

Antoni MAGDZIORZ¹, Jacek SEWERYŃSKI¹

WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII MEMBRANOWYCH W UZDATNIANIU I ODSALANIU WÓD KOPALNIANYCH

Streszczenie. Publikacja zawiera opis problemu, badania i zastosowanie technologii membranowych do oczyszczania i zateżnienia słonych wód z kopalń węgla kamiennego.

THE USE OF MEMBRANE TECHNIQUES IN TREATMENT AND DESALINATION OF COAL MINE WATERS

Summary. The publication covers description of the state of art, research and development of coal mine water desalination and results of application membrane technologies for purification and concentration of mine waters from coal mines.

1. Wprowadzenie

Eksploatacji węgla kamiennego towarzyszy wypływ naturalnych wód podziemnych do wyrobisk górniczych. Wody te są wytłaczane na powierzchnię i są odprowadzane do rzek. Wpływ górnictwa węgla kamiennego na jakość wód powierzchniowych postrzegany jest głównie poprzez wprowadzanie przez kopalnie zasolonych wód, które wpływają na biodegradację rzek ograniczając możliwości wykorzystania ich do celów gospodarczych. Mineralizacja wód z odwadniania poszczególnych kopalń jest bardzo zróżnicowana, począwszy od wód odpowiadających wymaganiom wody do picia, a skończywszy na solankach, w których stężenie soli dochodzi do 200 g/dm³. Zmineralizowane wody kopalniane zrzucane do rzek są wieloskładnikowym roztworem soli nieorganicznych, w którym główny udział mają jony sodu, potasu, wapnia i magnezu oraz chlorki, siarczany, wodorowęglany, jodki i bromki.

¹ Główny Instytut Górnictwa, Zakład Ochrony Wód, Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice, e-mail: snxam@gig.katowice.pl, snxjs@gig.katowice.pl

Większość wód - ok.90% jest typu chlorkowego. Pozostałe charakteryzują się większą zawartością jonów siarczanowych. Ilość i jakość wód dopływających do poszczególnych kopalń zależy od lokalnych warunków hydrogeologicznych, głębokości kopalń oraz ilości i rozmieszczenia drenujących wyrobisk górniczych.

W roku 2000 do rzeki Wisły i jej dopływów odprowadzały swoje wody 34 kopalnie, Zakłady Górnicze, w tym kopalnie likwidowane i zlikwidowane. Ogółem kopalnie węgla kamiennego odprowadzały w 2000 r. do zlewni Wisły ok. 403 tys.m³/d wód z sumarycznym ładunkiem chlorków i siarczanów 2,35 tys. t/d. Natomiast do zlewni górnej Odry odprowadzały średnio w ciągu doby ok. 155 tys. m³ wód, z średnio dobowym ładunkiem chlorków i siarczanów wynoszącym ok. 1,24 tys. t/d [1].

Dla polskich rzek w zlewniach górnej Wisły i Odry podwyższone ilości soli są jednym z wielu odkształceń ekosystemów rzecznych. Jednym ze sposobów eliminowania soli z tych wód jest ich odsalanie. Głównym celem odsalania wód kopalnianych, z punktu widzenia ochrony środowiska, jest wyeliminowanie z nich soli, najkorzystniej w postaci produktów handlowych. Osiągnąć to można jedynie przez ich zateżnienie, z równoczesnym odzyskiem wody odsolonej, a następnie ich selektywną krystalizację. O ile postęp w odsalaniu wód morskich jest znaczny, to odsalanie wód występujących wewnątrz łądu napotyka bariery technologiczne, ekonomiczne i prawne. Odsalanie polskich słonych wód kopalnianych bez rozwiązania zagadnień unieszkodliwiania, deponowania lub odzysku soli z zasolonego odpadu (koncentratu) po odsalaniu jest w warunkach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego niecelowe i szkodliwe z punktu widzenia ochrony środowiska [2]. Fakt ten jest niezwykle istotny przy rozpatrywaniu problemów związanych z odsalaniem polskich wód kopalnianych, których źródła położone są daleko od morza.

Mając to na uwadze, zastosowane rozwiązania i badania nad odsalaniem wód kopalnianych, prowadzone m.in. w Głównym Instytucie Górnictwa, w pierwszym rzędzie musiały uwzględnić te uwarunkowania. Większość pracujących na świecie instalacji odsalających, termicznych i membranowych, usytuowana jest nad morzem i głównym ich zadaniem jest odzysk wody pitnej, a nie eliminowanie z nich soli. Ze względów technologicznych i ekonomicznych odzysk wody słodkiej z wody morskiej kształtuje się maksymalnie na poziomie 30%, a przeciętnie nie przekracza 20% ilości wody doprowadzanej. Wykorzystanie doświadczeń z tych instalacji jest w warunkach polskich ograniczone [3].

W procesach odsalania wód kopalnianych, mających na celu wyeliminowanie z nich soli, podstawowe problemy techniczne stwarzają jony wapnia, magnezu i siarczany. Ich wzajemne proporcje w zasadniczy sposób ograniczają możliwość zateżenia takich wód w klasycznych (RO) metodach membranowych ze względu na przekroczenie granicy rozpuszczalności, zwłaszcza siarczanu wapniowego, a tym samym blokowanie membran. Duże stężenie jonów wapnia i magnezu wyklucza ze względów ekonomicznych usuwanie ich metodami chemicz-

nymi. Przy tak postawionym problemie zastosowanie niskoenergetycznych procesów membranowych do odsalania wód kopalnianych zostaje ograniczone do roli ich wstępnego zateżenia. Konieczne jest jednak, aby koncentrat z procesów membranowych miał jak najwyższe stężenie przy niskich kosztach zateżenia. Wtedy można go dalej utylizować oszczędzając na kosztach energii w procesach zageszczania termicznego i krystalizacji [4].

Osobnym zagadnieniem jest wykorzystanie wód kopalnianych o mineralizacji zbliżonej do wymagań fizykochemicznych stawianych wodzie do picia. Kopalnie węgla kamiennego dysponują znaczącymi ilościami tych wód. Około 20% tych wód wykazuje mineralizację poniżej 600 mg/dm^3 , a więc mieszczących się w granicach dopuszczalnych dla wód pitnych. Natomiast ok. 80% tych wód, szczególnie pochodzenia infiltracyjnego, w wyniku procesu rozpuszczania i wymiany jonowej ze środowiskiem skalnym wykazuje zwiększoną zawartość jonów siarczanowych, wapniowych, magnezowych, żelaza i manganu. Do utylizacji tych wód szczególnie predysponowane są techniki membranowe: odwrócona osmoza, nanofiltracja.

Poniżej przedstawiono skrótowo rozwiązania zastosowane w skali technicznej przy odsalaniu i uzdatnianiu polskich zasolonych wód kopalnianych metodami membranowymi, a także badania przeprowadzone na instalacjach pilotowych.

2. Zastosowanie odwróconej osmozy do zateżenia słonych wód kopalnianych

2.1. Instalacja membranowa w Zakładzie Odsalania Wód Kopalnianych w Dębieńsku

W celu ograniczenia zasolenia rzeki Bierawki oraz Odry przy kopalni „Dębieńsko” uruchomiono w 1975 pierwszy zakład odsalania wód kopalnianych utylizujący ok. $2000 \text{ m}^3/\text{d}$ solanek o mineralizacji ok. $80\text{-}100 \text{ g/l}$. Proces odsalania oparto na oryginalnej technologii opracowanej w Głównym Instytucie Górnictwa. Technologia ta oparta jest na selektywnej krystalizacji chlorku sodowego, stanowiącego główny składnik solanki kopalnianej, oraz siarczanu wapnia. Proces prowadzony jest w dwunastostopniowym układzie wyparnym z adiabatywnym rozprężaniem solanki, w zakresie temperatur $120\text{-}55^\circ\text{C}$. Efektem pracy instalacji jest ograniczenie zasolenia w Odrze o ok. 15%, przez produkcję ok. 120 t/d soli kuchennej oraz kondensatu [4].

W 1995 roku uruchomiono następną instalację odsalającą. Skojarzono w niej dwie technologie [5]:

- odwróconą osmozę
- termiczne zateżanie ze sprężaniem wyparów oraz krystalizacją chlorku sodu.

Aktualnie Zakład Odsalania „Dębieńsko” utylizuje, oprócz wód miernie i silnie zasolonych likwidowanej kopalni „Dębieńsko”, wody zasolone KWK „Budryk” SA oraz kopalń „Bolesław Śmiały” i „Knurów”. Zdolności produkcyjne Zakładu w zakresie utylizacji wód słonych wynoszą: dla wód miernie zasolonych 5 800 m³/d, a dla silnie zasolonych 6 300 m³/d. Zakład odsalania eliminuje obecnie ok. 250 t/d chlorków i siarczanów ze zrzutu do rzeki Bierawki, produkując ok. 300 t/d NaCl oraz wodę odsoloną.

Instalacja do odwróconej osmozy stanowi pierwszy stopień bezodpadowej utylizacji wód i pracuje w klasycznej technologii RO. Zadaniem tej instalacji jest odzysk wody pitnej oraz uzyskanie koncentratu o mineralizacji ok. 70 g/dm³. Zasilana jest ona dwoma strumieniami wód miernie zasolonych z kopalni „Budryk” oraz kopalni „Dębieńsko”, o zawartości soli od 10 do 30 g/dm³. Proces technologiczny opracowany przez VBB – Szwecja, na podstawie badań przeprowadzonych na instalacji pilotowej w kopalni „Dębieńsko”, składa się z trzech zasadniczych etapów:

- wstępnego uzdatniania wód miernie zasolonych poprzez koagulację (siarczanem glinu) z równoczesnym chlorowaniem (podchlorynem sodu) oraz korekcją pH (kwasem siarkowym),
- filtracji i mikrofiltracji wód wstępnie uzdatnionych,
- odwróconej osmozy (RO).

Odwrócona osmoza realizowana jest w siedmiu równolegle pracujących modułach osmotycznych, zasilanych pompami wysokociśnieniowymi. Cztery moduły są dwustopniowe, a trzy trzystopniowe, co wynika z pierwotnie założonego zróżnicowanego zasolenia wód kopalnianych oraz konieczności zmniejszenia polaryzacji stężeniowej na powierzchni membran. Ciśnienie pracy instalacji RO wynosi 6,5-6,7 MPa. Do odsalania zastosowano moduły osmotyczne Fluid Systems typu 2822 produkcji amerykańskiej, w liczbie 864 szt., zblokowane w układach szeregowych po 6 membran. Uzyskiwany stopień konwersji wynosi 70-75%, przy czym zasolenie wody odsolonej (permeat) wynosi <500 mg/dm³, a koncentratu (reject) < 70000 mg/dm³. Strumień wody odsolonej, po korekcji pH wodą wapienną oraz chlorowaniu, kierowany jest do sieci wody pitnej. Strumień solanki zatężonej kierowany jest do instalacji wyparnej ze sprężaniem wyparów, gdzie produktem końcowym jest NaCl o czystości ok. 99,8%. Zużycie energii elektrycznej w procesie RO wynosi ok. 4,6 kWh/m³ wody odsolonej.

Cała instalacja sterowana jest automatycznie. Obecnie instalacja pracuje z mniejszą wydajnością z uwagi na rozpoczętą likwidację kopalni „Dębieńsko”.

2.2. Badania nad wykorzystaniem odwróconej osmozy i metanu kopalnianego do odsalania wód

Eksploatacji węgla kamiennego towarzyszy wydobywanie się metanu z górotworu. Metan ten, o ile są odpowiednie warunki, jest ujmowany i wykorzystywany. Odpowiednie warunki, aby przetestować możliwość rozwiązania problemu słonych wód przy wykorzystaniu własnego metanu, zaistniały w kopalni „Morcinek” [6]. Dla kopalni „Morcinek” jedną z możliwych do zastosowania metod rozwiązania problemu wód zasolonych była propozycja przedstawiona kopalni wspólnie przez firmy amerykańskie Aguattech Services, Inc. i Lawrence Livermore National Laboratory [7]. Istotą zaproponowanej metody jest bardzo dokładne oczyszczenie i przygotowanie chemiczne wody dołowej, jej zateżenie z wykorzystaniem modułów odwróconej osmozy, a następnie zagęszczenie solanki w wyparce z zanurzonym palnikiem zasilanym metanem z kopalni. Zagęszczona solanka może być następnie mieszana z odpadami poflotacyjnymi i pyłami dymnicowymi z pobliskiej elektrowni i lokowana w wyrobiskach kopalni.

Zadaniem wybudowanej instalacji pilotowej było uzyskanie danych eksploatacyjnych określających ekonomiczną opłacalność i technologiczną poprawność koncepcji wykorzystania metanu do obniżenia ilości wód słonych wydobywanych obecnie podczas działalności górniczej, a w przyszłości również z prowadzonych z powierzchni odwiertów metanowych.

Instalacja pilotowa obejmowała:

- wyparkę z palnikiem metanowym,
- dwa niezależne moduły odwróconej osmozy wraz z sekcją wstępnego uzdatniania o wydajności ok. $2 \text{ m}^3/\text{h}$,
- doprowadzenie metanu, wody zasolonej, energii elektrycznej,
- odprowadzenie wody odsolonej.

Instalacja RO zasilana była zasoloną wodą kopalnianą o mineralizacji ok. $31 \text{ g}/\text{dm}^3$. Użytkowano: ok. $0,58 \text{ m}^3/\text{h}$ wody odsolonej o mineralizacji ok. $500 \text{ mg}/\text{dm}^3$ oraz koncentrat o mineralizacji ok. $71 \text{ g}/\text{dm}^3$. Koncentrat zasilał periodycznie wyparkę doświadczalną, wykonaną z tworzywa wzmocnionego włóknem szklanym, z zanurzonym palnikiem metanowym i doprowadzeniem powietrza, gdzie następowało jego zagęszczenie do ok. $300 \text{ g}/\text{dm}^3$.

Badania przeprowadzono w latach 1996-1997. Decyzja o likwidacji kopalni „Morcinek” przerwała prowadzenie dalszych prac nad optymalizacją procesu.

3. Badania nad zateżaniem zasolonych wód kopalnianych w układach odwróconej osmozy i nanofiltracji

Ponieważ głównym celem odsalania polskich wód kopalnianych jest wyeliminowanie z nich soli, pożądane jest, aby koncentrat z procesów membranowych miał jak najwyższe stężenie przy niskich kosztach zateżenia. Uzyskanie większego stopnia zateżenia słonych wód technikami membranowymi przy niskich kosztach energii było przedmiotem badań w Głównym Instytucie Górnictwa, który współpracował w tym zakresie z placówką badawczą „Fundacja ds. Badań Naukowych SINTEF” w Norwegii, w latach 1991-1995[8], oraz firmy KAWASAKI – Japonia, współpracującej z kopalnią węgla kamiennego „Ziemowit” [9]. Oba te zespoły badawcze postawiły sobie za cel uzyskanie koncentratów o stężeniu 150-160 g/dm³. Badania prowadzono na solankach kopalnianych charakterystycznych dla większości kopalń. Poniżej przedstawiono rezultaty z tych badań przeprowadzonych na instalacjach doświadczalnych.

3.1. Badania nad zastosowaniem procesów membranowych do zateżenia i krystalizacji soli ze słonych wód kopalnianych prowadzone przez Główny Instytut Górnictwa

W procesie rozdziału jonów na membranach nanofiltracyjnych wskutek selektywnego działania membrany następuje zateżanie składników na membranie. W testowanych siarczanowych i zasolonych wodach kopalnianych już przy niewielkim stopniu zateżenia następuje przekroczenie granicy rozpuszczalności soli siarczanu wapnia. Wypadanie osadów siarczanu wapnia „scaling”, np. z wód i solanek kopalnianych (mineralizacja TDS- 80 g/l), obserwuje się już przy 25% odzysku permeatu, a z wód o mniejszym zasoleniu, przy zastosowaniu antyskalantów - na poziomie około 50%.

W klasycznych procesach odwróconej osmozy zjawisku „scalingu” zapobiega się przez: ograniczenie zateżenia, usuwanie twardości, stabilizowanie i zwiększanie rozpuszczalności soli siarczanowych wapnia, baru, strontu, przez dodatek inhibitorów-antyskalantów na bazie polifosforanów, poliakrylanów, związków fosforo-organicznych itp.

Wszystkie te działania mogą tylko nieznacznie zwiększyć rozpuszczalność soli siarczanowych. Odminnym sposobem rozwiązania problemu jest prowadzenie procesu odwróconej osmozy, czy nanofiltracji techniką „seeding”. Badania nad tym sposobem prowadzono w GIG [10,11]. W technice tej procesy membranowe prowadzone są w obecności zarodników krystalizacji soli siarczanowych w obiegu zateżającym. Zarodniki te powodują, że osady nie wytrącają się na powierzchni membran, lecz na zarodnikach krystalizacji.

Badania realizowane w Głównym Instytucie Górnictwa przeprowadzono na solankach kopalnianych charakterystycznych dla większości kopalń. Mineralizacja ich wynosiła od 70

do 100 g/dm³, zawartość jonów wapnia: od 60 do 120 mval/dm³, magnezu: od 80 do 140 mval/dm³, siarczanów: od 40 do 130 mval/dm³.

Testy laboratoryjne wykonywano na stanowiskach badawczych wykorzystujących urządzenia DDS Lab 30 firmy DOW – Dania, lub SEPA CF-HP firmy Osmonics.

Testy przemysłowe przeprowadzono na specjalnie skonstruowanej instalacji pilotowej zlokalizowanej na terenie Zakładu Odsalania Wód Dołowych przy kopalni „Dębieńsko”. Wydajność tej instalacji wynosiła od 140-170 l/h oczyszczonej solanki. Testy podstawowe prowadzone były w systemie periodycznym, natomiast testy długoterminowe w systemie „feed and bleed” (zasilaj i odpuszczaj) - symulującym ruch ciągły [11].

Najistotniejszym wskaźnikiem charakteryzującym technologię odsalania jest koszt energii potrzebnej do wyeliminowania soli z solanki.

Dotychczasowe uzyskane wyniki wskazują, że:

- Zastosowanie selektywnego rozdziału jonów w solance na membranach nanofiltracyjnych oraz zateżenia solanki w układzie nano/hyper filtracyjnym pozwala na obniżenie kosztów energii o 15-17% w stosunku do najlepszych rozwiązań proponowanych lub już zastosowanych w Polsce.
- Dotychczasowe wyniki i pomiary zużycia energii w procesie oczyszczania solanek na membranach nanofiltracyjnych potwierdzają zużycie energii w granicach: 1,2-1,3 kWh/m³ solanki wejściowej.
- Zużycie energii w procesie zagęszczania na membranach jest niższe, niż zakładano i kształtuje się na poziomie 6-7 kWh/m³ solanki. Rezultaty te wymagają jednak potwierdzenia w dłuższym okresie eksploatacyjnym instalacji pilotowej.
- Opracowana technologia szczególnie nadaje się dla:
 - oczyszczania i zateżenia wód zasolonych z odzyskiem wody pitnej,
 - oczyszczania i zateżenia solanek dla procesów wyparynych.

3.2. Instalacja doświadczalna w kopalni „Ziemowit”

Silnie zasolone wody dołowe występujące w nadwiślańskich kopalniach charakteryzują się mineralizacją powyżej 80 g/dm³ i klasyczny proces RO wymagałby odpowiednio wysokich ciśnień. Powstała więc koncepcja zastosowania odwróconej osmozy - nanofiltracji do wstępnego zateżenia solanek kopalnianych zachowując maksymalne ciśnienie robocze 7 MPa. Przy współpracy firmy KAWASAKI-Japonia, Kopalni Węgla Kamiennego „Ziemowit” i Spółki „EKOSOL” - Polska podjęto realizację wymienionej koncepcji, stosując nowego rodzaju moduły membranowe firmy NITTO-DENKO [9].

Dotąd dodatkowo zastosowano nowatorski sposób wstępnego uzdatniania wody mający na celu uproszczenie i znaczne obniżenie kosztów tego procesu.

Celem podjętej współpracy było wykazanie w warunkach przemysłowych możliwości wstępnego uzdatniania na filtrach wielomediowych i zateżnienia metodą RO słonych wód dołowych KWK „Ziemowit” z 80-90 g/dm³ do ok. 150 g/dm³. W oparciu o pozytywne wyniki długotrwałych testów na wodzie syntetycznej opracowano i zainstalowano w roku 1994 na terenie kopalni „Ziemowit” doświadczalną instalację odwróconej osmozy o wydajności 2-3 m³/h. Instalacja zawierała dwa zasadnicze elementy technologiczne:

- wstępne uzdatnianie słonej wody dołowej do procesu RO,
- zateżnianie słonej wody metodą odwróconej osmozy.

Wstępne oczyszczanie słonych wód dołowych składające się z koagulacji kontaktowej siarczanem glinu i filtrowania przez filtr wielomediowy, jest wystarczające dla ciągłej pracy modułu RO. Przy temperaturach wody filtrowanej powyżej 10°C uzyskuje się wskaźnik SDI < 4. Zużycie energii elektrycznej takiego procesu RO wynosi 20 kWh/m³ przy założeniu zateżnienia słonej wody z 90 g/dm³ do 150 g/dm³ i uzyskiwaniu permeatu o zasoleniu ok. 500 mg/dm³.

4. Uzdatnianie wody kopalnianej do celów pitnych i ciepłowniczych z wykorzystaniem procesu odwróconej osmozy

W celu podjęcia działań mających na celu pozyskanie wody pitnej z wód kopalnianych konieczne jest [12]:

- dokładne rozeznanie dopływów i składów fizykochemicznych wód kopalnianych,
- przeanalizowanie zmienności w czasie dopływów i składów fizykochemicznych wód,
- wykonanie prognozy długoterminowej dla dopływów,
- zaproponowanie sposobu selekcji tych wód,
- wyeliminowanie źródeł zanieczyszczeń organicznych w miejscu ujęcia wody z kopalni (detergenty, oleje itp.),
- ustanowienie stref ochronnych w miejscu ujęcia wody z kopalni,
- przeprowadzenie badań technologicznych celem doboru technologii,
- utylizacji powstałych osadów,
- przeprowadzenie kalkulacji kosztów uzdatniania,
- dokonanie uzgodnień co do wykorzystania bądź sprzedaży wody,
- wykonanie projektu stacji uzdatniania,
- przeprowadzenie rachunku ekonomicznego przedsięwzięcia.

W ostatnich latach zrealizowano kilka membranowych stacji uzdatniania wód kopalnianych [13]. Poniżej przedstawiono dwie z nich uruchomione w latach 1999-2000.

4.1. Stacja uzdatniania wody kopalnianej dla Ciepłowni Rydułtowy Sp. z o.o.

W latach sześćdziesiątych w związku z deficytem wody w mieście Rydułtowy zdecydowano się wykorzystać wodę pochodzącą z odwadniania kopalni do celów pitnych. Z wielu koncepcji uzdatniania wody przyjęto proekologiczne rozwiązanie wykorzystujące separację zanieczyszczeń na membranach [14]. Woda pozyskiwana jest z poziomu 400 m kopalni „Rydułtowy”, gdzie znajduje się główne odwadnianie selektywnie ujmowanych wód z pokładów wodonośnych kopalni.

Jednostka odwróconej osmozy jest instalacją dwustopniową. Na pierwszy stopień instalacji składa się 30 modułów usytuowanych w pięciu rurach. Drugi stopień instalacji stanowi 18 modułów umieszczonych w trzech rurach ciśnieniowych. W instalacji odwróconej osmozy zastosowano kompozytowe membrany poliamidowe, produkcji firmy Hydranautics o symbolu ESPA 1. Parametry pracy instalacji RO:

- wydajność instalacji - 40 m³/h permeatu,
- przewodność permeatu - 60-80 μS/cm,
- stopień odzysku - 72,7%,
- przepływ wody zasilającej - 55 m³ /h,
- przewodność wody zasilającej – ok.2400 μS/cm,
- pH wody – 7,0-7,2,
- temperatura wody- 290,5 – 292,5 °K,
- ciśnienie wody – 0,89 – 1,15 MPa,
- przepływ koncentratu– 15 m³/h,
- przewodność koncentratu- ok. 8000 μS/cm.

Stacja uzdatniania posiada dwie linie technologiczne. Każda z nich może produkować ok. 55 m³/h wody pitnej oraz 5 m³/h permeatu służącego do przygotowania wody do celów ciepłowniczych. Głównymi odbiorcami wody pitnej są spółdzielnie mieszkaniowe, kopalnia, lokalne instytucje i przedsiębiorstwa oraz odbiorcy indywidualni. Zużycie własne w obiektach zakładu ciepłowniczego stanowi ok. 22% produkcji wody.

Woda pitna wyprodukowana w oparciu o proces odwróconej osmozy spełnia wymagania podyktowane Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 4 września 2000 r. Woda zasilająca obieg ciepłowniczy odpowiada wymogom jakości wody do napełnień i uzupełnień obiegu ciepłowniczego. Cena wody wyprodukowanej w instalacji RO jest niższa niż ceną jaką oferuje rejonowe przedsiębiorstwo wodociągowe, wobec czego stanowi atrakcyjną ofertę dla odbiorców.

4.2. Membranowa Stacja Uzdatniania Wody Dołowej (SUWD) w kopalni węgla kamiennego „Pokój” w Rudzie Śląskiej

Membranowa stacja uzdatniania wody dołowej (SUWD) zlokalizowana jest w KWK „Pokój” - Ruda Śląska. Stacja ta zasilana jest zmineralizowaną wodą dołową z ponadnormatywną zawartością jonów siarczanowych, z poz. 450 m, z likwidowanego rejonu Wawel Kopalni Węgla Kamiennego „Pokój”. Stacja ta, zaprojektowana przez Pracownię Odsalania Wód i Technologii Membranowych Głównego Instytutu Górnictwa, została wybudowana i przekazana do eksploatacji w 2000 r. i ma na celu zaopatrzenie kopalni w wodę pitną i do celów gospodarczych, w ilości 800-1000 m³/d, oraz wyeliminowanie zrzutu części ładunku chlorków i siarczanów dotychczas wprowadzanych do rzeki Czarniawki przez kopalnię [15].

Około 1600 m³/d wody z poziomu 450 m rejonu Wawel, selektywnie ujętych i przepompowanych poprzez zbiornik o pojemności $V = 300 \text{ m}^3$ na poziomie 600 m rejonu Pokój, jest przesyłanych na powierzchnię i uzdatnianych w stacji uzdatniania wody dołowej (SUWD). Po usunięciu ponadnormatywnej zawartości jonów siarczanowych, wapniowych i magnezowych metodą membranową (odwrócona osmoza - nanofiltracja) uzyskuje się wodę pitną w ilości około 800-1000 m³/d oraz 800 m³/d koncentratu, który jest wykorzystany do uszczelniania zrobów na dole w kopalni w mieszaninie z odpadami elektrownianymi.

W skład instalacji wchodzi następujące sekcje:

- wstępnego przygotowania wody,
- filtracji membranowej,
- korekcji składu chemicznego wody i jej dezynfekcji,

W skład stacji (SUWD) wchodzi:

- dołowy i powierzchniowy układ przesyłu wody kopalnianej,
- hala technologiczna o wymiarach 12.5 m x 15 m wraz z sterowanym automatycznie układem technologicznym uzdatniania wody,
- rurociągi i kanały technologiczne wewnętrzne,
- pomieszczenia pomocnicze: magazynowe i socjalne.

Efekt ekologiczny

Realizacja inwestycji spowodowała ograniczenie ujemnego oddziaływania kopalni na środowisko i jest korzystna dla wód rzeki Czarniawka, ograniczając dotychczas odprowadzania w wodach dołowych ładunek chlorków i siarczanów o około 24%.

Podane rozwiązanie projektowe ochrony zasobów wód podziemnych z możliwością wykorzystania ich do celów pitnych i na potrzeby gospodarcze może służyć jako przykład dla innych kopalń, ze szczególnym uwzględnieniem likwidowanych rejonów.

Efekt ekonomiczny

Kopalnia po uruchomieniu SUWD zaprzestała kupna wody z Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji. Obecnie całkowite zapotrzebowanie kopalni na wodę do picia i na potrzeby gospodarcze jest zapewnione z tej stacji w ilości około 800 - 1200 m³/d.

Różnica pomiędzy ceną zakupu wody w PWiK - Ruda Śląska a kosztami uzdatniania wody dołowej w SUWD daje oszczędności w wysokości około 300 tys. zł/rok.

5. Podsumowanie

- Głównym celem odsalania wód kopalnianych, z punktu widzenia ochrony środowiska, jest wyeliminowanie z nich soli, najkorzystniej w postaci produktów handlowych. Przy tak postawionym problemie zastosowanie niskoenergetycznych procesów membranowych do odsalania wód kopalnianych zostaje ograniczone do roli ich wstępnego zatężenia. Konieczne jest jednak, aby koncentrat z procesów membranowych miał jak najwyższe stężenie przy niskich kosztach zatężania. Wtedy można go dalej utylizować oszczędzając na kosztach energii w procesach zagęszczania termicznego i krystalizacji soli.
- Opracowane w Polsce technologie uwzględniają te uwarunkowania i mogą znaleźć zastosowanie dla:
 - oczyszczania i zatężania wód zasolonych z odzyskiem wody pitnej,
 - oczyszczania i zatężania solanek dla procesów wyparnych.
- Przejście ze skali instalacji pilotowych do aplikacji przemysłowych wymaga dalszych badań i dopracowania technologii.
- Potrzeba uzdatniania wód niskozmineralizowanych w warunkach kopalni węgla kamiennego wynikała z następujących powodów:
 - proekologicznych działań kopalni w zakresie ograniczania zrzutu do cieków powierzchniowych zmineralizowanych wód dołowych,
 - wykorzystania własnych wód do celów socjalno-bytowych kopalni,
 - ograniczenia kosztów pozyskania wody.
- Uzyskano pozytywne rezultaty zastosowania w Polsce procesów membranowych w uzdatnianiu wód kopalnianych o ponadnormatywnej zawartości jonów chlorkowych i siarczanowych.

Literatura

1. Magdziorz A., Lach R.: Zmiany w jakości wód Wisły i Odry w wyniku restrukturyzacji kopalń węgla kamiennego, *Przegląd Górniczy* 2001, 2, str. 16-25.
2. Magdziorz A.: Utylizacja zasolonych wód kopalnianych - *Przegląd Górniczy*, 1995, 4, str. 9-12.
3. Motyka I., Magdziorz A.: Kierunki i postęp w odsalaniu wód, *Wiadomości Górnicze*, 1994, 9, str. 331-333.
4. Magdziorz A., Motyka I.: Bezodpadowe technologie odsalania wód kopalnianych z odzyskiem surowców chemicznych: doświadczenie i praktyka Głównego Instytutu Górnictwa - I Kongres Technologii Chemicznej - Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 1994, str. 728-732.
5. Szyndler K., Sikora J.: Zastosowanie technologii odwróconej osmozy w procesie odsalania wód kopalnianych, *Materiały konferencyjne: I Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska”*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Wisła 1995, str. 27-30.
6. Kugla J., Krogulski K.: Problem wód zasolonych w kopalni „Morcinek”, *Wiadomości Górnicze* 1994, 9, str. 346-349.
7. Brandt H. and Bourcier W.L.: Treatment process for waste water disposal of the Morcinek mine using coalbed methane, Aquatech Services, Inc., Lawrence Livermore National Laboratory, California (materiały prezentacyjne) – 1995.
8. Magdziorz A., Motyka I., Thorsen T., Wiig P.: Concentration and separation of salts with selected membrane operations. Joint Research Project GIG-SINTEF, 1993 –1995.
9. Tada K., Motyka I.: Wyniki zateżenia silnie zasolonych wód kopalnianych w układach odwróconej osmozy (RO), *Materiały konferencyjne I Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska”*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Wisła 1995, str. 45-53.
10. Magdziorz A., Bodzek M., Seweryński J. i inni: Badania rozdziału jonów dwuwartościowych od jednowartościowych w procesie nanofiltracji roztworów soli wieloskładnikowych, Grant. Nr 3 T09B 165 08, Komitet Badań Naukowych, 1995-1997.
11. Magdziorz A., Thorsen T.: Zastosowanie nanofiltracji do wstępnego oczyszczania solanek kopalnianych - I Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska” – 1995, str. 39-43.
12. Magdziorz A., *Nowoczesne technologie oczyszczania wód kopalnianych, Materiały konferencyjne: Ochrona Środowiska Terenów Górniczych”* - Krynica 1996.

13. Magdziorz A.: Utilization of membrane technologies in treatment and desalination of mine water, Membrane Separations – XVIII EMS Summer School, Łądek Zdrój 2001, str. 257-276.
14. Klimanek K., Koszorz M.: Uzdatnianie wody kopalnianej do celów pitnych i ciepłowniczych z wykorzystaniem procesu odwróconej osmozy, Materiały konferencyjne Hydroforum VII 2001, Ustroń 2001.
15. Magdziorz A., Seweryński J.: Wykorzystanie technik membranowych do uzdatniania zmineralizowanej wody z likwidowanego rejonu kopalni „Pokój” do celów pitnych i na potrzeby gospodarcze” – Przegląd Górniczy, 1999, 12, str. 11-19.

Abstract

Main aim of the desalination of coal mine waters, from point of sight of environment protection, elimination is from them of salt, profitably in the form of trade products. At so put problem use low energy membrane techniques to desalination of coal mine waters becomes limited to part theirs initial concentration. Necessary is yet, that the concentrate from membrane processes has how highest concentration at low costs. Then it is possible to utilise it further saving on costs of energy in processes of thermal evaporation and salt crystallisation.

Technologies worked out in Poland make allowances this conditioning and drinking water recovery as well as cleanings and concentrate of brine waters for evaporate processes can find use for cleanings and concentrate.

Passage from scale of pilot installation to industrial application demands further investigations over technology.