

Małgorzata KABSCH-KORBUTOWICZ¹,
Tomasz WINNICKI²

¹POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

²PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA W KALISZU

ODSALANIE DROGĄ OGRANICZENIA GLOBALNEGO KRYZYSU WODNEGO

DESALINATION THE WAY TO LIMIT A GLOBAL WATER CRISIS

Global water resources including reserves of fresh water were documented as well as majority of traditional techniques used by man to provide potable water supply were described. Conventional and modern water desalination technology was presented paying a special attention to physico-chemical methods allowing to avoid energy consuming water-vapor-water phase-transition. Some conclusions have been drawn from the above presentation.

1. Wprowadzenie

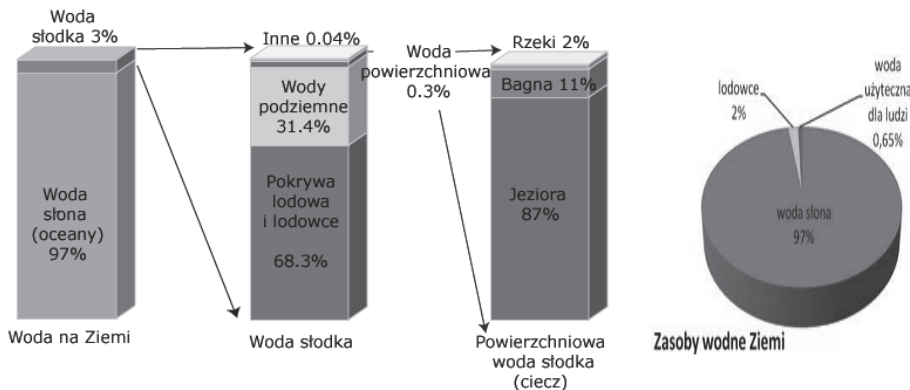
Od co najmniej stulecia świat gospodarczy, a za nim polityczny, jest zdominowany pogonią za zasobami, z których najwięcej uwagi skupiają zasoby energetyczne, słusznie uważane za napęd wszelkiej działalności człowieka.

Od przełomu lat 60. i 70. minionego wieku – od rozpoczęcia przeglądu sytuacji globalnej przez Klub Rzymski i jego kolejne raporty, poczynając od Granic wzrostu oraz pierwszego Zgromadzenia Ogólnego ONZ – rozpoczęto kwestię zasobów wiązać ze stanem środowiska naturalnego czy szerzej globalnego ekosystemu.

Wśród zasobów, dostrzeganych jako ograniczone w tych dokumentach, przełomowych dla współczesnego ekologicznego myślenia i wynikającego z niego międzynarodowego ładu organizacyjnego, znalazła się również woda. Jednak, już zwyczajowo, jako najważniejsze miary rozwoju gospodarczego i społecznego wymienia się wciąż globalny czy per capita dochód oraz spożycie energii.

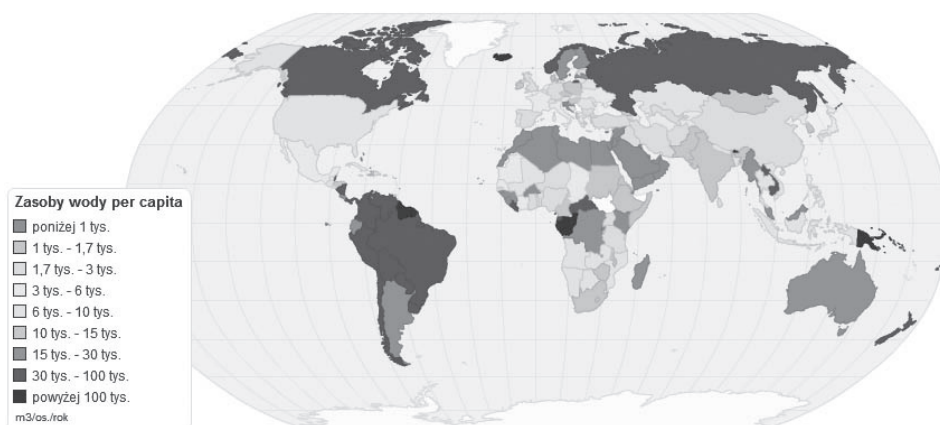
Woda, a ściślej jej brak, jest wciąż na dalszym miejscu jako potencjalne ograniczenie rozwoju, spróbujemy więc nieco przybliżyć najważniejsze dane o jej zasobach, ich dostępności fizycznej, ekonomicznej i społecznej oraz wybranych rozwiązaniach prawnych, organizacyjnych, a zwłaszcza technicznych minimalizowania deficytu czy wręcz kryzysu zasobów wody użytkowej.

Ponad 70% powierzchni Ziemi pokrywają wody, której całkowita objętość wynosi około 1,4 mld km³. Jak pokazano na Rys.1 ponad 97% tej ilości stanowią wody słone (zawartość soli > 1 g/dm³). Spośród pozostałych około 2,5% wód, ponad 77% stanowią wody związane w lodowcach i wiecznej zmarzlinie. Całkowite dostępne zasoby wody słodkiej, możliwe do wykorzystania przez człowieka i ekosystemy, wynoszą w przybliżeniu 200 000 km³, co stanowi 1% całkowitych zasobów wód słodkich i 0,01% całkowitej ilości wody [1].



Rys. 1. System sterowania, monitorowania i wizualizacji obiektów wodociągowych i kanalizacyjnych
Fig. 1. Control, monitoring and visualization system of water supply and sewage treatment plant

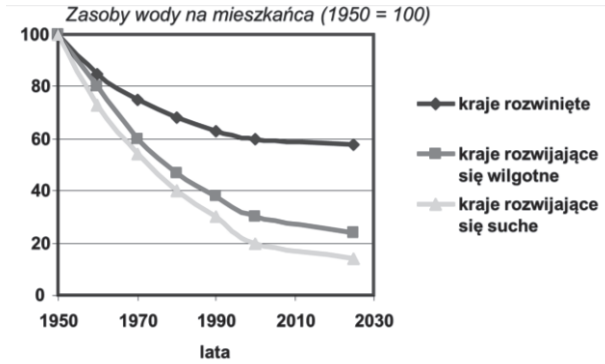
Przy znikomej objętości wody słodkiej stanowiącej zasoby, jeszcze gorzej przedstawia się jej rozlokowanie na stanowiącym nieco ponad 28% powierzchni Ziemi jej obszarze gruntowym, co pokazuje Rys.2..



Rys. 2. Rozmieszczenie zasobów wody słodkiej na Ziemi [2]

Fig. 2. Location of global fresh water resources [2]

Ponadto, tak jak w innych sferach ekonomicznego podziału społeczności globalnej, również, a może w szczególności w dostępie do wody, zaznacza się, brzemienny w skutki zdrowotne, podział na bogatych i biednych – co na wykresie eufemistycznie nazwano rozwijające - przy czym zasoby na głowę spadają w każdej z tych grup (Rys.3).



Rys. 3. Spadek zasobów wody na głowę mieszkańca Ziemi [3]
 Fig. 3. Drop of global water resources per capita [3]

W przedstawionej sytuacji zasobów gospodarka wodna staje się strategicznym obszarem polityki ekonomicznej i nie przypadkowo we wspólnocie do której przystąpiła Polska – Unii Europejskiej – ma tak wysoką rangę. W minionej perspektywie finansowej lat 2007 – 2013, w programie operacyjnym Infrastruktura i Środowisko, blisko 60% czyli prawie 3 miliardy euro przeznaczono na Gospodarkę wodną (Rys.4).

Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko
 - środowiskowe osie priorytetowe



Łącznie ok. 5 mld euro dla sektora środowiska

Rys. 4. Wspieranie Gospodarki Wodnej przez środki Unii Europejskiej
 Fig. 4. Supporting of Water Economy by European Union resources

Dyrektywa Wodna Unii wskazuje na takie priorytety jak zapobieganie dalszemu pogarszaniu stanu zasobów wodnych, zwiększenie ochrony wód przed zanieczyszczeniem oraz polepszenie środowiska wodnego, zmniejszenie zanieczyszczenia wód podziemnych i zapobieganie dalszemu ich zanieczyszczeniu, a także ograniczenie wpływu powodzi i susz. Ten ostatni element jest szczególnie istotny w sytuacji naszego kraju – chyba najuboższego w Europie, gdy chodzi o pojemności zbiorników – którego zarządzający zasobami wodnymi i prognozujący opady, szamocą się między perspektywą niedoboru rezerw, a widmem powodzi [4].

Jak wynika z Rys.2. Europa, może poza krańcami południowymi, podobnie jak Azja, a także większość Ameryki, nie jest w sytuacji najgorszej. Polskę pod względem dyspozycyjności wody na głowę czasem porównuje się, do bardzo sucho kojarzącego się Egiptu, ale sytuacja głębokich niedoborów zaopatrzeniowych pojawiała się dotąd statystycznie dość rzadko i dopiero ostatnie suche lata, przypisywane globalnemu ociepleniu, stanowią pewną anomalię.

Nierówne rozlokowanie słodkich wód naturalnych oraz rosnąca liczbą konsumentów, coraz częściej każą sięgać do olbrzymiego zasobu wód słonych zarówno globalnego akwenu morsko-oceanicznego, jak też zgromadzonych pod ziemią. Stan zasolenia tych wód, stanowiących potencjalnie surowiec do odsalania, przedstawia Tab.1.

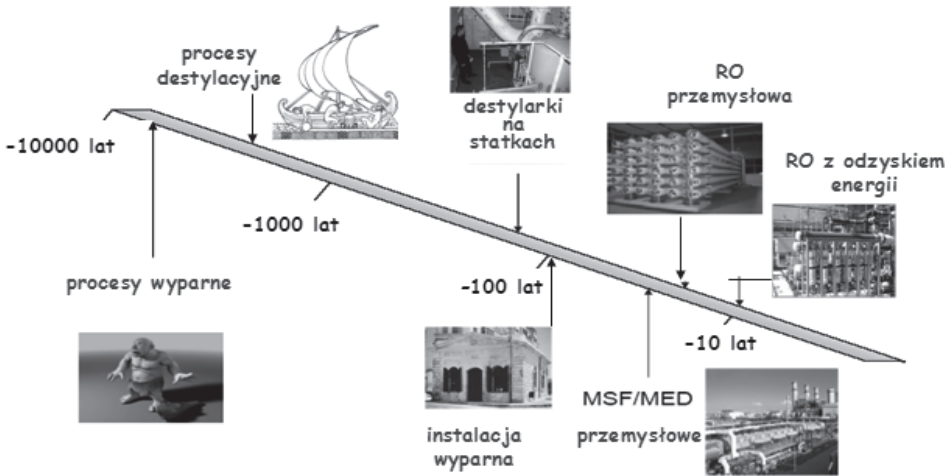
Tabela. 1. Mineralizacja potencjalnych zasobów wody do odsalania
Table. 1. Mineralization of potential water resources for desalination

Woda	Całkowite zasolenie, g/dm³
Morze Bałtyckie	7
Oceany	35
Morze Śródziemne	38
Morze Czerwone	41
Zatoka Perska	45
Jezioro Aralskie	29
Wody kopalniane (Polska)	0,8 – 40 (<200)
Woda do picia	< 1

Kończąc to wprowadzenie trzeba jeszcze zwrócić uwagę, że brak wody do picia, od tysięcy lat towarzyszył człowiekowi, zwłaszcza pokonującemu morza i oceany. Pierwsze doniesienia o uzyskiwaniu wody słodkiej przez odsolenie wody morskiej pojawiły się w V w p.n.e, gdy Arystoteles opisywał greckich żeglarzach odsalających wodę morską przez jej odparowywanie i skraplanie. W 49 roku p.n.e. Legioniści Juliusza Cezara zastosowali destylację przy użyciu energii słonecznej do odsalania wody z Morza Śródziemnego. W I w n.e. Rzymianie użyli filtry iłowe do usuwania soli z wody morskiej. W IV w n.e. do tego celu zastosowano destylację – parę wodną, skraplano na gąbkach. Pierwszą przemysłową instalację produkującą wodę odsoloną uruchomiono w 1861 roku na Florydzie, a pierwszy patent na system odsalający został przyznany w Wielkiej Brytanii w 1869 roku.

2. Termiczne techniki odsalania wody

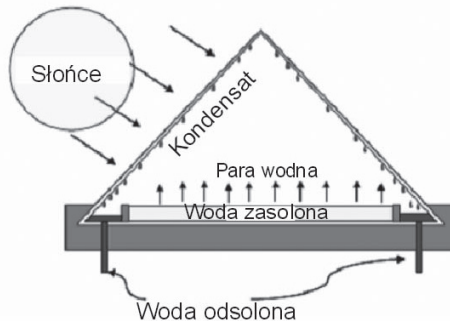
Prawdziwy rozwój technik odsalających nastąpił w XX wieku. W 1914 roku w Kuwejcie uruchomiono pierwszą instalację odsalającą wodę metodą destylacji. Rok 1963 rozpoczął rozwój technik fizykochemicznych, pierwszą na świecie instalacją odsalającą wodę metodą elektrodializy w Libii, a równolegle w RPA tą metodą odsalano wodę podziemną z kopalni złota, a także w Kalifornii ruszyła pierwsza instalacja odsalająca wodę metodą odwróconej osmozy. Chronologicznie rozwój technologii odsalania, obejmujący zarówno techniki wyparne, jak fizykochemiczne, przedstawia Rys.5.



Rys. 5. Chronologia rozwoju technik odsalania wody
 Fig. 5. Chronology of development of water desalination techniques

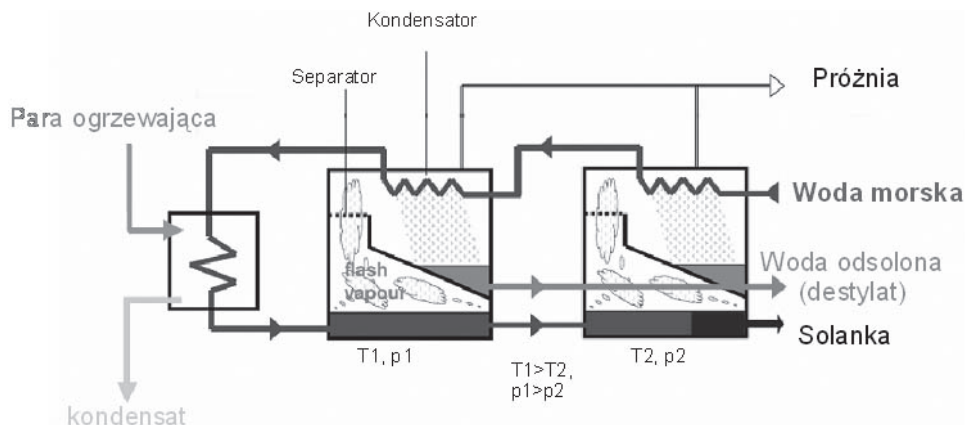
Nie jest odkrywcze, że proces destylacji polega na doprowadzeniu do wody energii cieplnej, w wyniku czego następuje przeprowadzenie jej w parę wodną – pozbawioną soli mineralnych – i jej następcze skroplenie, dające strumień wody odsolonej.

Oczywistym współczesnieniem najstarszej technologii wykorzystującej energię słoneczną jest instalacja schematycznie przedstawiona na Rys.6.



Rys. 6. Schemat destylacji słonecznej
 Fig. 6. Scheme of solar distillation

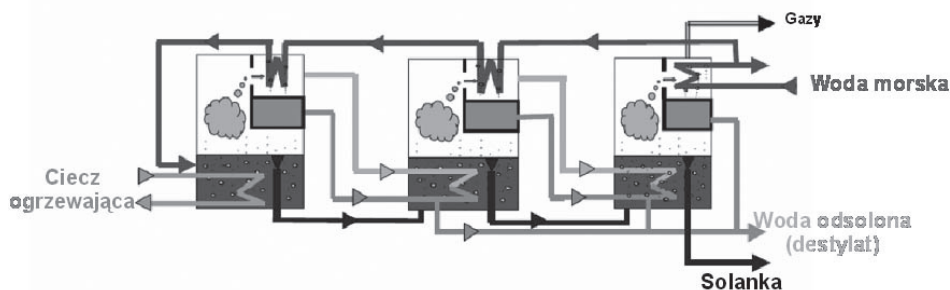
Proces wielostopniowej destylacji równowagowej (rzutowej – flash distillation – MSF) polega na odparowaniu przez rozprężanie ogrzanej cieczy i następcze skroplenie pary wodnej, co powoduje że wraz ze spadkiem ciśnienia, wrzenie wody zachodzi korzystnie w niższych temperaturach (Rys.7). W 2003 roku w mieście Shoaiba w Arabii Saudyjskiej oddano do użytku największą na świecie instalację odsalającą wodę morską metodą MSF, której wydajność wynosi obecnie 880 000 m³/d.



Rys. 7. Odsalanie wody przez wielostopniową destylację równowagową (MSF)

Fig. 7. Water desalination by means of multi-stage flash distillation (MSF)

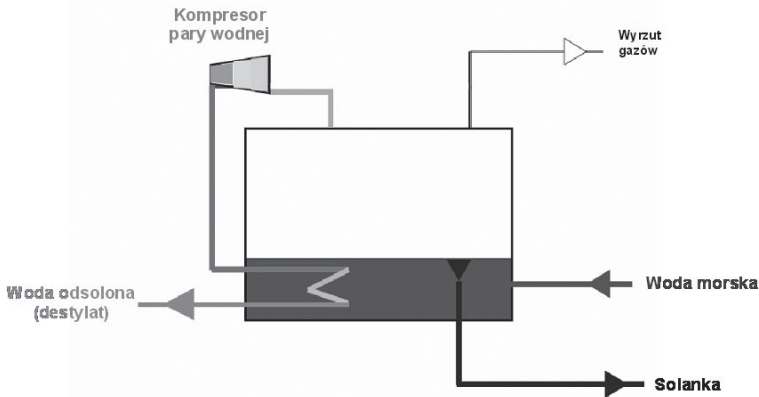
Termiczną metodą odsalania wody, stosowaną również na dużą skalę, jest odparowanie wielokrotne (multi-effect distillation – MED). W tym procesie woda surowa przechodzi przez szereg wyparek – zbiorników ciśnieniowych, w których panuje coraz niższa temperatura i ciśnienie. W tym systemie, para wodna pochodząca z jednej wyparki, służy do odparowania cieczy w kolejnym urządzeniu. Minimalna różnica temperatur między wymiennikami wynosi 5°C. W 2010 w Al.-Jubail w Arabii Saudyjskiej oddano do użytku instalację do odsalania wody metodą MED o wydajności 800 000 m³/d. Schemat tego procesu przedstawia Rys.8.



Rys. 8. Odsalanie wody przez wielostopniową destylację równowagową (MED)

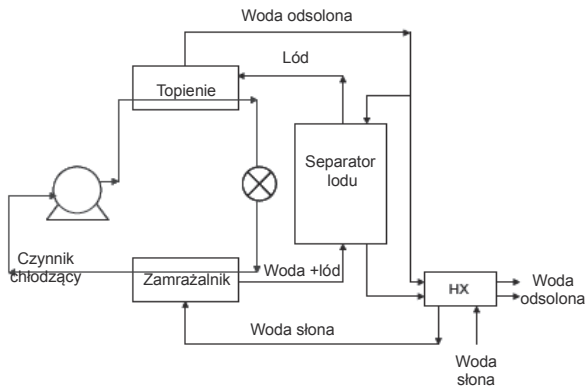
Fig. 8. Water desalination by means of multi-stage flash distillation (MED)

Najczęściej stosowane systemy wyparne zamyka destylacja ze sprężaniem pary wodnej (vapor compression – VC) powodującym wzrost jej temperatury. Tak podgrzana para jest doprowadzana przewodem do zbiornika z wodą słoną, gdzie oddaje ciepło podgrzewając nową porcję wody surowej, a sama ulega skropleniu w postaci wody destylowanej. Sprężanie może być: mechaniczne, termiczne, absorpcyjne lub adsorpcyjne, a schemat systemu przedstawia Rys.9



Rys. 9. Schemat destylacji ze sprężaniem par (VC)
Fig. 9. Scheme of distillation with vapor compression (VC)

Do procesów termicznych zaliczyć trzeba również uzyskiwanie wody odsolonej przez jej wymrażanie. Metoda została opracowana w latach 50-tych XX wieku. Operacja polega na schłodzeniu wody do temperatury, w której następuje wytworzenie mieszaniny wodno/lodowej, w której woda krystalizuje w lód nie zawierający soli, a ten wydzielany jest z solanki i poddawany roztopieniu (Rys.10).



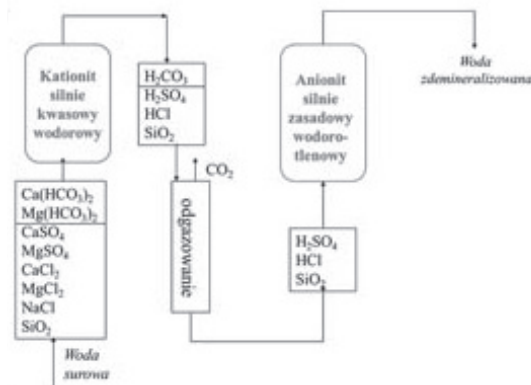
Rys. 10. Schemat odsalania wody przez wymrażanie
Fig. 10. Scheme of water desalination by freezing

W zależności od głębokości odsalania wody – możliwości określonej metody oraz precyzji wykonania operacji technologicznej – otrzymuje się wodę zdemineralizowaną, w mniejszym lub większym stopniu, pozbawioną makro- i mikroelementów, niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Przypomina o tym, na przykład, występowania białaczki, z niedoboru żelaza, w wysoko rozwiniętych krajach skandynawskich, stosujących do spożycia wodę topioną z lodu lub śniegu. Dotyczy to również zimnych technik odsalania, do których omówienia obecnie przystępujemy.

3. Fyzykochemiczne techniki odsalania wody

Postęp techniki – tak zwany cywilizacyjny – to nieustanna walka o pozyskanie napędowej energii, a wobec jej kosztu i problemów z dostępnością, walka o oszczędność. Nie inaczej ma się sytuacja przy postępie w odsalaniu wody i oczywista wydawała się korzyść z uniknięcia przejścia fazowego woda-para-woda.

Pierwszą taką szansę stwarzało przeniesienie procesu wymiany jonowej z naturalnych złóż mineralnych, na syntetyczne, organiczne, wymiennicze jonowe, pozwalające na znaczące powiększenie pojemności jonowymiennej zawartej w identycznej objętości złoża filtracyjnego. Najprostszy schemat odsalania tą drogą pokazuje Rys.11 [5].



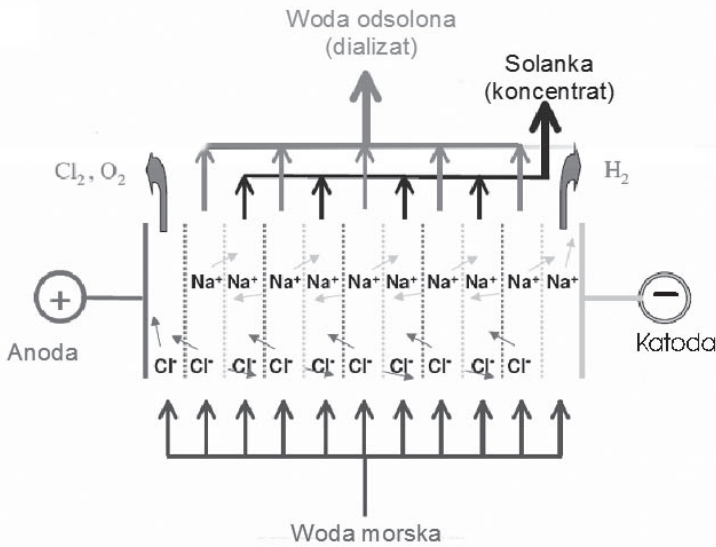
Rys. 11. Schemat demineralizacji wody przez prostą wymianę jonową (IE)

Fig. 11. Scheme of water demineralization by Ion-Exchange process (IE)

Istnieją jednak, co najmniej dwa, istotne ograniczenia tej techniki – ekonomiczne i ekologiczne. Ponieważ filtracja złożowa jest operacją periodyczną, ze wzrostem stężenia substancji rozpuszczonej ulega skróceniu cykl międzyregeneracyjny, a równocześnie wzrasta zrzut ścieków – po odmywaniu nadmiaru regeneratów – do odbiorników wód powierzchniowych lub oczyszczalni. Zatem za górną granicę stosowalności wymiany jonowej do odsalania wody uważa się stężenie soli w przedziale 0,5 do 1 g/dm³. Specjalnymi metodami można to stężenie opłacalnie podnieść do granicy kilku gramów na litr, ale wymiana jonowa wciąż ma pewne zastosowanie, również w tej technologii jako proces komplementarny w układach hybrydowych.

Poza, a ściślej przed, odsalaniem wody, technika rozwiązywała inne problemy odsalania, na drodze dializy przez przepony obojętne, przepuszczając po drugiej stronie takiej membrany duże objętości wody. Ten proces był oczywiście nieprzydatny do odsalania samej wody, do czasu jego koncepcyjnego połączenia z wymianą jonową. Zastąpienie membran obojętnych przez jonoczynne w układzie naprzemiennym oraz uzbrojenie dializatora w elektrody, pozwoliło na wymuszenie przepływu jonów w kierunku odpowiednich biegunów pola prądu stałego, z ich zatrzymywaniem przez membrany przeciwnego znaku.

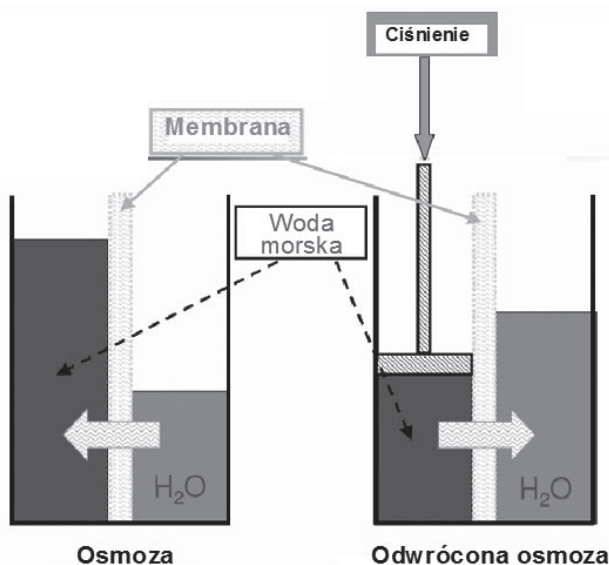
W ten sposób powstają, naprzemiennie położone, przedziały zateżenia solanki oraz wody odsolonej, a proces, przedstawiony na Rys.12 nosi nazwę elektrodializy (ED).



Rys. 12. Schemat odsalania wody przez elektrodializę
Fig. 12. Scheme of water desalination by elctrodialisis

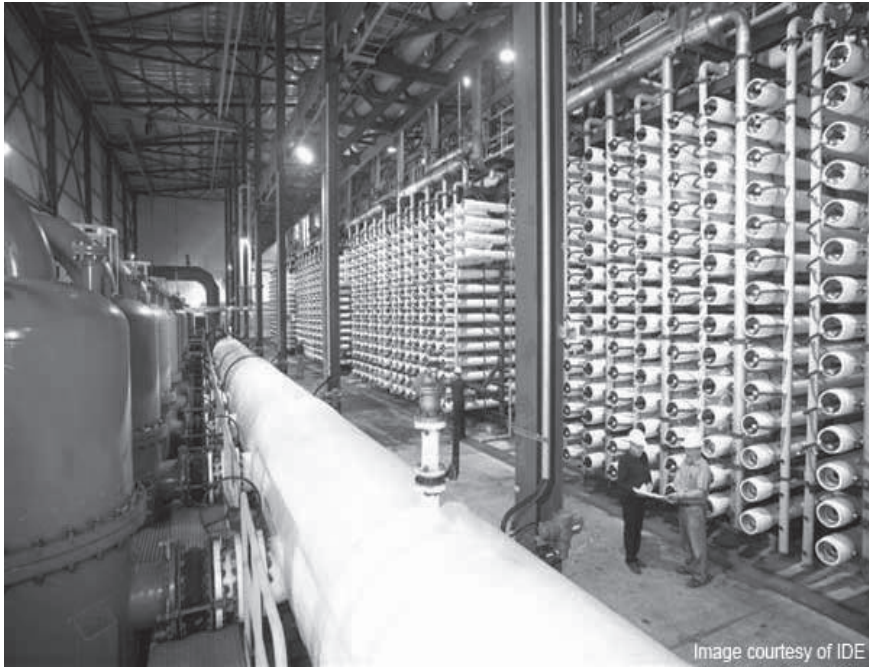
Od powstania pierwszych przemysłowych instalacji, a zwłaszcza po pojawieniu się, wkrótce, operacyjnie i ekonomicznie konkurencyjnego procesu odwróconej osmozy (RO), podejmowano różne drogi utrzymania ED jako wielkoskalowej techniki odsalania wody. Było to podniesienie temperatury operacji, a zwłaszcza zmienianie biegunowości elektrod (EDReversal), pozwalające na minimalizację zjawisk osadzania, blokujących powierzchnię membran, substancji mineralnych (scaling) i organicznych (fouling). Mimo tych i innych nowalijek technologicznych ED i EDR nie wytrzymały konkurencji z RO poza zakres konkurencyjnych niskich (do 10 g/dm^3) stężeń soli. Największy zakład, w istocie demineralizacji, zbudowały USA w Yuma, na granicy z Meksykiem, aby wywiązać się z umów transgranicznych, obniżenia zasolenia wody rzeki Colorado, zanieczyszczonej odciekami nawozów mineralnych z upraw amerykańskich rolników.

W latach 60-tych XX wieku, gdy Loeb i Sourirajan spreparowali membrany pozwalające na usuwanie soli nieorganicznych z ich roztworów, powstały podstawy do opracowania procesu odwróconej osmozy. Jego nazwa wywodzi się stąd, że w fizycznym zjawisku osmozy naturalnej rozpuszczalnik/woda, przechodzi przez membranę półprzepuszczalną – rozdzielającą roztwory o różnym stężeniu substancji rozpuszczonej (na przykład wodę destylowaną od wody morskiej) – ze strony bardziej rozcieńczonej na stronę bardziej stężoną, aby wyrównać stężenia. Ten kierunek jest w odsalaniu wody przeciwny do pożądanego, gdyż nie chodzi o rozcieńczenie roztworu bardziej stężonego, a o wydobycie z niego wody. W układzie naturalnym napędem wyrównywania stężeń jest ciśnienie osmotyczne, tym wyższe im większa jest różnica stężeń. Aby zacząć wyciskać wodę z roztworu bardziej stężonego trzeba najpierw, po jego stronie, zrównoważyć – wynikające z różnicy stężeń – ciśnienie osmotyczne, a następnie przyłożyć dodatkowe ciśnienie pozwalające na uzyskanie technicznie pożądanego i przez właściwości transportowe membran dopuszczalnego, przepływu wody odsolonej. Zasadę osmozy oraz proces odwróconej osmozy przedstawiono na Rys. 13.



Rys. 13. Schemat odosalania wody przez elektrodializę
Fig. 13. Scheme of water desalination by electrodesis

Pierwszy system odsalający wodę morską metodą odwróconej osmozy uruchomiono w 1965 r. i od tego czasu corocznie oddawane są do użytku nowe instalacje o wydajności od kilku do kilkuset tysięcy m³/d. Jedną z największych uruchomiono w 2005 roku w Ashkelon w Izraelu. Układ składający się z wstępnego przygotowania wody – koagulacja, filtracja, MF – zamyka RO (4 stopnie – membrany Film Tec – 40000 elementów membranowych) produkuje 130 mln m³/rok (456 000 m³/d), przy koszcie 0,53 \$/m³ i maksymalnym zużyciu energii 4 kWh/m³. Stężenie soli w wodzie morskiej - 40 g/dm³. Instalację przedstawia Rys.14. Największa obecnie stacja odsalania wody morskiej została uruchomiona w miejscowości Sorek (Izrael) – produkuje ona 150 mln m³/rok (624 000 m³/d) wody odsolonej.

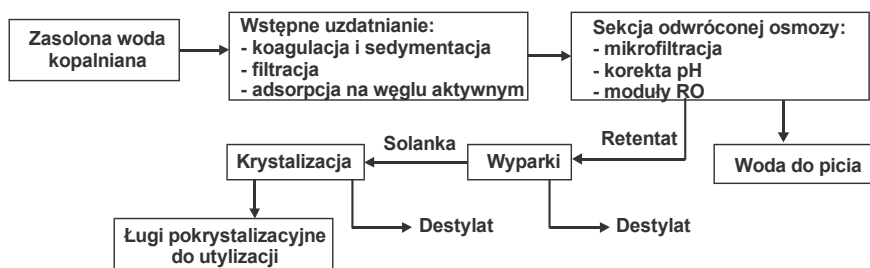


Rys. 14. Zakład odsalanie wody morskiej przez RO w Ashkelon, Izrael
 Fig. 14. Sea water RO desalination plant in Ashkelon, Israel

Jak wspomniano, źródłem wody do odsalania mogą też być podziemne wody słone, towarzyszące w naszym kraju wszystkim działaniom kopalnictwa węglanego, głównie węgla i rud metali. Są one poważnym problemem ekologicznym i trudnym do uniknięcia zanieczyszczeniem głównych rzek Polski – Odry i Wisły. Szczytowy roczny zrzut soli, w przeliczeniu na chlorek sodu, wyniósł 4 miliony ton. Zastosowanie rozdzielacza membranowego nie jest jednak proste gdyż uzyskuje się obok strumienia wody zdemineralizowanej, strumień solanki, który gdyby nawet mógł być zrzuty do morza to jest ono w odległości kilkuset kilometrów.

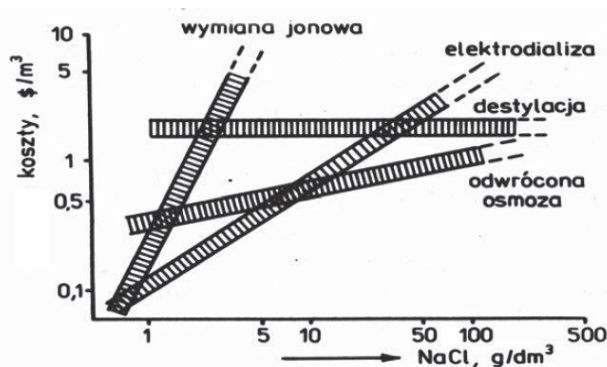
Trzeba więc zagospodarować suche produkty finalne – głównie chlorek sodu i gips – technologia stwarza takie możliwości i ten ambitny cel podjął Główny Instytut Górnictwa, w kooperacji z firmami amerykańskimi i skandynawskimi, uruchamiając instalację pilotową membranowego odsalania wody kopalni Dębieńsko (już nieczynnej, przy której w latach 70. XX w. instalację odsalania wyparowego uruchomił Profesor Józef Kępiński).

Ma się, w takim wypadku, do czynienia z rzadką sytuacją potencjalnie podwójnej korzyści - ochrony środowiska i pozyskania surowców – technologia, mimo tego, nie wytrzymała rachunku ekonomicznego i nie wyszła poza skalę pilotową, jest jednak godna zaprezentowania (Rys.15), jako oryginalne dzieło o dużym udziale polskiej myśli technicznej. Produkcja wody 12000 m³/d, produkcja NaCl 300 Mg/d i produkcja gipsu. Należy jeszcze dodać, że wody podziemne ze względu na znaczne różnice składu mineralnego oraz jego stężenia, nawet z tego samego górotworu, są operacyjnie znacznie trudniejsze w procesie odsalania membranowego.



Rys. 15. Schemat pilotowej instalacji odsalania wód kopalniana węgla Dębieńsko
 Fig. 15. Scheme of brackish water desalination in Debiensko coal mine pilot plant

Już z tego co wcześniej powiedziano wynika, że kluczowe, w doborze techniki odsalania, jest stężenie soli. Przedstawia to porównanie dla czterech omawianych opcji na Rys.16.



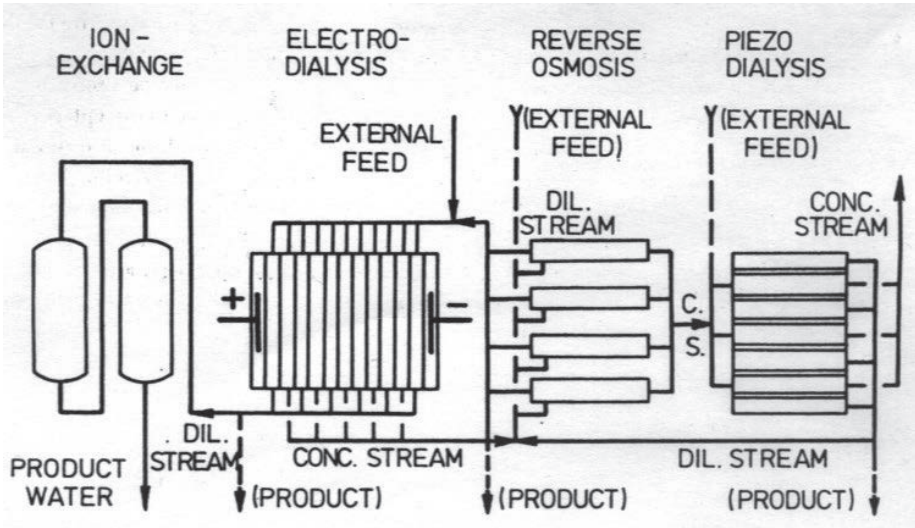
Rys. 16. Koszty odsalania wody omawianymi metodami [6]
 Fig. 16. Water desalination by means of discussed methods [6]

Za elektroniką, inne sektory techniki zaczęły doceniać układy hybrydowe, w których poza optymalizacją całego systemu, składającego się z różnych operacji, optymalizuje się każdą z nich. Tak powstają również układy odsalania wody, integrowane z samych operacji membranowych lub częściej z innymi operacjami fizykochemicznymi lub opartymi na innych siłach napędowych, jak energia cieplna. Wczesna koncepcja takiego systemu, odsalania wody morskiej, wyszła z naszego zespołu badawczego w latach 70. XX w. i przedstawia ją Rys.17 [7]. Występuje w nim piezodializa proces, który wciąż czeka na realizację przemysłową uzależnioną od preparacji doskonalszych membran mozaikowych – zawierających w jednej przeponie fragmenty kationo- i aniono-czynne (podobnie jak w wymianie jonowej na złożu mieszanym).

Powstają również hybrydy łączące materiał organiczny z mineralnym, jak będące wciąż w fazie eksperymentu membrany wytwarzane z nanorurek węglowych osadzonych na podłożu krzemowym. Autorzy twierdzą [8], że zastosowanie membran z nanorurkami z węgla pozwoli zmniejszyć o 75% zużycie energii w porównaniu do wartości dla odsalania metodą RO.

Membrany Perforene wytwarzane przez koncern Lockheed Martin's wykonane z grafenu monowarstwowego, a więc arkuszy pięćset razy cieńszych od stosowanych w odsalania przez RO, pozwalają na redukcję kosztów eksploatacyjnych nawet o...99% [9].

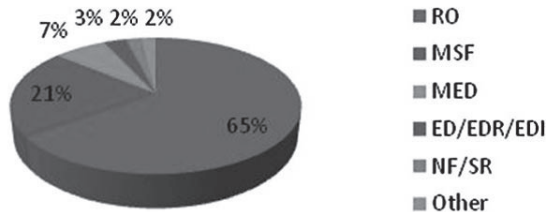
Te pionierskie prace są prowadzone również w naszym kraju, między innymi w pracowniach firmy INWATEC w Warszawie [10].



Rys. 17. Układ hybrydowy łączący różne procesy odsalania wody [7]
 Fig. 17. Hybrid system of combined water desalination processes [7]

Ostatnie, dostępne autorom, zestawienie sprzedaży systemów odsalania wody (Rys.18), pokazuje już ponad połowę rynku opanowaną przez techniki membranowe (RO + ED). To przesuwanie się w stronę technik membranowych nabiera dynamiki wraz z dekapitalizacją urządzeń wyparnych.

Distribution of total world installed capacity by technology



Rys. 18. Światowe relacje rynkowe procesów odsalania wody [11]
 Fig. 18. Global market ratio of application of water desalination processes [11]

4. Podsumowanie

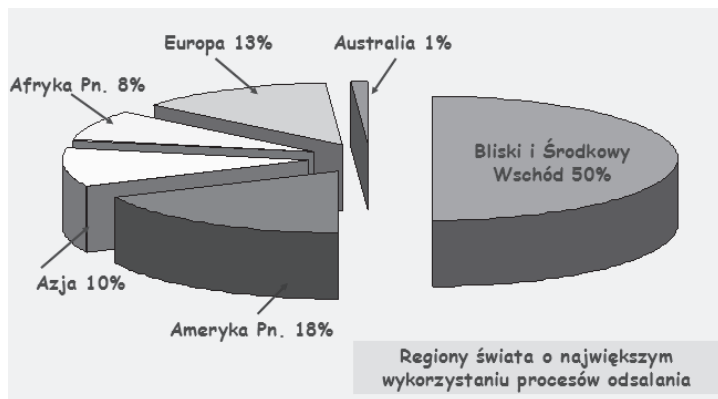
Jak z tego skrótowego przeglądu wynika, opanowane dotąd techniki odsalania wody, są procesowo i operacyjnie dobrze rozwinięte i doprowadzone do instalacji o dużej skali wydajności, stanowiąc poważną alternatywę, a często jedyną drogę, pozyskania wody użytecznej, w sytuacji lokalnego czy regionalnego braku zasobów słodkich wód wglębnych czy powierzchniowych.

Rozwój i technika nie zna jednak stanów spoczynkowych i ciągle prowadzone są prace nad poszukiwaniem nowych, procesów które pozwoliłyby obniżyć koszty produkcji wody odsolonej oraz podnieść czystość produktu. Jak już na to zwracano uwagę, te nowe procesy stanowią często połączenie dotychczas stosowanych metod odsalania, jak na przykład destylacja membranowa, łącząca procesy termiczne i membranowe lub elektrodjonizacja, będąca połączeniem procesu membranowego i wymiany jonowej.

Autorzy silnie związani z separacją membranową, w oczywisty sposób rekomendują te techniki, które obecnie napędzane są gradientami ciśnienia, pola elektrycznego, stężenia czy aktywności chemicznej i temperatury. Liczne, zwłaszcza nowsze i potencjalnie przyszłe procesy mogą wykorzystywać gradienty innych wielkości fizycznych lub, jak już się to dzieje w niektórych procesach wyżej wzmiankowanych, niejednorodną siłę napędową [11].

Wracając do wstępnych rozważań *hydro-ekonomicznych*, należy oczekiwać, już w najbliższych dekadach, istotnego przewartościowania miar rozwojowych i wysunięcia się wskaźników dostępności wody użytkowej, co najmniej na drugie miejsce, za dochodem, a na pewno przed spożycie energii [13]. Obecne globalne rozmieszczenie instalacji odsalania wody morskiej (Rys.19) wynika z sytuacji wodnej oraz zamożności regionu.

Zatem zarówno hierarchia ważności społecznej i ekonomicznej, jak dostępna i rozwijająca się wciąż technika pozyskiwania wody użytkowej z wód słonych, stwarzają nadzieję, że pomimo malejących zasobów wody o jakości odpowiadającej wymaganiom stawianym wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, będziemy umieli zapewnić, nam oraz przyszłym pokoleniom, ten podstawowy, do życia i wszelkiej działalności, produkt jakim jest woda.



Rys. 19. Światowe rozmieszczenie instalacji odsalania wody [14]
Fig. 19. Global location of water desalination plants [14]

Bibliografia

- 1) *World Water Development Report*. Światowe Forum Wody, 16-23.03.2003, Kioto, Japonia).
- 2) <http://chartsbin.com/view/15685>
- 3) <http://www.desdemonadespair.net/2010/10/graph-of-day-global-water-availability.html>
- 4) Sadowski M., Winnicki T., Transition from Environmental Protection Problems to Sustainable Development Issue in Central & Eastern Europe – the case of Poland, UNESCO Workshop: *Sustainability Science in Central and Eastern Europe*, Warsaw, 2015 <https://www.dropbox.com/sh/006whj09x2i0vqr/AACaih09znwwNYuSmxuldmAa?dl=0> /under 11-9-1
- 5) Winnicki T., Separation Processes in Solving Strategic Environmental Problems. [in:] *Innovations and Emerging Technologies for the Prosperity and Quality of Life – the case of Poland*, p.145-166, PWN Warsaw, 2016
- 6) *Odnowa wody*. Podstawy teoretyczne procesów. Pod red. A.L. Kowala. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1996
- 7) Winnicki T., et al., Desalination of Coper-Mine Brackish Water by Means of an Electrodialysis and Reverse Osmosis Combined Process, Proc. of the 5th Intl Symp. On Fresh Water from the Sea, Alghero, Vol.3, str. 159-164, 1976
- 8) Burn S., et al., Desalination techniques — A review of the opportunities for desalination in agriculture, *Desalination*, Vol. 364, str. 2–16, 2015
- 9) Cohen-Tanugi D., Grossman J.C, Water Desalination across Nanoporous Graphene, *Nano Lett.* 12, 3602–3608, 2012,
- 10) Mróz A., Difficult Wastewater – Simple Solutions, Conf.: EU-Japan Industrial Collaboration, Warsaw, 2016, to be published
- 11) Sholl D. S., Johnson J. K., Making high-flux membranes with carbon nanotubes, *Science*, Vol.312, no 5776, str. 1003-1004, 2006
- 12) Kabsch-Korbutowicz M., Majewska Nowak K., Membrane Separation Processes in Environmental Protection, Wrocław University of Technology Press, Wrocław, 2011
- 13) Winnicki T., Ekonomiczny wymiar wprowadzania najnowszych technik inżynierii środowiska. Konf.: *Ekonomia i Środowisko*. Wyd. Uniwersytet Ekonomiczny, Wrocław, 2016, w druku
- 14) Zotalis K., et al., Desalination Technologies: Hellenic Experience, *Water*, Vol. 6, str. 1134-1150, 2014

