

8. Reed, O.M. 1973. *Papio cynocephalus* age determination. *Amer. J. phys. Anthropol.*, 38:309-314.
9. Siegel, M.J. & P.W. Sciulli 1973. Eruption sequence of the deciduous dentition of *Papio cynocephalus*. *J. Med. Primatol.*, 2:247-248.
10. Freedman, L. 1962. Quantitative features of the deciduous dentition of *Papio ursinus*. *S.Afr. J. Sci.*, 58:229-236.
11. Stoltz, L.P. 1977. *The population dynamics of baboons Papio ursinus Kerr 1792 in the Transvaal*. D.Sc.-proefskrif, Univ. van Pretoria.
12. Schultz, A.H. 1935. Eruption and decay of the permanent teeth in primates. *Amer. J. phys. Anthropol.*, 19:489-581.
13. Shaw, J.C.M. 1927. Four cases of forth molar teeth in South African baboons. *J. Anat. Lond.*, 52:79-85.
14. Bramblett, C.A. 1976. *Patterns of primate behavior*. Mayfield Publishing Co.: Palo Alto.
15. De Vore, I. 1965. *Primate behavior*. Holt, Rinehart & Winston: New York.
16. Zuckerman, S. 1926. Growth changes in the skull of the baboon *Papio porcarius*. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 55:843-873.
17. Krogman, W.M. 1930. Studies in growth changes in the skull and face of anthropoids and Old World apes. *Amer. J. Anat.*, 46:315-353.

## Ontsoouting van brakwaters en konsentring van industriële uitvloeiels deur middel van elektrodialise

J.J. Schoeman en G.R. Botha

Nasionale Instituut vir Waternavorsing, WNNR, Posbus 395, Pretoria 0001

### UITTREKSEL

*Elektrodialise (ED) word hoofsaaklik vir die ontsoouting van brakwater vir drinkdoeleindes gebruik. Met die polariteitwisselingsproses kan brakwaters met hoë konsentrasies van skalievormende verbindings suksesvol sonder die byvoeging van chemikalieë behandel word. Die betroubaarheid van die ED-proses maak dit gunstig vir waterbehandeling.*

*Alhoewel die hoofgebruik van ED brakwaterontsoouting is, kan die proses ook in sekere nywerheidstoepassings aangewend word. Plateringswaswaters, koeltoringsirkulasiewater en glasetsinguitvloeiels is al suksesvol met ED vir waterherwinning en uitvloeielsvolumevermindering behandel. Die behandeling van nikkalgalvaniseringswaswater is reeds 'n gevestigde nywerheidsproses.*

*Verdunde chemiese uitvloeiels van ammoniumnitraat, natriumsulfaat, swaelsuur, soutsuur, natriumasetaat en natriumbikarbonaat kan ook met ED gekonsentreer word. Hoër konsentrasies met 'n gunstiger energieverbruik word met die soute as met die sure verkry.*

*Die elektrodialiseproses het die potensiaal om elektroliete in verdunde oplossings te konsentreer. Nuwe toepassings behoort ondersoek te word.*

### ABSTRACT

#### *Desalination of brackish water and concentration of industrial effluents by electrodialysis*

*Electrodialysis (ED) is, at present, used mainly for the desalination of brackish drinking-water. Brackish water with a high scaling potential can be successfully treated, using the electrodialysis reversal (EDR) process without the addition of chemicals. The reliability of the ED process makes it very attractive for water treatment.*

*Although used mainly for brackish water desalination, ED also has certain industrial applications. Plating wash waters, cooling tower recirculation water and glass etching effluents have been treated successfully with ED for water recovery and effluent volume reduction, while ED treatment of nickel plating wash waters is an established industrial process.*

*Dilute chemical effluents containing ammonium nitrate, sodium sulphate, sulphuric acid, hydrochloric acid, sodium acetate or sodium bicarbonate can be concentrated using ED. However, higher concentrations with favourable energy consumption are achieved with the salts than with the acids.*

*The electrodialysis process has the potential to concentrate electrolytes in dilute solutions. New applications should be explored.*

### INLEIDING

Die ontsoouting van brak- en seewater om water van geskikte gehalte vir drink- en nywerheidsdoeleindes te produseer, word wêreldwyd toenemend beoefen. Benewens distillasie en tru-osmose is die elektrodialiseontsooutingsproses (ED), veral vir toepassing op die ontsoouting van brakwater, deeglik beproef en word dit op groot skaal in die praktyk toegepas.<sup>1</sup>

Reeds in die twintigerjare het 'n Duitse maatskappy, Elektro-osmose AG, gepoog om die proses te kommersialiseer, maar hy kon weens 'n gebrek aan geskikte membrane nie daarin slaag nie. ED het eers na 1948, toe sintetiese ionuitruilmembrane ontwikkel is, 'n praktiese, kommersiële proses geword. Die wetenskaplike en Nywerheidsnavorsingsraad (WNNR) het in die vyftigerjare baanbrekerswerk op

die gebied van ED gedoen en ook deelgeneem aan gesamentlike ontwikkelingswerk saam met Frankryk, Engeland, Nederland en Israel. Tussen 1954 en 1959 is 'n 10 900 m<sup>3</sup>/d-aanleg ontwerp en gebou om brakwater by die nuwe goudvelde in die Oranje-Vrystaat te ontsout.<sup>2</sup> Voordat die aanleg ten volle in bedryf gestel kon word het die behoefte aan ontsouting begin verval en het die plaaslike ontwikkelingspoging verflou.

'n Aansienlike deel van die ED-ontwikkelingswerk is in die VSA, waar Ionics Inc. die leiding geneem het, gedoen,<sup>3</sup> en in 1954 het hulle die eerste kommersiële eenheid aan 'n Arabies-Amerikaanse oliemaatskappy verkoop. Ook in Engeland, Holland, Frankryk en Japan het maatskappye tot die mark toegetree en teen 1980 was die wêreld se ED-ontsoutingskapasiteit reeds 202 230 m<sup>3</sup>/d.<sup>4</sup> 'n Aanduiding van die snelgroeiende mark is dat 42 persent van hierdie kapasiteit die afgelope drie jaar verkoop is. Dit sluit ook 'n paar klein seewaterontsoutingseenhede in. Ionics Inc. het ten spyte van kwaai kompetisie steeds die mark gedomineer en ook die polariteitwisselingsproses, wat sekere membraanbevuilingsprobleme kan voorkom, tot 'n praktiese proses, die sogenaamde 'Electrodialysis Reversal' (EDR-) proses, ontwikkel. Hierdie nuwe proses vind steeds wyer toepassing en teen 1979 was die geïnstalleerde kapasiteit reeds 68 000 m<sup>3</sup>/d.

Die toepassing van ED vir die behandeling van nywerheidsuitvloeiels het vroeg reeds aandag begin geniet, maar tot op hede is slegs enkele voorbeelde in die literatuur beskryf waar die proses vir die konsentring of herwinning van chemikalieë of volumevermindering van uitvloeiels geëvalueer is.<sup>5,6,7</sup>

Alhoewel toepassing van ED op nywerheidsuitvloeiels tot nou toe redelik gering was, bied geneen van die ander ontsoutingsprosesse op die oog af beter kans op suksesvolle toepassing nie; derhalwe het die Nasionale Instituut vir Watnavorsing (NIWN) besluit om die potensiaal van ED vir bepaalde konsentringstoepassings te ondersoek. Die resultate van dié ondersoek word in hierdie artikel bespreek.

### ELEKTRODIALISEBEDRYFSBEGINSELS

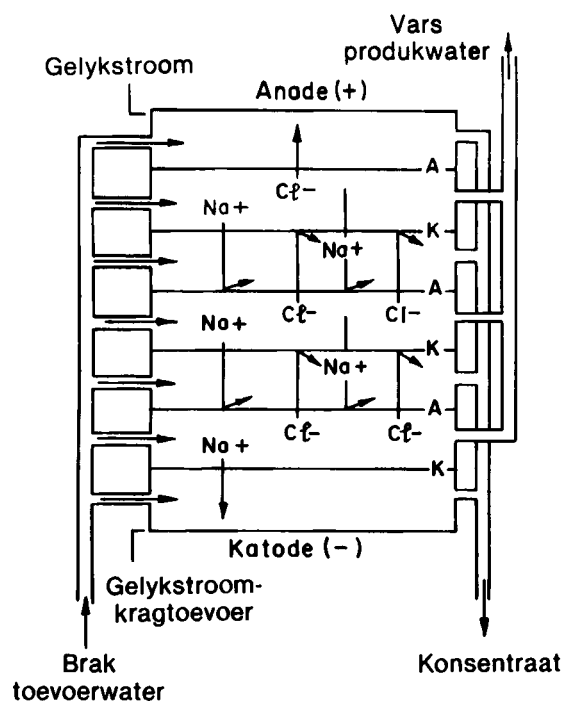
ED is 'n membraanproses wat berus op die vermoë van halfdeurlatende of positief- of negatiefgelaaiede membrane om bepaalde ione in 'n oplossing van geïoniseerde soute deur te laat, terwyl ander ione versper word. Soute wat in oplossing is, bestaan uit positief en negatief gelaaiede ione; so byvoorbeeld bestaan natriumchloried uit Na<sup>+</sup>- en Cl<sup>-</sup>-ione. As 'n direkte elektriese stroom deur so 'n oplossing gestuur word, beweeg die positiefgelaaiede ione (katione) na die negatiewe pool (katode), terwyl die negatiefgelaaiede ione (anione) na die positiewe pool (anode) beweeg. 'n Positief gelaaiede halfdeurlatende membraan, wat tussen elektrodes in die soutoplossing geplaas word, sal slegs anione deurlaat en katione versper; daarteenoor sal 'n negatief gelaaiede membraan katione deurlaat en anione versper.

'n Membraanpak van 'n elektrodialise-eenheid word skematies in Figuur 1 voorgestel. Die twee soor-

te membrane en spasiërders word afwisselend in die membraanpak gerangskik en vorm 'n reeks selle. Indien 'n gelykstrom oor die elektrodes aangewend word en brak toevoerwater deur die membraanpak gepomp word, ontstaan alternatiewe soutverrykte (pekkel-) en soutverarmde (produk-)waterstrome.

Kationiese membrane bestaan uit kruisgebonde polistireen wat gesulfoneer is. In 'n waterige medium ioniseer die sulfonaatgroep (-SO<sub>3</sub><sup>-</sup> Na<sup>+</sup>) om 'n mobiele Na<sup>+</sup>- en 'n onbeweegbare -SO<sub>3</sub><sup>-</sup>-ioon te vorm. Anioniese membrane bevat kwaternêre stikstofgroepe (-NR<sub>3</sub><sup>+</sup> Cl<sup>-</sup>) wat aan 'n soortgelyke polimeer verbind is. Die Cl<sup>-</sup>-ioon is mobiel en die -NR<sub>3</sub><sup>+</sup>-ioon onbeweegbaar.

Die nie-geleidende spasiërders dien om die membrane uitmekaar te hou en is ontwerp om 'n gelykmatige en turbulente watervloei oor die membraanoppervlaktes te bewerkstellig. Die afstand tussen die membrane wissel gewoonlik van 1 tot 3 mm.



A = anioniese membraan; K = kationiese membraan

FIGUUR 1: Skematiese voorstelling van elektrodialise.

Die elektrodes bestaan gewoonlik uit geplantiëerde titanium (anode) en vlekvrige staal (katode). Wanneer 'n gelykstrom oor die elektrodes aangewend word, word waterstofione by die katode onttrek, waterstofgas word vrygestel en die katoliet word alkalies. By die anode word chloor- en hidroksielione onttrek om chloor en suurstof onderskeidelik vry te stel, terwyl die anoliet suur word.

Polariteitwisseling, oftewel EDR, is 'n redelik onlangse ontwikkeling van die ED-proses, wat die vorming van onoplosbare skalie (bv. kalsiumsulfaat en -karbonaat) op die membraanoppervlak in die

konsentraat- en elektrodekompartemente grootliks verminder. Met die EDR-proses word die polariteit van die elektrodes elke 15 tot 20 min gewissel, sodat die ione in die teenoorgestelde rigtings beweeg. Die konsentraat kompartemente word dan ontsoutingskompartemente en die ontsoutingskompartemente konsentraatkompartemente. Enige skalie wat in die konsentraatkompartemente vorm, word opgelos, verkummel en uit die sisteem verwyder. Karbonaat-skalie in die katodekompartement word opgelos as gevolg van pH-verlaging omdat die anode en katode omruil. Nadat die gehalte van die produkwater (gewoonlik na 1 min.) herstel het, word daar met produksie voortgegaan.

### ENERGIEVERBRUIK

In die ED-proses word elektriese energie gebruik om water deur die sisteem te pomp, asook om ione deur die membrane te vervoer. Die pompe gebruik 0,5 tot 1,1 kWh/m<sup>3</sup> produkwater en in die membraanpak word ongeveer 0,7 kWh/m<sup>3</sup> produkwater, per g totaal opgeloste soute (TOS) verwyder, benodig. Die energieverbruik is verder naasteby eweredig aan die TOS-konsentrasie van die toevoerwater.<sup>3</sup>

Die energiebehoefte word in 'n sekere mate deur temperatuur beïnvloed. Hoër temperature verlaag die elektriese weerstand en dus die kragverbruik. As reël kan aanvaar word dat kragverbruik met ongeveer 2 persent daal vir elke 1°C styging in temperatuur bo 20°C. Hedendaagse membrane word beperk tot 'n maksimum temperatuur van ongeveer 60°C.

### VOORBEHANDELING VAN EDR-TOEVOERWATER

Soos by tru-osmose, maar gewoonlik in geringer mate, moet water voor ED-behandeling vooraf behandel word om die membrane te beskerm.<sup>3</sup> Swewende stowwe word gewoonlik met sandfilters en 5 µm-pitfilters verwyder. Die presipitasie van soute met 'n lae oplosbaarheid word met suurbyvoeging en/of polifosfaatbyvoeging geminimiseer. Yster en mangaan word gewoonlik deur seolietbehandeling of deur oksidasie en filtrasie verwyder.

Die vereistes vir voorbehandeling met ED is minder streng as vir tru-osmose, as gevolg van die aard van die soutskeiding en omdat die deurgange tussen die membrane groter is. Met ED beweeg die ione deur die membrane, terwyl die ione deur tru-osmosemembrane teruggehou en die water deurgelaat word. Soute met 'n lae oplosbaarheid kan dus op tru-osmosemembrane konsentreer, presipiteer, die membrane bevuil en die waterdeurgange verstop. Met die EDR-proses kan soute wat presipiteer, deur polariteitwisseling opgelos en uit die disteem verwyder word. Vir die EDR-proses moet swewende stowwe, yster en mangaan tot baie lae vlakke verwyder word om membraanbevuiling te voorkom. Die vervaardigers van EDR-eenhede beveel voorbehandeling aan, indien water die volgende bestanddele bevat:

- Vry chloor.
- Yster (>0,3 mg/ℓ).

- Mangaan (>0,1 mg/ℓ).
- Swaelwaterstof (>0,3 mg/ℓ).
- Troebelheid (>2 nefelometriese eenhede).

Biologiese groei op die membrane word gewoonlik deur chlorering voorkom. Die membrane is gevoelig vir chloor en daarom moet dit weer vooraf verwyder word. Geaktiveerde koolstof of natriumbisulfiet kan hiervoor gebruik word. Biologiese groei kan ook deur skokbehandeling met chemikalieë verwyder word.

### BRAKWATERONTSOUTING

Baie voorbeelde van die suksesvolle ontsouting van brakwater vir drinkdoeleindes deur die ED- en die EDR-proses word in die literatuur beskryf.<sup>3,8-14</sup> Twee tipiese voorbeelde van hierdie prosesse word bespreek.

#### Standaardelektrodialise

'n Standaard ED-eenheid (7 950 m<sup>3</sup>/d) word by Sanibeliland, Florida, VSA, gebruik om brakwater met 'n TOS-konsentrasie van 2 400 tot 2 700 mg/ℓ vir drinkdoeleindes te ontsout. Die water bevat ongeveer 5 mg/ℓ swaelwaterstof. Swaelwaterstof het 'n nadelige uitwerking op die membrane en word vooraf deur lugstropping en chlorering verwyder. Dechlorering vind oor geaktiveerde koolstof plaas en swewende stowwe word met sand- en pitfilters verwyder. Die ED-eenheid bestaan uit 42 membraanpakke wat in 14 ewewydige banke van 3 stadia elk opgestel word.

Bedryfsdata vir 1978 word in Tabel 1 getoon.

**TABEL 1**  
Bedryfsdata vir Sanibel-ED-aanleg (1978)

Toevoerwater-TOS:	2 460 mg/ℓ
Produkwater-TOS:	479 mg/ℓ
Kragverbruik:	2,3 kWh/m <sup>3</sup>
Waterkoste:	37,9 c/m <sup>3</sup>
Herwinning:	85%

**TABEL 2**  
Tipiese watergehalte voor en na EDR-behandeling<sup>11</sup>

Bestand-deel	Toevoerwater (mg/ℓ)	Produkwater (mg/ℓ)	Loog (mg/ℓ)
Na <sup>+</sup>	2 090	79	3 694
Ca <sup>2+</sup>	652	4	1 390
Mg <sup>2+</sup>	464	4	964
Cl <sup>-</sup>	3 687	111	7 084
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	134	25	175
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2 672	19	5 000
TOS	9 727	242	18 307
pH	7,0	6,8	7,2

Die aanleg word sedert 1973 bedryf en verg baie onderhoud as die membrane bevuil is en die membraanpakke vir reinigingsdoeleindes oopgemaak

moet word. 'n EDR-eenheid wat vir toetsdoeleindes by Sanibel gebruik word, vereis baie minder onderhoud.

### EDR-proses

Die werkverrigting van 'n EDR-proses (300 m<sup>3</sup>/d) vir die ontsouting van brakwater met 'n TOS-konsentrasie van 9 700 mg/l en hoë kalsium- en sulfaat-inhoud is onlangs beskryf.<sup>11</sup> Voorbehandeling het uit ysterverwydering deur belugting en adsorpsie op 'n natuurlike seoliet bestaan. Die gehalte van die toevoer-, produk- en loogwater word in Tabel 2 getoon.

Veertig persent van die toevoerwater is as produkwater herwin en die energieverbruik was 7,7 kWh/m<sup>3</sup>. Na 'n jaar het die elektriese weerstand oor die membraanpak met slegs 3 persent toegeneem. Hierdie geringe toename in weerstand getuig van die doeltreffendheid van die EDR-stelsel wat, ten spyte van die oorversadigde kalsiumsulfaattoestand van die loog, bevuilding voorkom en die membrane skoon hou. Die membraanleef tyd word op 10 jaar beraam.

### NYWERHEIDSTOEPASSINGS

Die afgelope jaar is verskeie voorbeelde in die literatuur beskryf waar ED op laboratorium- of loodsaaanleg skaal vir die herwinning van water en chemikalieë, uitvloeielsvolumevermindering en besoedelingsbeheer gebruik is.<sup>1,5-7,15</sup> 'n Paar sulke voorbeelde word bespreek.

#### Hersirkulering van waswater van 'n fosfaatplateringsproses

In die fosfaatplateringsproses word metale soos yster, staal en aluminium met 'n laag sinkfosfaat oorgetrek. Na die plateringsproses word die oorgetrekte komponente met gedeïoniseerde water gewas. Hierdie wasoplossing bevat gewoonlik sink, yster en fosfaat.

Korngold<sup>6</sup> beskryf die behandeling van fosfaatplateringswaswater deur ED. Die sinkkonsentrasie van die waswater is van 6,5 tot <1 mg/l verminder en daar was 'n vyftigvoudige toename in die soutkonsentrasie van die loogwater. Die verbruik van elektriese energie was ongeveer 3,5 kWh/m<sup>3</sup> herwonne water en die herwonne water kan as waswater hergebruik word.

#### Herwinning van nikkels uit galvaniseringswaswaters

'n ED-eenheid word gebruik om nikkelsoute in galvaniseringswaswater vir herwinning te konsentreer, terwyl die gehalte van die behandelde water so is dat dit as waswater hergebruik kan word.<sup>7</sup> Tipiese resultate word in Tabel 3 getoon.

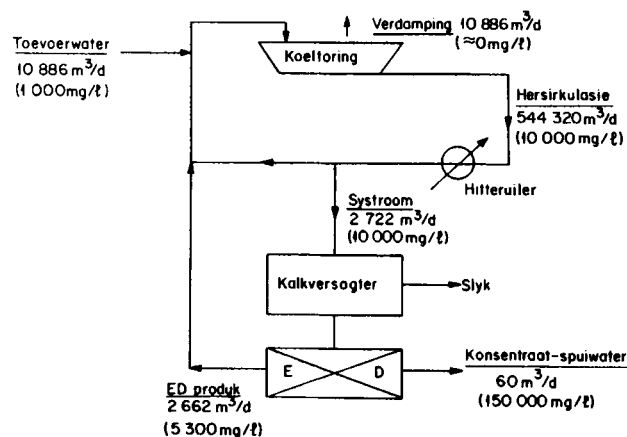
Hierdie proses is besonder suksesvol en word in Japan kommersieel toegepas.

#### Behandeling van koeltoringspuiwater

Behandeling van 'n systroom van koeltoringsirkulasiewater om sodoende die volume spuiwater drasties te verminder, is gedemonstreer.<sup>15</sup> Die proses word skematies in Figuur 2 voorgestel.

**TABEL 3**  
Elektrodialise van galvaniseringswaswater<sup>7</sup>

Bestand-deel	Waswater (g/l)	Konsentraat (g/l)	Diluaat (g/l)
NiSO <sub>4</sub>	12,47	133,4	1,27
NiCl <sub>2</sub>	1,81	29,7	0,039



**FIGUUR 2:** Ontsouting van koeltoringspuiwater met ED.

Vir hierdie bepaalde situasie met ED-ontsouting van 'n systroom van die sirkulasiewater word ongeveer 60 m<sup>3</sup>/d spuiwater afgevoer, terwyl daar van 'n konvensionele koeltoring met dieselfde verdampingsvraag en 10 konsentrasiesiklusse 1 089 m<sup>3</sup>/d spuiwater ontstaan. Volgens die ondersoek is daar 'n algehele kostebesparing van ongeveer 50 persent met systroom-ED-behandeling en dit wil voorkom of hierdie proses groot belofte inhou, veral met die nuwe EDR-proses, wat dan ook moontlik die kalkversagtingsproses mag uitkakel.

#### Behandeling van glasetsingoplossing

By die vervaardiging van geëtte glas ontstaan 'n verdunde ammoniumfluoriedafvalstroom. Met ED is die ammoniumfluoriedoplossing in 'n ontsoute stroom van 2 mg/l en 'n konsentraatstroom van 30 000 mg/l geskei.<sup>5</sup> Die volume van die konsentraatstroom was minder as 2 persent van die oorspronklike volume.

### NAVORSING BY DIE NIWN OOR DIE KONSENTRERING VAN SOUTOPLOSSINGS

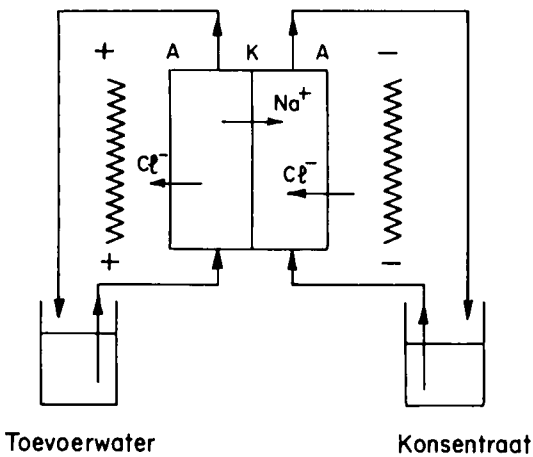
Verskeie navrae oor die disponering van hoogs gemeneraliseerde nywerheidsaflope word deur die NIWN ontvang en as gevolg hiervan is daar besluit om ondersoek in te stel na die moontlike toepassing van ED om hierdie probleme die hoof te bied. Die konsentrering van ammoniumnitraat, natriumsulfaat, swaelsuur, soutsuur, natriumasetaat en natriumbikarbonaat het die eerste aandag geniet omdat hierdie stowwe dikwels in nywerheidsuitvloeiels

voorkom. Die hoofdoel van die ondersoek was om te bepaal of die proses tegnies uitvoerbaar is, in watter mate die soute gekonsentreer kan word en wat die energieverbruik is.

**Toerusting en metode**

'n Laboratoriumskaalse *Selemion* ED-eenheid wat met sy eie gelykrichter toegerus is, is vir die konsentreringstudies gebruik. Die membraanpak bevat 11 membraanpare (*Selemion* AMV anioniese en *Selemion* CMV kationiese membrane – 2 mm uitmekaar), met 'n effektiewe oppervlakte van 209 cm<sup>2</sup> per membraan. Die katode bestaan uit vlekvrystaal en die anode uit geplatyniseerde titanium.

'n Lotsistiem met volkome vermenging is gebruik (Figuur 3). Sout- en suuroplossings van dieselfde aanvankkonsentrasies is van aparte houers deur die ontsoutings- en konsentraatkompartemente van die membraanpak gesirkuleer. Natriumsulfaat (0,1 M) is deur die elektrodekompartemente as 'n elektrode-wasoplossing gesirkuleer. Nadat die vloeitempo's op 'n lineêre vloeisnelheid van 2 cm/s ingestel is, is 'n stroomdigtheid van 20 mA/cm<sup>2</sup> membraanoppervlakte aangewend en is die verloop van die konsentrering gevolg deur geleidingsbepalings wat tot 25 °C herlei is.



A = anioniese membraan; K = kationiese membraan

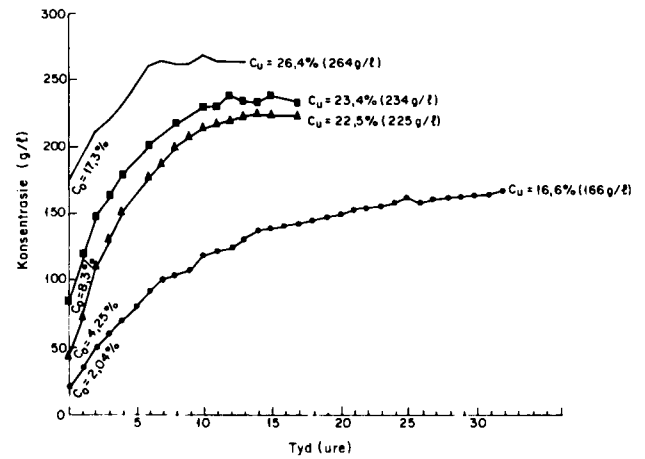
FIGUUR 3: Vereenvoudigde voorstelling van 'n lotsistiem met volkome vermenging.

**Resultate en bespreking**

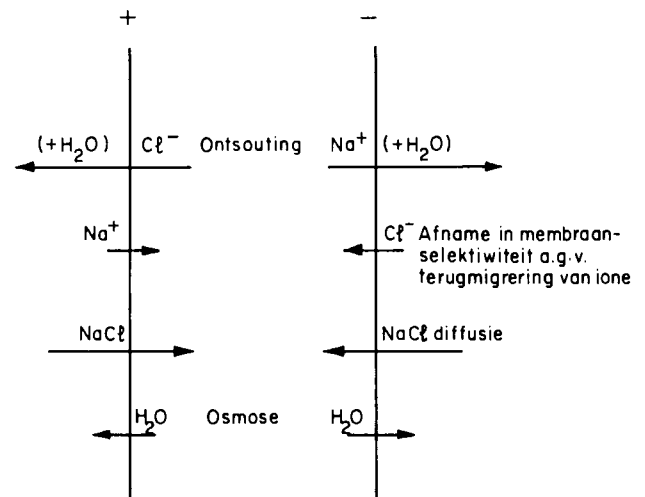
Slegs die konsentrering van ammoniumnitraat word hier beskryf, omdat soortgelyke resultate met die ander soutoplossings verkry is.

Die konsentrering van ammoniumnitraat by verskillende aanvankkonsentrasies word in Figuur 4 getoon. Met aanvankkonsentrasies ( $C_0$ ) van 2,04, 4,25, 8,30 en 17,3 persent is uiteindelijke konsentraat-konsentrasies ( $C_u$ ) van 16,6, 22,5, 23,4 en 26,4 persent onderskeidelik verkry. Met die laagste aanvank-konsentrasie (2,04%) is 'n konsentrasiefaktor van 8,1 keer verkry, terwyl daar met die hoogste aanvank-konsentrasie (17,3%) van konsentrasiefaktor van

slegs 1,5 verkry is. Dit blyk dus dat daar 'n perk op die konsentrasievermoë is, wat waarskynlik aan 'n afnemende selektiwiteit van die membrane by hoër aanvankkonsentrasies toegeskryf kan word.<sup>16</sup> Die konsentreringskurwes plat ook met verloop van tyd af namate die maksimum konsentraatkonsentrasies wat verkry kan word, bereik word. Die konsentraat-konsentrasies kan selfs as gevolg van osmose en diffusie afneem as die konsentrasiegradiënt tussen die konsentraat en die diluaat te groot word. Die verskynsels van osmose, diffusie en afnemende membraanselektiwiteit tydens die konsentrering van soutoplossings word in Figuur 5 getoon.



FIGUUR 4: Konsentrering van ammoniumnitraat by verskillende aanvankkonsentrasies.



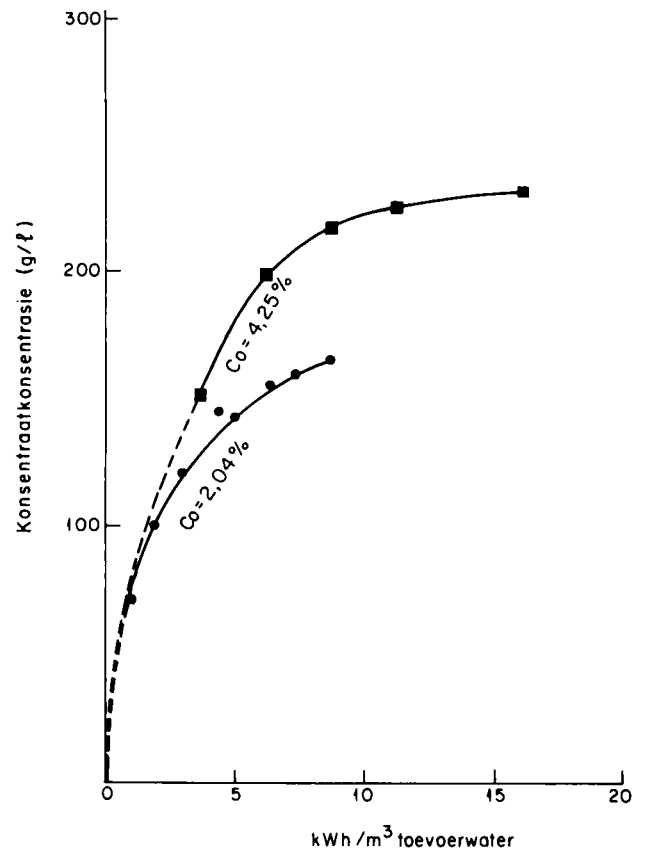
FIGUUR 5: Voorstelling van osmose, diffusie en afname in membraanselektiwiteit tydens die konsentrering van soutoplossings.

Die afname van die ammoniumnitraattoevoerkonsentrasie (aanvankkonsentrasie 4,25%) met die tyd word in Figuur 6 getoon. Dit blyk dat die toevoerkonsentrasie met gemak tot ongeveer 2 000 mg/l verminder kan word. Met 'n verdere ED-behandelingstap kan die konsentrasie tot minder as 500 mg/l verminder word. Die energieverbruik teenoor die kon-

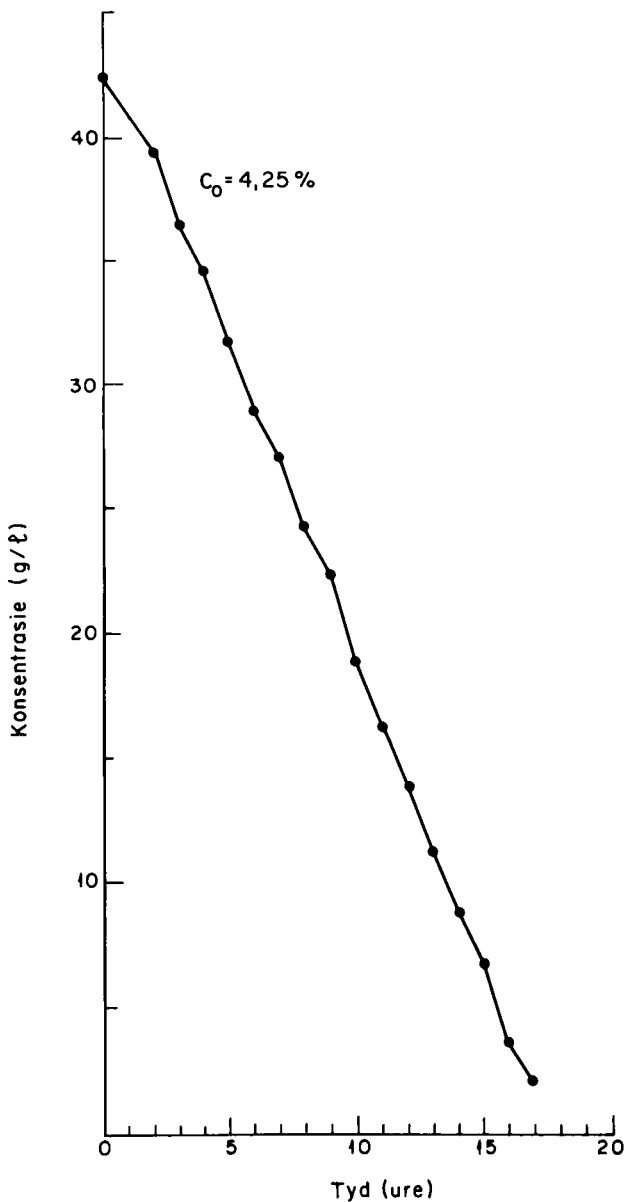
sentraatkonsentrasies en die hoeveelheid ammoniumnitraat verwyder, word onderskeidelik in Figuur 7 en 8 getoon.

Doelmatige energieverbruik neem met toenemende konsentraat konsentrasie toe. 'n Toestand word uiteindelik bereik waar die konsentraatkonsentrasie min toeneem, sodat dit 'n vermorsing van energie sal wees om verder te konsentreer. Verder blyk dit dat die energieverbruik vir 'n hoër aanvangskonsentrasie gunstiger is. Die rede hiervoor is dat die weerstand van die diluaat by die hoër aanvangskonsentrasie laer is. Dieselfde tipe resultate is vir die konsentrering van die ander soutoplossings verkry. Al die konsentreringsresultate word in Tabel 4 opgesom.

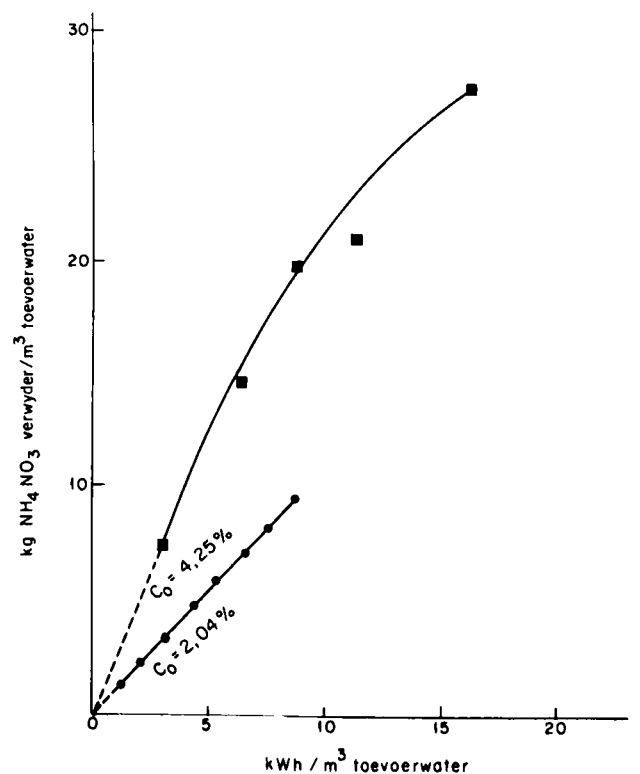
Die energieverbruik vir die konsentrering van ammoniumnitraat en natriumsulfaat is minder as 1 kWh/kg sout verwyder, terwyl die energieverbruik vir die konsentrering van swaelsuur en soutsuur 4,6 en 4,9 kWh/kg is. Hierdie hoër energieverbruik en laer konsentraatkonsentrasies met swael- en soutsuur



FIGUUR 7: Energieverbruik by die konsentrering van ammoniumnitraat.



FIGUUR 6: Afname van ammoniumnitraattoevoerkonsentrasie met die tyd.



FIGUUR 8: Energieverbruik by die konsentrering van ammoniumnitraat.

TABEL 4

Opsomming van konsentreringsresultate by die konsentrering van verskillende soute en sure met elektrodialise

Soute en sure	Aanvangskonsentrasie (%)	Konsentraatkonsentrasie (%)	Energieverbruik		Gemiddelde stroomdoeltreffendheid (%)
			kWh/kg sout of suur	kWh/m <sup>3</sup> toevoerwater	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2,04	16,6	0,94	8,8	—
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	4,25	23,0	0,59	16,4	62,1
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	8,30	23,4	0,41	21,8	64,0
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	17,3	26,4	0,38	30,3	58,6
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,8	18,2	0,61	13,6	—
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7,2	20,4	0,32	36,6	67,8
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,75	5,2	4,61	4,1	4,6
HCl	2,05	3,3	4,86	2,38	4,3
CH <sub>3</sub> COONa	1,6	15,6	—	—	—
NaHCO <sub>3</sub>	0,66	7,76	1,41	—	61,8

TABEL 5

Kapitaal- en bedryfskoste vir die konsentrering van natriumsulfaat

Aanlegkapasiteit (toevoerwater)	10 m <sup>3</sup> /d	50 m <sup>3</sup> /d	100 m <sup>3</sup> /d
Kapitale uitleg	R146 548	R177 401	R208 253
Bedryfs- en instandhoudingskoste (c/kg sout)	9,68	4,25	3,40

kan aan die hoë diffusiesnelheid van die waterstofione toegeskryf word.

Natriumbikarbonaat kan slegs tot ongeveer 8 persent gekonsentreer word omdat dit die oplosbaarheid van hierdie verbinding by kamertemperatuur is. Die konsentraatvolumes van die soute beslaan ongeveer 4 persent van die oorspronklike volumes.

### KONSENTRERINGSKOSTE

'n Kosteraming vir die konsentrering van natriumsulfaat van 2 persent tot tussen 20 en 25 persent is op grond van ons eie laboratoriumresultate gedoen. Kapitaal- en bedryfskoste vir aanlê van verskillende groottes word in Tabel 5 getoon.

Volgens Ionics Inc. is kostes van dieselfde orde van toepassing vir die konsentrering van ammoniumnitraat.

### TEN SLOTTE

Alhoewel die hoofgebruik van ED brakwaterontsouting vir drinkdoeleindes is, kan die proses ook vir sekere nywerheidstoepassings aangewend word met die oog op die herwinning van water en chemikalieë en uitvloeielsvolumevermindering. Plateringswaswater, koeltoringsirkulasiewater en glasetsinguitvloeiels kan suksesvol met ED behandel word. Die ED-behandeling van nikkelgalvaniseringswaswater is reeds 'n gevestigde nywerheidsproses.

Verdunde chemiese uitvloeiels van ammoniumnitraat, natriumsulfaat, swaelsuur, soutsuur, natriumasetaat en natriumbikarbonaat kan met ED gekonsentreer word. Hoër konsentrasies met 'n gunstiger energieverbruik word met die soute as met die sure verkry.

Die elektrodialiseproses het die potensiaal om elektroliete in verdunde oplossings te konsentreer en nuwe toepassings behoort ondersoek te word.

### DANKBETUIGING

Hierdie artikel word met die toestemming van die Hoofdirekteur, Nasionale Instituut vir Watervoorvoering, WNNR, gepubliseer.

### LITERATUURVERWYSINGS

- Leitz, F.B. (1981). Electrodialysis as a separation process, *American Institute of Chemical Engineers Symposium Series*, 77, 204-212.
- Wilson, J.R. (ed.) (1960). *Demineralization by Electrodialysis* (Butterworths, London).
- U.S.A.I.D. *Desalination Manual* (1980). CH2M HILL International Corporation, 7201 NW, 11th Place Gainesville, Florida, USA 32601.
- Water Desalination Report* (1980) XVI (17), April.
- Leitz, F.B. (1976). Electrodialysis for industrial water clean-up, *Environ. Sci. & Technol.*, 10, 2-136.
- Korngold, E. (1978). Electrodialysis in advanced wastewater treatment, *Desalination*, 24, 129-139.

7. Itoi, S. (1979). Electrodialysis of effluents from treatment of metallic surfaces, *Desalination*, **28**, 193-205.
8. Katz, W.E. (1971). Electrodialysis for low TDS waters, *Ind. Wat. Eng.*, **29**, June/July.
9. Katz W.E. (1979). The electrodialysis reversal (EDR) process, *Desalination*, **28** 31-40.
10. Elyanow, D. en Mahoney, J.R. (1981). In: *Proceedings of the 9th Annual Conference and International Trade Fair of the National Water Supply Improvement Association*, **2**.
11. Brown, D.R. (1981). In: *Proceedings of the 9th Annual Conference and International trade Fair of the National Water Supply Improvement Association*, **2**.
12. Lordi, G.A. en Vankirk, R. (1978). A user's viewpoint of electrodialysis for deionization of printed wiring board process water, *Ionics Incorporated Bulletin*, TP 310.
13. Mattson, M.E. (1979). New developments in brackish water desalting by electrodialysis, *Ionics Incorporated Bulletin*, TP 314.
14. Watson, I.C. (1979). Five years of ED experience on a barrier island or 1,5 billion gallons later, *Ionics Incorporated Bulletin*, TP 312.
15. Jordan, D.R., Bearden, M.D. en McLihenney, W.F. (1975). Blowdown concentration by electrodialysis, *Chem. Engng Prog.*, **71**, 7-77.
16. Helfferich, F. (1962). *Ion Exchange* (McGraw Hill, New York).