

Barbara TOMASZEWSKA
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Surowców Energetycznych
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: barbara.tomaszewska@agh.edu.pl
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków
e-mail: tomaszewska@meeri.pl
Magdalena TYSZER

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2016

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Surowców Energetycznych
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Michał BODZEK
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk
ul. M. Curie-Skłodowskiej 34, 41-819 Zabrze
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska
i Energetyki
ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice
Wiesław BUJAKOWSKI
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków

WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ W KIERUNKU UZYSKANIA KONCENTRATU NA BAZIE WYBRANYCH WÓD ZMINERALIZOWANYCH

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań mających na celu zateżnienie składu chemicznego naturalnej zmineralizowanej wody i pozyskanie koncentratu użytecznego dla celów balneologicznych. Pierwotna mineralizacja ogólna badanej surowej wody wynosiła 11 010 mg/dm³ i zawierała 10,06 mg/dm³ kwasu metakrzemowego. W rezultacie zateżnienia wody, w procesie odwróconej osmozy wyposażonej w membranę BW30FR-400, otrzymano wysokiej jakości nowy produkt. Mineralizacja skoncentrowanej wody mineralnej wynosiła 18 238,5 mg/dm³ przy stężeniu 18,48 mg/dm³ kwasu metakrzemowego. Dodatkowo otrzymano wysokiej jakości permeat, jako produkt możliwy do wykorzystania jako woda przeznaczona do spożycia przez ludzi. Wyniki badań dały nowe światło dla zastosowań technicznych.

SŁOWA KLUCZOWE

Wody mineralne, koncentrat, procesy membranowe, odwrócona osmoza

WPROWADZENIE

Rynek odsalania napędzany jest ograniczonym zaopatrzeniem ludności w wodę do picia oraz zwiększającym się zapotrzebowaniem na wodę, wywołanym wzrostem liczby ludności i zmianami stylu ich życia (Bodzek, Konieczny 2011). Ważną rolę odgrywają również malejące koszty odsalania, wywołane postępem technologicznym tego procesu. W poprzedniej dekadzie odsalanie było uważane za rozwiązanie do produkcji wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi opłacalne jedynie w przypadku krajów posiadających tanie źródła energii (Reddy, Ghaffour 2007). Obecnie – ze względu na redukcję kosztów – jest to metoda powszechnie akceptowalna. Redukcja kosztów dokonała się dzięki technicznemu rozwojowi odsalania, szczególnie metody odwróconej osmozy (RO).

Proces odsalania wody z wykorzystaniem odwróconej osmozy prowadzi do separacji roztworu na dwa strumienie: 1) wody oczyszczonej (ang. *permeate*), cechującej się niską zawartością substancji rozpuszczonych i 2) koncentratu (ang. *concentrate/retentate*), który zawiera odseparowane cząstki i substancje rozpuszczone. W zatężonym roztworze, koncentracji, uzyskanym w trakcie odsalania wód, zawartość substancji rozpuszczonych znacznie przekracza stężenia w wodach “surowych” (nadawie), a dodatkowym atutem tego roztworu jest znaczące podwyższenie stężenia substancji swoistych, często decydujących o walorach leczniczych/balneologicznych wody: m.in. kwasu metakrzemowego, jonu fluorkowego, jonu jodkowego. Wcześniejsze prace autorów (Tomaszewska i in. 2014; Tomaszewska, Szczepański 2014; Tomaszewska 2014) wykazały, że koncentrat powstały w wyniku odsalania wód termalnych z wykorzystaniem procesów membranowych może znaleźć zastosowanie jako alternatywny produkt o cechach balneologicznych. Podstawowym czynnikiem warunkującym wskazany kierunek wykorzystania będzie skład chemiczny roztworu, który jest ściśle uwarunkowany składem chemicznym wody surowej. Występujące w wodach termalnych mikroelementy, takie jak arsen, bar, bor, metale ciężkie i in. mogą ograniczyć te możliwości w określonych przypadkach (Tomaszewska 2014).

W niniejszej pracy prowadzono rozważania nad możliwością zatężania wybranych, zmineralizowanych, siarczkowych wód leczniczych. Podjęte zostały w związku z tym prace teoretyczne oraz testy laboratoryjne nad możliwością zmodyfikowania części strumienia eksploatowanych wód. Obejmowały one między innymi koncepcję uzyskania wody o podwyższonej zawartości składników rozpuszczonych, a w istocie wody bardziej zmineralizowanej zawierającej cenne sole lecznicze.

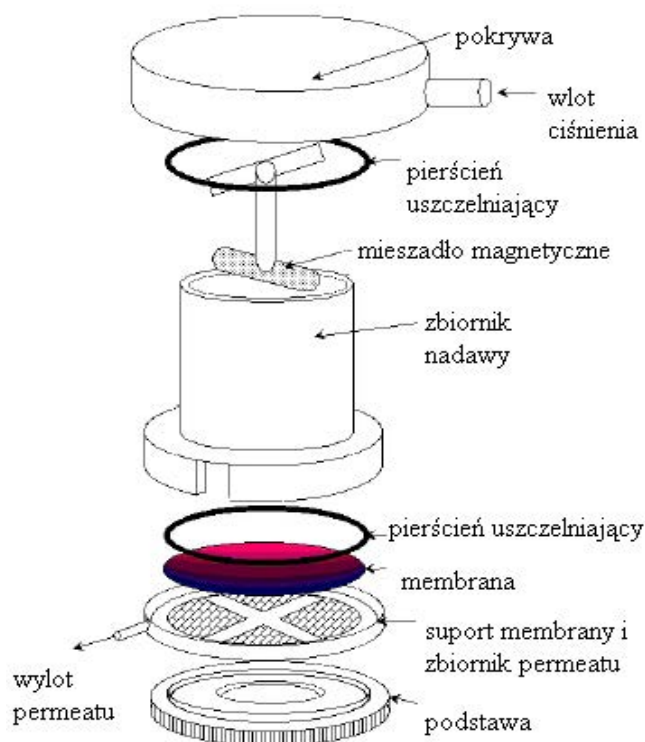
Niewątpliwą korzyścią związaną z wykorzystaniem procesu RO dla zatężenia wody leczniczej, celem uzyskania koncentratu, będzie również pozyskanie wody o znacząco obniżonej zawartości składników rozpuszczonych, wspomnianego permeatu. Właściwości fizykochemiczne obu produktów, koncentratu i permeatu, będą ściśle uzależnione, jak wspomniano, od jakości wody “surowej” tzw. nadawy, ale też od parametrów procesowych, w tym wydajności, ciśnienia, temperatury wody, charakterystyki membran wykorzystanych w procesie i innych.

1. METODYKA BADAŃ

Testy laboratoryjne zateżenia wody przeprowadzono w Laboratorium Zakładu Chemii Środowiska i Procesów Membranowych Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Woda została zabezpieczona na czas transportu i dostarczona niezwłocznie do laboratorium.

Przed przystąpieniem do badań wodę odgazowano (napowietrzono), celem usunięcia siarkowodoru.

Proces membranowy prowadzono w układzie filtracji jednokierunkowej (*dead-end*). Do tego celu wykorzystano ciśnieniowe urządzenie, składające się ze stalowej celi (o pojemności 400 cm³) i mieszadła magnetycznego (rys. 1). Siłą napędową procesu było ciśnienie transmembranowe $\Delta P = 1,5$ MPa.



Rys. 1. Schemat układu do przeprowadzenia eksperymentu odwróconej osmozy w filtracji jednokierunkowej

Fig. 1. Diagram of the system for carrying out reverse osmosis experiments in "dead-and" mode

W badaniach wykorzystano membranę do odwróconej osmozy oznaczoną jako ROBW 30FR-400 Dow Filmtec. Aktywna powierzchnia membrany wynosiła 38,5 cm². Charakterystykę membrany podano w tabeli 1. Jest to wysokiej jakości membrana charakteryzująca się odpornością na rozkład biologiczny i ograniczonym *foulingiem*.

Tabela 1

Charakterystyka membrany (dane producenta)

Table 1

Membrane characteristics (manufacturers' data)

| | |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Symbol membrany | BW30FR-400 High Productivity Fouling Resistant RO Element |
| Materiał membrany | membrana kompozytowa (warstwa naskórkowa – poliamid) |
| Ciśnienie transmembranowe [MPa] | maksymalne 4,0 |
| Zakres [pH] | 2–11 |
| Maksymalna temperatura [°C] | 45 |
| Współczynnik retencji soli | 99% NaCl |

Przed przystąpieniem do badań nową membranę kondycjonowano poprzez filtrację wody dejonizowanej do ustabilizowania objętościowego strumienia permeatu, a następnie prowadzono filtrację membranową do uzyskania 50% objętości nadawy, tj. do uzyskania 50% koncentratu i 50% permeatu z całkowitej ilości wody poddanej zateżaniu.

Podstawowe prace badawcze obejmowały następujące etapy:

- separacja badanych składników w próbce wody zmineralizowanej ($\Delta P = 1,5$ MPa),
- analiza próbki wody „surowej” (nadawy),
- analiza zateżonej próbki wody w celi membranowej (koncentratu),
- analiza próbki wody oczyszczonej (permeatu).

Badania właściwości fizykochemicznych wody leczniczej „surowej”, koncentratu oraz permeatu po procesie RO zrealizowano w Laboratorium Hydrogeochemicznym Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Składniki nieorganiczne zostały oznaczone metodami akredytowanymi przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA-AB 1050), przy wykorzystaniu technik ICP-OES i ICP-MS. Odczyn wody pH oraz przewodnictwo elektrolityczne właściwe zostały pomierzone metodą elektrometryczną przed przystąpieniem do badań w laboratorium w próbce wody „surowej” oraz niezwłocznie po uzyskaniu koncentratu i permeatu. Jon chlorkowy oraz zasadowość wody oznaczono metodą miareczkową.

2. WYNIKI BADAŃ

Do badań wytypowano wodę chlorkowo-sodową. Jest to woda zmineralizowana, o zawartości 11 010 mg/dm³ substancji mineralnych. Wykazuje lekko podwyższoną zawartość kwasu metakrzemowego (10,06 mg/dm³) oraz boru (2,80 mg/dm³), ale niską jonu żelazowego (<0,01 mg/dm³). Wodę charakteryzuje słabo zasadowy odczyn (7,60), a przewodnictwo wynosi 19,21 mS/cm. Charakteryzuje się wysoką twardością ogólną (1 452,4 mgCaCO₃/dm³) oraz węglanową (367,2 mgCaCO₃/dm³).

W wyniku zateżnienia wody w procesie odwróconej osmozy, z wykorzystaniem membrany BW30FR-400, uzyskano koncentrat wody o tym samym typie hydrogeochemicznym chlorkowo-sodowym. Przy 50% zateżnieniu wody, w koncentracji zawartość substancji mineralnych wyniosła do 18 238,5 mg/dm³. Zawartość kwasu metakrzemowego została podwyższona z 10,06 mg/dm³ do 18,48 mg/dm³, a jonu żelazowego z <0,01 mg/dm³ do 0,07 mg/dm³. Przy lekko zasadowym pH wody „surowej” (nadały), w procesie odwróconej osmozy nie uzyskano skutecznego usunięcia boru. W efekcie w koncentracji odnotowano 2,26 mg/dm³ tego składnika. Koncentrat zachował słabo zasadowy odczyn (7,80), a przewodnictwo wody wyniosło 30,5 mS/cm. Wzrosła istotnie twardość ogólna z 1 452,4 mgCaCO₃/dm³ w nadały do 2 359,3 mgCaCO₃/dm³ w koncentracji oraz węglanowa z 367,2 mgCaCO₃/dm³ do 549,6 mgCaCO₃/dm³ (tab. 2).

W wyniku zastosowanego procesu odsalania otrzymano również wysokiej jakości permeat, czyli wodę o obniżonej mineralizacji. Przy 50% poziomie odzysku wody, w permeacie zawartość substancji mineralnych wyniosła 414,8 mg/dm³. Zawartość kwasu metakrzemowego zmalała z 10,06 mg/dm³ do 0,48 mg/dm³, a jonu żelazowego wyniosła <0,01 mg/dm³.

Ocena możliwości zastosowania koncentratu jako produktu leczniczego, wykorzystywanego np. w kąpielach zdrowotnych, wymagało oceny pod kątem spełnienia wymogów rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz. U z 2006 r., Nr 80, poz. 565). Z kolei jakość permeatu zweryfikowano w odniesieniu do wymogów rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2015 r., poz. 1989).

W tabeli 2 przedstawiono porównanie wyników badań fizykochemicznych „surowej” wody zmineralizowanej oraz koncentratu tej wody z najwyższymi dopuszczalnymi stężeniami składników niepożądanych w nadmiernych ilościach oraz toksycznych w wodach leczniczych.

Zawartość substancji rozpuszczonych w zateżnionym roztworze znacznie przekracza stężenia w wodzie „surowej”. Szczegółowe porównanie dopuszczalnej zawartości składników toksycznych w odniesieniu do wód leczniczych wykorzystywanych w kuracji pitnej, inhalacjach i użytku zewnętrznym wykazało, że zarówno woda naturalna jak również koncentrat nie mogą być stosowane w kuracji pitnej i inhalacjach z uwagi na podwyższoną zawartość chromu. Dopuszczalne stężenie tego wskaźnika wynosi 0,01 mg/dm³, natomiast zawartość chromu w koncentracji przekroczyła tę wartość ponad 3 razy. Badania wykazały jednakże, że koncentrat ten mógłby być wykorzystywany do użytku zewnętrznego, np. w kuracjach balneologicznych, kąpielach sanatoryjnych, basenach rekreacyjnych.

Porównanie wyników badań właściwości fizykochemicznych permeatu z wymaganiami dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi przedstawiono w tabeli 3.

W związku z wymaganiami określonymi dla wody przeznaczonej do spożycia, w permeacie stwierdzono przekroczenie granicznej zawartości boru (5,88 mg/dm³, dopuszczalne

Tabela 2

Porównanie wyników badań wody surowej i koncentratu z dopuszczalnymi stężeniami składników niepożądanych w nadmiernych ilościach oraz toksycznych w wodach leczniczych, według rozporządzenia MZ (2006)

Table 2

Comparison of the results of research feed water and concentrate with maximum concentrations of undesirable constituents in excessive quantities and toxic therapeutic waters, according to regulation of MZ (2006)

| Wskaźnik | Woda „surowa” | Koncentrat | Dopuszczalne stężenie w wodzie przeznaczonej do: | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------|------------|--------------------------------------------------|-----------|---------------------|
| | | | kuracji pitnych | inhalacji | użytku zewnętrznego |
| Mineralizacja [mg/dm ³] | 11 233,1 | 18 238,5 | – | – | – |
| Twardość ogólna [mg CaCO ₃ /dm ³] | 1 452,4 | 2 359,3 | – | – | – |
| Twardość węglanowa [mg CaCO ₃ /dm ³] | 367,2 | 549,6 | – | – | – |
| PEW [mS/cm] | 19,21 | 30,5 | – | – | – |
| SiO ₂ [mg/dm ³] | 8,43 | 14,21 | – | – | – |
| H ₂ SiO ₃ [mg/dm ³] | 10,96 | 18,48 | – | – | – |
| Na [mg/dm ³] | 3 426,0 | 5 605,0 | – | – | – |
| K [mg/dm ³] | 76,63 | 137,35 | – | – | – |
| Ca [mg/dm ³] | 257,2 | 469,2 | – | – | – |
| Mg [mg/dm ³] | 197,0 | 0,0289 | – | – | – |
| Cl [mg/dm ³] | 5 391,0 | 8 955,0 | – | – | – |
| SO ₄ [mg/dm ³] | 1 385,0 | 2 031,0 | – | – | – |
| As [mg/dm ³] | <0,001 | 0,015 | – | – | – |
| B [mg/dm ³] | 2,80 | 2,26 | 5,0 | 30,0 | – |
| Cr [mg/dm ³] | 0,006 | 0,036 | 0,01 | 0,01 | – |
| Cd [mg/dm ³] | <0,0003 | <0,0003 | 0,003 | 0,003 | – |
| Ni [mg/dm ³] | 0,004 | 0,006 | 0,03 | 0,03 | – |
| Pb [mg/dm ³] | <0,0001 | <0,0001 | 0,01 | 0,01 | – |
| Hg [mg/dm ³] | <0,0001 | <0,0001 | 0,001 | 0,001 | – |
| Al [mg/dm ³] | <0,005 | <0,005 | 0,1 | 0,1 | – |
| Mn [mg/dm ³] | <0,005 | 0,021 | – | – | – |
| Fe [mg/dm ³] | <0,01 | 0,07 | – | – | – |
| Sr [mg/dm ³] | 18,63 | 35,81 | – | – | – |
| Li [mg/dm ³] | 0,934 | 1,546 | – | – | – |
| Ba [mg/dm ³] | 0,0121 | 0,0289 | 1,0 | 10,0 | – |
| Zn [mg/dm ³] | 0,04 | 0,02 | – | – | – |
| Cu [mg/dm ³] | 0,177 | 1,771 | – | – | – |
| Co [mg/dm ³] | 0,0007 | 0,001 | – | – | – |
| PO ₄ [mg/dm ³] | <0,0061 | <0,0061 | – | – | – |

Tabela 3

Porównanie wyników badań permeatu z wymaganiami fizykochemicznymi jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, według rozporządzenia MZ (2015)

Table 3

Comparison of the results of permeate research with the requirements to be met by physicochemical water intended for human consumption, according to regulation of MZ (2015)

| Wskaźnik | Permeat | Dopuszczalne stężenie w wodzie |
|-------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------|
| Mineralizacja [mg/dm ³] | 414,8 | – |
| Twardość ogólna [mg CaCO ₃ /dm ³] | 0,5 | 60–500 |
| Twardość węglanowa [mg CaCO ₃ /dm ³] | 0,5 | – |
| PEW [mS/cm] | 0,787 | 2,5 |
| pH | 7,44 | 6,5–9,5 |
| SiO ₂ [mg/dm ³] | 0,37 | – |
| H ₂ SiO ₃ [mg/dm ³] | 0,48 | – |
| Na [mg/dm ³] | 137,84 | 200,0 |
| K [mg/dm ³] | 4,13 | – |
| Ca [mg/dm ³] | 0,07 | – |
| Mg [mg/dm ³] | 0,089 | 30–125 |
| Cl [mg/dm ³] | 206,7 | 250,0 |
| SO ₄ [mg/dm ³] | 14,38 | 250,0 |
| As [mg/dm ³] | <0,001 | 0,010 |
| B [mg/dm ³] | 5,88 | 1,0 |
| Cr [mg/dm ³] | 0,009 | 0,050 |
| Cd [mg/dm ³] | <0,0003 | 0,005 |
| Ni [mg/dm ³] | 0,004 | 0,020 |
| Pb [mg/dm ³] | <0,0001 | 0,010 |
| Hg [mg/dm ³] | <0,0001 | 0,001 |
| Al [mg/dm ³] | 0,006 | 0,200 |
| Mn [mg/dm ³] | <0,005 | 0,050 |
| Fe [mg/dm ³] | <0,01 | 0,200 |
| Sr [mg/dm ³] | <0,2 | – |
| Li [mg/dm ³] | 0,025 | – |
| Ba [mg/dm ³] | <0,0005 | – |
| Zn [mg/dm ³] | 0,02 | – |
| Cu [mg/dm ³] | 0,084 | 2,0 |
| Co [mg/dm ³] | <0,0002 | – |
| PO ₄ [mg/dm ³] | <0,0061 | <0,0061 |

1,0 mg/dm³). W wyniku rozpatrywanego procesu uzyskano również zbyt niską twardość ogólną i węglanową wody (0,5 mg/dm³, zalecane 60–500 mgCaCO₃/dm³) oraz zawartość magnezu (0,089 mg/dm³, zalecane 30–125 mg/dm³).

Wykonane liczne prace badawcze i naukowe związane z usuwaniem boru w procesie odwróconej osmozy wykazały, że na efektywność przebiegu tego procesu mają wpływ takie czynniki jak: pH odsalanej wody, jej temperatura i mineralizacja, charakterystyka techniczna membran oraz operacyjne parametry przebiegu odsalania wód (wydajność i stopień odzysku permeatu, zastosowane ciśnienie operacyjne i in.). Kluczowym czynnikiem jest jednak stopień dysocjacji kwasu borowego, zależny od odczynu wody i jej zasolenia (Faigon, Hefer 2008; Tu i in. 2010; Tomaszewska, Bodzek 2013; Tomaszewska 2014; Bodzek 2016; Kmieciak i in. 2016).

W wodzie o kwaśnym lub lekko zasadowym odczynie, bor występuje głównie w postaci kwasu borowego. Kwas ten charakteryzuje się słabą hydratacją z uwagi na brak ładunku jonowego. W efekcie, w procesie odsalania, jego małe rozmiary powodują, że nie jest efektywnie zatrzymywany przez membranę RO (ok. 40–60%). Zdysocjowaną formę bor osiąga przy odczynie silnie zasadowym (pH ok. 10–11). Bor przyjmuje wówczas formę w pełni uwodnioną, charakteryzującą się większym rozmiarem, dużym promieniem i zwiększonym ujemnym ładunkiem jonowym. To ma wpływ na wyższą efektywność usuwania boru z roztworów wodnych, zarówno poprzez odrzucenie, jak i odpychanie przez ujemnie naładowaną membranę RO. Przy wysokim pH nadawy, efektywność usuwania boru kształtuje się na poziomie powyżej 90% (Tomaszewska 2014).

Analiza uzyskanych wyników badań testowych, w zakresie pozyskania koncentratów wód oraz permeatu o znaczeniu gospodarczym wskazuje, że aby dwa niezależne, przydatne gospodarczo produkty mogły być wykorzystywane, proces technologiczny winien zostać nieznacznie rozbudowany.

Z uwagi na wysoką twardość naturalnej wody (nadawy), korzystnym byłoby wdrożenie procesu nanofiltracji (NF) jako techniki wstępnego uzdatniania wody. Membrana nanofiltracyjna wykorzystywana jest bowiem do zatrzymywania koloidów, szeregu związków organicznych średnio- i małocząsteczkowych, ale również jonów dwuwartościowych. Metoda ta stosowana jest do zmiękczenia wody i usuwania mikrozanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych z wód i ścieków. Zastosowanie procesu nanofiltracji przyczyniłoby się do znaczącego obniżenia mineralizacji wody o około 50–80%. Przede wszystkim obniżona zostałaby zawartość jonów dwuwartościowych: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Mn^{2+} oraz SO_4^{2-} . Takie rozwiązanie byłoby korzystne w kontekście ochrony membrany RO przed skalingiem, czyli osadami siarczanowymi i węglanowymi.

Permeat pozyskany w wyniku procesu NF winien zasilać membranę RO, a koncentrat pozyskany w obu procesach NF i RO po zmieszaniu stanowiłby produkt wykorzystywany w kąpielach zdrowotnych. Takie rozwiązanie pozwoliłoby również bardziej efektywnie obniżyć zawartości boru w permeacie.

Ostatnia część procesu związana z pozyskaniem permeatu o walorach odpowiadających wymaganiom dla wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi wymaga zastosowania mineralizatora wtórnego. Mineralizator ten winien być wypełniony złożem dolomitowym, dla podwyższenia twardości ogólnej wody, „zdemineralizowanej” na module RO. Wskazane byłoby również zastosowanie rozwiązań umożliwiających sterylizację bakteriologiczną wody otrzymanej na wyjściu z systemu.

Uwzględniając wyniki zrealizowanych badań laboratoryjnych dla pozyskania nowych i innowacyjnych produktów leczniczych, a jednocześnie wysokiej jakości wód o znaczeniu gospodarczym proponuje się zastosowanie następujących rozwiązań:

Napowietrzanie/Stripping gazem inertnym z odzyskiem siarkowodoru ⇒ Mikrofiltracja/
Filtracja pospieszna ⇒ Nanofiltracja ⇒ Odwrócona osmoza

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zrealizowane prace badawcze, ukierunkowane na pozyskanie skoncentrowanego roztworu wody leczniczej wykazały, że rozwiązanie to jest możliwe przy wykorzystaniu technik membranowych. W procesie 50% zateżnienia wody chlorkowo-sodowej, o mineralizacji 11 010 mg/dm³, uzyskano koncentrat o tym samym typie hydrogeochemicznym, ale podwyższonej do 18 238,5 mg/dm³ zawartości składników rozpuszczonych. Spełnia on wymagania dla wód wykorzystywanych w kuracjach balneologicznych, sanatoriach. Zastosowanie technik membranowych pozwala jednocześnie pozyskać wysokiej jakości wodę, możliwą do wykorzystania w celach gospodarczych.

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, grant nr 245079 (2014–2017).

LITERATURA

- BODZEK M., 2016 — The removal of boron from the aquatic environment—state of the art. *Desalination and Water Treatment* 57 (3), 1107–1131.
- BODZEK M., KONIECZNY K., 2011 — Usuwanie zanieczyszczeń nieorganicznych ze środowiska wodnego metodami membranowymi. Wyd. Seidel-Przywecki.
- FAIGON M., HEFER D., 2008 — Boron rejection in SWRO at high pH conditions versus cascade design. *Desalination* 223, 10–16.
- KMIECIK E., TOMASZEWSKA B., WĄTOR K., BODZEK M., 2016 — Selected problems with boron determination in water treatment processes. Part I: comparison of the reference methods for ICP-MS and ICP-OES determinations. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI: 10.1007/s11356-016-6328-7.
- REDDY K.V., GHAF FOUR N., 2007 — Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies. *Desalination* 205, s. 340–353.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz. U z 2006 r., Nr 80, poz. 565)
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2015 r., poz. 1989).

- TOMASZEWSKA B., 2014 — Ocena możliwości efektywnego wykorzystania schłodzonych wód termalnych. Studia Rozprawy Monografie Nr 190, Wyd. IGSMiE.
- TOMASZEWSKA B., BODZEK M., 2013 — Desalination of geothermal waters using a hybrid UF-RO process. Part I: Boron removal in pilot-scale tests. *Desalination* 319, 99–106.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., BODZEK M., 2014 — Application of a hybrid UF-RO process to geothermal water desalination. Concentrate disposal and costs analysis. *Archives Of Environmental Protection* 40 (3), 137–151.
- TOMASZEWSKA B., SZCZEPAŃSKI A., 2014 — Possibilities for the efficient utilisation of spent geothermal waters. *Environ Sci Pollut Res* 21: 11409–11417.
- TU K. L., NGHIEM L.D., CHIVAS A.R., 2010 — Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications. *Separation and Purification Technology* 75, 87–101.

PRELIMINARY RESULTS OF TESTS FOR OBTAINING A CONCENTRATE BASED ON SELECTED MINERALIZED WATER

ABSTRACT

The paper presents the results of research aimed at concentrating the mineralized water. The aim of the research was to obtain more concentrated mineral water as concentrates useful for balneological purposes. The mineralization of tested raw mineral water was 11,010 mg/dm³ and contained 2.8 mg/dm³ of boron and 10.06 mg/dm³ of metasilicic acid. As a result of water concentrating in the RO process with a BW30FR-400 membrane, a high quality of a new product – concentrate has been achieved. The mineralization of concentrated mineral water was 18 238.5 mg/dm³ with 18.48 mg/dm³ metasilicic acid concentration. In addition the high quality of the permeate was also obtained as a product possible for use as potable water. The results of research gave new light for the technical application.

KEYWORDS

Mineral water, concentrate, membrane processes, reverse osmosis