

Krystyna KONIECZNY  
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków  
Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice  
e-mail: [konkryst@polsl.gliwice.pl](mailto:konkryst@polsl.gliwice.pl)

## ZAAWANSOWANE TECHNIKI SEPARACJI JAKO ALTERNATYWA DLA TRADYCYJNYCH METOD PRZYGOTOWANIA WODY W ENERGETYCE

***Streszczenie.** Przedstawiono przegląd literatury na temat możliwości wykorzystania technik membranowych do demineralizacji wody dodatkowej do obiegów: kotłowego, ciepłowniczego i chłodzącego. Opisano kilka rozwiązań układów hybrydowych odwróconej osmozy/elektrodializy-wymiany jonowej, kilkustopniowe układy odwróconej osmozy oraz mikrofiltrację i ultrafiltrację jako procesy wspomagające demineralizację wody. Przedstawiono kilka przykładów istniejących i pracujących obiektów przemysłowych.*

## ADVANCED SEPARATION TECHNIQUES AS AN ALTERNATIVE FOR TRADITIONAL METHODS OF WATER PREPARATION FOR POWER ENGINEERING

***Summary.** The paper presents a review of literature dealing with the application of membrane techniques for the demineralisation of additional water feeding the boiler, thermodynamic and refrigerating cycle. Several solutions of hybrid systems of reversed osmosis/electrodialysis have been discussed, as well as multi-stage systems of reversed osmosis and micro- and ultrafiltration as processes aiding the demineralisation of water. The paper presents a few examples of the existing industrial installations being in operation*

### 1. Wstęp

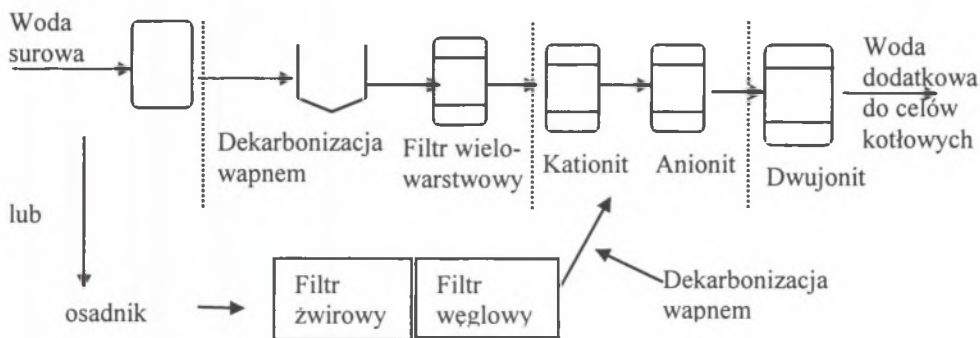
Ciągły rozwój infrastruktury technicznej oraz wprowadzanie nowych rozwiązań technicznych w przemyśle, mających na celu zwiększenie wydajności i sprawności instalacji technologicznych, powoduje wzrost kryteriów jakościowych wody technologicznej wykorzystywanej w procesach produkcyjnych.

Zastosowanie konwencjonalnych technologii, takich jak: koagulacja, sedymentacja, filtracja, w oparciu o nowe konstrukcje układów technologicznych oraz technologii membranowych mikrofiltracji, ultrafiltracji, odwróconej osmozy itp. dla wód mocno zanieczyszczonych i ścieków gwarantuje stabilną jakość wody jako produktu końcowego

lub półproduktu podlegającego wtórnemu wykorzystaniu w procesie technologicznym czy do uzupełniania strat w obiegu chłodzącym, ciepłowniczym lub kotłowym.

Zapewnienie źródła wody surowej, relatywnie taniej, jest podstawowym problemem przy lokalizacji obiektu energetycznego, które najczęściej umiejscowione są w centrach miast. Poszukuje się zatem technologii umożliwiających wykorzystanie do tego celu wód odpadowych (mowa tu o ściekach oczyszczonych z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych, ściekach przemysłowych, odsolinach z obiegu chłodzącego oraz wodach powierzchniowych i innych).

Woda dodatkowa dla energetyki musi spełniać surowe wymagania dotyczące przede wszystkim przewodności i zawartości substancji organicznej. Eksploatacja jednostek energetycznych pracujących pod wyższymi ciśnieniami wymaga zatem zasilania kotłów parowych wodą o wysokim stopniu demineralizacji [1]. Podobnie wysokie wymagania są stawiane wodom przeznaczonym do sieci ciepłowniczej, a w mniejszym stopniu obiegów chłodzących. W tabeli 1 przedstawiono wymagania stawiane wodzie przeznaczonej do sieci ciepłowniczych wg przepisów w Danii oraz wodzie uzupełniającej dla kotłów typu OR-32 wg Energopomiaru, jak również zamkniętym obiegom chłodzącym [2]. Sytuacja taka powoduje, że stosowane powszechnie techniki jonitowe stają się ekonomicznie nieopłacalne, zwłaszcza w przypadku wód o podwyższonym zasoleniu. W chwili obecnej do przygotowania wody dodatkowej stosuje się dekarbonizację, koagulację, filtrację oraz jonitową demineralizację [3]. Ich stosowanie wymaga użycia wielu rodzajów chemikaliów i przyczynia się do wtórnego zwiększenia zasolenia wód naturalnych. Klasyczny proces demineralizacji prowadzi się przy użyciu wymiennicy jonitowych, kolejno na złożu kationitowym, anionitowym i mieszanym (rys.1)[4].



Rys. 1. Klasyczny proces demineralizacji wody  
Fig. 1. Classical process of water demineralization

Znane są wady i zalety tej metody. Do wad należy niewątpliwie zaliczyć szybkie zatrucie jonitów i wytwarzanie ścieków poregeneracyjnych, co przy zwiększających się wciąż wymaganiach związanych z ochroną środowiska wodnego, szczególnie w przypadku instalacji o dużej wydajności, stanowi poważny problem techniczny i ekonomiczny. Wzrastające zasolenie wód zasilających powoduje zwiększenie częstotliwości regeneracji jonitów, a wzrost zawartości substancji organicznych w wodzie wpływa na obniżenie jakości pracy urządzeń i uniemożliwia produkcję wody o wymaganej czystości [1,5].

Tabela 1

Wymagania stawiane wodzie uzupełniającej sieć ciepowniczą i kotły parowe oraz zamkniętych obiegów chłodzących

Wskaźnik obciążenia	Zawartość w wodzie		
	Obieg ciepowniczy	Obieg kotłowy	Zamknięty obieg chłodzący
przewodnictwo, $\mu\text{S}/\text{cm}$	10	<0,5	-
pH	9-10	8,5-9,5	7,0 - 8,5
twardość, $\text{mval}/\text{dm}^3$	0	0	-
zawartość tlenu, $\text{mg}/\text{dm}^3$	0	<0,02	-
zawartość $\text{CO}_2$ , $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	<0,01	-
zawartość żelaza, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	<0,05	-
zawartość miedzi, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	<0,01	-
zawartość krzemionki, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	<0,02	-
utlenialność, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	<5	-
substancje rozpuszczone, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	-	<2500
siarczany, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	-	<1200
wapń, $\text{mg}/\text{dm}^3$	-	-	>50
$[\text{Ca}] \times [\text{SO}_4]$ , $(\text{mg}/\text{dm}^3 \text{CaCO}_3)^2$	-	-	<500000
$[\text{Ca}] \times [\text{SiO}_2]$ , $(\text{mg}/\text{dm}^3 \text{CaCO}_3)^2$	-	-	<35000

Od blisko dziesięciu lat można zaobserwować zmianę w podejściu do problemu produkcji wody zdemineralizowanej. Wprowadza się do systemów demineralizacji nowoczesne techniki separacji, odwróconą osmozę, ultrafiltrację, mikrofiltrację i elektrodializę odwracalną oraz elektrodejonizację, które pozwalają na rozwiązanie wielu problemów występujących w tradycyjnym sposobie demineralizacji wód [1,4-8].

Wykorzystanie metod odwróconej osmozy lub elektrodializy polega na wstępnej demineralizacji w urządzeniach membranowych, po czym woda kierowana jest do pełnej demineralizacji na żywicach jonowymiennych. Dla obiegów ciepowniczych wystarczy demineralizacja metodą odwróconej osmozy. Pozostałe techniki, a więc mikrofiltracja i ultrafiltracja są metodami wspomagającymi prawidłową eksploatację urządzeń odwróconej osmozy i/lub elektrodializy lub wprowadzane są jako filtr końcowy wody zdemineralizowanej. Elektrodejonizacja jest nowoczesną techniką, którą stosuje się zamiast wymiany jonowej.

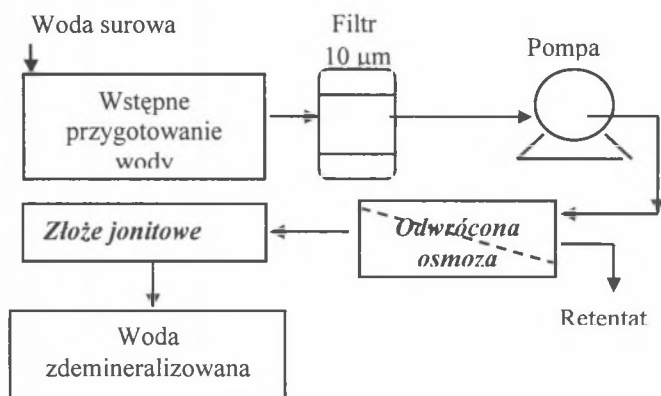
Potrzeba wstępnej demineralizacji, a niekiedy również zmiana układu technologicznego instalacji demineralizacji wody spowodowana jest głównie [1]: wzrostem zasolenia wody surowej, wzrostem zapotrzebowania na wodę zdemineralizowaną, rosnącymi cenami chemikaliów i kosztami odprowadzania ścieków poregeneracyjnych, koniecznością odchodzenia od wody pitnej jako źródła zasilania obiektów energetycznych. W tym ostatnim przypadku istnieje możliwość wykorzystania: ścieków przemysłowych - zamykanie obiegów wodnych, odsolin z układu chłodni kominowych, zanieczyszczonych wód powierzchniowych.

Obecnie w stacjach demineralizacji wody dla energetyki stosuje się nowoczesne techniki separacji w następujących układach:

- układ hybrydowy: odwrócona osmoza- wymiana jonowa lub elektrodejonizacja
- układ hybrydowy: elektrodializa- wymiana jonowa
- kilkustopniowa odwrócona osmoza
- wykorzystanie mikrofiltracji/ultrafiltracji:
  - 1) układ hybrydowy: mikrofiltracji/ultrafiltracji – koagulacja
  - 2) układ hybrydowy: mikrofiltracji/ultrafiltracji – adsorpcja na węglu aktywnym
- trójmembranowy system demineralizacyjny.

## 2. Układ hybrydowy: odwrócona osmoza-wymiana jonowa

Wprowadzenie odwróconej osmozy do układu technologicznego przygotowania wody zdemineralizowanej w wyraźny sposób poprawia wyniki eksploatacji stacji demineralizacji [4,5,8]. W porównaniu z zastosowaniem samej wymiany jonowej układ hybrydowy odwrócona osmoza - wymiana jonowa jest ekonomiczniejszy. Stosuje się go poczynając od stężenia 0,1 - 0,3 kg/m<sup>3</sup> substancji rozpuszczonej, przy czym im większe stężenie, tym korzystniejszy jest układ z odwróconą osmozą [6,9]. Na rysunku 2 przedstawiono schemat typowej instalacji z wykorzystaniem odwróconej osmozy. W celu zapewnienia niezawodnej i ciągłej pracy stacji odwróconej osmozy konieczne jest właściwe wstępne przygotowanie wody z zastosowaniem metod typowych, takich jak: koagulacja, sedymentacja i filtracja. Czasami celowe jest dekarbonizowanie wody i dodatkowe zmiękczenie. Zestaw operacji wstępnego przygotowania wody uzależniony jest od charakteru chemicznego wody surowej oraz wielkości stacji demineralizacji. Dane uzyskane w stacji demineralizacji w USA (Illinois) przy wykorzystaniu układu odwrócona osmoza-wymiana jonowa przedstawia tab. 2 [4].



Rys. 2. Schemat typowej instalacji z wykorzystaniem odwróconej osmozy

Fig. 2. Scheme of typical installation for reverse osmosis

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych instalacji do otrzymywania wody zdemineralizowanej skojarzoną metodą odwrócona osmoza - wymiana jonowa można przedstawić następujące jej zalety [4,5,9]:

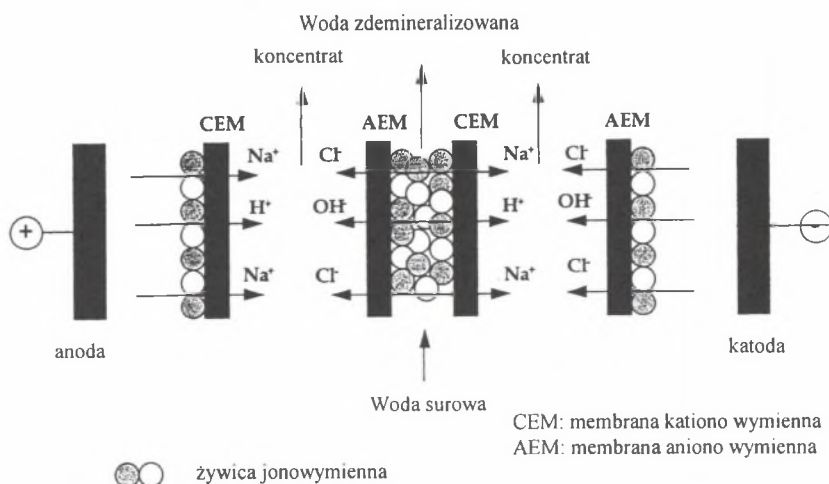
- wymiennicze jonowe w złożu mieszanym pracują w korzystniejszych warunkach, dając wodę wysokiej jakości i nie wymagają tak częstej regeneracji jak w układzie klasycznym,
- sterylizacja wody promieniami UV jest bardziej skuteczna,
- zmniejsza się zużycie jonitów oraz chemikaliów do ich regeneracji,
- zwiększa się okres pracy złoża jonitowego,
- zwiększa się wydajność instalacji przy równoczesnym zmniejszeniu jej gabarytów.

Tabela 2

Wskaźniki obciążenia wody w stacji DEMI - USA układu: odwrócona osmoza-wymiana jonowa

Wskaźnik obciążenia	Woda surowa mg/dm <sup>3</sup>	Woda po odwróconej osmozie mg/dm <sup>3</sup>	Woda zdeminielizowana mg/dm <sup>3</sup>
Ca <sup>2+</sup>	100	2.0	-
Mg <sup>2+</sup>	123	3.3	-
Na <sup>+</sup>	44	1.3	0.04
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	60	3.3	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	137	1.8	-
Cl <sup>-</sup>	70	1.7	-
SiO <sub>2</sub>	1-10	0.3	-

W najnowocześniejszych rozwiązaniach zamiast klasycznej wymiany jonowej stosuje się elektrodejonizację. Systemy uzdatniania pracujące w układzie RO-wymiana jonowa stosują złoża mieszane regenerowane chemikaliami, co obniża korzyści wynikające z zastosowania RO. Ciągła konieczność zmniejszania zużycia chemikaliów uitorowała drogę kolejnej technologii: elektrodejonizacji (rys.3) [10,11].



Rys. 3. Zasada procesu elektrodejonizacji

Fig. 3. Idea of electrodeionization process

Elektrodejonizacja jest połączeniem elektrodializy z wymianą jonową. Technika ta wykorzystuje konwencjonalną żywicę do wymiany jonowej, jednak przyłożone napięcie powoduje wędrówkę jonów do odpowiednich elektrod i tym samym do strumienia zażęzonego. Drugim zadaniem stałego napięcia elektrycznego jest dysocjacja wody na jony  $H^+$  i  $OH^-$ , które obsadzają grupy jonowymienne żywicy doprowadzając do jej regeneracji. Komory wypełnione jonitem są zasilane wodą surową i stąd odprowadzana jest woda zdemineralizowana. Komory te oraz komory koncentratu są rozdzielone membranami jonowymiennymi. W ten sposób eliminuje się konieczność chemicznej regeneracji jonitów. Stosowane układy są podobne do tych, które używa się w tradycyjnym rozwiązaniu (rys.3). Woda zdemineralizowana jest bardzo wysokiej jakości: ok.15 Mom/cm. W odróżnieniu od złoza mieszanego proces dejonizacji jest procesem ciągłym.

### 3. Układ hybrydowy elektrodializa odwracalna – wymiana jonowa

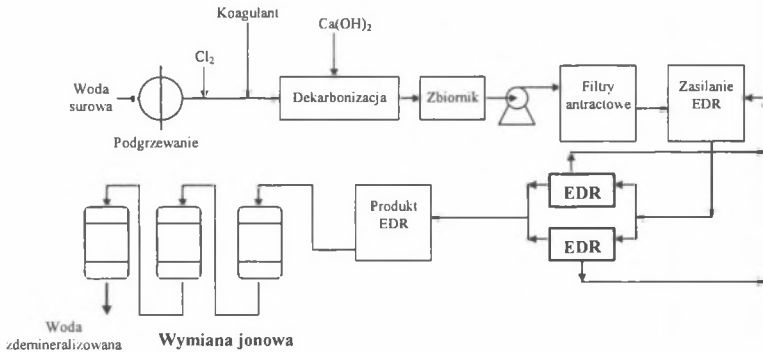
Wspomniany już system elektrodializy odwracalnej (EDR) jest w mniejszym stopniu wrażliwy na zanieczyszczenia w wodzie niż rozwiązania oparte na odwróconej osmozie i wymianie jonowej. Może więc pracować zasilany wodami powierzchniowymi posiadającymi SDI w granicach od 5 do 6. EDR pozwala na uzyskanie wysokiego stopnia odzyskania wody, w granicach 85-95%. Ograniczeniem systemu jest to, że nie następuje usuwanie krzemionki koloidalnej [5].

Elektrodializę odwracalną wykorzystuje się do wstępnej demineralizacji wody zasilającej kotły energetyczne w układzie hybrydowym z wymianą jonową. Produktem EDR jest woda zasilająca stację wymienników jonowych. Liczba regeneracji jonitów zostaje zmniejszona o 80%. Inne korzyści z zastosowania elektrodializy odwracalnej to: obniżenie zużycia chemikaliów i ilości zrzucanych ścieków, wzrost fizycznej stabilności jonitów i zmniejszenie ich zanieczyszczeń, zmniejszenie kosztów procesu. Tabela 3 prezentuje wyniki demineralizacji otrzymane tym sposobem, a rys. 4 schemat z zastosowaniem elektrodializy odwracalnej [5].

Tabela 3

Analiza wody w poszczególnych etapach demineralizacji metodą elektrodializy odwracalnej (EDR)

Wskaźnik obciążenia	Woda surowa mg/dm <sup>3</sup>	Woda po EDR mg/dm <sup>3</sup>	% demineralizacji
sód	81,7	15,8	80,6
potas	3,5	0,7	80,0
wapń	36,8	3,5	90,5
magnez	13,0	1,5	88,5
chlorki	135	23,8	82,3
wodorowęglany	9,0	3,2	64,4
azotany	10,1	2,0	81,0
siarczany	117,7	12,1	89,7
suma jonów	406,7	62,6	84,6
węgiel organiczny	5,3	3,2	39,6
przewodność, $\mu S/cm$	740,2	111,5	84,9
pH	6,4	5,8	-

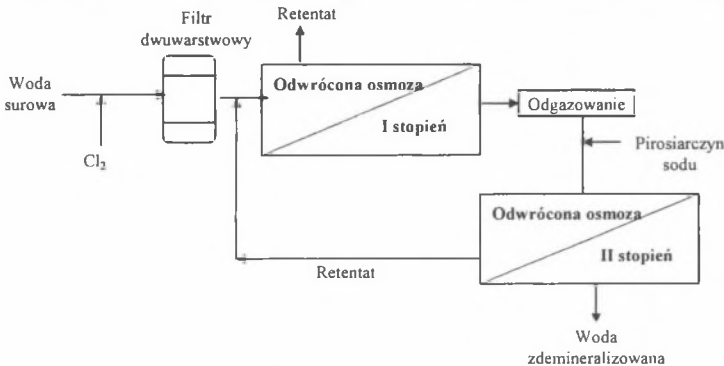


Rys. 4. Schemat demineralizacji wody z zastosowaniem elektrodializy odwracalnej  
 Fig. 4. Scheme of water demineralisation with the application of reversal electro dialysis

Etapy procesu demineralizacji są następujące: podgrzanie wody surowej oraz chlorowanie i dodanie koagulantu, dekarbonizacja za pomocą wodorotlenku wapnia, filtracja i korekta pH, demineralizacja metodą elektrodializy, demineralizacja na jonitach.

#### 4. Układ kilkustopniowej odwróconej osmozy

Stosuje się też systemy z wykorzystaniem dwustopniowego układu odwróconej osmozy (rys.5) [7]. Wówczas pomija się etap demineralizacji metodą wymiany jonowej.



Rys. 5. Schemat demineralizacji wody z zastosowaniem dwustopniowej odwróconej osmozy

Fig. 5. Scheme of water demineralisation with the application of two stage reverse osmosis

W pierwszym i drugim stopniu można stosować membrany z tego samego lub różnych surowców polimerowych. Tabela 4 przedstawia jakość otrzymanej wody w dwustopniowym układzie demineralizacyjnym odwróconej osmozy z wykorzystaniem membran z octanu celulozy i z poliamidu. Dobre parametry wody zdemineralizowanej uzyskano bez korzystania z procesu wymiany jonowej.

Tabela 4

Skład chemiczny wody otrzymanej w dwustopniowej instalacji odwróconej osmozy

Wskaźnik obciążenia	Woda surowa mg/dm <sup>3</sup>	RO-I zasilanie mg/dm <sup>3</sup>	RO-I permeat mg/dm <sup>3</sup>	RO-II zasilanie mg/dm <sup>3</sup>	Woda zdemini- neralizowana mg/dm <sup>3</sup>
wapń	13	12	0,2	0,2	0,05
magnez	19	19	0,5	0,5	0,05
sód	27	22	2,8	3,6	0,3
potas	7	4	0,3	0,3	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	27	71	0,4	1,9	0,01
chlorki	27	22	0,8	1,0	0,01
pH	7,4	5,8	5,1	6,2	5,8
zasadowość	111	40	8	8	0,8
CO <sub>2</sub>	8	79	78	2,0	2,0
chlor	0	0,4	0	0	0
SiO <sub>2</sub>	31,7	32	6,1	6,2	0,035
przewodność, μS/cm	331	335	21	23	1,5

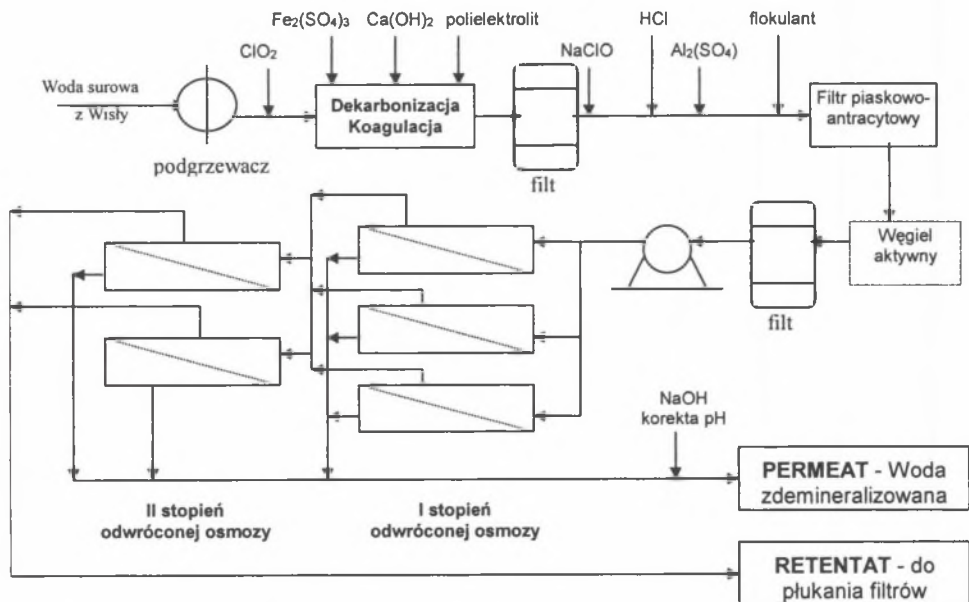
RO - reverse osmosis (odwrócona osmoza)

Zasadniczym ograniczeniem zastosowania odwróconej osmozy w tym przypadku jest duża wrażliwość na zanieczyszczenie wody zasilającej. Wskaźnik SDI nie powinien przekraczać wartości 5, poziom substancji utleniających, takich jak wolny chlor, winien być mniejszy od 0,1 mg/dm<sup>3</sup>, a ponadto membrany są narażone na skażenie mikrobiologiczne. Osiągnięcie wydajnej i bezawaryjnej pracy instalacji odwróconej osmozy wymaga, jak zwykle, bardzo starannego przygotowania wstępnego wody [5,9,12].

Przykładem zastosowania tego rodzaju rozwiązania w kraju jest stacja demineralizacji wody w Elektrociepłowni Żerań (rys.6).

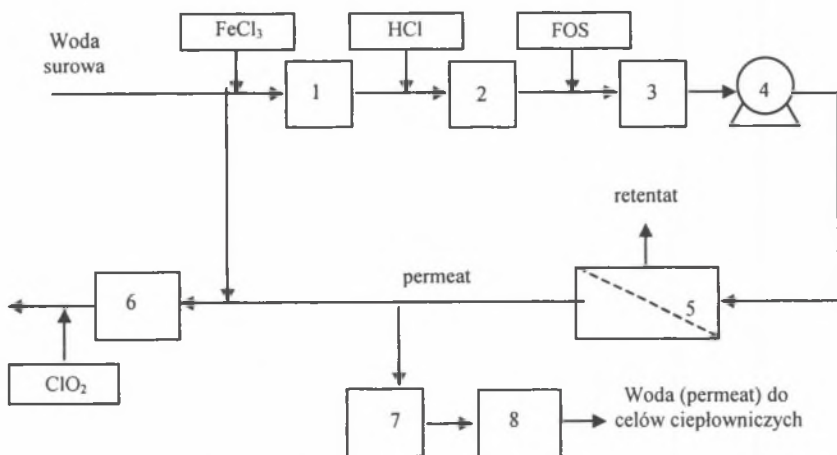
Wstępne przygotowanie wody polega na jej podgrzaniu do 30°C, chlorowaniu ClO<sub>2</sub>, dekarbonizacji oraz koagulacji za pomocą soli Fe i polielektrolitu, a następnie filtracji na filtrach żwirowych i piaskowo-antracytowych. Pomiędzy pierwszym i drugim stopniem filtracji wprowadza się do wody kolejno: podchloryn sodu (środek dezynfekcyjny), siarczan glinu (koagulant) i flokulant organiczny. Tak przygotowana woda podawana jest przez filtr 5 μm na dwustopniowy system odwróconej osmozy, przy czym retentat z pierwszego stopnia stanowi wodę surową dla drugiego, a produktem procesu są połączone permeaty z obydwu stopni odwróconej osmozy.





Rys. 6. Schemat demineralizacji wody w Elektrociepłowni „Żerań”

Fig. 6. Scheme of water demineralisation in “Zeran” Heat and Power Generating Plant



Rys. 7. Schemat produkcji wody: 1 – koagulacja, 2 – filtracja, 3 – filtracja dokładna, 4 – pompa wysokiego ciśnienia, 5 – instalacja RO, 6 – filtry żwirowe, 7 – areator, 8 – odgazowywacz termiczny, FOS – preparat kompleksujący

Fig.7. Scheme of water production: 1 - coagulation, 2 – filtration, 3 – fine filtration, 4 – high pressure pump, 5 – RO installation, 6 -gravelier, 7 – aerator, 8 – thermal degasifier, FOS – complexing agent

Charakterystyka instalacji, którą uruchomiono w 1995 r., jest następująca: zasilanie: surowa woda z Wisły, wydajność: 600 m<sup>3</sup>/h wody zdeminielizowanej; stopień odzysku permeatu 75%, rodzaj modułów: spiralne zawierające poliamidowe membrany firmy Filmtec, o współczynniku retencji NaCl wynoszącym 98-99%, ciśnienie robocze 1,6 MPa.

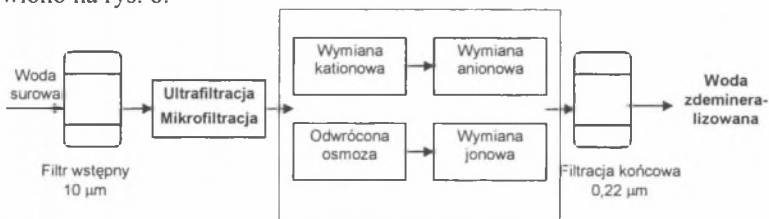
Kolejnym przykładem zastosowania tego rodzaju rozwiązania w kraju jest stacja demineralizacji wody w Elektrociepłowni Rydułtowy. Schemat produkcji wody realizowanej tą technologią przedstawia rys. 7 [13].

Woda surowa pozyskiwana z kopalni nie spełnia wymagań, jakie stawiane są wodzie zasilającej instalację RO. Powinna ona posiadać następujące parametry: ciśnienie min. 0,35 MPa, temperaturę 288-293 K, wskaźnik SDI maks. 3, a zawartość soli rozpuszczonych maks. 1800 mg/dm<sup>3</sup>. Nie powinna zawierać wolnego chloru, żelaza powyżej 0,2 mg/dm<sup>3</sup>, manganu nie więcej niż 0,05 mg/dm<sup>3</sup>, a glinu nie więcej niż 0,1 mg/dm<sup>3</sup>. Zawartość takich składników jak: wapń, magnez, sód, potas, stront, bar, siarczany, fluorki, wodorowęglany, węglany, azotany oraz krzemionka musi zostać uwzględniona, by zapobiec wytrącaniu się kamienia membranowego. Dlatego wstępne przygotowanie polega na obniżeniu wskaźnika SDI, korekcie odczynu i dozowaniu środków przeciwko osadzaniu się kamienia na powierzchni membran. W instalacji odwróconej osmozy zastosowano kompozytowe membrany poliamidowe produkcji firmy Hydranautics o symbolu ESPA 1.

Woda zasilająca obieg ciepłowniczy odpowiada wymogom jakości wody do napełnień i uzupełnień obiegu ciepłowniczego. Cena wody wyprodukowanej w instalacji RO jest niższa niż cena, jaką oferuje rejonowe przedsiębiorstwo wodociągowe i wynosi 1,63 pln/m<sup>3</sup>, wobec czego stanowi atrakcyjną ofertę dla odbiorców [13].

## 5. Wykorzystanie ultrafiltracji i mikrofiltracji

Ultrafiltracja i mikrofiltracja w otrzymywaniu wody zdeminielizowanej jest wykorzystywana jako metoda wspomagająca właściwą demineralizację. Może więc współpracować z wymianą jonową lub odwróconą osmozą. Ponadto ostatnio UF jest stosowana do oczyszczania wód obiegów chłodzących [12]. System produkcji wody zdeminielizowanej z zastosowaniem MF/UF jako wstępnego przygotowania wody, do usunięcia substancji koloidalnych, przed wprowadzeniem na wymianę jonową lub RO przedstawiono na rys. 8.

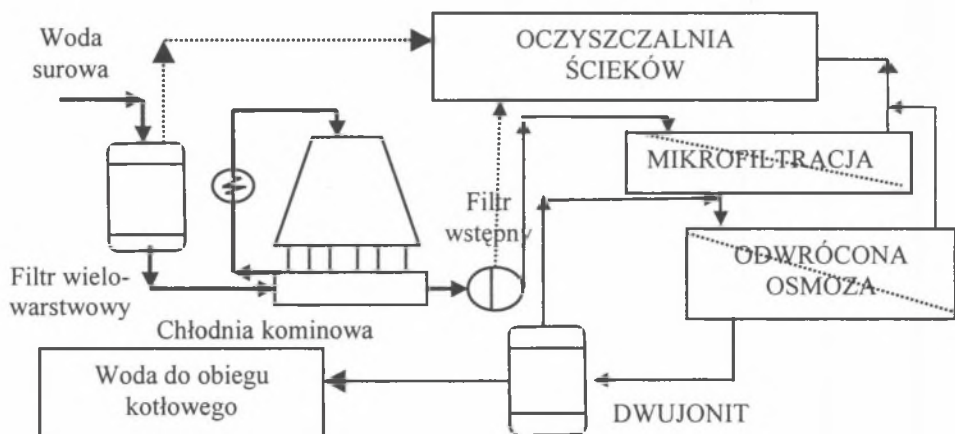


Rys. 8. Systemy produkcji wody zdeminielizowanej z wykorzystaniem ultrafiltracji/mikrofiltracji

Fig. 8. Systems of demineralised water production with the application ultrafiltration/microfiltration

Przykładem takiego rozwiązania jest instalacja do otrzymywania wody zdeminielizowanej zainstalowana w Elektrowni „Łagisza” w 1997r. (rys. 9) [3, 14].

Produkuje wodę dodatkową dla 7 bloków energetycznych o mocy 125 MW każdy. Źródłem wody surowej są odsoliny z obiegu chłodzącego o zasoleniu 2100-2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , zawiesinie 19-87  $\text{mg}/\text{dm}^3$  i utlenialności 27-49  $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ . Układ technologiczny obejmuje filtr zgrubny 250  $\mu\text{m}$ , trzy linie ciągłego układu MF (każda o wydajności 90  $\text{m}^3/\text{h}$ ) i trzy linie odwróconej osmozy (każda o wydajności 50  $\text{m}^3/\text{h}$ ). Woda po MF zawiera poniżej 0,5  $\text{mg}/\text{dm}^3$  zawiesiny, a jej mętność wynosi poniżej 1 NTU, natomiast przewodnictwo wody po odwróconej osmozie  $<0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$  i zawartości  $\text{SiO}_2 <0,02 \text{mg}/\text{dm}^3$ .



Rys. 9. Instalacja demineralizacji wody w Elektrowni „Łągisza”  
Fig. 9. Installation of water demineralisation in Power Plant “Łągisza”

Korzyści, jakie daje ta instalacja, to: ograniczenie poboru wody surowej z rzeki, zmniejszenie zrztu ścieków i dostosowanie ich jakości do wymagań wodno-prawnych, poprawa jakości wody w obiegu chłodzącym i możliwość jej ścisłej kontroli oraz wyeliminowanie znacznych ilości ługu i kwasu stosowanych do regeneracji jonitów. Wykorzystanie mikrofiltracji jest w takim rozwiązaniu celowe, bowiem uzyskana woda charakteryzuje się bardzo wysokimi parametrami jakościowymi umożliwiającymi bezpośrednie kierowanie do urządzenia odwróconej osmozy. Ponadto korzyści wynikające z tego rozwiązania to usuwanie krzemionki koloidalnej z wód zasilających energetyczne kotły parowe. Poważnym problemem w przygotowaniu wody stosowanej do zasilania energetycznych, wysokopiętnych kotłów parowych jest obecność krzemionki. Koloidalna forma krzemionki jest lotna i wraz z parą dostaje się do turbin, gdzie osadzając się na łopatkach może spowodować ich awarię. Przygotowanie wody do zasilania kotłów parowych powinno być tak prowadzone, by zawartość krzemionki koloidalnej nie przekraczała 0,02  $\text{mg}/\text{kg}$  pary [15,16].

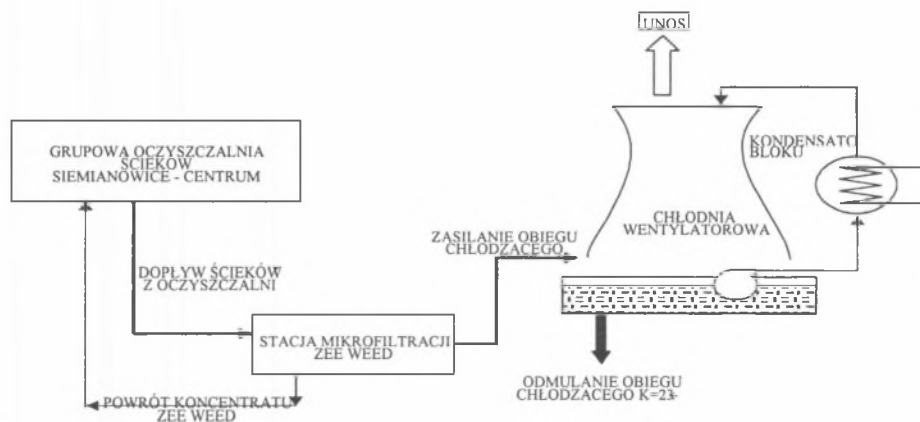
Demineralizacja wody na jonitach powoduje usunięcie jedynie krzemionki jonowej, natomiast krzemionka koloidalna i zawiesinowa mogą być usuwane i to częściowo metodą koagulacji [17]. Woda zdeminalizowana może zawierać więc znaczne ilości krzemionki koloidalnej w zależności od pory roku i źródła zasilania. UF wody zdeminalizowanej zawierającej krzemionkę koloidalną wydaje się być skutecznym sposobem ochrony turbin parowych przed jej niszczącym działaniem [18-19].

Mikrofiltracja może być również wykorzystana do oczyszczania wody zasilającej obiegi chłodzące w elektrowniach. Duże obiekty energetyczne zlokalizowane są zazwyczaj na terenach zurbanizowanych. Źródłem wody mogą być ścieki z oczyszczalni biologicznej. Na przykład chłodnie wentylatorowe nowego bloku energetycznego 110 MW w EC „Katowice” są zasilane wodą z oczyszczalni biologicznej w Siemianowicach (rys. 10) [14,20].

Istotą procesu mikrofiltracji na instalacji firmy ZENON jest filtrowanie wody z zewnątrz do wewnątrz kapilarnych modułów membranowych zanurzonych całkowicie w wodzie filtrowanej. Wielkość porów membran ZW waha się w granicach od 0,085 do 0,200  $\mu\text{m}$ . Gwarantuje to całkowite usunięcie z wody filtrowanej cząstek zawieszonych o wymiarze 0,200  $\mu\text{m}$ , w tym również pasożytów *Giardia* i *Cryptosporidium* oraz ich form przetrwalnikowych.

Membrany ZW pracują na niskim podciśnieniu, które w wewnętrznych przestrzeniach włókien wytwarza pompa procesowa. Woda filtrowana przepływa przez ściany włókien do ich wnętrza, a następnie zasysana jest przez pompę procesową do zbiornika wody przefiltrowanej. Do modułu membranowego wprowadzone jest powietrze, którego pęcherzyki unoszą się wzdłuż włókien wytwarzając turbulencje i oczyszczając w sposób ciągły powierzchnię membran, co ułatwia pracę przy dużym obciążeniu powierzchni filtracyjnej. Przepływ powietrza ma także pozytywny efekt uboczny, powodując utlenianie  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  i niektórych składników organicznych, co dodatkowo podnosi jakość permeatu [20]. ZW jest więc procesem jednostopniowym, który w prosty sposób pozwala na łatwe i precyzyjne sterowanie i automatyzację. Fakt swobodnego zanurzenia membran w filtrowanym medium w warunkach przepływu burzliwego wywołanego napowietrzaniem sprawia, że nawet przy bardzo wysokich zawartościach zawiesin także inkrustujących lub trudno opadalnych membrany nie ulegają nieodwracalnemu zanieczyszczeniu. Membrany ZW mają wysoką odporność na wolny chlor i inne czynniki utleniające, co umożliwia nawet bardzo głębokie chlorowanie wody filtrowanej.

Schemat instalacji o wydajności 250  $\text{m}^3/\text{h}$  opartej na podciśnieniowej mikrofiltracji z membranami kapilarnymi przedstawiono na rys.10.

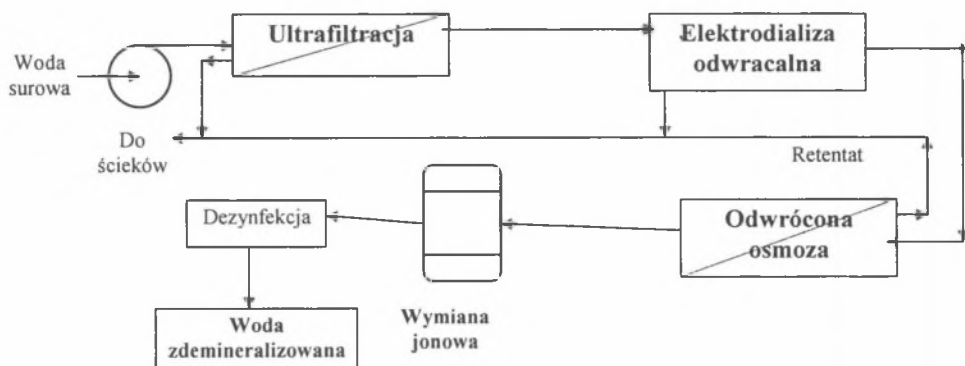


Rys. 10. Schemat instalacji wykorzystującej podciśnieniową mikrofiltrację do oczyszczania ścieków (produkcja wody dla EC „Katowice” do celów chłodniczych)

Fig. 10. Scheme of installation using vacuum microfiltration for wastewater treatment (production of water for EC „Katowice” in cooling purposes)

## 6. Trójmembranowy system demineralizacyjny

Trójmembranowy system demineralizacyjny stosuje się w produkcji wody zdemineralizowanej do zasilania energetycznych kotłów parowych w elektrowniach atomowych oraz w przemyśle elektronicznym [5]. Jest to układ hybrydowy, w którym wykorzystuje się łącznie trzy procesy membranowe: ultrafiltrację, elektrodializę odwracalną i odwróconą osmozę rys. 11.



Rys. 11. Instalacja demineralizacji wody w układzie trójmembranowym

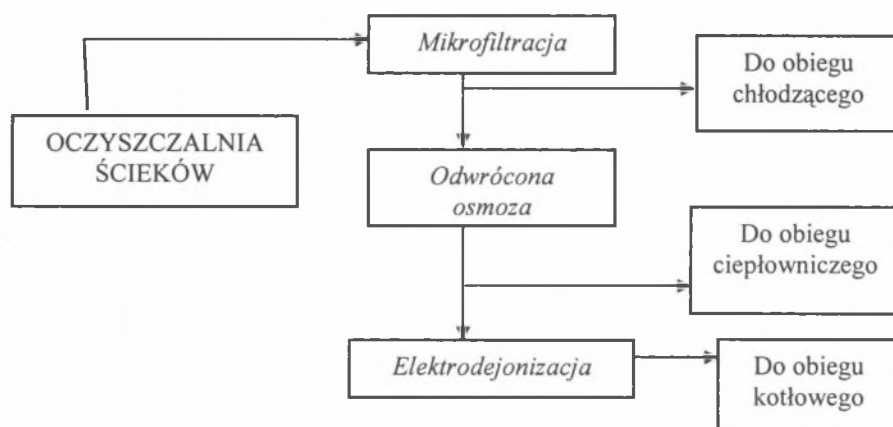
Fig. 11. Installation of water demineralisation in three membrane system

Ultrafiltracja ma na celu wstępne przygotowanie wody, przed właściwą demineralizacją, metodami elektrodializy odwracalnej i odwróconej osmozy [5].

## 7. Podsumowanie

- W nowoczesnych systemach demineralizacyjnych wody uzupełniającej zasilanie kotłów parowych stosuje się układy hybrydowe: odwrócona osmoza – wymiana jonowa oraz elektrodializa – wymiana jonowa. Ostatnio w miejsce klasycznej wymiany jonowej wprowadzany jest proces elektrodejonizacji, który eliminuje konieczność chemicznej regeneracji jonitów.
- Istotną sprawą jest wstępne przygotowanie wody przed właściwą demineralizacją. Proponuje się zastosowanie zamiast rozbudowanej technologii klasycznej ultrafiltracji lub mikrofiltracji.
- Wprowadzenie nowoczesnych technik separacji w przemyśle energetycznym umożliwi wykorzystanie wód odpadowych jako nowego źródła wody dla układów technologicznych:
  - wykorzystanie odsolin z chłodni z zastosowaniem odwróconej osmozy i mikrofiltracji jako wody dodatkowej do obiegów wodno-parowych (Elektrownia „Łagisza”),
  - odsalanie wód nadosadowych ze składowisk odpadów stałych (żużel i popiół),
  - odsalanie wysoko zasolonych ścieków pochodzących z oczyszczania chemicznego bloków energetycznych,

- wykorzystanie ścieków oczyszczonych w oczyszczalni biologicznej. Dla wód twardych należy wykorzystać nanofiltrację do zmiękczenia wody dla ciepłownictwa. Coraz realniejszy staje się zatem pełny recykling wody i ścieków, a tym samym wodę z odnowy będzie można wykorzystywać do uzupełniania obiegów energetycznych. Rysunek 12 przedstawia realny układ technologiczny przygotowania wody dodatkowej dla obiegów: chłodzącego, ciepłowniczego i kotłowego z jednej instalacji [22].



Rys. 12. Propozycja schematu technologicznego przygotowania wody dodatkowej ze ścieków dla potrzeb energetycznych

Fig. 12. Proposal of technological scheme involving the preparation of additional water from wastewater for the needs of power production

### Bibliografia

1. Warachim M.: Techniki membranowe w energetyce. Przyszłość czy teraźniejszość? Mat. V Konf. Nauk.-Tech. nt. Udział chemii energetycznej we wzmoczeniu efektywności urządzeń, Bielsko Biala 1994, 125-131.
2. Marianowski J., Ostrowski J., Ratajczyk C., Zdrojewska Z., Moczyński P.: Doświadczenia techniczno-ekonomiczne. Praktyczne i ekonomiczne przesłanki w zastosowaniu odwróconej osmozy jako źródła wody dla sieci ciepłowniczej i kotłów parowych w OPEC Grudziądz, Mat. II Ogólnopol. Konf. nt. Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska, Ustroń-Jaszowiec 23-25 października 1997, 67-78.
3. Konieczny K.: Techniki membranowe w przygotowaniu wody dodatkowej dla obiektów energetycznych, Gospodarka Paliwami i Energią, 2001,12, 6-12.

4. Solt G.: Membranes in Power Generation, (w:) The Membrane Alternative: Energy Implications for Industry, ed. Howell J.A., London – New York, Elsevier Applied Science 1990, 31-37.
5. Kurowski P.: Nowe tendencje w budowie stacji demineralizacji wody – systemy trójmembranowe. Elektrodializa odwracalna jako wstępna demineralizacja wody zasialającej kotły energetyczne. Mat. V Konf.Nauk.-Tech. nt. Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń, Bielsko Biała 1994, 85-92.
6. Rice D.B.: Consider Membrane Treatment for Roughing Demineralization, Power 1991, 135, 8, 49-53.
7. Comb.L.F., Fulford K.: Systemy dwustopniowej odwróconej osmozy z użyciem membran poliamidowych i trójoctanowo-celulozowych. Mat.V Konf.Nauk.-Techn. nt. Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń, Bielsko Biała 1994, 149-160.
8. Bodzek M., Bohdziewicz J., Konieczny K.: Techniki membranowe w ochronie środowiska, Gliwice, Wyd.Politechniki Śląskiej 1997.
9. Bodzek M., Konieczny K.: Procesy membranowe i ich zastosowanie w uzdatnianiu wody dla energetyki, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 1998, 1 (1), 39-56.
10. Lugan H.: Process Make up Water and Ultrapure Water, E.M.S. XVth Annual Summer School, Toulouse, France 6-10 July 1998.
11. Gavach C.: Electrically-driven membrane processes basic principles and state of art., referat wygłoszony na Kursie w ramach programu „JOINT EUROPEAN NETWORK”, pt. Membrany i membranowe techniki rozdzielu cz.II, Toruń, wrzesień 1997.
12. Jonsson A.S., Tragardh G.: Ultrafiltration applications, Desalination 1990, 77, 135-179.
13. Klimanek K., Koszorz M.: Uzdatnianie wody kopalnianej do celów pitnych i ciepłowniczych z wykorzystaniem procesu odwróconej osmozy, Materiały konferencyjne Hydroforum VII 2001, Ustroń 2001.
14. Wawrzyńczyk J.: Systemy uzdatniania wód dla elektrowni, elektrociepłowni i sieci ciepłowniczych, technologie membranowe, Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Wpływ chemii energetycznej na pracę małych i średnich obiektów energetycznych, Ustroń 2001, 15-25.
15. Hackiewicz G., Kowalczyk A.: Stacja odwróconej osmozy w Elektrociepłowni „Żerań”, Energetyka 1997, 6, 292-296.
16. Sierakowski E.: Kontrola chemiczna obiegów wodnych i wodno-parowych w elektrowniach, WNT, Warszawa, 1974.
17. Sierakowski E.: Kontrola wody i pary w energetyce, WNT, Warszawa, 1979.
18. Bodzek M., Konieczny K.: Ultrafiltration of Colloidal Silica Solution, Polish J.Chem. 1992, 66, 1683-1694.
19. Konieczny K., Bodzek M.: Ultrafiltration of Demineralized Water Containing Colloidal Silica, Desalination 1990, 79, 145-161.
20. Zsirai I., Książek K., Potrzebka A.: Uzdatnianie wód zanieczyszczonych i odpadowych dla celów przemysłowych przy zastosowaniu mikrofiltracji podciśnieniowej na zanurzeniowych membranach pustwólknowych, IV Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę i jakość wód” Kraków 2000, 585-597.
21. Grygierczyk J.: Projektowanie stacji uzdatniania wody - nowe technologie, alternatywne źródła zasilania, IX Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń, Szczyrk, maj 2002, 35-44.

22. Wawrzyńczyk J.: Wykorzystanie wód z odnowy do uzupełniania obiegów energetycznych, VIII Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń, Szczyrk, maj 2000, 168-176.