

# Hyperfiltratie

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

## Inleiding

De naam hyperfiltratie veronderstelt dat wij hier te maken hebben met een filtratie-methode, die tot meer in staat is dan elke andere filtratietechniek.

In werkelijkheid is dit ook het geval omdat hiermee niet alleen zwevende stoffen, colloïden, bacteriën en virussen uit het water gefiltreerd kunnen worden, maar ook opgeloste zouten en organische stoffen.

Hyperfiltratie is niet alleen een techniek die meer kan dan andere filtratiesystemen, het is bovendien een nog jonge techniek.



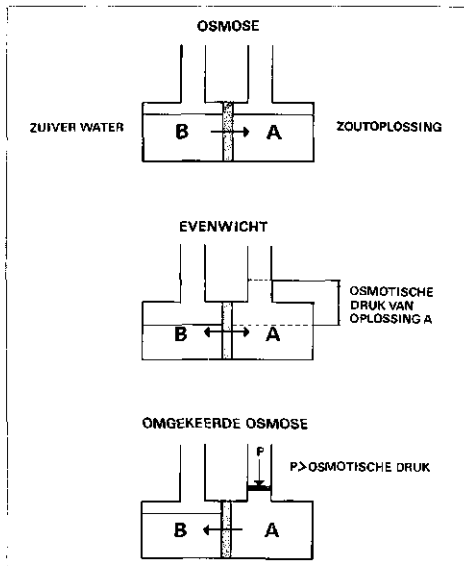
IR. J. C. SCHIPPERS  
KIWA

Pas in 1953 is door Reid de gedachte geopperd dat het mogelijk moest zijn zouten door middel van filtratie uit water te verwijderen. Hij ontleende deze gedachte aan het verschijnsel osmose dat reeds in 1748 door de geestelijke Nollet was ontdekt [1].

Het verschijnsel osmose treedt op wanneer wij bijv. een zout-oplossing gescheiden houden van zuiver water door middel van een halfdoorlatend membraan. Halfdoorlatend betekent in dit geval dat wel het water maar niet het zout het membraan kan passeren.

In deze situatie zoals in afb. 1 is geschetst, diffundeert er zuiver water door het membraan naar de zoutoplossing. Dit proces gaat door tot er evenwicht bereikt is.

Afb. 1 - Principe van omgekeerde osmose of hyperfiltratie.



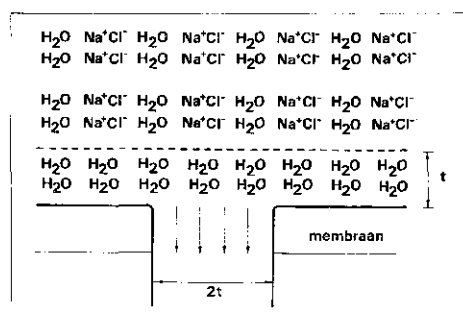
In de evenwichtssituatie die na enige tijd optreedt is het hoogteverschil tussen beide vloeistoffen, gelijk aan de osmotische druk. Verhogen wij hierna de druk op de zoutoplossing dan gaat het proces de verkeerde of omgekeerde kant uit. Het proces is dan ook aanvankelijk omgekeerde osmose genoemd. Later heeft men ingezien dat wat hier gebeurt helemaal niet zo verkeerd is. En is het proces hyperfiltratie genoemd. Nadat Reid in 1954 zijn eerste proeven had genomen, heeft het nog tot 1960 geduurd voor Loeb en Sourirajan membranen maakten die voor toepassing in de praktijk geschikt waren [2].

Omstreeks 1967 — zeven jaar later — werden de eerste commerciële installaties gebouwd. Het heeft daarna nog tot 1971 geduurd voor in Greenfield in de VS de eerste installatie, zij het een kleine, in bedrijf is genomen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening [3]. Voor echter de toepassingen van hyperfiltratie te noemen zal eerst nader ingegaan worden op het principe.

## Principe

Het mechanisme van de werking van een hyperfiltratiemembraan kan het gemakkelijkst aan de hand van het model dat Sourirajan hiervoor heeft opgesteld, verklaard worden. Hij gaat ervan uit dat het mechanisme van de filtratie gebaseerd is op zeefwerking. Deze zeefwerking komt in belangrijke mate tot stand door een verschil in adsorptie van water en die van de opgeloste stoffen aan het membraan. Het water wordt in het algemeen veel beter geadsorbeerd dan zouten. Hierdoor ontstaat bij het membraanoppervlak een dun laagje zuiver water met een dikte van ongeveer 10 Å. In afb. 2 is dit in tekening gebracht. Is de poriëngrootte in het membraan kleiner dan tweemaal deze laagdikte, dan zal er alleen zuiver water door het membraan gaan. Sommige organische stoffen worden echter beter dan zouten aan het membraan geadsorbeerd. Hetgeen inhoudt dat zij gemakkelijker het membraan passeren dan zouten.

Afb. 2 - Mechanisme van de werking van een membraan volgens Sourirajan.



In de praktijk komt het er ruwweg gesproken op neer dat organische stoffen met een molecuulgewicht kleiner dan 200 gedeeltelijk en die met een groter nagenoeg volledig worden tegengehouden.

De werking van membranen wordt in het algemeen beoordeeld aan de hand van het zoutwerend vermogen (ook wel retentie genoemd) en de doorlatendheid voor water. Voor het zoutwerend vermogen (R) geldt

$$R = \left( \frac{C_m - C_p}{C_m} \right) \times 100 \%$$

waarin:

R = zoutwerend vermogen;

C<sub>m</sub> = concentratie bij het membraan;

C<sub>p</sub> = concentratie in het produkt.

(Voor de retentie van organische stoffen geldt uiteraard een analoge betrekking.)

Voor de doorlatendheid van een membraan voor water geldt

$$A = \frac{F}{\Delta p - \Delta \Pi}$$

waarin

A = doorlatendheid van het membraan;

F = transport van water door het membraan per m<sup>2</sup> membraanoppervlak per dag (Flux);

Δp = drukverschil;

ΔΠ = osmotische druk.

Uit het bovenstaande blijkt dat de osmotische druk het watertransport door het membraan tegenwerkt.

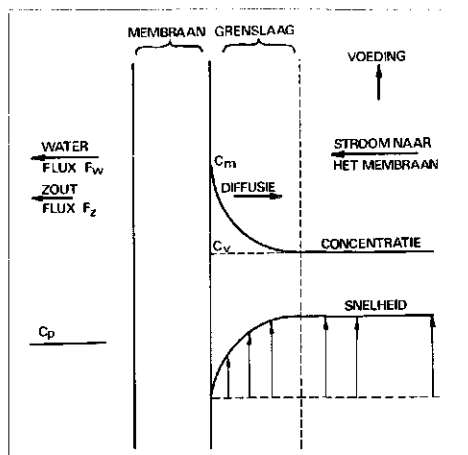
Bij hyperfiltratie van zeewater moeten wij rekening houden met een osmotische druk van ongeveer 28 atm. Deze speelt dan ook een belangrijke rol. Voor water met een zoutgehalte van 1000 mg/l is deze druk evenredig lager en bedraagt ongeveer 1 atm.

## Concentratiepolarisatie

Tijdens het hyperfiltratieproces wordt water door een membraan geperst en worden zouten tegengehouden. Dit betekent dat deze zouten de neiging zullen hebben zich op te hopen bij het membraan. Anderzijds verwijderen zij zich door diffusie en door transport middels het langsstromende water. Het gevolg is dat er een evenwichtssituatie ontstaat waarbij de concentratie bij het membraan uiteindelijk hoger is dan in de rest van het water.

Dit verschijnsel heet concentratiepolarisatie. In afb. 3 is het ontstaan van het verschijnsel in beeld gebracht [4].

Concentratiepolarisatie treedt niet alleen op bij zouten maar ook bij organische stoffen, colloïden en zwevende stoffen. Het effect bij deze stoffen is bovendien nog vele malen groter dan bij zouten omdat hun diffusiesnelheid aanzienlijk lager is, met het gevolg dat het transport van het membraan naar de rest van de vloeistof trager verloopt.



Afb. 3 - Het principe van concentratiepolarisatie.

Het optreden van concentratiepolarisatie heeft voor de praktijk dan ook enkele belangrijke nadelige effecten, zoals

1. De osmotische druk neemt toe bij het membraan, daar de concentratie van zouten hier hoger is. Het gevolg is dat de drijvende kracht afneemt zodat de flux door het membraan afneemt.
2. Het zouttransport door het membraan neemt toe daar de concentratie bij het membraan is toegenomen.
3. Minder goed oplosbare zouten zoals calciumcarbonaat en calciumsulfaat kunnen omdat hun oplosbaarheidsproduct wordt overschreden op het membraan neerslaan. Hierdoor neemt de flux door het membraan af.
4. Stoffen met een hoog molecuulgewicht, colloïden en zwevende stoffen kunnen zich op deze wijze eveneens op het membraan afzetten. De flux door het membraan neemt hierbij eveneens af.

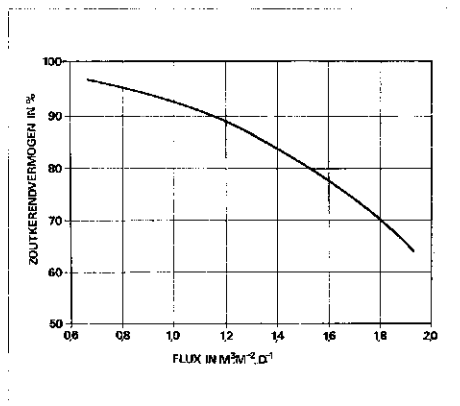
Daar de genoemde effecten ongewenst zijn is het nodig de concentratiepolarisatie binnen de perken te houden [5]. Wij kunnen dit op de volgende wijze bereiken:

1. De stofoverdracht verbeteren bij het membraan door bijv. de snelheid van het water langs het membraan te verhogen.
2. De flux van het water door het membraan te verlagen door bijv. de druk te reduceren.

Beide methoden worden in de praktijk toegepast.

**Membranen**

Membranen worden gemaakt van organische polymeren en hebben een dikte van ongeveer 0,1 mm. Zoals reeds gezegd is waren Loeb en Sourirajan de eersten die membranen maakten met een zodanige doorlatendheid voor water en voldoende zoutwerende



Afb. 4 - Het verband tussen flux en zoutwerendvermogen voor cellulose-acetaat membranen bij 40 ato en 20 °C.

eigenschappen, dat toepassing in de praktijk binnen bereik kwam.

Zij maakten hun membranen van cellulose-acetaat en konden door een warmtebehandeling toe te passen die zoutwerende eigenschappen bereiken die ze wensten. Een hoog zoutwerend vermogen bleek echter steeds gekoppeld te zijn met een lage doorlatendheid voor water. Dit geldt evenzeer voor de door Dupont in 1967 op de markt gebrachte membranen van polyamide. Afb. 4 illustreert het verband tussen retentie en doorlatendheid voor cellulose-acetaat-membranen. De membranen die op de markt zijn, hebben een retentie van 90 à 97 %. Het is hiermee mogelijk brak water met een totaal zoutgehalte tot ongeveer 5000 mg/l in één fase te ontzouten tot een gehalte van 500 mg/l.

(Dit gehalte van 500 mg/l wordt door de WHO aangegeven als het maximaal gewenste zoutgehalte voor drinkwater.) Voor de ontzilting van zeewater met een totaal zoutgehalte van ca. 35.000 mg/l is de retentie van deze membranen te gering om in één stap een voldoende resultaat te bereiken. Dit proces is dan ook aanvankelijk in twee stappen uitgevoerd.

De afgelopen paar jaar zijn echter membranen van andere polymeren ontwikkeld waarmee wél in één fase zeewater ontzout kan worden tot een gehalte van 500 mg/l. In de komende jaren kunnen wij gezien de hoeveelheid research die op dit gebied uitgevoerd wordt verwachten dat membranen ontwikkeld zullen worden met een hoge retentie en met een grotere doorlatendheid voor water, dan nu reeds het geval is. Hierdoor kan de druk van 27 ato die momenteel toegepast wordt bij behandeling van licht brak water en die van 54 ato die voor ontzilting van zeewater nodig is, waarschijnlijk nog met 20 à 40 % verlaagd worden. De energiekosten worden hierdoor in belangrijke mate verlaagd [6].

**Membraansystemen**

Een membraan bestaat zoals reeds gezegd uit een dun vlies met een dikte van 0,1 mm. Het zal duidelijk zijn dat dit niet in staat is zonder meer de betrekkelijk hoge drukken die worden toegepast (27 tot 54 atmosfeer) te weerstaan. Om aan deze eis toch te voldoen zijn een aantal systemen ontwikkeld.

De vier belangrijkste membraansystemen die voor ontzilting van water worden toegepast, zijn:

- het buisvormig;
- het spaghetti;
- het spiraalgewonden;
- het holle vezel.

**1. Buisvormig membraansysteem**

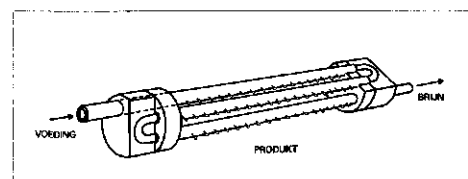
Bij dit systeem wordt het membraan aangebracht aan de binnenzijde van een poreuse buis van bijv. geïmpregneerd papier. Deze buis is vervolgens in een drukbestendige steunbuis geplaatst die van kleine gaatjes is voorzien voor de afvoer van het produkt. Het water stroomt dus van binnen naar buiten door het membraan. Een aantal van deze buizen wordt in serie geplaatst, door de uiteinden in flenzen met kanalen te steken, zoals in afb. 5 is te zien.

Het geheel wordt een module genoemd. Het nadeel van dit systeem is dat de capaciteit van een module betrekkelijk gering is. Anderzijds heeft het het voordeel dat het betrekkelijk ongevoelig is voor vervuiling.

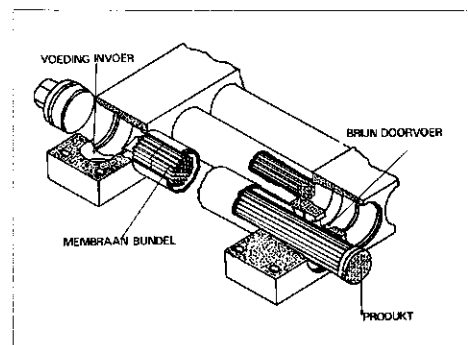
**2. Spaghettimembraansysteem**

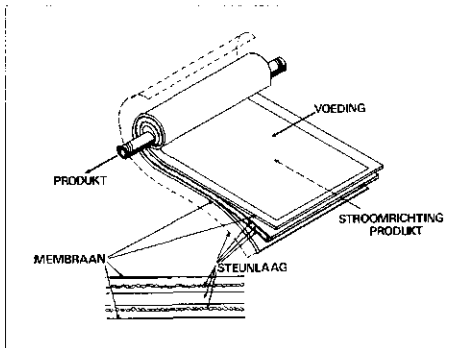
Hierbij is het membraan aangebracht op een geweven kunststof kous, die over een flexibele staaf met groeven is geschoven. Dit geheel doet denken aan slierten spaghetti,

Afb. 5 - Buisvormig membraan systeem.



Afb. 6 - Spaghetti membraan systeem.





Afb. 7 - Spiraal gewonden membraan systeem.

waaraan het dan ook zijn naam ontleent. Enkele tientallen spaghetti's worden in bundels in een drukbestendige buis geplaatst, om op die wijze een module te vormen (zie afb. 6). De capaciteit van deze module is hoger dan van die, welke met buisvormige membranen is uitgerust. Het heeft daarentegen het nadeel dat het gevoeliger is voor vervuiling.

### 3. Spiraalgewonden membraansysteem

Dit systeem is in principe opgebouwd uit twee vlakke membranen, die op elkaar gelegd worden en aan drie buitenzijden aan elkaar gelijmd worden, zodat een enveloppe ontstaat. Aan de binnenzijde is deze enveloppe gevuld met een poreus materiaal, aan de buitenzijden wordt een spacer van kunststof gaas gelegd.

Nadat de open zijde van de enveloppe op een buis is aangesloten, wordt het geheel opgerold en in een drukbestendige buis gebracht.

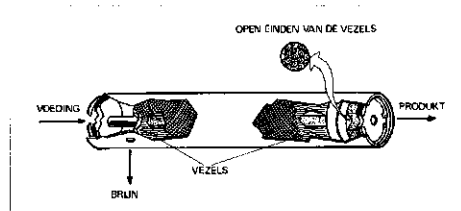
Het voedingwater stroomt hierbij dus in de lengterichting van de module langs het membraan terwijl het produkt via het poreus materiaal aan de binnenkant van de enveloppe naar de centrale afvoerbuis gaat (zie afb. 7).

Deze module heeft een betrekkelijk hoge capaciteit terwijl het betrekkelijk ongevoelig is voor vervuiling. Meer dan 70 % van de geïnstalleerde capaciteit van hyperfiltratie-installaties, is dan ook uitgerust met dit type module.

### 4. Holle vezelmembraansysteem

De membranen van dit systeem bestaan uit holle vezels met een dikte van ongeveer 0,1 mm. De uiteinden van een bundel vezels van ca. 1 miljoen stuks worden in een kunststof flens gegoten. Het geheel wordt in een drukbestendige buis geplaatst, waarbij de kunststof uiteinden als afdichting dienst doen. Het water stroomt hierbij dus van de buitenzijde van de vezels naar binnen (zie afb. 8).

Deze module heeft het grootste membraanoppervlak en heeft dan ook de grootste capaciteit. Het is echter tevens het meest



Afb. 8 - Holle vezel membraan systeem.

gevoelig voor vervuiling. Ongeveer 20 % van de geïnstalleerde capaciteit van de hyperfiltratie-installaties is op dit moment uitgerust met deze modules.

### Opbrengst

Het percentage voedingwater dat omgezet wordt in produkt wordt de opbrengst genoemd.

Omdat het voedingwater met een redelijke snelheid langs de membranen moet stromen om de concentratiepolarisatie binnen de perken te houden is de opbrengst per module meestal onvoldoende.

Om toch een voldoende hoge opbrengst te halen worden een aantal modules in serie geplaatst. De snelheid in de modules neemt echter af omdat er produktwater door de membranen verdwijnt. Om dit euvel te ondervangen kunnen wij een zgn. kerstboom-opstelling toepassen (zie afb. 9).

Hetzelfde effect kan bereikt worden door één of meer circulatiepompen toe te passen (zie afb. 10). Deze opstelling heeft echter het nadeel dat de extra pompen en het extra leidingwerk dat nodig is de installatie duurder maken.

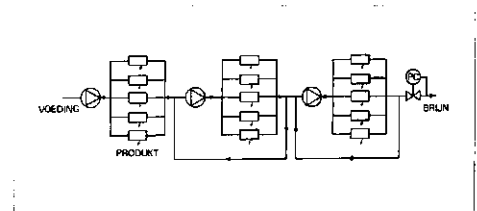
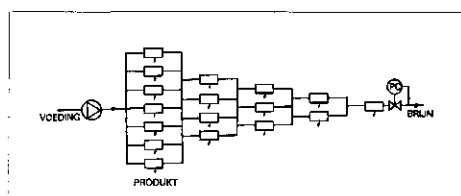
Er wordt in het algemeen naar gestreefd een hoge opbrengst te bereiken, omdat er dan weinig energie met de brijn verloren gaat.

Een hoge opbrengst heeft echter weer het nadeel dat de concentratie van de verontreinigingen toeneemt, waardoor de membranen sneller vervuilen.

### Vervuiling

Het grootste technologische probleem dat zich voordoet bij hyperfiltratie is het optreden van vervuiling van de membranen. Deze vervuiling kan een aanzienlijke daling van de capaciteit van de installatie veroorzaken, zodat dit ongewenst is. De belangrijkste oorzaken van vervuiling van membranen is de aanwezigheid van:

Afb. 9 - 'Kerstboom' schakeling.



Afb. 10 - Circulatie systeem.

1. opgeloste stoffen met een geringe oplosbaarheid, zoals

- calciumcarbonaat en calciumsulfaat;
- organische humusverbindingen;
- ijzer- en mangaancomplexen van humusverbindingen;

2. colloïden, zoals

- olie;
- ijzer- en mangaanoxiden;
- zwavel;
- humusverbindingen;

3. gesuspendeerd materiaal, zoals

- kleideeltjes;
- bacteriën;
- detritus.

Voor de praktijk betekent dit in het algemeen dat oppervlaktewater gezuiverd moet worden door bijv.:

- chloring (desinfectie);
- coagulatie met ijzer- of aluminiumzouten;
- vlokverwijdering;
- snelfiltratie.

De kwaliteit van het water na deze behandeling is meestal voldoende voor het buisvormig membraansysteem.

Voor het spaghetti- en spiraalgewonden-systeem hangt het sterk af van de kwaliteit van het ruwe water of de genoemde voorzuivering voldoende is. Holle vezels daarentegen vergen meestal een extra coagulatiestap, gevolgd door snelfiltratie (zgn. 'in line coagulatie'). Wordt brak grondwater als grondstof gebruikt dan kan vaak een voorzuivering achterwege blijven. Vervuiling door precipitatie van calciumcarbonaat kan door de verlaging van de pH door bijv. de dosering van zoutzuur, zowel voor grond- als oppervlaktewater afdoende bestreden worden. Ook worden complexvormende stoffen zoals polyfosfaten toegepast, hiermee kan bovendien de precipitatie van calciumsulfaat worden voorkomen. Naast de dosering van zoutzuur en polyfosfaten wordt ook ontharding toegepast. Ionenwisseling wordt vaak voor kleine installaties gebruikt. Voor grote installaties zoals die op dit moment in Saoedi-Arabië worden gebouwd met een capaciteit van 120.000 m<sup>3</sup>/dag, past men kalk-soda-ontharding toe.

Ondanks een zorgvuldige voorzuivering en de dosering van chemicaliën is het nodig de

membranen na korte of langere tijd te reinigen. Chemicaliën zoals zoutzuur, citroenzuur en detergents worden afhankelijk van de aard van de vervuiling toegepast.

De milieuvriendelijkste reinigingsmethode is echter die waarbij schuimpropjes gebruikt worden om de membranen schoon te vegen. Deze methode kan echter alleen bij buisvormige membranen worden toegepast.

**Energieverbruik**

Om een zoutoplossing te scheiden in een oplossing met weinig zout en één met een hoger zoutgehalte zoals bij alle onziltingsprocessen gebeurt, is energie nodig. De energie die hiervoor minimaal nodig is wordt verbruikt wanneer het gehele proces uit thermodynamische oogpunt volledig omkeerbaar plaatsvindt.

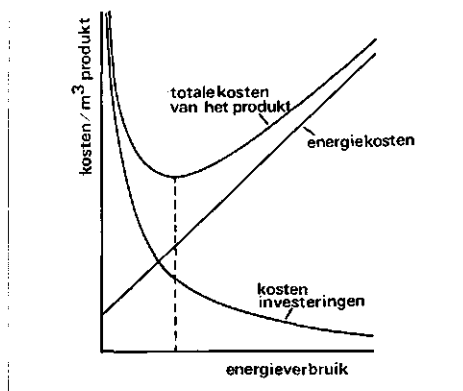
Voor zeewater is deze minimaal benodigde energie 0,7 kWh/m<sup>3</sup>. Water met een lager zoutgehalte zoals Rijnwater vergt evenredig minder energie en is ongeveer 0,02 kWh/m<sup>3</sup>. In de praktijk is echter steeds een veelvoud nodig omdat wij de processen uit economische overwegingen in belangrijke mate onomkeerbaar laten verlopen [7].

Zo is bijv. de energie die nodig is bij hyperfiltratie minimaal wanneer het drukverschil over een membraan minimaal is. Dit zou echter betekenen dat wij voor de productie van enig ontzout water een oneindig groot membraanoppervlak moeten gebruiken. Dit is uiteraard niet mogelijk. Afb. 11 geeft dit effect nog eens op andere wijze weer [8]. De energie die in de praktijk op dit moment nodig is voor licht brak water en zeewater is bij een toegepaste druk van resp. 27 en 54 ato 1,5 kWh/m<sup>3</sup> en 9 kWh/m<sup>3</sup>. Hierbij is dan gerekend met een opbrengst van 75 % voor brak water en 25 % voor zeewater. Wordt de energie die in de vorm van druk met de brijn verloren gaat teruggewonnen dan daalt de energie die voor zeewater nodig is tot circa 6,5 kWh/m<sup>3</sup>.

Voor brak water lijkt het echter niet lonend energie terug te winnen, zodat deze hoeveelheid gelijk blijft. Vergelijken wij deze waarden met die, welke nodig zijn voor flashverdamper dan is voor hyperfiltratie 15-maal minder energie nodig voor brak water en 3-maal minder voor zeewaterontziltting. Hyperfiltratie is dus uit energetisch oogpunt vergeleken met flashverdamper een aantrekkelijk proces [9].

**Toepassingen**

In de korte tijd dat hyperfiltratie voor toepassing in de praktijk beschikbaar is, heeft het reeds een interessant aandeel verworven in de totaal geïnstalleerde ontzilttingscapaciteit in de wereld. Op 1 januari 1976 waren



Afb. 11 - Het verband tussen produktiekosten, investeringskosten en energieverbruik.

er 370 installaties in bedrijf met een capaciteit van elk meer dan 100 m<sup>3</sup>/dag, hetgeen 13 % van de totale ontzilttingscapaciteit is. Elektrodialyse zorgt voor 5 % en de verdampingsprocessen verzorgen de rest. Tabel I geeft een gedetailleerd overzicht van het aandeel dat de verschillende ontzilttingstechnieken aan de totale geïnstalleerde capaciteit leveren [10]. Verdampingsprocessen worden voornamelijk toegepast voor zeewater terwijl hyperfiltratie en elektrodialyse tot nu toe brak water als grondstof hebben. De belangrijkste ontwikkelingen voor wat de toepassing van hyperfiltratie betreft vinden wij in het buitenland.

Zo is de grootste installatie die voor de bereiding van drinkwater in bedrijf is opgesteld in Venice (Florida VS). De capaciteit van deze installatie is 3600 m<sup>3</sup>/dag en zuivert grondwater.

Bij de industrie zijn echter reeds geruime tijd grotere installaties in bedrijf. Zo is op dit moment de grootste met een capaciteit van 15.000 m<sup>3</sup>/dag in Japan in bedrijf. Oppervlaktewater wordt hiermee ontzilt voor industriële toepassingen [11]. In Orange County (California VS) wordt op dit moment een installatie gebouwd met een capaciteit van 18.000 m<sup>3</sup>/dag. Voorgezuiverd afvalwater zal hiermee worden behandeld, met het doel het na infiltratie in de bodem, weer te gebruiken als drinkwater of irrigatiewater voor de sinasappelplantages [12].

Een interessante bijzonderheid bij dit project is dat een flashverdamper (kosten \$ 17.10<sup>6</sup>) die bedoeld was om in de behoefte te voorzien, buiten bedrijf is genomen. De reden hiervan is dat het Office of Water Research and Technology van het Ministerie van Binnenlandse Zaken de subsidie voor het in bedrijf houden van deze verdamper heeft ingetrokken, met het argument dat verdampingsprocessen in vergelijking met membraanprocessen te veel energie vergen.

In 1978 zal in Saoedi-Arabië een installatie in bedrijf worden genomen voor de ontziltting van het grondwater ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening. De capaciteit zal 120.000 m<sup>3</sup>/dag zijn. Voorts is in ontwerp een installatie met een capaciteit van 350.000 m<sup>3</sup>/dag voor de behandeling van een deelstroom van de rivier de Colorado in de VS (Yuma). Dit project staat in verband met contractuele verplichtingen van de Verenigde Staten tegenover-Mexico om het zoutgehalte van de rivier de Colorado beneden een bepaald niveau te houden. Het ligt in de bedoeling de installatie in 1981 in bedrijf te nemen [13].

In Nederland zijn de ontwikkelingen niet zo spectaculair als in het buitenland. De toepassing van hyperfiltratie in de tuinbouw mag echter niet onvermeld blijven, daar op dit moment meer dan 100 tuinders hun giet- en sproeiwater voor hun planten met behulp van hyperfiltratie uit grondwater bereiden. Er zijn op dit moment meer dan 100 installaties in het Westland en omgeving van Aalsmeer in bedrijf met een capaciteit van elk 25 à 50 m<sup>3</sup>/dag.

**Kosten**

Een verhaal over een nieuwe filtratietechniek die meer kan dan elke andere filtratiemethode zou niet compleet zijn als geen indruk gegeven wordt van de kosten. Het is mijns inziens nog moeilijk om een volledige berekening voor Nederlandse omstandigheden te geven, daar er op dit moment in ons land geen installaties in bedrijf, aanbouw of in ontwerp zijn van

TABEL I - De totale ontzoutingscapaciteit op 1-1-1976 in de wereld.

Processen	Technieken	Capaciteit m <sup>3</sup> /dag	%
Distillatie	Compressie-verdamper	17.000	0,7
	Meer-effect-verdampers	110.000	4,4
	Ondergedompelde spiraalverdamper	160.000	6,3
	Meertraps-ontspanverdampers	1.773.000	70,4
	Totaal distillatie-processen	2.060.000	81,8
Membraan	Hyperfiltratie	330.000	13,1
	Electrodialyse	130.000	5,1
	Totaal membraan-processen	460.000	18,2

enige omvang, waarvan de gegevens beschikbaar zijn.

Wij moeten daarom volstaan met het geven van een indruk hiervan aan de hand van een tweetal voorbeelden uit de VS, namelijk Orange County en Yuma (zie tabel II) [13, 14].

### Toepassingsmogelijkheden in Nederland

Hyperfiltratie kan naar mijn mening ook in Nederland een aantrekkelijke bijdrage leveren bij de openbare drinkwatervoorziening. Wij moeten hierbij in de eerste plaats denken aan toepassing als ontziltingstechniek.

In de toekomst kan ook de verwijdering van organische stoffen, zware metalen en virussen uit oppervlaktewateren aantrekkelijk worden. Voorlopig zijn de conventionele methoden zoals actieve koolfiltratie en coagulatie echter nog goedkoper. Wordt de norm voor het toelaatbaar organisch koolstofgehalte drastisch verlaagd voor drinkwater, dan is hyperfiltratie in elk geval een goede aanvulling op actieve koolfiltratie. Voor wat de toepassing als ontziltingsmethode betreft is hyperfiltratie een alternatief voor of aanvulling op de volgende methoden die gebruikt worden wanneer het zoutgehalte van het water te hoog is.

1. Mengen door middel van voorraadvoorzorging, wanneer het zoutgehalte tijdelijk te hoog is (Spaarbekkens, Infiltratie).
2. Aanvoer van water met een voldoende laag zoutgehalte, over relatief grote afstand.
3. Ontzilting van het water dat permanent een te hoog zoutgehalte heeft, door middel van flashverdamping (Terneuzen, Texel).
4. Distributie van water met een zoutgehalte dat de norm die men zich gesteld heeft overschrijdt.

#### Ad 1.

Voor het eerste geval kan hyperfiltratie ertoe bijdragen dat de omvang van nieuwe spaarbekkens of infiltratiegebieden beperkt kan worden tot een grootte die nodig is om andere functies, die deze hebben te vervullen, zoals de opvang van een calamiteit, de verbetering van de kwaliteit van het water en overbrugging van perioden waarin geen ruw water beschikbaar is.

Een bijzonder groot voordeel van hyperfiltratie is dat de capaciteit in relatief kleine stappen kan worden uitgebreid, omdat het systeem uit eenheden met een betrekkelijk kleine capaciteit is opgebouwd. Aanloopverliezen kunnen hierdoor tot een minimum beperkt worden.

#### Ad 2.

Moet het water over een grote afstand aangevoerd worden dan is ontzilting van licht brak water — dat veelal in Nederland

TABEL II - Kosten van hyperfiltratie per m<sup>3</sup> produkt.

1. Orange County (in aanbouw)		
Capaciteit 18.000 m <sup>3</sup> /dag, bezettingsgraad 92 %		
Afschrijving 20 jaar, rente 7 % kWh \$ 0,02		
	Investering	Kosten per
Installatie	\$ 2,5 10 <sup>6</sup>	\$ 0,037
Terrein, gebouwen, leidingen, etc.	\$ 0,5 10 <sup>6</sup>	\$ 0,008
Contract onderhoud incl. vervanging membranen		\$ 0,036
Energie		\$ 0,045
Chemicaliën		\$ 0,019
		\$ 0,145
Voorzuivering		\$ 0,11
<b>Totaal</b>		<b>\$ 0,255</b>

2. Yuma (in ontwerp)  
Capaciteit 350.000 m<sup>3</sup>/dag, bezettingsgraad 90 %  
Afschrijving 20 jaar, rente 5½ %

	Investering	Kosten per
Voorzuivering	\$ 56.10 <sup>6</sup>	\$ 0,026
Hyperfiltratie	\$ 70.10 <sup>6</sup>	\$ 0,033
Terreinen, gebouwen, leidingen etc.	\$ 23.10 <sup>6</sup>	\$ 0,010
Exploitatie, onderhoud, reparatie, energie		\$ 0,088
<b>Totaal</b>		<b>\$ 0,157</b>

Uit de twee genoemde voorbeelden volgt een kostprijs van f 0,25 à f 0,36/m<sup>3</sup> exclusief voorzuivering. De gehanteerde rentevoet en kWh-prijs zijn voor de huidige Nederlandse omstandigheden wat aan de lage kant, anderzijds vertonen de kosten van de modules een dalende tendens zodat een prijs voor onze omstandigheden van f 0,35 à f 0,50/m<sup>3</sup> dan ook reëel lijkt. Hierbij moet bovendien worden opgemerkt dat het produkt voor dit bedrag voor 90 % van het zout ontdaan wordt, hetgeen vaak niet nodig is zodat met een deelstroom ontzout volstaan kan worden. De prijs van het eindprodukt wordt dan belangrijk lager.

#### 3. Zeewater

Berekening van the Office of Water Research and Technology in de VS geven voor de ontzilting van zeewater met een installatie van 3600 m<sup>3</sup>/dag inclusief voorzuivering en kostprijs van f 1,50/m<sup>3</sup>. Deze prijs is lager dan die met flashverdamping bereikt kan worden. Hyperfiltratie zal dan ook naar het zich laat aanzien een belangrijke concurrent voor flashverdamping worden.

wel ter plaatse aanwezig is — een interessant alternatief. De aanleg van lange transportleidingen kan dan immers achterwege blijven, hetgeen in ons dichtbevolkte land een voordeel is. Bovendien worden aanloopverliezen, die bijv. optreden wanneer de capaciteit van de leidingen nog slechts ten dele benut worden, vermeden.

#### Ad 3.

Als ontziltingsmethode voor zeewater wordt hyperfiltratie geleidelijk meer toegepast, zodat deze methode een concurrent wordt

voor onder andere flashverdamping, vooral voor kleinere installaties.

Ook kan brak grondwater, dat meestal aanwezig is in de situatie dat zeewater ontzilt wordt, als grondstof dienen voor hyperfiltratie. Deze methode is in het algemeen aanzienlijk goedkoper dan verdamping.

#### Ad 4.

De distributie van water dat een hoger zoutgehalte heeft dan de norm die men zich gesteld heeft is geen echte oplossing. Het verdient mijns inziens in die situatie dan ook zeker aanbeveling hyperfiltratie toe te passen.

### Samenvatting

Samenvattend mag uit het bovenstaande geconcludeerd worden dat toepassing van hyperfiltratie bij de bereiding van drinkwater in Nederland serieuze overweging verdient.

### Literatuur

1. Fischer, E., 1976. *Umkehrosmose in Theorie und Praxis*. Gas, Wasser, Wärm, 2: 46-48.
2. Sourirajan, S., 1969. *Reverse Osmosis*, Logos Press, Londen.
3. Doud, D. H., 1976. *Field Experience with five Reverse Osmosis Plants*. Water and Sewage Works, 96 - 98.
4. Flinn, J., *Membrane Science and Technology*. Plenum Press, New York.
5. Kuiper, D., 1976. *Hyperfiltration for treatment of brackish water, especially polluted surface water*. Eleventh Congress of the International Water Supply Association, Amsterdam.
6. Channabassappa, K. C., 1976. *Need for new and better membranes*. Desalination, 18: 15-42.
7. Spiegler, K. S., 1969. *Principles of Desalination*. Academic Press, New York.
8. Porteous, A., 1975. *Saline water distillation processes*. Longman, London.
9. Channabassappa, K. C., 1975. *Status of Reverse Osmosis Desalination Technology*. Desalination 17: 31-67.
10. Maurel, A., 1976. *Comparaison des procédés et les coûts de l'eau dessalée*. Session d'études sur le Sésatement des Eaux, Institut National des Sciences et Techniques Nucleaires Saclay.
11. Kimura, S., 1976. *Present Status of the Reverse Osmosis Process in Japan*. Progress of Desalination Technology in Japan. Japan Cooperation Center for the Middle East.
12. Argo, D. G., 1976. *Energy and Water Supply*. Orange County, California. Eleventh Congress of the International Water Supply Association, Amsterdam.
13. Taylor, J. G. and Haugseth, L. A., 1976. *Yuma desalting plant design*. First Desalination Congress of the American Continent, Mexico City.
14. Argo, D. C. and Nusbaum, J., 1976. *Water Factory 21. An Alternative Approach*. Fourth Annual Conference National Water Supply Improvement Association, Oklahoma City.
15. Channabassappa, K. C., 1976. *A comparison of seawater desalination processes and their economics*. First Desalination Congress of the American Continent, Mexico City.

