

KONCEPCJA ODSALANIA WÓD TERMALNYCH W KONTEKŚCIE POPRAWY BILANSU WODNEGO. CZĘŚĆ II – WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ

CONCEPTION OF GEOTHERMAL WATER DESALINATION IN THE CONTEXT OF IMPROVEMENT WATER BALANCE. PART II – THE RESULTS OF PRELIMINARY STUDY

BARBARA TOMASZEWSKA¹

Abstrakt. W pracy przedstawiono wyniki badań związanych z odsalaniem nisko zmineralizowanych wód termalnych eksploatowanych otworem Bańska IG 1 przy zastosowaniu dwu-hybrydowego systemu opartego na ultrafiltracji i odwróconej osmozie (RO). Realizowane badania wykazały, iż po pierwszym stopniu RO uzyskiwana może być woda wysokiej jakości. Rozbudowa systemu o drugi stopień RO z korektą pH jest niezbędna w przypadku wysokich stężeń boru w wodach. Zagospodarowanie schłodzonych wód do celów pitnych może w wielu przypadkach być rozpatrywane jako alternatywny sposób ich utylizacji, w szczególności w systemach pracujących w układzie otwartym, tj. w przypadku zrzutu wód schłodzonych do cieków powierzchniowych. Jednakże istotnym elementem systemu, musi być bezpieczne dla środowiska naturalnego zagospodarowanie bądź zutylizowanie koncentratu.

Słowa kluczowe: wody termalne, uzdatnianie wód, utylizacja wód, bilans wodny, odwrócona osmoza, ultrafiltracja.

Abstract. The paper presents the results of studies related to the desalination of low dissolved mineral content geothermal waters from the Bańska IG 1 well using a dual hybrid system based on ultrafiltration and reverse osmosis. The desalination of geothermal waters may be considered a possible solution leading to the decentralisation of drinking water supply. In many cases, using cooled waters for drinking purposes may be considered an alternative method of disposing of them, in particular for open drain arrangements, i.e. where cooled water is dumped into surface waters. However, the utilisation or disposal of the concentrate in a fashion that is safe for the environment is an important part of the arrangement.

Key words: geothermal waters, water treatment, water disposal, water balance, reverse osmosis, ultrafiltration.

WSTĘP

W Polsce od kilku lat obserwuje się wzrost zainteresowania geotermią. Świadczy o tym między innymi sukcesywnie rosnąca liczba koncesji wydawanych przez Ministerstwo Środowiska na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż wód termalnych. Biorąc pod uwagę wysokie koszty wierceń oraz ograniczoną chłonność struktur piaskowcowych, w wielu przypadkach metodą utylizacji schłodzonych wód jest zrzut do cieków powierzchniowych. Ze względu na deficyt wód

zwykłych w wielu regionach kraju, a jednocześnie duże wydajności ujęć geotermalnych, podjęto próbę oceny możliwości, szerszego, kompleksowego wykorzystania schłodzonych wód termalnych. W pracy przedstawiono wstępne wyniki pilotowych badań odsalania wód termalnych, realizowane w Laboratorium Geotermalnym IGSMiE PAN. Koncepcja i program badań oraz przegląd technologii odsalania wód naświetlone zostały w pracy Bujakowskiego i Toma-

¹ Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków, e-mail: b.tomaszewska@meeri.pl

szewskiej (2009). W niniejszym artykule pominięto powyższe zagadnienia. Przedstawiono wyniki badań zrealizowane

w okresie od kwietnia 2010 do lutego 2011 roku na bazie wód eksploatowanych otworem Bańska IG 1.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I SKŁAD CHEMICZNY WÓD EKSPLATOWANYCH OTWOREM BAŃSKA IG 1

Woda termalna wydobywana otworem Bańska IG 1, według klasyfikacji Altowskiego-Szwieca zalicza się do typu $\text{SO}_4\text{--Cl--Na--Ca}$. Eksploatacja otworu z zatwierdzoną maksymalną wydajnością $120 \text{ m}^3/\text{h}$, pozwala na pozyskanie wody o temperaturze 82°C . Po schłodzeniu do temperatury 30°C , woda zachowuje redukcyjny charakter (E_h ok. -270 mV) oraz naturalną zawartość rozpuszczonych gazów, głównie dwutlenku węgla, siarkowodoru i azotu. Odczyn wody zgazowanej jest kwaśny (w przedziale $4,5\text{--}5,0$), a odgazowanej bli-

ski obojętnemu ($6,73\text{--}7,80$). W okresie od kwietnia 2010 do lutego 2011 roku mineralizacja wody wahała się w przedziale $2,1\text{--}2,9 \text{ g/dm}^3$. Woda cechuje się wysoką zawartością jonów siarczanowych od $749,6$ do $938,2 \text{ mg/dm}^3$ oraz dużą twardością, $556,3\text{--}645,4 \text{ mg CaCO}_3/\text{dm}^3$. Zawiera również podwyższone stężenia krzemionki – $33,86\text{--}55,2 \text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$, boru – $6,83\text{--}9,46 \text{ mg/dm}^3$, baru – $0,06\text{--}0,125 \text{ mg/dm}^3$, strontu od $4,97$ do $6,12 \text{ mg/dm}^3$ i żelaza – $1,21\text{--}4,5 \text{ mg/dm}^3$. Stężenie metali ciężkich jest niskie.

DWU-HYBRYDOWY SYSTEM ODSALANIA WÓD TERMALNYCH – INSTALACJA PILOTOWA

Za najbardziej odpowiedni system odsalania nisko zmineralizowanych wód termalnych dla celów pitnych uznano jednostopniową instalację odwróconej osmozy (RO) według schematu pokazanego na [figurze 1](#).

Jednakże z uwagi na wysokie stężenia boru w wodach termalnych, realnym problemem mogło być uzyskanie w wodzie odsolonej (permeat) stężenia boru poniżej 1 mg/dm^3 (Roz-

porządzenie Min. Zdrowia, 2007). Przy pH obojętnym bor występuje zwykle w postaci niezdysocjowanego kwasu borowego, a współczynnik jego retencji na ogół nie przekracza 60% (Prats i in., 2000; Dydo i in., 2005). Przy wysokich stężeniach boru w wodzie termalnej, proces RO winien być prowadzony dwustopniowo, z korektą odczynu przed drugim stopniem RO do około 10. Schemat takiego rozwiązania

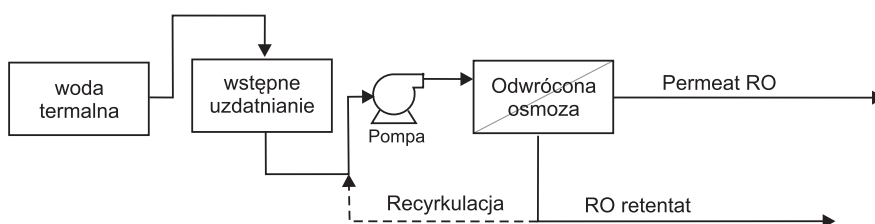


Fig. 1. Schemat odsalania wód termalnych metodą odwróconej osmozy

Framework for treating waters using reverse osmosis

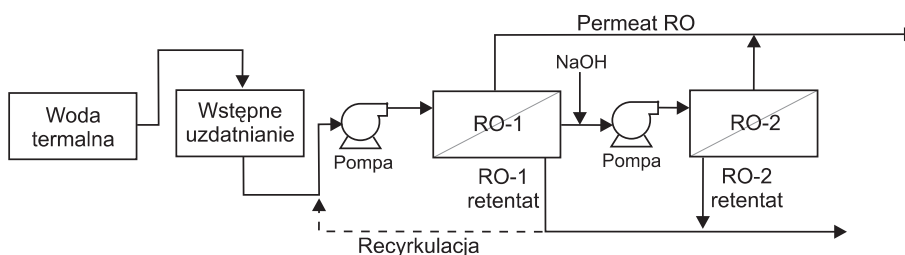


Fig. 2. Schemat odsalania wód metodą odwróconej osmozy dla wód ze zwiększoną zawartością boru

Framework for treating waters with a high boron content using reverse osmosis

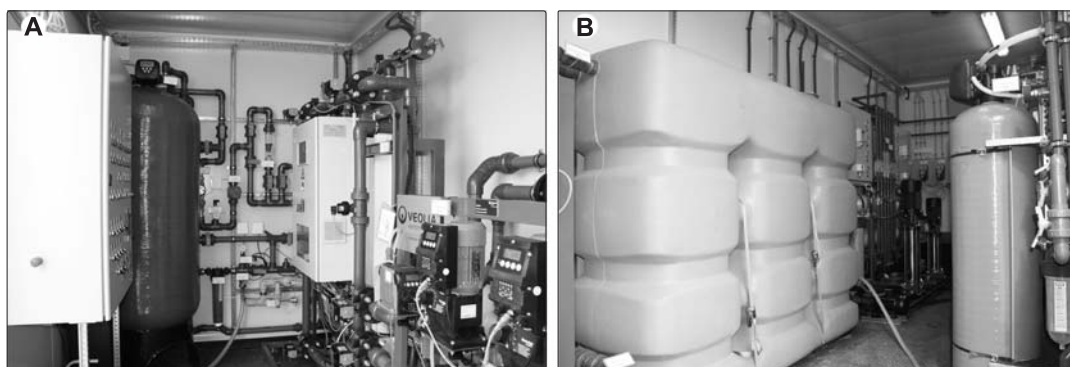


Fig. 3. Instalacja odsalania wód geotermalnych IGSMiE PAN

A – wstępne przygotowanie wody (filtr mechaniczny, stacja odżelaziania oraz moduł ultrafiltracyjny); B – zbiornik pośredni przed modulem RO i uzdatnianie końcowe (mineralizator)

PAS MEERI geothermal water desalination plant

A – water pretreatment (mechanical filter, iron removal stage and ultrafiltration module); B – intermediate tank before the RO module and final treatment (mineralization)

zaprezentowano na [figurze 2](#). Instalacja ma budowę modułową, co oznacza, że poszczególne elementy instalacji mogą być modyfikowane, rozbudowywane bądź usuwane z systemu uzdatniania wody, w zależności od jakości wody w źródle zasilania.

Wyselekcjonowany dwu-hybrydowy system technologiczny instalacji uzdatniania wody, ze względu na przeznaczenie poszczególnych urządzeń dzieli się na trzy zasadnicze części:

- wstępne przygotowanie wody obejmujące: schłodzenie, odgazowanie, filtrację mechaniczną, odżelazianie oraz ultrafiltrację ([fig. 3A](#));
- dwustopniowy układ odwróconej osmozy ([fig. 3B](#)),
- uzdatnianie końcowe do parametrów wody pitnej: mineralizacja i sterylizacja ([fig. 3B](#)).

Zastosowanie dwustopniowego systemu odsalania wód obniża nieco stopień odzysku permeatu. Z drugiej strony, wysoka zawartość jonów dwuwartościowych uniemożliwia korektę odczynu wód do zasadowego przed pierwszym stopniem RO. Prowadziłoby to do wytrącania osadów i zarastania membran osmotycznych.

WSTĘPNE PRZYGOTOWANIE WODY

Temperatura wody zasilającej instalację odsalania powinna być niższa niż 35°C (Bujakowski i in., 2011). Szczególnie wrażliwe na oddziaływanie wysokiej temperatury są stacja odżelaziania, membrany ultrafiltracyjne i membrany odwróconej osmozy. Dlatego efektywne schłodzenie wody termalnej, poddawanej uzdatnianiu ma decydujące znaczenie determinujące zastosowanie wskazanej metody, a jednocześnie właściwą pracę całego układu technologicznego. Z drugiej strony, odsalanie wód ciepłych jest bardziej efek-

tywne w porównaniu do odsalania wód zimnych (o temp. ok. 10°C), z uwagi na mniejszą lepkość wody. W temperaturze 30°C dynamiczny współczynnik lepkości wody η wynosi $803 \cdot 10^{-6}$ Pa·s, podczas gdy w temperaturze 10°C jest ponad 1,5 razy większy.

Obniżenie temperatury wody powoduje wzrost aktywności gazów, a przez to pulsacyjny, turbulentny przepływ wody w instalacji oraz tworzenie poduszki gazowej w systemie odżelaziania. Stąd konieczność odgazowania wody stanowi jeden z istotnych elementów wstępnego jej przygotowania.

Urządzenia technologiczne: filtr mechaniczny, stacja odżelaziania oraz moduł ultrafiltracyjny mają za zadanie przygotowanie schłodzonej wody geotermalnej (surowej) tak, by maksymalnie zabezpieczyć membrany osmotyczne przed foulingiem, nieorganicznym i biologicznym (Bodzek, Konieczny, 2005; Bujakowski, Tomaszewska, 2009). Po prze-filtrowaniu z większych zanieczyszczeń, woda przepływa współprądowo pod ciśnieniem przez złożo katalityczne, na którym zatrzymane są wytrącone wodorotlenki żelaza. Prze-filtrowana z większych zanieczyszczeń i odżelaziona woda zasila moduł ultrafiltracyjny (UF). Membrany UF mają za zadanie usunięcie z wody mikrozwiesin ($< 0,03 \mu\text{m}$), koloidów, bakterii i wirusów. Przewodnictwo elektrolityczne wody i jej twardość po UF ulega obniżeniu o około 10%, notuje się natomiast wysoką, od 30 do 60% redukcję zawartości glinu. Jest to korzystny efekt, gdyż niektóre związki nieorganiczne, przede wszystkim glinu, krzemu i żelaza, często odkładają się na powierzchni membrany i/lub w porach, ograniczając przepuszczalność (Bodzek, Konieczny, 2005). W procesie wstępnego oczyszczania wody nie stwierdzono redukcji stężenia krzemionki. Wynika to z faktu, iż w wodach termalnych nie ma ona charakteru koloidalnego, w 99% występuje w formie kwasu ortokrzemowego H_4SiO_4 . Woda wykazuje przesylenie względem albitu, chalcedonu i kwarcu, co

może skutkować wytrącaniem osadów na membranach. Membrany UF regenerowane są poprzez inicjację w określonych odstępach czasu płukania przeciwpłukowego, którego celem jest usuwanie na bieżąco ewentualnych osadów.

ODSALANIE WŁAŚCIWE

Charakterystykę pracy systemu membranowego, a zasadniczo pracy membrany, definiują dwa parametry: 1) przepuszczalność (strumień permeatu), która określa wydajność membrany, oraz 2) selektywność, która charakteryzuje zdolność membrany do separacji. Strumień permeatu określa objętość, masę lub liczbę moli substancji, która przechodzi przez jednostkową powierzchnię membrany w jednostce czasu. Selektywność membran, w technikach separacji jest definiowana jako stosunek składu permeatu i mieszaniny wyjściowej (nadawy). Strumień masy substancji rozpuszczonej (J_s), przechodzącej przez membranę, zależy jedynie od różnicy stężeń tej substancji po obu stronach membrany, co określa wzór (Bodzek, Konieczny, 2005):

$$J_s = L_s \cdot (C_s - C_p)$$

gdzie:

L_s – przepuszczalność membrany w odniesieniu do substancji rozpuszczonej,

C_s – stężenie substancji rozpuszczonej w roztworze zasilającym,

C_p – stężenie substancji rozpuszczonej w permeacie.

O właściwościach separacyjnych membran świadczy wartość współczynnika retencji (R) kluczowego składnika:

$$R = \frac{C_n - C_p}{C_n} = 1 - \frac{C_p}{C_n}$$

gdzie:

C_p – stężenie składnika w permeacie,

C_n – stężenie składnika w nadawie.

Stacja odwróconej osmozy wyposażona została w moduły ciśnieniowe z membranami DOW FILMTEC BW30HR-440i z poliamidu cienkowarstwowego. W skład pierwszego systemu odwróconej osmozy (RO-1) wchodzi dwa moduły, a drugiego (RO-2) jeden. W każdym module jest zabudowana jedna membrana osmotyczna. Wybrane membrany przeznaczone są do odsalania wód słonawych, o podwyższonej zawartości krzemionki oraz boru.

Moduły RO zasilane są wodą o temperaturze ok. 30°C i ciśnieniu 11–15 bar. Badania realizowane są w skali półtechnicznej (1 m³/h wody odsolonej). Przepuszczalność membran z RO-1, przy wydajności permeatu na poziomie 78%, wynosi ok. 5,25·10⁻⁶ i 7,9·10⁻⁶ m³/m²s dla systemu RO-2 przy wydajności ok. 75%.

W procesach odsalania wód, w wyniku polaryzacji stężeniowej następuje wzrost stężenia substancji rozpuszczonej w pobliżu membrany, a po przekroczeniu termodynamicznego iloczynu rozpuszczalności, osady soli trudnorozpuszczalnych

wytrącają się na powierzchni membrany, tworząc skaling (Bodzek, Konieczny, 2005). Indeks saturacji Langeliera (LSI – *Langelier Saturation Index*) obliczony dla wody termalnej wstępnie oczyszczonej, wynosi 0,029, co oznacza, że woda przesycona jest względem węglanu wapnia i może formować osady na membranach osmotycznych. Modelowanie termodynamiczne, programem PhreeqCI, wykazało możliwość osadzania na membranach, poza aragonitem, kalcytem i dolomitom, również barytu i minerałów krzemionkowych. W odniesieniu do składu chemicznego wody została dobrana, teoretycznie, substancja kompleksująca jony dwuwartościowe (antyskalant), będąca mieszaniną kwasu fosforowego (Hydrex 4109) w ilości 3,69 g/m³ dla wody zasilającej RO-1 i 0,43 g/m³ dla wody zasilającej RO-2. Substancja ta nie spełniła oczekiwań. Kilkugodzinna ciągła praca instalacji doprowadziła do wzrostu ciśnienia membranowego z 11 do 15 bar oraz spadku wydajności RO-1. Przeprowadzona regeneracja membran metodą trawienia chemicznego (kąpiel chemiczna) przywróciła ich sprawność do stanu początkowego, co jednocześnie wskazuje, iż głównym czynnikiem powodującym skaling na membranach osmotycznych jest węglan wapnia. Stopniowe zwiększenie dawek antyskalanta, nawet 60-krotne, nie ograniczyło skalingu, przyczyniło się natomiast do powstania „placka membranowego” osadu, którego jednym z głównych składników był tlenek fosforu. Zmodyfikowano wielkość dawek antyskalanta (zmniejszono) i zdecydowano o dodatkowym dozowaniu kwasu solnego. Utrzymywanie lekko kwaśnego odczynu wody zasilającej RO-1 (z wykorzystaniem HCl) znacznie usprawniło odsalanie, a obserwowane wahania ciśnienia membranowego nie przekraczały wartości 1 bar.

W permeacie po RO-1 uzyskano stosunkowo wysoki współczynnik retencji, dla mineralizacji 93%, krzemionki 94%, siarczanów 99%, sodu 92%, chlorków 84%, wapnia 95% i magnezu 98% (fig. 4). Przy słabo kwaśnym odczynie nadawy (wody termalnej) selektywność membran nie była wystarczająca w stosunku do boru, którego współczynnik retencji wynosił ok. 50–60%. Efektywne usuwanie boru z wody wymaga korekty pH wody zasilającej RO-2, ponieważ bor może być usunięty tylko w formie jonowej. Przy odczynie wody pH = 10 retencja boru kształtuje się na poziomie 96%, a przy pH = 11 – 97%.

Na figurze 4 przedstawiono stopień retencji mineralizacji, głównych składników wody i krzemionki (fig. 4a) oraz mikroelementów (fig. 4b). Widoczny, stosunkowo niski stopień retencji względem miedzi (75% dla RO-1 i 79% dla RO-2) oraz względem ołowiu (55% dla RO-1 i 69% dla RO-2) wynika z bardzo niskiego stężenia obu pierwiastków w źródle zasilania, odpowiednio dla miedzi 0,0047 mg/dm³ i dla ołowiu 0,00094 mg/dm³.

Figura 5 przedstawia mineralizację wody oraz stężenie sodu, chlorków, siarczanów (fig. 5a) oraz boru (fig. 5b) w wodzie termalnej, po ultrafiltracji, po pierwszym stopniu odwróconej osmozy (RO-1) oraz po stopniu drugim (RO-2).

Maksymalna zawartość boru w wodach pitnych, według uregulowań krajowych, wynosi 1,0 mg/dm³ (Rozporządzenie Min. Zdrowia, Dz. U. z 2007 r. Nr 41, poz. 417 z późn. zm., Rozporządzenie Min. Środowiska, DZ. U. z 2002 r. Nr

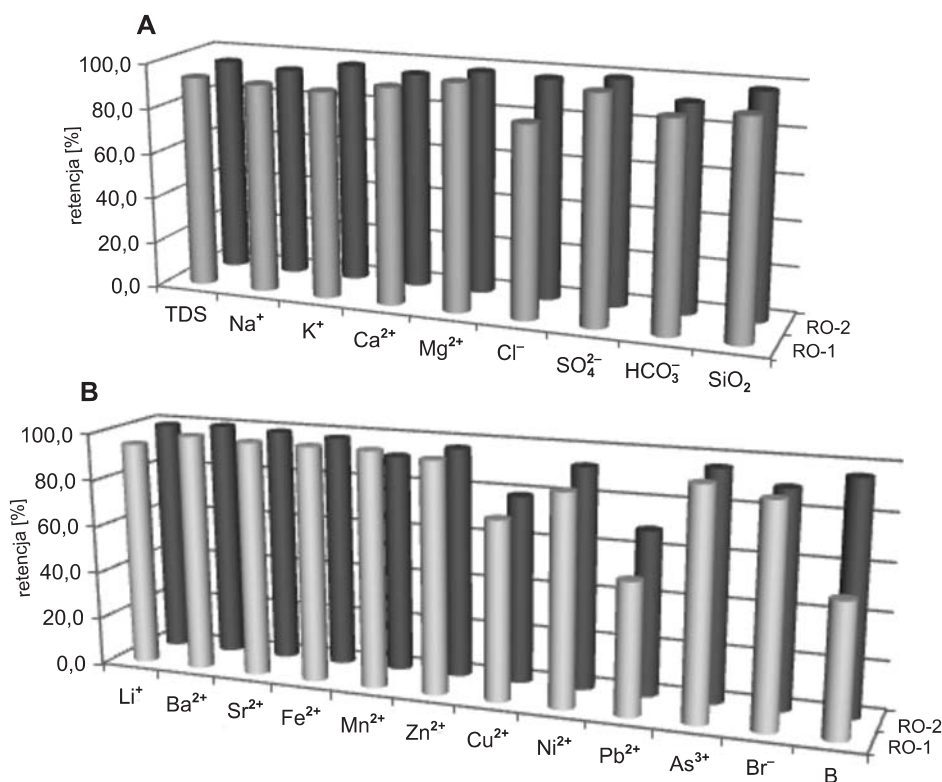


Fig. 4. Współczynnik retencji [%] kluczowych składników wody: A – makroelementów; B – mikroelementów

Retention coefficients [%] for key compounds: A – macro-elements and B – micro-elements after RO-1 and RO-2

204, poz. 1728) i jest zgodna z dyrektywą 98/83/EC z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. Urz. UE L 330 z 05.12.1998).

Za dawkę bezpieczną dla człowieka uznaje się 0,16 mg boru na 1 kg masy ciała (WHO, 1998, 2008). Wykorzystując nowe dane i oceny wykonane w USA, Komitet do spraw jakości wód pitnych przy WHO (The Drinking-water Quality Committee), w 2009 r. zarekomendował korektę stężeń boru w wodach pitnych do 2,4 mg/dm³. Nowe wytyczne (*Revised Guideline Value and Summary Statement*) zostaną opublikowane w 2011 r. w IV edycji *Guidelines for Drinking-water Quality* (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/boron/en/). W nawiązaniu do tego, w kolejnych latach prawdopodobnie ulegnie zmianie dyrektywa 98/83/EC oraz krajowe standardy jakości wód pitnych. Odsalanie wód (o zawartości boru ok. 10 mg/dm³) do wskazanego poziomu byłoby efektywne przy korekcie pH do 8, przed drugim stopniem RO.

Wiązałoby się to ze znacznym ograniczeniem zużycia sody kaustycznej. Z kolei odsalanie wód zawierających bor w stężeniu ok. 4,5 mg/dm³ byłoby efektywne już w jednostopniowym systemie odsalania.

UZDATNIANIE KOŃCOWE

Ostatnią, trzecią część instalacji stanowi mineralizator odpowiedzialny za podniesienie twardości ogólnej wody „wyjałowionej” na module osmotycznym (wymagana minimalna wartość tego parametru została określona w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2007 r. Nr 61, poz. 417) oraz lampa UV niezbędna do sterylizacji bakteriologicznej wody otrzymanej na wyjściu z instalacji.

PODSUMOWANIE

Wstępne wyniki badań odsalania wód termalnych realizowane w Laboratorium Geotermalnym Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN) wykazały, iż zastosowanie jednostop-

niowego systemu uzdatniania, opartego na technologii odwróconej osmozy, pozwala na odsolenie wody termalnej w zakresie składników nieorganicznych do poziomu wymaganego

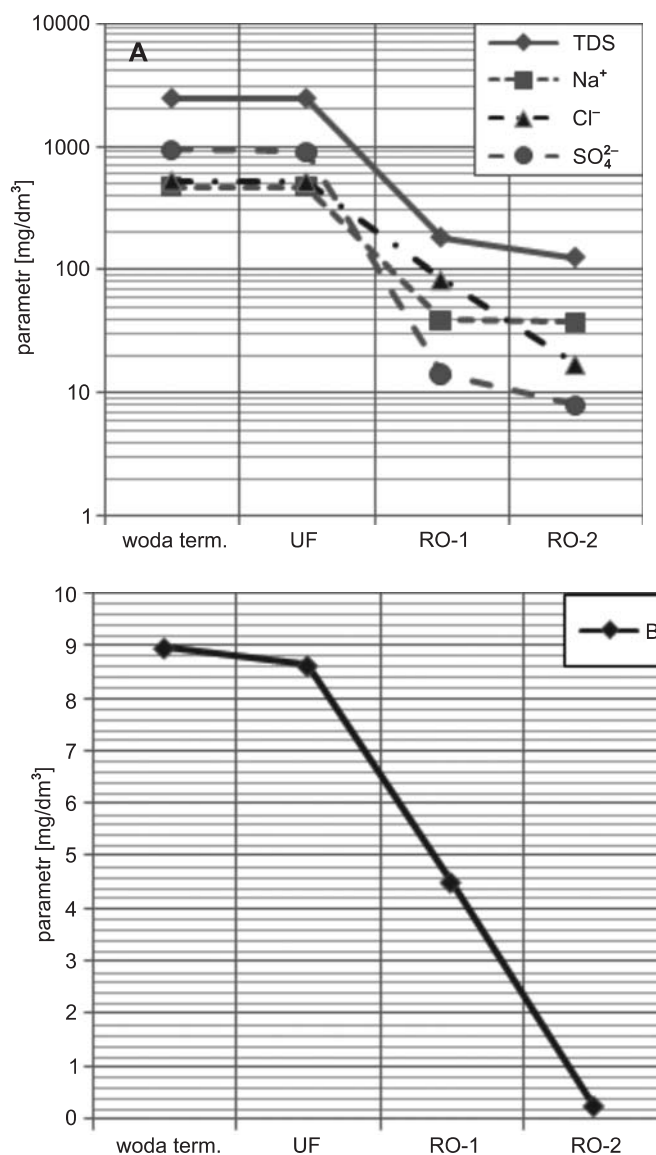


Fig. 5. Skład chemiczny wody geotermalnej w poszczególnych stopniach odsalania

Chemical composition of geothermal water at individual desalination stages

rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2007 r. Nr 61, poz. 417), z wyłączeniem stężenia boru. Obniżenie stężenia boru z około 10 mg/dm³ do <1 mg/dm³ jest skuteczne przy zastosowaniu dwóch stopni odwróconej osmozy z korektą pH.

Energia geotermalna wykorzystywana jest w celach ciepłowniczych w coraz większym stopniu. Zagospodarowanie schłodzonych wód do celów pitnych może w wielu przypadkach być rozpatrywane jako alternatywny sposób ich uty-

lizacji, w szczególności w systemach pracujących w układzie otwartym, tj. w przypadku zrzutu wód schłodzonych do cieków powierzchniowych. Istotnym elementem systemu, musi być bezpieczne dla środowiska naturalnego zagospodarowanie bądź zutylizowanie koncentratu (retentatu). Koncepcja i wyniki badań związanych z możliwością balneologicznego bądź przemysłowego zagospodarowania koncentratu wytwarzanego w procesach odsalania wód geotermalnych będzie przedmiotem kolejnych publikacji.

LITERATURA

- BODZEK M., KONIECZNY K., 2005 — Wykorzystanie procesów membranowych w uzdatnianiu wody. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz, Poland.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., 2009 — Konceptcja odsalania wód termalnych w kontekście poprawy bilansu wodnego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **436**: 17–22.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., BODZEK M., 2011 — Geothermal water treatment – preliminary experiences from Poland with a global overview of membrane and hybrid desalination technologies. *W: Renewable energy for decentralized drinking water production* (red. J. Bundschuh, J. Hoinkis), Germany, w druku.
- DYDO P., TUREK M., CIBA J., TROJANOWSKA J., KLUCZKA J., 2005 — Boron removal from landfill leachate by means of nanofiltration and reverse osmosis. *Desalination*, **185**: 131–137.
- DYREKTYWA 98/83/EC z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi Dz. Urz. UE L 330 z 05.12.1998; http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/boron/en/ (data dostępu 30.03.2011)
- PRATS D., CHILLON-ARIAS M. F., RODRIGUEZ-PASTOR m., 2000 — Analysis of the influence of pH and pressure on the elimination of boron in reverse osmosis. *Desalination*, **128**: 269–273.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz. U. z 2002 r. Nr 204 poz. 1728).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. z 2007 r. Nr 61 poz. 417.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 1998 — Boron in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. 2nd ed. Addendum to Vol. 2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva, 1998.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2008 — Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition incorporating the first and second. Addenda. WHO Library Cataloguing .ISBN 978 92 4 154761 1
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2009 — Boron in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.

SUMMARY

The first desalination project concerned water from the Bańska IG 1 well (the aquifer from which these geothermal waters are extracted lies at a depth of 2565 m), located at the Geothermal Laboratory of the Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Kraków.

Taking into account water salinity (2.9 g/dm³) and the increased content of silica (62.5 mg/dm³), hydrogen sulfide and other sulfides (0.085 mg/dm³), boron (9.95 mg/dm³), barium (0.142 mg/dm³), strontium (7.19 mg/dm³), ammonium ions (1.3 mg/dm³), fluorides (1.3 mg/dm³), bromides (1.75 mg/dm³) and sulfates (872 mg/dm³), a double hybrid setup was selected that combined ultrafiltration and reverse osmosis. The water desalination facility include the following components:

- a water pretreatment facility: mechanical filter, iron removal stage and ultrafiltration module (UF membranes with a module diameter of 8" and a pore size of 0.03 µm),
- a two-stage reverse osmosis setup with NaOH dosing before stage two (DOW FILMTEC BW30HR-440i osmo-

sis membranes, designed for brackish water with increased silica, boron, ammonium and nitrate content),

- final treatment to achieve drinking water parameters (mineralization, sterilization).

The research has demonstrated that high-quality water may be obtained even after the first RO stage. System extension, i.e. the addition of a second RO stage together with pH adjustment, is required where high water boron content is present. Geothermal energy is being used for heating purposes to an ever greater extent. In many cases, using cooled waters for drinking purposes may be considered an alternative method of disposing of them, in particular for open drain arrangements, i.e. where cooled water is dumped into surface waters. However, the utilisation or disposal of the concentrate in a fashion that is safe for the environment is an important part of the arrangement. Ideas and study results related to the possibility of using the concentrate produced in geothermal water desalination processes for balneological or industrial purposes will be the subject of subsequent publications.

