

Barbara TOMASZEWSKA  
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi  
i Energią PAN w Krakowie  
Zakład Odnawialnych Źródeł Energii i Badań Środowiskowych  
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7  
tel.: (12) 632-33-00 w. 131, fax : (12) 632-67-17  
e-mail: b.tomaszewska@meeri.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych  
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2013

## UTYLIZACJA SCHŁODZONYCH WÓD TERMALNYCH. PROBLEMY I PROPOZYCJE ROZWIĄZAŃ ALTERNATYWNYCH

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono propozycję efektywnego zagospodarowania schłodzonych wód termalnych, zwłaszcza wód eksploatowanych w układzie otwartym lub mieszanym. Zastosowanie technologii odsalania schłodzonych wód pozwala na ich demineralizację i wykorzystanie do zaspokojenia lokalnych potrzeb na cele bytowe (woda pitna, rekreacja). Pozostały po procesie koncentrat zawiera cenne składniki możliwe do wykorzystania w celach przemysłowych, gospodarczych, balneologii i/lub rekreacji. Omawiana technologia odsalania wykorzystanych, zmineralizowanych wód termalnych pozwala zatem na racjonalizację gospodarki wodnej w lokalnej skali oraz zminimalizowanie zagrożeń środowiskowych wynikających z konieczności odprowadzania tych wód do cieków lub zbiorników wód powierzchniowych i/lub górotworu.

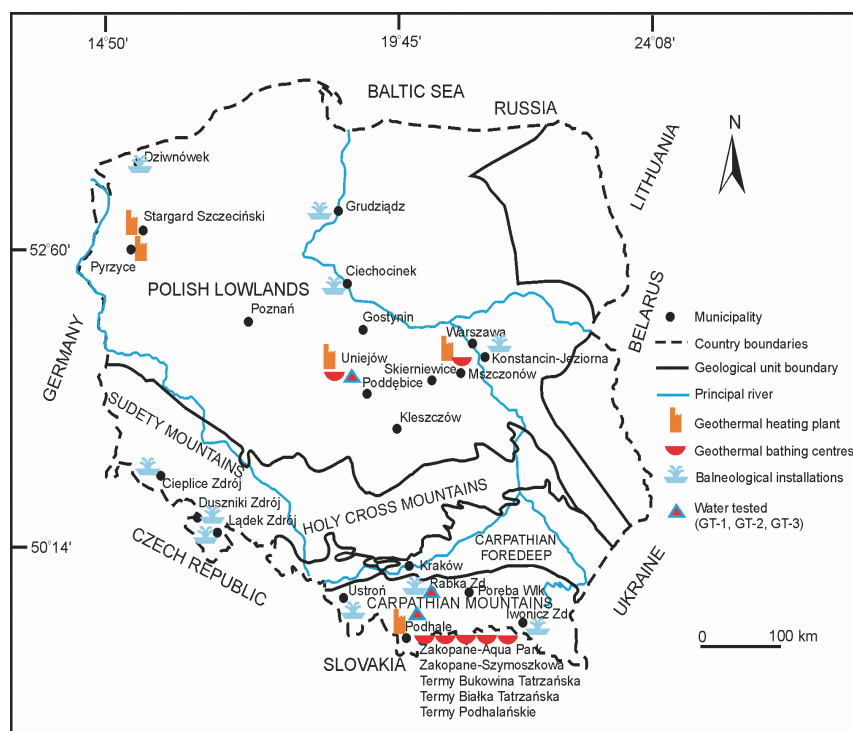
### SŁOWA KLUCZOWE

Wody termalne, utylizacja wód, odsalanie, wykorzystanie wód, wykorzystanie koncentratu

\* \* \*

### WPROWADZENIE

Przyjęty sposób utylizacji wykorzystanych, schłodzonych wód termalnych, w dużym stopniu wpływa na wielkość nakładów inwestycyjnych oraz operacyjnych, związanych z działalnością zakładu geotermalnego. W przypadku systemów geotermalnych pracujących w układzie zamkniętym (schłodzone, wykorzystane wody wtłaczane są z powrotem do górotworu) zwykle na jeden odwiert eksploatacyjny wymagane są dwa otwory chłonne. Według polskich stawek rynkowych koszt wiercenia otworu do głębokości około 2 tys. m p.p.t. wynosi około 12–14 mln zł. Dlatego też spośród 28 funkcjonujących zakładów geotermalnych (ciepłowniczych i balneologicznych, rys. 1) tylko w siedmiu z nich wody



Rys. 1. Lokalizacja instalacji geotermalnych w Polsce na tle jednostek geotermalnych (Tomaszewska, Bodzek 2013)

Fig. 1. Location of geothermal plant in Poland against the background of geothermal units (Tomaszewska, Bodzek 2013)

termalne włączane są do górotworu. Dodatkowym czynnikiem determinującym wysokie koszty operacyjne, związanym z eksploatacją zasolonych wód termalnych w układzie zamkniętym, jest korozja i kolmatacja instalacji geotermalnej (Banaś i in. 2007; Bujakowski, Tomaszewska 2007; Tomaszewska 2008; Tomaszewska, Bodzek 2013a). Problemy związane z chłonnością otworów i złóż wymagają niejednokrotnie realizacji kosztownych zabiegów naprawczych, nawet z czasowym wyłączeniem odwiertu z eksploatacji. Koszty jednorazowych zabiegów technicznych dla poprawy chłonności głębokich ujęć geotermalnych szacowane są na około 200–250 tys. zł lub więcej. W zakładach geotermalnych pracujących w układzie otwartym, wykorzystywane wody zrzucane są do cieków powierzchniowych lub do kanalizacji, co generuje inne koszty środowiskowe (Tomaszewska, Bodzek 2013a, 2013b).

Biorąc pod uwagę zasadę racjonalnej gospodarki złożem, jednym z podstawowych czynników, który winien decydować o wielkości eksploatowanych zasobów wód termalnych oraz sposobie postępowania z wodami schłodzonymi, jest zapewnienie bezpiecznej, zrównoważonej i długotrwałej eksploatacji, w określonym układzie hydrodynamicznym, przy zachowaniu cech odnawialności energetycznej złoża, jednocześnie bez szkody dla środowiska

(Bujakowski, Tomaszewska 2007; 2009). Zobowiązują przedsiębiorców do tego wymogi ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981), oraz ustawy Prawo ochrony środowiska (t. j. Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 z późn. zm.) (Dulewski, Tomaszewska 2012).

Problemy tej natury stały się podstawą opracowania programu badań zmierzających do rozpoznania możliwości efektywnej i racjonalnej gospodarki wodami termalnymi celem ich kompleksowego wykorzystania. Jednym z elementów programu była ocena możliwości odsalania/uzdatniania wód termalnych dla poprawy bilansu wodami pitnymi i gospodarczymi w skali lokalnej (Bujakowski, Tomaszewska 2007; Tomaszewska 2009; Bujakowski, Tomaszewska, Bodzek 2013b).

## 1. WTŁACZANIE SCHŁODZONYCH WÓD DO GÓROTWORU

Wtłaczanie do górotworu wykorzystanych wód termalnych jest praktyką stosowaną na świecie od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku i uznawaną za najbardziej optymalny pod względem hydrodynamicznym i środowiskowym sposób utylizacji schłodzonych wód. Zapewnia on odnawialność zasobów i stabilność parametrów złożowych. Jednakże cel ten można osiągnąć pod warunkiem udostępnienia do celów chłonnych skał o jak najwyższych wartościach podstawowych parametrów hydrogeologicznych (porowatość, przepuszczalność) tym bardziej, że proporcje między możliwościami produkcyjnymi i chłonnymi odwiertów wynoszą średnio 1:0,4–0,6 (Kępińska, Bujakowski (red.), 2011; Dulewski, Tomaszewska 2012).

Wieloletnie polskie doświadczenia przemysłowe związane z zatłaczaniem wód do kolektorów węglanowych wykazują, że proces ten zazwyczaj nie napotyka większych trudności eksploatacyjnych, choć w dużej mierze uzależniony jest od składu chemicznego i właściwości fizycznych wody. Większe trudności występują przy zatłaczaniu wód do struktur porowych, zwykle o charakterze piaskowcowym. Ograniczona chłonność skał, przy wysokim zasoleniu wód termalnych, determinuje zwykle wydajność całego systemu geotermalnego, a więc również ilość pozyskanej energii odnawialnej (Tomaszewska 2008; Dulewski, Tomaszewska 2012).

Realnie, wtłaczanie schłodzonych wód do górotworu w warunkach polskich zakładów geotermalnych realizowane jest lokalnie, w systemach o dużej wydajności ujęć wód (ok. kilkaset m<sup>3</sup>/h) oraz w przypadku wydobywania wód wysoko zasolonych, których zrzut do cieków powierzchniowych nie jest możliwy (Bujakowski, Tomaszewska 2007; Dulewski, Tomaszewska 2012). Jedynym zakładem balneologicznym w Polsce utylizującym wody poprzez wtłaczanie do górotworu, przede wszystkim z powodu wysokiego zasolenia wody termalnej, leczniczej (119–131 g/L), jest Przedsiębiorstwo Uzdrawiskowe „Ustronie” S.A. (Waligóra, Sołtysiak 2011; Dulewski, Tomaszewska 2012).

Wiercenie otworu chłonnego generuje wysokie koszty inwestycyjne, które w zależności od konstrukcji odwiertu i jego głębokości można szacować na poziomie od kilkunastu do kil-

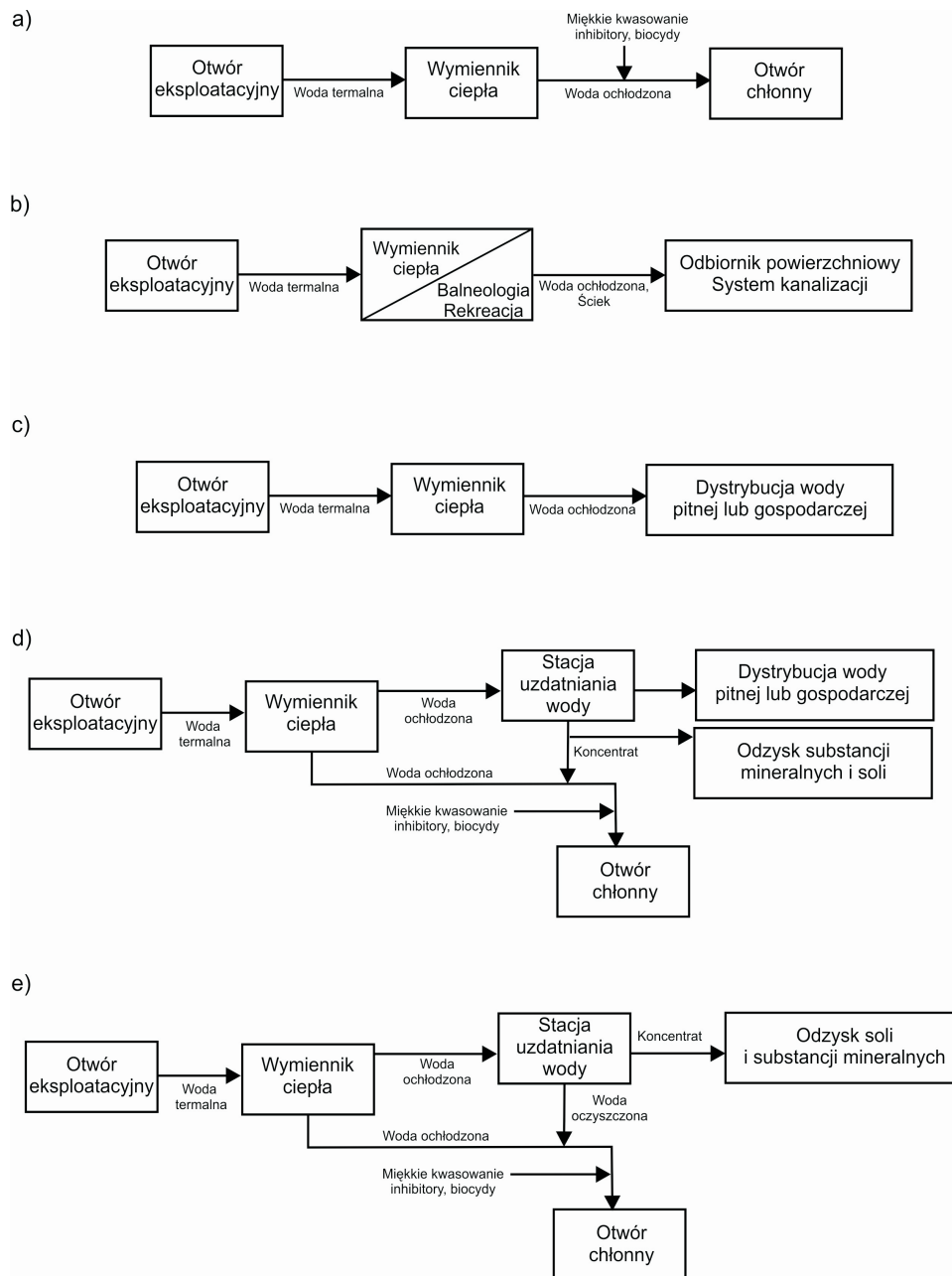
kudzieściu mln zł. Ponadto, uważany za najkorzystniejszy dla środowiska sposób zagospodarowania schłodzonych wód termalnych przysparza niekiedy istotnych problemów natury technicznej (Bujakowski, Tomaszewska 2007; Tomaszewska 2008; Dulewski, Tomaszewska 2012). Korozja i kolmatacja instalacji obiegu wody stanowią najistotniejsze problemy towarzyszące eksploatacji złóż wód termalnych, rzutując bezpośrednio na koszt pozyskania energii. Intensywność przebiegu tych procesów jest uzależniona w głównej mierze od składu fizykochemicznego wody oraz obecności w niej rozpuszczonych gazów, przede wszystkim dwutlenku węgla i siarkowodoru. W procesie schładzania wody termalnej zachodzi szereg reakcji fizykochemicznych, w wyniku których następuje zmiana stanu termodynamicznego wody. Efektem jest wytrącanie rozpuszczonych w wodzie składników mineralnych (ang. *scaling*), powodujące w szczególności kolmatację strefy przyodwiertowej i strefy czynnej oraz ograniczające produktywność i chłonność odwiertów (Tomaszewska 2008).

W przypadku występowania *scalingu*, uzyskanie odpowiednio wysokiej chłonności, adekwatnej do zakładanych potrzeb praktycznych, wymaga często realizacji doraźnych bądź stałych zabiegów stymulacji otworów i złóż geotermalnych (Kępińska, Bujakowski (red.) 2012; Dulewski, Tomaszewska 2012). Istnieje szereg metod stosowanych do tego celu z powodzeniem w innych krajach, m.in. we Francji i w Niemczech, gdzie eksploatowane są wody termalne związane ze skałami osadowymi – wapieniami i piaskowcami (Wolfgramm, Raupach 2010; Ungemach 2010). Są to zabiegi techniczne i metody chemiczne, takie jak *miękkie kwasowanie*, czy też stosowanie odpowiednich inhibitorów korozji oraz inhibitorów zapobiegających wytrącaniu wtórnych osadów z wód (rys. 2a), czy też biocydów ograniczających rozwój flory bakteryjnej (Kępińska, Bujakowski (red.) 2012).

## 2. ZRZUT SCHŁODZONYCH WÓD DO CIEKÓW POWIERZCHNIOWYCH

W zakładach geotermalnych wydobywających stosunkowo nisko zasolone wody (do kilku g/L), choć z dużą wydajnością (kilkadziesiąt, a nawet kilkaset m<sup>3</sup>/h), oraz w obiektach rekreacyjnych i zakładach balneologicznych eksploatujących zasoby przy małej wydajności (do kilkunastu m<sup>3</sup>/d), system eksploatacji zasobów złoża zwykle ma charakter otwarty (rys. 2b). Wykorzystane wody zrzucane są do cieku powierzchniowego na podstawie pozwolenia wodnoprawnego lub odprowadzane do kanalizacji. Jest to najprostsze i z całą pewnością najtańsze rozwiązanie problemu utylizacji wód, choć nie zawsze korzystne w kontekście zrównoważonej gospodarki zasobami wód podziemnych i powierzchniowych (Dulewski, Tomaszewska 2012). Zwłaszcza, że wody termalne poza podwyższonym zasoleniem zawierają często podwyższone stężenia mikroelementów, m.in. boru, baru, strontu, fluorków, bromków i metali ciężkich (Tomaszewska 2012; Tomaszewska, Pająk 2012).

Wykorzystane wody termalne, w myśl art. 9 ust. 1 pkt. 14) lit. d) ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (t. j. Dz. U. z 2012 r., poz. 145) wprowadzane do wód lub do ziemi uznawane są za ścieki, dlatego też winny spełniać wymagania przepisów o korzystaniu z wód, w szczególności określone rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24.07.2006 r.



Rys. 2. Warianty utylizacji schłodzonych wód termalnych: systemem zamkniętym (a), otwartym (b, c), z wykorzystaniem technologii uzdatniania wód (d, e) (Dulewski, Tomaszewska 2012)

Fig. 2. Different options of cooled geothermal water disposal: a closed system (a), open (b, c), using the water treatment technologies (d, e) (Dulewski, Tomaszewska 2012)

w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. z 2006 r., Nr 137, poz. 984 z późn. zm.) oraz rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny podlegać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz. U. z 2002 r., Nr 176, poz. 1455) jak również wymogi wynikające z opłat za korzystanie ze środowiska.

Podwyższone zasolenie wód oraz zawartość m.in. boru, baru, strontu, fluorków, bromków i metali ciężkich, determinuje często ograniczenia w tym zakresie (Tomaszewska 2012; Tomaszewska, Pająk 2012).

### 3. WYKORZYSTANIE SCHŁODZONYCH WÓD TERMALNYCH W CELACH PITNYCH I GOSPODARCZYCH

Możliwość bezpośredniego wykorzystania wód termalnych do produkcji wód pitnych lub gospodarczych jest ściśle uzależniona od właściwości fizycznych i składu chemicznego wody. Wody o mineralizacji poniżej 1000 mg/L zwykle spełniają wymagania dla wód pitnych (Bujakowski i in. 2012). W zależności od mętności i zawartości substancji organicznych woda może zostać poddana ewentualnej koagulacji lub mikrofiltracji/ultrafiltracji i filtracji na złożach wielowarstwowych oraz dezynfekcji przed skierowaniem do sieci wodociągowej (Bujakowski i in. 2012). Ostatecznie musi ona spełniać wymagania określone 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 późn. zm.) (Bujakowski i in. 2012).

W celach pitnych schłodzona woda termalna wykorzystywana jest obecnie tylko w Mszczonowie (województwo mazowieckie) (Bujakowski, Tomaszewska 2007, 2009; Tomaszewska 2011; Bujakowski i in. 2012). Rekonstrukcja starego otworu poszukiwawczego Mszczonów IG-1, zaprojektowana i zrealizowana przez zespół naukowców Zakładu Energii Odnawialnej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie, pozwoliła na udostępnienie do eksploatacji wód termalnych występujących w obrębie dolnokredowego horyzontu wodonośnego. Mineralizacja wydobywanej wody wynosi około 0,5 g/L, a temperatura na głowicy nie przekracza 42°C. Po schłodzeniu w systemie ciepłowniczym Geotermii Mazowieckiej S.A. i prostym uzdatnieniu woda kierowana jest do miejskiej sieci wodociągowej i wykorzystywana do celów pitnych (Dulewski, Tomaszewska 2012).

Zgodnie z ustawą z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (tj. Dz. U. z 2006 r., Nr 123, poz. 858 z późn. zm.) uzdatnianie i dostarczanie wody pitnej odbiorcom jest zadaniem własnym gminy, realizowanym przez przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne. Możliwość bezpośredniego zagospodarowania schłodzonej wody termalnej do celów pitnych (rys. 2c) zawsze winno być rozpatrywane indywidualnie, gdyż w dużej mierze zależy od lokalnych uwarunkowań

wodno-środowiskowych, porozumień i umów zawartych pomiędzy przedsiębiorcą górnym, władzami gminnymi i przedsiębiorstwem wodociągowo-kanalizacyjnym. Ten sposób utylizacji wód mógłby być w wielu przypadkach korzystny dla wszystkich zainteresowanych stron; pozwalałby na lepsze wykorzystanie zasobów wodnych szczególnie w systemach geotermalnych pracujących w układzie otwartym lub w zakładach stosujących system pół-otwarty, bazujący na zbyt małej chłonności otworów przewidzianych do włączania wody schłodzonej, by mogła zostać w ten sposób zutylicowana całkowita ilość wydobytej wody (Dulewski, Tomaszewska 2012).

Wykorzystanie do celów pitnych schłodzonych wód termalnych słonawych i słonych, wymaga wprowadzenia bardziej zaawansowanych rozwiązań, które pozwoliłyby usunąć ponadnormatywne stężenia makro- i mikroelementów.

#### 4. WYKORZYSTANIE ODSOLONÝCH WÓD TERMALNYCH

Deficyt wód zwykłych w wielu regionach świata sprawia, że odsalanie i wykorzystanie wód termalnych coraz częściej postrzegane jest jako korzystny sposób zabezpieczenia wysokiej jakości wody dla celów pitnych, nawadniania upraw, a jednocześnie ograniczenia negatywnego oddziaływania wynikającego ze zrzutu tych wód do cieków powierzchniowych (Öner i in. 2011; Gallup 2007). Prace badawcze, których celem była ocena możliwości wykorzystania uzdatnionych wód geotermalnych dla celów pitnych, podjęte zostały również w Polsce (Tomaszewska 2011; Tomaszewska, Bodzek 2013b). Badaniom w skali półprzemysłowej poddano wody z trzech ujęć geotermalnych: podhalańskiego systemu geotermalnego (Bańska IG-1), Niziu Polskiego (Uniejów PIG/AGH-2) i Karpat Zachodnich (Rabka IG-2). Analizowane wody wykazują różną mineralizację, od 2,5 do 24,4 g/L, podwyższoną i wysoką zawartość żelaza, strontu, boru, krzemionki (Tomaszewska 2011; Tomaszewska, Bodzek 2013b). Instalację odsalania wód termalnych zaprezentowano na rysunku 3.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że wykorzystanie uzdatnionych wód termalnych może być rozważane jako jedna z alternatyw w decentralizacji dostaw wody pitnej i gospodarczej. Przy zastosowaniu hybrydowego systemu uzdatniania opartego na odżelazianiu, ultrafiltracji i odwróconej osmozie wyposażonej w membrany niskociśnieniowe, już po pierwszym stopniu RO uzyskiwano wodę wysokiej jakości. Rozbudowa systemu o drugi stopień RO z korektą pH jest często konieczna w przypadku wysokich stężeń boru w wodach. Kluczowym czynnikiem decydującym o efektywności usuwania tego pierwiastka z wody jest bowiem stopień dysocjacji kwasu borowego, zależny od odczynu wody i jej zasolenia (Tomaszewska 2011, 2012; Tomaszewska, Bodzek 2013b).

Biorąc pod uwagę zastosowane niskie ciśnienie w procesie odwróconej osmozy, 1,1 MPa, efektywne i stabilne parametry odsalania uzyskano dla wód termalnych o mineralizacji do 7 g/L (Bańska IG-1 i Uniejów PIG/AGH-2) i zawartości boru do około 10 mg/L. Uzyskano relatywnie wysokie współczynniki retencji po pierwszym stopniu RO (pH 5±0,4), 96–97% w odniesieniu do przewodnictwa elektrolitycznego właściwego, 94% dla SiO<sub>2</sub>, 92% dla



Rys. 3. Pilotowa instalacja odsalania wód termalnych w IGSMiE PAN: (a) wstępne uzdatnianie wody (filtr mechaniczny, stacja odżelaziania, moduł ultrafiltracji), (b) zbiornik pośredni przed stacją RO oraz uzdatnianie końcowe – po prawej (mineralizacja), (c) dwustopniowy system odwróconej osmozy z pompami wysokociśnieniowymi (centralnie) (Tomaszewska, Bodzek 2012)

Fig. 3. PAS MEERI geothermal water desalination plant: (a) water pre-treatment (mechanical filter, iron removal stage and ultrafiltration module), (b) intermediate tank before the RO module and final treatment (mineralization), (c) two-stage reverse osmosis arrangement with high-pressure pumps (centre) (Tomaszewska, Bodzek 2012)

fluorków i nie mniej niż 84% dla arsenu. Współczynnik retencji po RO-1 względem twardości ogólnej i węglanowej wyniósł 99%, co miało istotne znaczenie dla przebiegu procesu odsalania w wysokim pH na drugim stopniu RO (Tomaszewska 2011, 2012; Tomaszewska, Bodzek 2013b).

Wyniki badań jakości uzdatnionych wód termalnych w odniesieniu do wymagań stawianych wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi wykazały spełnienie tych wymogów również pod względem mikrobiologicznym i radiologicznym. Potwierdzona została wysoka czystość mikrobiologiczna odsolonych wód termalnych, w szczególności w zakresie występowania bakterii grupy coli, w tym również *Escherichia coli* i dopuszczalnej ogólnej liczby innych mikroorganizmów (Tomaszewska 2012).

Zawartość substancji radioaktywnych w wodach uzdatnionych była znacznie niższa od stężeń oznaczonych w wodach termalnych. Stopień odrzucenia radionuklidów wyniósł od 70,7% dla obu form radu i nie mniej niż 77,2% dla uranu. Stopień retencji dla całkowitej aktywności  $\alpha$  i  $\beta$  wyniósł nie mniej niż 72,9%. Przeprowadzone badania nie wykazały zależności stopnia odrzucenia radionuklidów od mineralizacji badanej wody (Tomaszewska, Bodzek 2013a).



Obliczenia rocznej dawki efektywnej promieniowania od badanych izotopów, wynikającej ze spożycia wody przez dorosłych i dzieci, wykazały wartości znacznie poniżej dawki dopuszczalnej tj. 0,1 mS. Przy założeniu konsumpcji wody przez niemowlęta (<1 rok) na poziomie 250 litrów oraz uwzględniając wyższe wartości jednostkowych obciążających dawek skutecznych w tej grupie wiekowej, roczna dawka obciążająca spowodowana wchłonięciem radionuklidów została przekroczona 3–4 krotnie. Przeprowadzone badania wykazały, że odsolone wody termalne pod względem radiologicznym mogą być wykorzystywane do celów pitnych przez dzieci i ludzi dorosłych. Nie powinny być jednak stosowane w diecie niemowląt (Tomaszewska, Bodzek 2013a).

Długotrwały proces odsalania wód termalnych z ujęcia Bańska IG-1 w skali półtechnicznej przebiegał stabilnie. Podczas tych pilotowych badań nie stwierdzono spadku wydajności systemu membranowego, a efektywność odsalania wody geotermalnej była wysoka (75–78% z RO-1 75% z RO-2). Głównym czynnikiem, który korzystnie wpłynął na przebieg tego procesu było „szczepienie kwasem solnym” wody zasilającej pierwszy stopień odwróconej osmozy, co pozwoliło na dekarbonizację wody oraz obniżenie indeksu saturacji również względem siarczanowych i krzemionkowych form mineralnych. Badania membran po ośmiu miesiącach odsalania wykazały niewielką ilość zaabsorbowanych osadów, co wskazuje, że odsalanie wody w instalacji przemysłowej może być prowadzone (Tomaszewska, Bodzek 2013c):

- przy wysokim stopniu odzysku permeatu (75%) i pH około 5 przed RO-1 i około 10 przed RO-2, w warunkach ryzyka krystalizacji substancji trudno rozpuszczalnych (krzemionki, barytu, glinokrzemianów i siarczanów miedzi),
- optymalizując warunki pracy modułów lub ograniczając wydajność procesu do około 50% odzysku permeatu.

Ocena możliwości wdrożenia analizowanego procesu membranowego na skalę przemysłową w dużej mierze zależy od kierunków i możliwości utylizacji/zagospodarowania koncentratu. Gospodarczy odzysk substancji mineralnych, czy też balneologiczne wykorzystanie koncentratu, ściśle zależy od jego składu fizykochemicznego. Alternatywnym rozwiązaniem może być jego wtłaczanie do górotworu przy wykorzystaniu istniejącego systemu otworów chłonnych.

Głównym czynnikiem determinującym wdrożenie tego procesu jest koszt. Przeprowadzona analiza ekonomiczna (Tomaszewska, Pająk 2012) pozwala na wysunięcie wniosku, iż nie jest możliwe uniwersalne określenie ekonomicznej opłacalności wdrożenia procesu pozyskania wód pitnych z wód termalnych. Należy podkreślić fakt, że wdrożenie określonego systemu odsalania tego rodzaju wód w dużej mierze będzie uzależnione od specyfiki i czynników związanych z pracą systemu geotermalnego: wielkości wydobywania wód termalnych i ich zasolenia, parametrów chłonnych otworów przeznaczonych do wtłaczania wód do górotworu, skali problemów związanych z utylizacją schłodzonych wód, lokalnego zapotrzebowania na wody pitne i gospodarcze i in. Aspekty te winny być rozpatrywane kompleksowo przy uwzględnieniu lokalnych uwarunkowań wodno-środowiskowych (Dulewski, Tomaszewska 2012). Kluczowa dla opłacalności tego procesu może okazać się

jednak redukcja wymaganego ciśnienia wtłaczania wód do górotworu i redukcja wielkości strumienia zatłaczanych wód. Bardzo ważnym elementem jest również zapewnienie odpowiednich warunków zbytu odsolonych wód (cena/ilość) celem pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną wykorzystaną w procesie uzdatniania wody (Tomaszewska, Pająk 2012).

## PODSUMOWANIE

Sposób utylizacji wydobytej i schłodzonej wody jest problemem złożonym, wymagającym szczegółowych rozważań w zakresie inżynierii złożowej oraz uwarunkowań środowiskowych przy uwzględnieniu aspektów ekonomicznych, a praktyczne wdrożenie określonych rozwiązań często napotyka na ograniczenia geologiczne, środowiskowe i prawne.

Alternatywne rozwiązania, takie jak bezpośrednie zagospodarowanie schłodzonych wód do celów pitnych lub gospodarczych jest w określonych przypadkach rozwiązaniem korzystnym, co potwierdza działalność Geotermii Mazowieckiej S.A. Wdrożenie procesów odsalania będzie wiązało się z koniecznością poniesienia kosztów, o których zdecydują takie czynniki jak: jakość wody surowej, wielkość instalacji odsalania, lokalizacja tej instalacji, sposób utylizacji koncentratu, jakość i kwalifikacje siły roboczej, koszty i rodzaj zastosowanej energii oraz rodzaj zastosowanej technologii. Ten efekt może kształtować się różnie w zależności od lokalnych uwarunkowań gospodarczo-środowiskowych.

Membranowe procesy odsalania, jak również systemy hybrydowe, wykorzystywane są na szeroką skalę do produkcji wód pitnych i gospodarczych w wielu regionach świata. Stanowią też technologiczną i ekonomiczną alternatywę wspomaganą energią odnawialną (słońca, wiatru, geotermalną). Należy podkreślić, że wody termalne to źródło czystej energii, a jednocześnie cenny produkt o walorach leczniczych, balneoterapeutycznych i rekreacyjnych. Warto więc wykorzystywać go w sposób racjonalny zarówno w sensie energetycznym i gospodarczym, jak i ekologicznym.

## LITERATURA

- BANAŚ J., MAZURKIEWICZ B., SOLARSKI W., 2007 — Korozja metali w wodach geotermalnych. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 2007/2, pp. 5–12.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., 2007 — Program prac zmierzających do oceny możliwości uzdatniania wód termalnych. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój/ Geological Exploration Technology Geothermics, Sustainable Development, 2/2007, s. 3–8.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., 2009 — Koncepcja odsalania wód termalnych w kontekście poprawy bilansu wodnego. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 436, s. 17–22.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., BODZEK M., 2012 — Geothermal water treatment — preliminary experiences from Poland with a global overview of membrane and hybrid desalination technologies. [W:]

- Renewable Energy Applications for Freshwater Production (Sustainable Energy Developments) (red.: Jochen Bundschuh, Jan Hoinkis), Taylor & Francis Ltd. CRC Press London, United Kingdom, s. 181–206.
- DULEWSKI J., TOMASZEWSKA B., 2012 — Kompleksowe wykorzystanie i zagospodarowanie ochłodzonych wód termalnych na tle uwarunkowań prawnych. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* 4/2012, s. 10–16.
- GALLUP D. L. (2007) — Treatment of geothermal waters for production of industrial, agricultural or drinking water. *Geothermics* 36 (2007) 473–483.
- KĘPIŃSKA B., BUJAKOWSKI W., (red) 2011 — Wytyczne projektowe poprawy chłonności skał zbiornikowych w związku z zatłaczaniem wód termalnych w Polskich zakładach geotermalnych. Wyd. EJB. Kraków.
- ÖNER Ş. G., KABAY N., GÜLER E., KITIŞ M., YÜKSEL M., 2011 — A comparative study for the removal of boron and silica from geothermal water by cross-flow flat sheet reverse osmosis method. *Desalination* 283, 10–15.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24.07.2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. z 2006 r., Nr 137, poz. 984 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny podlegać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz. U. z 2002 r., Nr 176, poz. 1455).
- 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).
- TOMASZEWSKA B., 2008 — Prognozowanie kolmatacji instalacji geotermalnych metodą modelowania geochemicznego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24, z. 2/3, s. 399–407.
- TOMASZEWSKA B., 2011 — The use of ultrafiltration and reverse osmosis in the desalination of low mineralized geothermal waters. *Archives of Environmental Protection* 37/3 (2011), s 63–77.
- TOMASZEWSKA B., 2012 — Efektywność odsalania wód termalnych w zintegrowanym procesie ultrafiltracji i odwróconej osmozy. [W:] *Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska* (red.: Krystyna Konieczny, Irena Korus). Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, vol. 95 t. 1, Gliwice, s. 247–255.
- TOMASZEWSKA B., BODZEK M., 2013a — The removal of radionuclides during desalination of geothermal waters containing boron using the BWRO system. *Desalination* 309, 284–290.
- TOMASZEWSKA B., BODZEK M., 2013b — Desalination of geothermal waters using a hybrid UF-RO process. Part I: Boron removal in pilot-scale tests. *Desalination* 319, 99–106.
- TOMASZEWSKA B., BODZEK M., 2013c — Desalination of geothermal waters using a hybrid UF-RO process. Part II: Membrane scaling after pilot-scale tests. *Desalination* 319, 107–114.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., 2012 — Geothermal water resources management – economic aspects of their treatment. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 4/2012, s. 59–70.
- UNGEMACH P., 2010 – Corrosion/Scaling abatement. *Drilling, Completion and Testing of Geothermal Wells. World Geothermal Congress Bali, Indonesia 2010.*
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (t. j. Dz. U. z 2012 r., poz. 145).
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t. j. Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 2008 r., Nr 199, poz. 1227, z późn. zm.).

Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (t.j. Dz. U z 2006 r., Nr 123, poz. 858 z późn. zm.).

Ustawa z dnia z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981).

WALIGÓRA J., SOŁTYSIAK M., 2011 — Zatlaczanie wód pozabiegowych w utwory serii węglanowej dewonu w uzdrowisku Ustroń. Biuletyn PIG, Hydrogeologia, Nr 445, z. XII/2, s. 701–708.

WOLFGRAMM M., RAUPACH K., 2010 — Methods to improve the injectivity of the Skierniewice geothermal wells, Poland. Geothermie Neubrandenburg GmbH. Arch. PEC Geotermia Mazowiecka SA.

## **DISPOSAL OF COOLED GEOTHERMAL WATER. PROBLEMS AND ALTERNATIVES PROPOSITION**

### **ABSTRACT**

The paper presents possibilities for the efficient utilisation of cooled geothermal waters, particularly with respect to open or mixed thermal water installations. Where cooled water desalination technologies are used, this allows the water to be demineralised and used to meet local needs (as drinking water and for leisure purposes). The retentate left as a by-product of the process contains valuable ingredients that can be used for industrial, economic, balneological and/or leisure purposes. Thus the technology for desalinating spent thermal waters with high mineral content allows improved water management on a local scale and makes it possible to minimise the environmental threat resulting from the need to dump these waters into waterways or surface water bodies and/or inject them into the formation.

### **KEY WORDS**

Geothermal water, water dumping, desalination, water use, concentrate use