AWWA B 600-66: *Standard for powdered activ. carbon, 1966*.
- AWWA B 604-74: *Standard for granular activated carbon, 1974*.
- Lier, W. C. van, Wenink, J.: *Wordt gepubliceerd in tijdschrift van het BECEWA, 1978*.
- Rook, J. J.: *Water Treatment Exam.* 23 (1974) 234.
- Sontheimer, H.: *Zbl. Bakt. Hyg. I Abt. Orig. A 227 (1974) 33*.
- Middleton, F. M.: *Proc. Water Quality Conf. 15th, 1973*.
- U.S. Environm. Protection Agency: *Preliminary assesment of suspected carcinogenics in drinking water. Interim Report to Congress, Cincinnati 1975*.
- Meijers, A. P.: *4. Arbeitsstagung IAWR, Stuttgart, 1974*.

● ● ●

● ● ●