

Ontzoutingstechniek en kostprijs

Grondslagen basisplannen 10

Ten geleide

In het kader van de opstelling van de basisplannen voor de toekomstige drink- en industriewatervoorziening, werden door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening studies verricht aangaande de kosten welke met de zuivering van grond- en oppervlaktewater zijn gemoeid. Deze studies werden eerder als grondslagen basisplannen gepubliceerd.

Reeds vroegtijdig werd het noodzakelijk geacht verregaande aandacht te besteden aan de mogelijkheden die de tot nu toe bekende ontzoutingstechnieken bieden voor de voorziening in de toenemende waterbehoefte. In samenwerking tussen KIWA NV en RID leidde deze gedachtengang tot de opstelling en uitvoering van een speurwerkprogramma voor de evaluatie van de ontzoutingstechnieken. De uitvoering van het speurwerkprogramma berust bij het KIWA, terwijl door het RID een eerste aanzet werd gemaakt tot een nadere financieel-economische evaluatie van de ontzoutingstechnieken.

Ik vertrouw erop dat de door ir. J. G. Booij uitgevoerde literatuurstudie zal bijdragen tot een verdere gedachtenbepaling aangaande de huidige plaats van de ontzouting binnen de watervoorziening van bevolking en industrie in Nederland.

Ir. T. Verheul

1. Algemeen

Om in de toekomst bevolking en industrie van voldoende water te kunnen blijven voorzien is het nodig reeds nu planologische en bestuurlijke maatregelen te nemen. Zuivering van het water van onze grote rivieren zal een steeds belangrijker rol gaan spelen. Het is daarbij nodig over grote oppervlakken terrein voor onder- en bovengrondse opslag van al of niet voorgezuiverd ruw water te beschikken. Reservering van deze gronden zal nu nodig zijn. De bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater tegen een nog redelijke prijs vraagt voorts een niet al te zeer verontreinigd oppervlaktewater.

Het hoeft geen betoog dat in ons dichtbevolkte land een beslag op grote oppervlakken grond niet gewenst is. Ook de afhankelijkheid van de waterproductie van de graad van verontreiniging van het oppervlaktewater geeft te denken. Het is duidelijk, dat ontzoutingstechnieken in dit licht bezien van belang kunnen zijn, temeer waar in ons land tevens in ruime mate over zowel brak als zout grond- en oppervlaktewater kan worden beschikt. In het navolgende zijn daarom de op dit moment belangrijke technieken op dit gebied en de kosten verbonden aan de bouw en de bedrijfsvoering van hierop gebaseerde installaties, nader besproken.

2. Destillatie

Destillatie berust op het eenvoudige principe, dat door verdamping een scheiding tussen vluchtige en minder vluchtige stoffen, in dit geval water en in water opgeloste stoffen wordt verkregen.

Waterproductie op grote schaal vraagt een zuinig warmte verbruik. Voor de ontworpen destillatiesystemen komt dit er op neer dat de warmte in de eenmaal binnen een installatie gevormde waterdamp een aantal malen opnieuw voor waterverdamping wordt gebruikt.

Tot omstreeks 1958 waren dit installaties, waarbij in afzonderlijke reservoirs, effecten genoemd, het zoute water, onder van effect tot effect lagere druk door de vrijkomende warmte van condenserende waterdamp in spiraalvormige in het ruwe water ondergedompelde buizen, werd verdampt. De warmte in de in het ene effect gevormde waterdamp diende daarbij voor de verdamping van water in het andere, opvolgende effect.

Deze installaties vonden, ondanks de hoge kosten die de grote warmtewisselende oppervlakken van corrosiebestendige materialen met zich meebrachten toch ruimschoots toepassing, vooral in de exploratiegebieden van de olie-industrie, waar de kosten van de warmte-energie geen rol spelen.

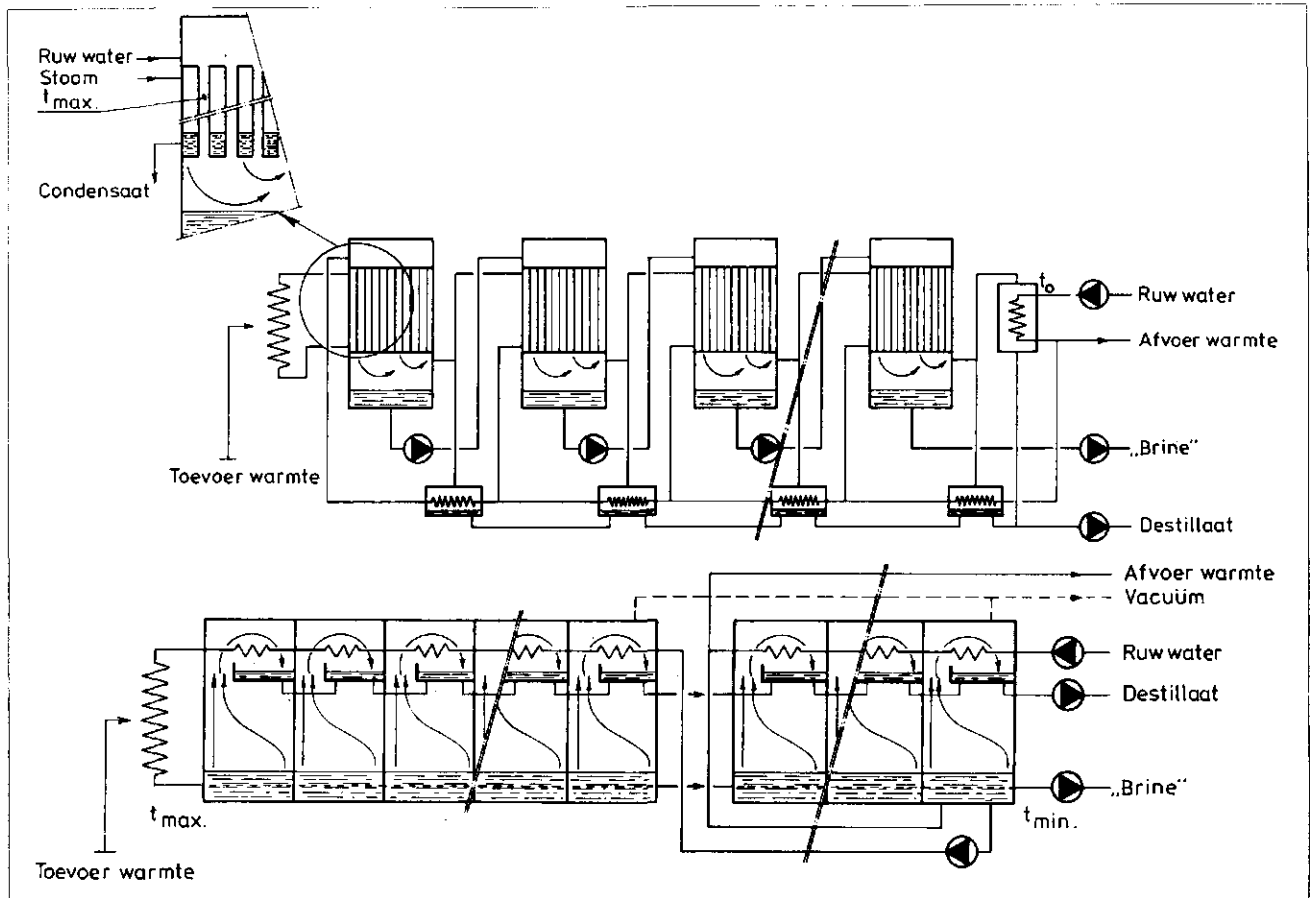
Het hoge warmteverbruik bij deze installaties vond vooral z'n oorzaak in de bij lage temperaturen zeer progressief toenemende kookpuntsverhoging over de vloeistofhoogte in de reservoirs. Een oplossing hiervoor werd gevonden in de later ontwikkelde vallende filmverdamper (zie afb. 1a).

De in het ruwe water ondergedompelde verwarmingspiralen werden hierbij vervangen door een stelsel van verticale dunwandige buizen, waarbij op de buitenwand condenserende waterdamp de warmte levert voor de verdamping van het in een dunne laag langs het binnenoppervlak stromende ruwe water. Van dit type installaties werd slechts een beperkt aantal gebouwd, waarvan die te Freeport, Texas (zie afb. 2), en die te Shevchenko aan de Kaspische Zee de enige met een redelijk grote capaciteit zijn.

De kosten waren ondanks een aanzienlijk teruggedrongen warmteverbruik, ook bij deze installaties door de omvangrijke warmtewisselende oppervlakken nog hoog. Daarbij bracht de bedrijfsvoering van de per effect over een groot aantal buizen verdeelde ruwwaterstroom en van het grote aantal pompen, — één per effect — nog de nodige moeilijkheden met zich mee.

Het was dan ook niet verwonderlijk dat, nadat op een gegeven moment door de onderkenning van de technische mogelijkheden van het ontspanningsverdampingsproces een aanzienlijke reductie van het warmtewisselende oppervlak werd verkregen, het vallende film-verdampingsproces op de achtergrond geraakte. Eerst nu begint dit systeem weer aan belang te winnen. Door intensieve research komt een sterke verbetering van de warmteoverdracht over warmtewisselende oppervlakken in zicht, terwijl de in installaties van dit type opgedane ervaring tot technisch verbeterde constructies heeft geleid.

Toonaangevend is echter nog steeds het ontspanningsverdampingsproces (zie afb. 1b). Het water in het verwarmde ruwe water wordt hierbij in een aantal, opvolgend onder lagere druk staande trappen, door zelfont-



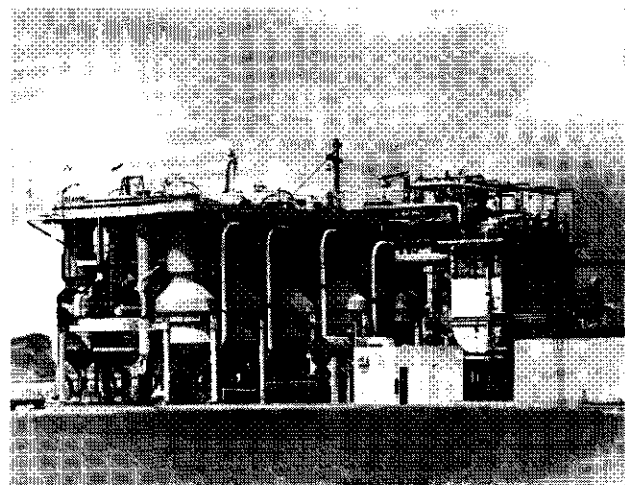
Afb. 1a (boven) - Meereffecten vallende film verdamper (zonder recirculatie), 1b (onder) - Meertrapsontspanningsverdampers met recirculatie.

spanning verdampt. De gevormde waterdamp wordt op de toevoer-ruwwaterstroom tot condensatie gebracht en vervolgens in een soort troggen opgevangen.

Het verschil tussen beide destillatie-systemen laat zich op globale wijze als volgt aanduiden.

Voor een vallende filmverdampers, schematisch weergegeven in afb. 1a is in principe het warmteverbruik gefixeerd. Bij een gegeven warmtewisselend oppervlak varieert de desillaat-opbrengst ongeveer evenredig met het temperatuurverschil $t_{max} - t_o$ en de gemiddelde warmteoverdrachtcoëfficiënt.

Afb. 2 - Freeport, Texas; „vallende film” verdampers; cap. $1,4 \cdot 10^6$ m³ p.j. (W. L. Badger Ass. Inc.).



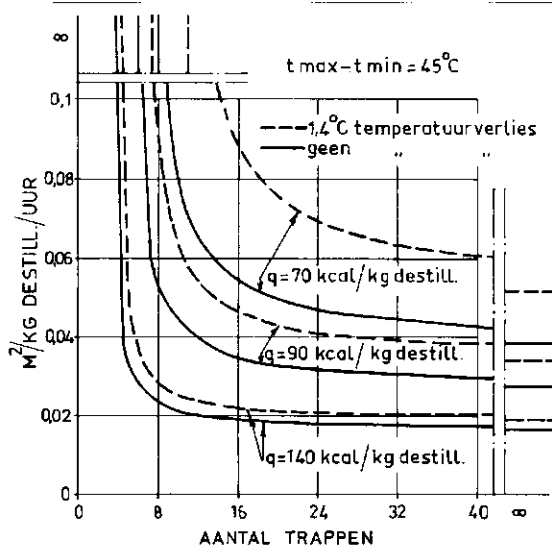
Vergroting van het aantal effecten tot n heeft een met een factor $1/n$ evenredige afname van het voor warmte-transport in een effect beschikbare temperatuurverschil en van het warmteverbruik per hoeveelheid destillaat tot gevolg. Warmtewisselend oppervlak en specifiek warmteverbruik zijn derhalve rechtstreeks van n afhankelijk.

Voor ontspanningsverdampers ligt dit verband minder eenvoudig. Hier bepalen het temperatuurverschil $t_{max} - t_{min}$ (zie afb. 1b) en de hoeveelheid ruw water bij intrede in de eerste trap de hoeveelheid destillaat die wordt geproduceerd. Onafhankelijk hiervan is het specifieke warmteverbruik. Tussen dit warmteverbruik en de benodigde warmtewisselende oppervlakte bestaat een verband. Voor een bepaalde warmteoverdrachtscoëfficiënt (2400 kcal/m²/uur/°C) en een gegeven temperatuurtraject is dit weergegeven in afb. 3.

Duidelijk is te zien dat vergroting van het aantal trappen binnen een effect (door tussenplaatsing van relatief weinig kostende stalen schotten) in een bepaald gedeelte van de in afb. 3 getekende grafieken, een sterke reductie van het (veel kostende) warmtewisselende oppervlak tot gevolg heeft.

Zowel bij vallende film- als bij ontspanningsverdampers laten zich het aantal effecten respectievelijk het aantal trappen in een effect voor een gegeven energieprijis slechts door optimalisatie van de installatie bepalen, zodanig dat de kosten per kubieke meter geproduceerd water minimaal zijn.

Hoewel de warmteoverdracht, o.a. door de wand van de warmtewisselende buizen van een speciaal profiel te voorzien, aanmerkelijk kan worden verbeterd, heeft dit



Afb. 3 - Benodigd specifiek warmtewisselend oppervlak als een functie van het aantal trappen bij een bepaald specifiek warmteverbruik.

weinig zin, als niet kan worden voorkomen dat afzettingen uit het ruwe water op de warmtewisselende vlakken een barrière tegen de warmtestroom door de wand vormen.

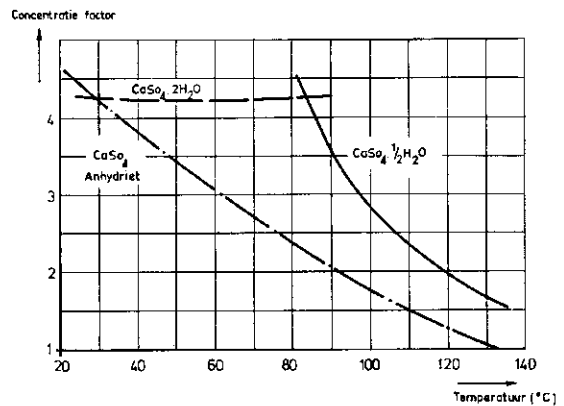
Deze neerslagen, in hoofdzaak calciumcarbonaat, magnesiumhydroxyde en fosfaten, laten zich in installaties slechts in beperkte mate tegengaan. Na verloop van tijd is daardoor een grondige schoonmaak van de warmtewisselende oppervlakken nodig. Aankorsting van fosfaten wordt zoveel mogelijk voorkomen door de indikking van het ruwe water en de temperatuur daarvan te beperken. Voor zeewater is dit in afb. 4 door de ingetekende oplosbaarheidsgrenzen voor calciumsulfaat, -halfhydraat, -dihydraat, resp. -anhydriet aangegeven.

Een procestemperatuur van 120° C bij een anderhalf tot tweevoudige indikking is dan ook tot nu toe de hoogste procestemperatuur die in bestaande installaties, en dan nog slechts bij uitzondering, wordt toegelaten. De vorming van neerslagen van calciumcarbonaat en magnesiumhydroxyde wordt in de meeste gevallen door een aangepaste dosering van een zuur of een polyfosfaat bestreden.

In enkele gevallen zijn ook uitstekende resultaten bereikt door kristallisatiekernen in het ruwe water mee te laten circuleren, zelfs zouden afzettingen van fosfaten op deze wijze kunnen worden vermeden.

Niet vergeten mag worden, dat behalve de warmteoverdracht, ook de hoeveelheid water die in een bepaalde tijd door het ruwwateroppervlak in de installatie wordt verdampt, in hoge mate van invloed is op de omvang van de installatie. Onderzoekingen op dit gebied hebben nog geen duidelijk begrip van de daarbij plaatsvindende fysische verschijnselen verschaft. Wel moet worden geconstateerd, dat in dit opzicht het filmverdamingsproces duidelijke voordelen heeft op het ontspanningsverdamingsproces.

Behalve een goede warmteoverdracht en een zo volledig mogelijke verdamping is beperking van de corrosie van het metaal van de installatie belangrijk. Het gebruik van corrosiebestendige metalen als cupro-nikkel, aluminium brons, roestvrijstaal en monel heeft echter niet kunnen



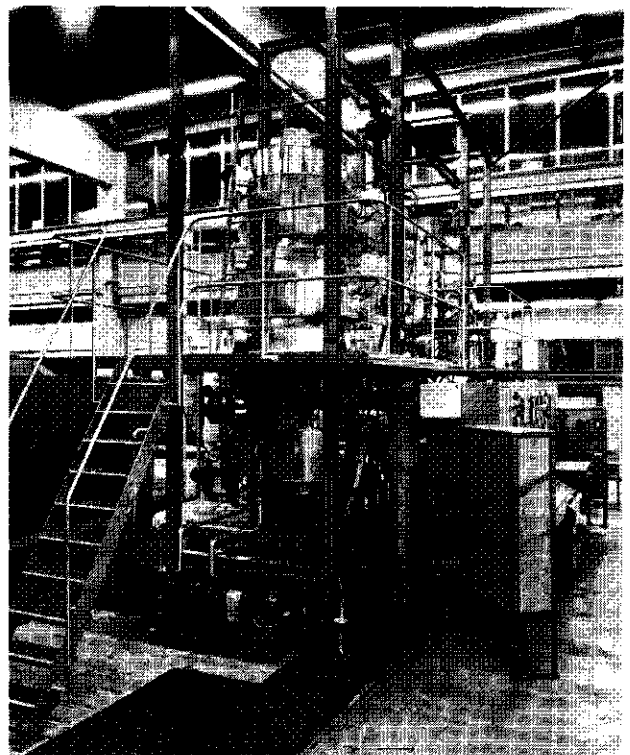
Afb. 4 - Oplosbaarheid van calciumsulfaat-halfhydraat, -dihydraat, resp. -anhydriet in zeewater (volgens Langelier e.a.).

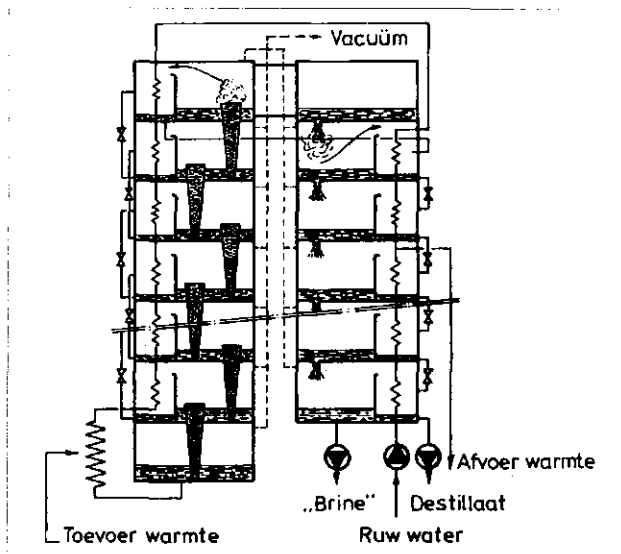
voorkomen dat bedrijfsstagnaties toch zeer vaak hun oorzak vinden in aantasting van installatiedelen.

Een verdoorgevoerde ontgassing van het ruwe toevoerwater met daarop volgende zuurgraadcorrectie wordt veel toegepast o.a. met het doel corrosie tegen te gaan.

Vermeld dient nog te worden een ontspanningsverdamingsproces in ontwikkeling bij het laboratorium voor energievoorziening van de Technische Hogeschool te Delft (zie afb. 5). Hierbij wordt in de zgn. stijptrappen met hoge temperatuur het ruwe water in verticale buizen tussen boven elkaar geplaatste kamers door adiabatische ontspanning verdampt en omhoog getransporteerd, ter

Afb. 5 - Experimentele drietrapsontspanningsverdampner; valtrappen (TH Delft).





Afb. 6 - Verticale meertrapsontspanningsverdamer met stijg- en valtrappen.

wijl bij de lagere temperaturen het ruwe water in zgn. valtrappen, eveneens boven elkaar gebouwd, verdampt (zie afb. 6).

3. Omgekeerde osmose

Waterzuivering op deze wijze berust op een systeem waarbij het water in het ruwe water onder een hogere dan een bepaalde, van de zoutconcentratie in het ruwe water afhankelijke druk, de osmotische druk, door een in principe uitsluitend water doorlatend membraan wordt geperst. Doordat alleen het water de membraanwand passeert ontstaat aan de hoge-druk-zijde van het membraan een toename van de zoutconcentratie in het ruwe water en stijgt de osmotische druk. De optimale druk wordt daardoor niet alleen door de zoutconcentratie in het voedingswater en de zoutdoorlatendheid van de membraanwand bepaald, maar ook door de hoeveelheid water, die van het ruwe water wordt afgescheiden.

De opbouw van zouten voor de membraanwand kan laag worden gehouden door het voedingswater een voldoende hoge snelheid te geven, waardoor een turbulente stroming wordt bevorderd.

Eerst, nadat door Loeb en Sourirajan in 1965 op een speciale wijze membranen van celluloseacetaat werden vervaardigd, die behalve een redelijke zoutretentie een

eveneens redelijke wateropbrengst per eenheid oppervlak hadden, kreeg waterzuivering door omgekeerde osmose enig perspectief voor toepassing in installaties van grote capaciteit. Vanaf dat moment dateert een ontwikkeling, die zich enerzijds richt op het ontwerpen van steunconstructies voor de membranen en anderzijds op een verbetering van de membraankarakteristieken. Wat dit laatste betreft zijn revolutionaire vorderingen op dit moment nog slechts in het laboratorium verwezenlijkt.

Nog steeds gaat een hoge zoutretentie gepaard met een lage waterflux door de membraanwand en omgekeerd. Dit maakt dat tot nu toe, alleen brak water tegen niet al te hoge kosten kan worden gezuiverd.

Wel wordt het vervaardigingsproces van membranen van celluloseacetaat beter beheerst, waardoor membranen met een grotere bedrijfszekerheid in grote aantallen met nagenoeg uniforme karakteristieken kunnen worden gemaakt.

Wat de ondersteuning van de membranen betreft, was aanvankelijk een zgn. plaat en frame-constructie gebruikelijk. Hierbij werd het membraan op een gegroefde of poreuze metalen plaat aangebracht. De ontwikkeling is nu gericht op constructies waarbij de membranen ofwel kokervormig ofwel spiraalvormig zijn uitgevoerd, opgerold gezamenlijk met een tussenliggend labyrintachtig gestructureerd materiaal. Vooral de constructie, waarbij het membraan is aangebracht tegen het binnenoppervlak van een, hetzij poreuze, hetzij geperforeerde buiswand biedt naast een hoge pakkingsdichtheid de mogelijkheid de membranen op eenvoudige wijze te vervangen. Een simpele oplossing voor het probleem van een geschikte ondersteuning vormen de door Du Pont geïntroduceerde „hollow fibers” (zie afb. 7 en 7a). Hierbij bestaat de semi-permeabele wand uit haardunne buizen ($\varnothing 25 \times 50 \mu\text{m}$), vervaardigd uit een speciale polyamide. De relatief lage waterflux door de membraanwand ($45 \text{ l/m}^2/\text{dag}$ bij een zoutretentie van 90 % en een overdruk van 30 ato) wordt hier gecompenseerd door een hoge pakkingsdichtheid.

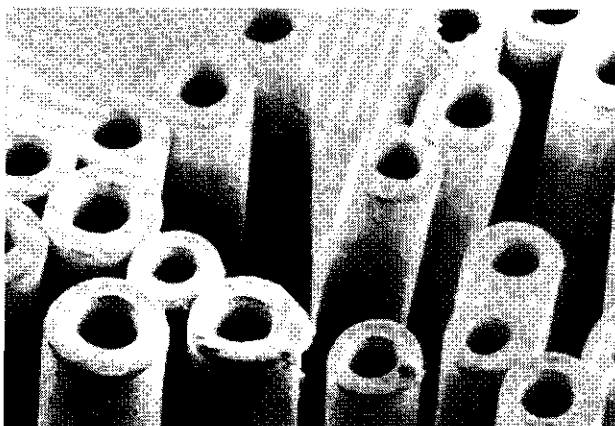
Beide constructies maken samenbouw van grote membraan oppervlakken binnen een, in installaties gemakkelijk verwisselbaar, moduul mogelijk. In afb. 8 is de constructieve opbouw van een moduul met hollow fibers weergegeven. De dunne holle draden, in lusvorm, zijn daarbij aan begin en eindpunt in een epoxyhars gegoten. In afb. 9 is schematisch een omgekeerde osmose-installatie weergegeven.

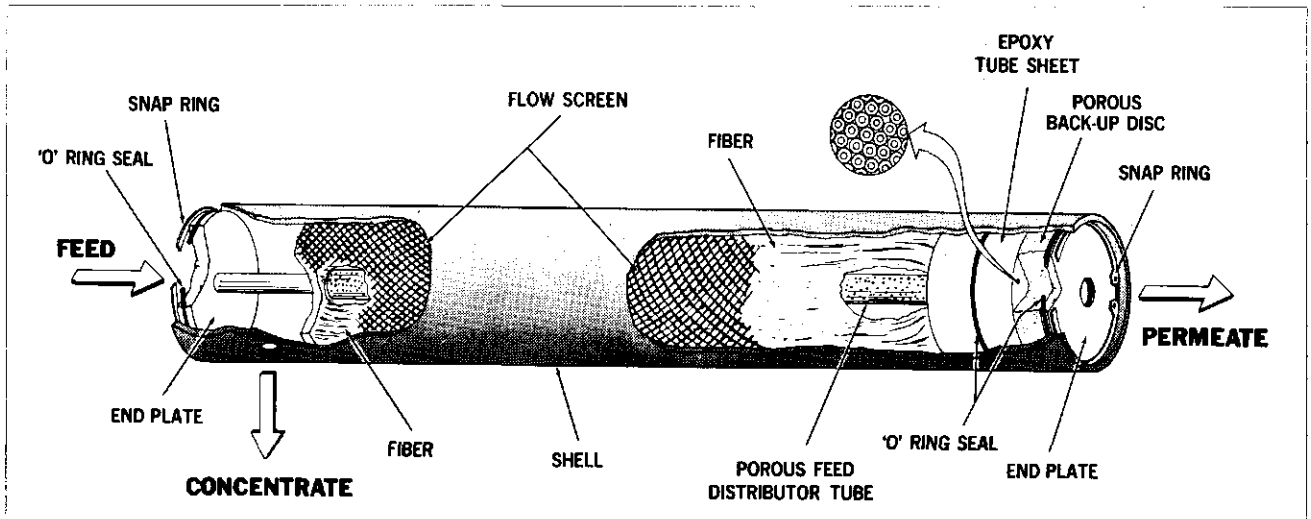
Omgekeerde osmose biedt voor drinkwaterbereiding het

Afb. 7 - „Hollow fibers”.



Afb. 7a - Du Pont, hollow fibers.





Afb. 8 - Du Pont, B9 „permeator”; cap. 7 m³/dag (diam. 0,14 m, lengte 1,2 m).

voordeel, dat een nagenoeg volledige scheiding tussen het voedingswater en het gezuiverd produkt ontstaat. De membranen bieden daarbij voorts nog het voordeel, in hoge mate bacteriën en smaakstoffen tegen te kunnen houden. Het energieverbruik (voor brak water) is relatief laag, terwijl een betrekkelijk eenvoudige installatie nodig is. Een bezwaar vormt de tot nu toe korte levensduur (gemiddeld $\frac{3}{4}$ jaar) van de membranen (hollow fiber ongeveer 2 jaar) en de noodzaak tot voorbehandeling van het voedingswater, waardoor de kosten hoog worden.

Vooral vervuiling van de membranen door organische stof is een oorzaak van een na enige tijd sterk teruglopende wateropbrengst van het membraanoppervlak. De voorbehandeling kan variëren van een volledige upflow-zandfiltratie met chemicaliën-dosering tot een eenvoudige zandfiltratie zonder meer.

Slechts een klein aantal installaties van noemenswaardige capaciteit, waarvan één te Yotvatah in de Negev Woestijn (zie afb. 10), is tot nu toe gebouwd.

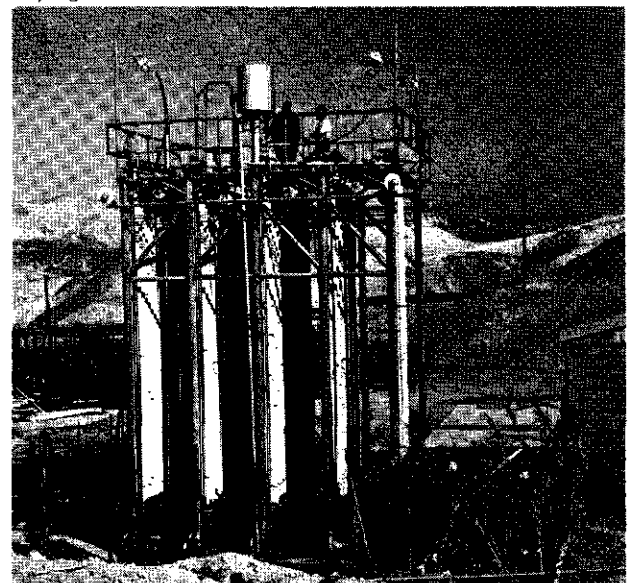
4 Elektrodialyse

Waterzuivering door elektrodialyse wordt reeds wijdverbreid toegepast in een groot aantal installaties van merendeels geringe capaciteit. Positief en negatief geladen ionen in een tussen kat- en anionpermeabele membranen stromende ruwwaterstroom, worden hierbij onder invloed van een elektrisch veld in onderling tegengestelde rich-

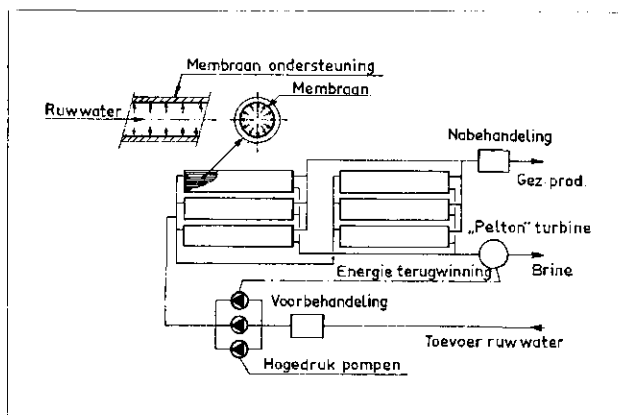
ting door de vloeistof en de membranen verplaatst. Anionen worden door de anionpermeabele membranen doorgelaten en door de kationpermeabele membranen tegengehouden. Met kationen gebeurt het omgekeerde. Dit heeft tot gevolg dat tussen de membranen zich afwisselend ruwwaterstromingen met afnemende en met toenemende zoutconcentratie zullen vormen (zie afb. 11).

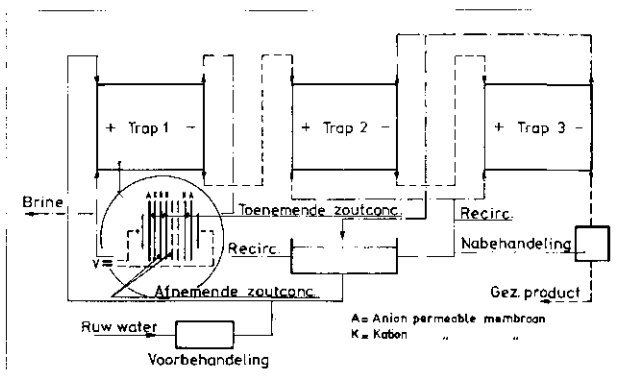
De stroomgeleiding vindt in hoofdzaak door ionen plaats. De elektrische energie die wordt verbruikt is daardoor nagenoeg lineair evenredig met de hoeveelheid zout, die wordt verwijderd. Ontzouting door elektrodialyse van water met een zoutgehalte hoger dan 6000 mg per liter is dan ook meestal te kostbaar. Membranen, onderling van elkaar gescheiden door „spacers” worden ook hier in grote aantallen, tot nu toe tot maximaal 640 stuks met een oppervlak per membraan van 1,2 m², samengebouwd. Door een speciale vorm van de „spacers” wordt turbulente stroming tussen de membranen bevorderd en de hydrodynamisch gevormde grenslaag langs het membraanoppervlak zoveel mogelijk onderbroken, waardoor concentratieverschillen van ionen tot op zekere hoogte

Afb. 10 - Yotvatah, omgekeerde osmose installatie; cap. 200 m³/dag.



Afb. 9 - Schema omgekeerde osmose installatie.





Afb. 11 - Schema drietraps elektrolyse installatie.

worden vermeden. De toelaatbare stroomsterkte wordt vooral door dit laatste bepaald.

Een goede voorbehandeling van het ruwe water is ook hier een eerste vereiste voor een betrouwbare werking en een lange levensduur van de membranen. Nog meer dan bij omgekeerde osmose vormt organische vervuiling hier een oorzaak van het onwerkzaam worden der membranen.

De gemiddelde levensduur van de membranen in een elektrolyse-installatie varieert momenteel tussen de twee en vijf jaar.

Een eerste installatie van deze soort op commerciële basis, waarvan de capaciteit (7×10^6 m³ per jaar) aanmerkelijk groter is dan tot nog toe gebruikelijk, is in aanbouw in Benghazi, Libië.

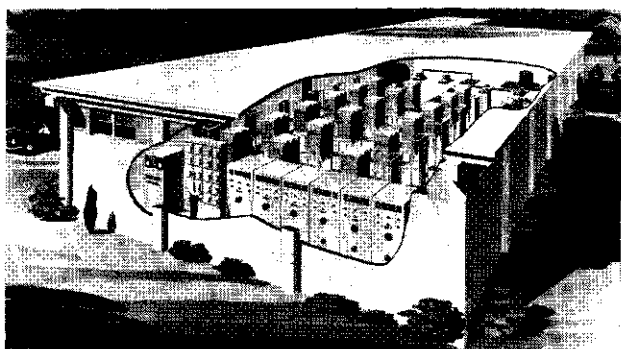
In Japan wordt elektrolyse op grote schaal toegepast, echter met het doel zeewater voor zoutwinning te concentreren. Op deze wijze wordt daar in een kwart van de zoutbehoefte voor huishoudelijk verbruik voorzien.

5. De kosten van ontzouting

Hoewel de kosten van waterproductie door ontzoutingstechnieken op dit moment nog hoger zijn dan die van waterzuivering op conventionele wijze, zal toch reeds in een aantal gevallen toepassing verantwoord kunnen zijn. Dit geldt bijvoorbeeld daar waar een speciale kwaliteit van het geproduceerde water wordt verlangd of in gebieden met een geïsoleerde ligging ten opzichte van andere bronnen van watervoorziening.

Voor genoemde ontzoutingstechnieken zijn de kosten uitgewerkt, gebruik makend van door fabrikanten verstrekte prijzen en in de literatuur vermelde gegevens. Bij de extrapolatie van de kosten naar grotere capaciteiten

Ionics Inc. elektrolyse installatie te Bari, Italië; cap. 200 m³/dag.



is gebruik gemaakt van de, in opdracht van het Amerikaanse Office of Saline Water verrichte studies betreffende kostendalingen bij schaalvergroting.

De berekende kostprijzen hebben, behalve op de installatie zelf, betrekking op gebouwen, voor zover nodig voor de installatie en onderhoudsruimten, rente tijdens de bouw, de „bruto” grond, het energieverbruik, bediening, het onderhoud van de installatie, een innamepunt van het ruwe water op 200 meter van de installatie en salarissen.

Geen rekening is gehouden met de kosten verbonden aan de afvoer van de geconcentreerd zoutwaterstroom; evenmin is de bouw van bufferreservoirs in de kosten betrokken.

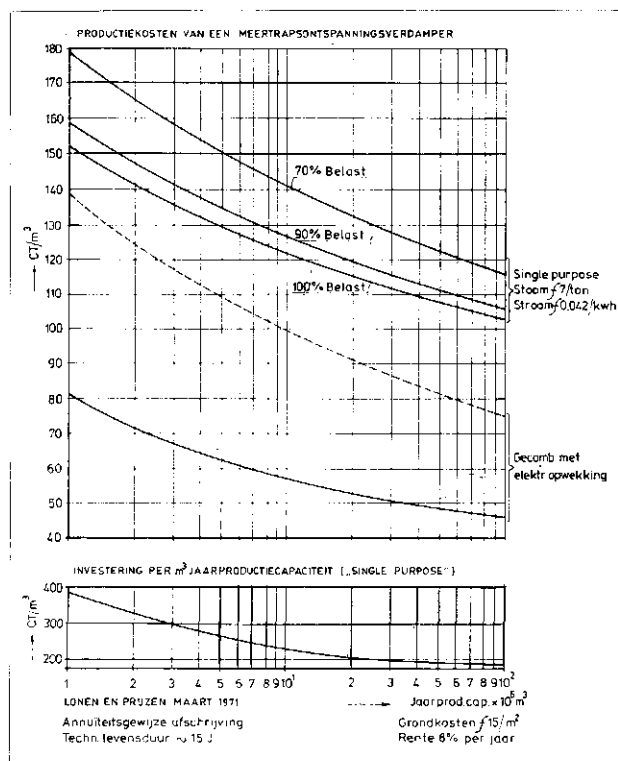
Voor ontspanningsverdamperen zijn in afb. 12, behalve de kosten van „single purpose” bedrijf tevens die van gecombineerde water- en elektriciteitsproductie weergegeven. De onmogelijkheid de productie van beide installaties van moment tot moment op elkaar af te stemmen laat echter slechts toe het gebied aan te duiden waarbinnen deze kosten meestal zullen vallen.

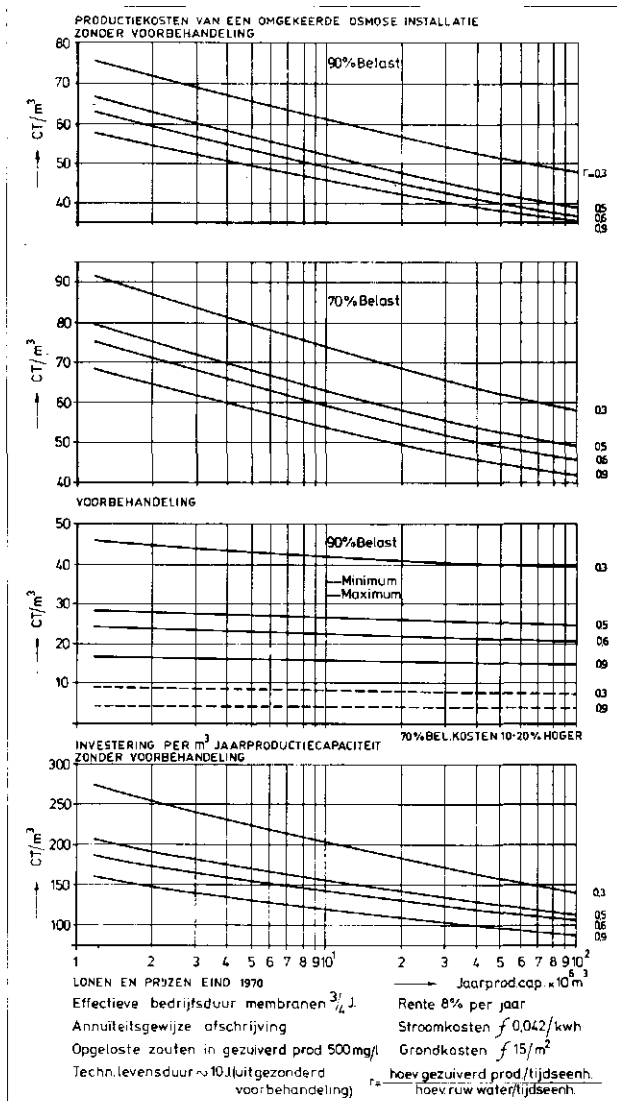
De kosten van voorbehandeling, relatief van weinig invloed op de totale kosten zijn niet afzonderlijk weergegeven, dit in tegenstelling tot die van voorbehandeling bij de andere genoemde processen.

De in afb. 13 en 14 aangegeven kosten voor membraanprocessen, worden voor omgekeerde osmose in hoge mate bepaald door de hoeveelheid water, die aan het ruwe water wordt onttrokken; voor elektrolyse door de hoeveelheid opgeloste zouten in het toevoerwater. Het enigermate nauwkeurig bepalen van de kosten uit laatstgenoemde grafieken is slechts mogelijk indien de hoedanigheid van het toevoerwater volledig bekend is.

Aanzienlijk meer dan bij conventionele zuiveringstechnieken zijn bij de ontzoutingprocessen de kosten van de energie van invloed op de totale kosten. Voor destillatie-

Afb. 12 - Kosten van waterzuivering door destillatie.





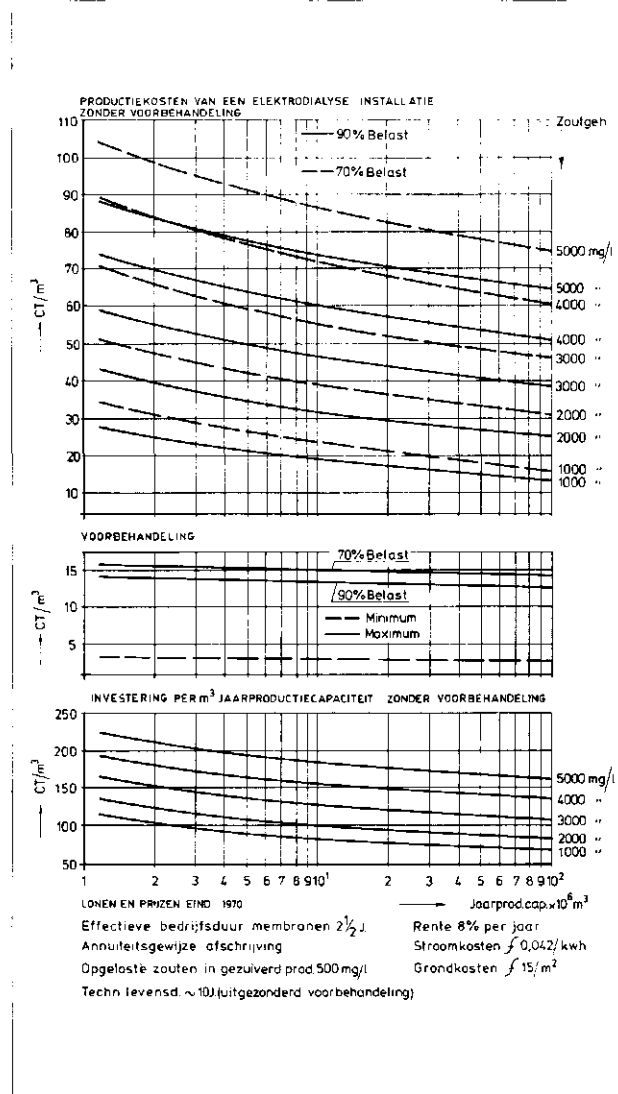
Afb. 13 - Kosten van waterzuivering door omgekeerde osmose.

installaties zal in veel gevallen gebruik van goedkope afvalwarmte van andere industriële processen mogelijk zijn. Voor elektrolyse en omgekeerde osmose ligt een dergelijke „total energy” oplossing minder voor de hand. Gezien de hoge kapitaalsintensiviteit van de produktie is voorts een zo volledig mogelijke benutting van de capaciteit van de installaties een voorwaarde voor een lage kubiekemeterprijs van het water. Voor in bedrijf zijnde destillatie- en elektrolyse-installaties blijkt dat slechts een tussen de 40 en 60 % liggende gemiddelde benutting van de zuiveringscapaciteit wordt bereikt.

Dit vindt vooral zijn oorzaak in de veelvuldige, vaak langdurige bedrijfsstagnaties, die door technische storingen worden veroorzaakt. Voor omgekeerde osmose-installaties zijn nog geen cijfers te geven.

6. Slot

Vooruitlopend op een mogelijk onder drang der omstandigheden versnelde verdere technische ontwikkeling van de ontzoutingstechnieken zal een kostendaling, toepassing in ruimere mate mogelijk maken; vooreerst in de industrie, echter in een later stadium ook bij de openbare drinkwatervoorziening. Voor langetermijnplanning moet rekening worden gehouden met enerzijds een geleidelijk



Afb. 14 - Kosten van waterzuivering door elektrolyse.

aantrekken van de kosten van waterzuivering uit oppervlaktewater, anderzijds met een afname van de kosten van waterbereiding door middel van enkele ontzoutingstechnieken.

Vooreerst laat het zich aanzien, dat alleen het destillatieproces reële mogelijkheden biedt voor waterproduktie op grote schaal. De kosten hierbij zullen echter de eerste tijd nog hoger liggen dan die van conventionele zuiveringstechnieken. De hoge zuiverheid van het bij dit proces verkregen water maakt op dit moment in een aantal industrieën financieel verantwoord gebruik mogelijk.

Literatuur

- d'Orival, M. *Water desalting and nuclear energy.*
- Klaren, D. G. *Onderzoek naar de werkwijze en uitvoeringsvormen van verticale ontspanningsverdampers.*
- Pieper, G. A. *Belangrijke technische en economische aspecten van meertrapsontspanningsverdampers.*
- Frankel, A. *Flash evaporators for the distillation of sea-water.*
- OSW, R. & D. report, no. 509. *Engineering and economic evaluation study of reverse osmosis.*
- OSW, R. & D. report, no. 488. *Parametric economic and engineering evaluation study of the electrolysis process for water desalination.*