

KONCEPCJA ODSALANIA WÓD TERMALNYCH W KONTEKŚCIE POPRAWY BILANSU WODNEGO

A CONCEPTION OF GEOTHERMAL WATER DESALINATION TO IMPROVE WATER BALANCE

WIESŁAW BUJAKOWSKI¹, BARBARA TOMASZEWSKA¹

Abstrakt. W Polsce i na świecie przyjęte są dwa systemy eksploatacji wód termalnych: zamknięty system otworów produkcyjnych i chłonnych, tzw. dublet/triplet geotermalny (m.in. Niemcy, Francja, Polska – Podhale, Pyrzyce, Stargard Szczeciński, Uniejów), oraz system otwarty (m.in. Islandia, Słowacja, Polska – Mszczonów, Bukowina Tatrzańska, Zakopane – Szymbark). W artykule przedstawiono projekt nowej metody użycia wód termalnych, oparty na znanych sposobach oczyszczania wód. Wdrożenie tej metody przyczyniłoby się do obniżenia wysokich kosztów inwestycji (otworu chłonnego, poprawy chłonności itp.) i poprzez to do rozwoju sektora alternatywnych źródeł energii.

Słowa kluczowe: wody termalne, uzdatnianie wód, odsalanie wód, bilans wodny.

Abstract. Two types of geothermal energy exploitation were developed both in Poland and worldwide: a two or more wells production-injection system (closed system) – in Germany, France and Poland (e.g. Podhale, Pyrzyce, Stargard Szczeciński, Uniejów) and an open system – in Island, Slovakia, Poland (e.g. Mszczonów, Bukowina Tatrzańska, Zakopane – Szymbark). The paper presents a project of a new method of geothermal water utilization based on water treatment methods known elsewhere. Implementation this method would cause the lowering high investment costs of renewable energy technology. It would also increase the growth of alternative energy sources exploration.

Key words: geothermal waters, water treatment, water desalination, water balance.

WSTĘP

Zgodnie z definicją zrównoważonego systemu geotermalnego zaproponowaną przez Stefanssona „dla każdego systemu geotermalnego i dla każdego sposobu produkcji istnieje pewien maksymalny poziom produkcji energii E_0 , poniżej którego możliwe jest utrzymanie stałej produkcji energii przez bardzo długi czas (100–300 lat). Produkcja energii geotermalnej mniejsza lub równa E_0 jest określana jako produkcja zrównoważona (ang. *sustainable production*)”. Pod pojęciem „odnawialny” rozumie się zdolność (ang. *ability*) zasobu geotermalnego do uzupełniania tej części energii,

która jest wytwarzana z systemu, podczas gdy pojęcie „zrównoważenia” bierze pod uwagę sposób, w jaki system geotermalny reaguje na jego eksploatację (Stefansson, 2000; Stefansson, Axelsson, 2005). Rozpoznanie i udokumentowanie zasobów wód termalnych każdorazowo poprzedzają liczne testy złożowe, określające m.in. dynamikę natężenia przepływu, odnawialność zasobów oraz temperaturę i skład chemiczny wód, w celu ustalenia właściwych, stałych i zrównoważonych parametrów pracy przyszłego systemu geotermalnego.

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: buwi@min-pan.krakow.pl; tomaszewska@min-pan.krakow.pl

W Polsce i na świecie przyjęte są dwa systemy eksploatacji wód termalnych. W przypadku wydobycia wód o znacznym natężeniu przepływu oraz temperaturze na głowicy otworu zbliżonej do temperatury wody w złożu eksploatacja prowadzona jest w zamkniętym systemie otworów produkcyjnych i chłonnych, tzw. dublet/triplet geotermalny (m.in. Niemcy, Francja, Polska – Podhale, Pyrzyce, Stargard Szczeciński, Uniejów).

W otwartym układzie otworów schłodzona woda odprowadzona jest zwykle do odbiornika powierzchniowego (m.in. Islandia, Słowacja) lub stosowana do celów pitnych, jeśli spełnia odpowiednie wymagania (Mszczonów). Możliwość eksploatacji w układzie otwartym znacznie poprawia ekonomiczny aspekt przedsięwzięcia (brak konieczności wykonania otworu chłonnego). Zagospodarowanie eksplo-

atowanych wód na cele pitne dodatkowo sprzyja poprawie systemu gospodarki wodami zwykłymi regionu.

Specyfika i znaczne zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wód termalnych (mineralizacja od kilku do ponad 120 g/dm^3) stały się podstawą opracowania programu badań mającego na celu kompleksowe wykorzystanie wód termalnych w kontekście poprawy bilansu wodnego.

W artykule przedstawiono wstępne założenia technologiczne związane z uzdatnianiem niskomineralizowanych wód termalnych pod kątem produkcji wody pitnej. Pilotowa instalacja zasilana będzie wodami termalnymi z ujęcia Bańska IG 1. Prace badawcze zostaną zrealizowane w skali półtechnicznej (przy wydajności ok. $1 \text{ m}^3/\text{h}$) w Laboratorium Geotermalnym Zakładu Energii Odnawialnej IGSMiE PAN w Krakowie.

WODY TERMALNE NIECKI PODHALAŃSKIEJ

W Polsce najkorzystniejsze warunki eksploatacji wód termalnych do celów grzewczych istnieją w obrębie niecki podhalańskiej. Decyduje o tym sytuacja geologiczna, wysoka temperatura na wypływie (do 90°C), niska mineralizacja (do 3 g/dm^3), wysoka wydajność (nawet do $550 \text{ m}^3/\text{h}$ z pojedynczego ujęcia), dobra odnawialność złoża i łatwa dostępność terenu. Obszarem zasilania dla niecki podhalańskiej są Tatry. Wody opadowe, które tam infiltrują, spływając na północ trafiają na warstwę nieprzepuszczalnych skał fliszowych, które stanowią rodzaj klina rozdzielającego je na dwa strumienie – górny i dolny. Górny spływa na teren niecki, do otworów czwartorzędowych i spękanej górnej partii otworów fliszowych (są to wody zwykłe), natomiast dolny przepływa systemem szczelin i pustek krasowych do trzeciorzędowych skał węglanowych i mezozoicznych utworów jednostek tatrzańskich, stając się wodami termalnymi (Chowaniec, 2003).

Pierwszy zakład geotermalny w kraju wybudował Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w 1993 r. na Podhalu. Jako ujęcie eksploatacyjne wykorzystano otwór Bańska IG 1, o głębokości końcowej 5261 m (głębokość poziomu wód termalnych wynosi 2565 m), wykonany w Białym Dunajcu w 1981 r. przez Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego. Obecnie wodę termalną eksploatuje się tutaj dwoma otworami produkcyjnymi, a po wykorzystaniu zmaganowanego w niej ciepła część wód zatłacza się z powro-

tem do złoża otworem chłonnym Biały Dunajec PGP 2. Drugi otwór chłonny Biały Dunajec PAN 1 aktualnie nie jest wykorzystywany, gdyż wymaga rekonstrukcji. Stąd część schłodzonych wód termalnych odprowadzana jest na podstawie pozwolenia wodnoprawnego do Białego Dunajca. Sumaryczne zasoby eksploatacyjne dwóch otworów geotermalnych Bańska IG 1 i Bańska PGP 1 wynoszą $670 \text{ m}^3/\text{h}$. Energia cieplna z wydobywanych wód termalnych jest odbierana za pośrednictwem wymienników ciepła. W wymiennikach ogrzewana jest woda obiegu wtórnego, która następnie jest transportowana rurociągiem przesyłowym do Zakopanego. Sieć dystrybucyjna zaopatruje nie tylko Zakopane, ale również Poronin, Biały Dunajec i Bańską Niżną.

Pod względem hydrogeochemicznym eksploatowane wody termalne cechują się niską mineralizacją ($2,358\text{--}3,150 \text{ g/dm}^3$). Są to wody typu Na–Ca– SO_4 –Cl (otw. Bańska IG 1) lub SO_4 –Cl–Na–Ca (otw. Bańska PGP 1) (Kępińska, 2001). Temperatura wód mierzona na wypływie z ujęcia wynosi odpowiednio ok. 82 i 86°C . Są to wody twarde, zawierające średnio od 660 do $880 \text{ mg CaCO}_3/\text{dm}^3$, o odczynie zbliżonym do obojętnego, o podwyższonej zawartości boru ($1,96\text{--}9,95 \text{ mg/dm}^3$), strontu ($1,7\text{--}7,19 \text{ mg/dm}^3$), fluorków ($0,2\text{--}4,0 \text{ mg/dm}^3$), żelaza ($0,04\text{--}11,41 \text{ mg/dm}^3$) oraz krzemionki ($39,8\text{--}73,5 \text{ mg/dm}^3$). W wodach z otworu Bańska IG 1 stwierdzono obecność siarkowodoru (Kępińska, 2006).

PROJEKT MODELOWEJ PROCEDURY ODSALANIA WÓD TERMALNYCH

Do oceny możliwości wielowariantowego wykorzystania wód termalnych oraz ustalenia najefektywniejszej metody ich utylizacji konieczne jest szczegółowe określenie charakterystyki fizykochemicznej wody. Wymagane jest opró-

bowanie wód *in situ* w dwóch miejscach: na głowicy otworu w celu rozpoznania parametrów wody bezpośrednio na wypływie oraz z instalacji geotermalnej, po schłodzeniu wody na wymiennikach ciepła. W procesie schładzania wody ter-

malnej zachodzi szereg reakcji fizykochemicznych, w wyniku których następuje zmiana stanu termodynamicznego wody. W efekcie może to prowadzić do wytrącania rozpuszczonych w wodzie składników mineralnych, co przysparza wiele problemów natury eksploatacyjnej (Kania, 2003; Górecki red., 2006; Kępińska, 2006; Tomaszewska, 2008).

Analiza uzyskanych informacji w odniesieniu do specyficznych uwarunkowań danego systemu ciepłowniczego stanowi wstęp do oceny możliwości zastosowania innych od klasycznego wariantów utylizacji wód termalnych, opartych na stosowanych w świecie metodach odsalania wód. Najczęściej wykorzystywaną metodą uzdatniania wód jest obecnie technologia odwróconej osmozy (ang. *reverse osmosis*, RO), umożliwiająca separację zanieczyszczeń z wód na poziomie molekularnym lub jonowym. W procesie tym woda (roztwór) podawana jest pod wysokim ciśnieniem na półprzepuszczalną membranę, która oddziela dwa roztwory o różnych stężeniach. Cząsteczki czystej wody pod wpływem wysokiego ciśnienia przechodzą przez membranę tworząc permeat, zaś cząsteczki soli i innych zanieczyszczeń, takich jak koloidy czy bakterie, zostają po stronie naporu wody surowej. Jest to proces wysokociśnieniowy. Skuteczność i wydajność tego procesu w dużej mierze zależą od jakości wód zasilających i właściwej technologii wstępnego oczyszczania wody.

Coraz szerzej do oczyszczania wód zasolonych wdrażane są instalacje hybrydowe, oparte na kombinacji technologii termicznej i membranowej. Należą do nich m.in. *multi stage flash evaporation* (MSF) i *multi effect distillation* (MED). Ich skuteczność nie zależy od jakości wód zasilających, co ma miejsce w przypadku technologii odwróconej osmozy (RO).

Wybór najkorzystniejszego procesu odsalania wód jest ściśle uzależniony od specyfiki wód, tj. ich mineralizacji i temperatury, zawartości gazów oraz technicznych aspektów wynikających z energochłonności metody, wydajności procesu (odzysku wody), żywotności instalacji (mechanicznej, termicznej i chemicznej odporności membran), możliwości oczyszczania modułów (membran), konieczności rozbudowywania procesów wstępnego oczyszczania wód, wynikających m.in. z występowania w wodzie surowej zawiesiny, koloidów oraz substancji rozpuszczonych, które mogłyby się wytrącać na membranie w postaci trudno rozpuszczalnych soli (głównie CaCO_3 , CaSO_4).

Projektowana pilotowa instalacja oczyszczania wód termalnych będzie zbudowana w Laboratorium Geotermalnym IGSMiE PAN. Odsalaniu zostanie poddana część wód eksploatowanych otworem geotermalnym Bańska IG 1 w Bańskiej Niżnej. Podstawowym celem procesu będzie produkcja wody pitnej ze względu na jej deficyt w okolicach odwiertów. Odsalanie wód prowadzone będzie w kierunku uzyskania wody spełniającej wymagania określone Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. (Dz.U. Nr 61, poz. 417) w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi w zakresie:

- podstawowych wymagań chemicznych określonych w załączniku nr 2,

- wymagań organoleptycznych i fizykochemicznych określonych w załączniku nr 3,
- dodatkowych wymagań chemicznych określonych w załączniku nr 4.

Uwzględniając:

- zmienność składu fizykochemicznego i stopień zasolenia wody z otworu Bańska IG 1,
- zużycie surowców chemicznych i energetycznych w procesach odsalania wód,
- koszt oprzyrządowania koniecznego do eksploatacji instalacji odsalania,
- koszt energii i robocizny,
- zapotrzebowanie powierzchni,
- pewność i niezawodność ruchową urządzeń,

rozpatrzono szereg wariantów wstępnego uzdatniania i odsalania wody, obejmujących:

- wstępne uzdatnianie: koagulację, odkrzemianie termiczne (90°C), filtrację, ultrafiltrację,
- odsalanie za pomocą procesów fizykochemicznych: wymianę jonową, odwróconą osmozę RO, elektrodializę ED i elektrodializę odwracalną EDR,
- odsalanie za pomocą procesów wyparnych: wielostopniowe wyparki rozprężające MSF (*multi stage flash evaporation*), wielostopniowe układy destylacyjne MED (*multi effect distillation*), wyparki jednostopniowe ze sprężaniem oparów VC (*vapor compression*).

Podstawowym kryterium przy wyborze technologii odsalania wody była pewność i niezawodność ruchowa instalacji w obecności:

	[mg/dm ³]
krzemionki	62,5
siarkowodoru i siarczków	0,085
boru	9,95
baru	0,142
strontu	7,19
jonu amonowego	1,3
fluorków	1,3
bromków	1,75
siarczanów	872
mineralizacja	2482,59

Równocześnie uwzględniono:

- wskaźniki zużycia energii i chemikaliów,
- prowadzenie procesu w sposób ciągły,
- łatwość powiększania skali instalacji (system modułowy),
- zapotrzebowanie powierzchni zabudowy,
- możliwość skutecznego wprowadzania najnowszych rozwiązań technicznych w skali przemysłowej.

Po wstępnych obliczeniach wyselekcjonowano następujący układ technologiczny dla instalacji pilotowej:

- węzeł filtracji wstępnej 1000 μm ,
- węzeł ultrafiltracji UF zapewniający $\text{SDI} < 4$, z instalacją regeneracji membran w warunkach eksploatacyjnych,
- węzeł filtracji na węglu aktywnym ze względu na obecność jonów chlorkowych, bromkowych i fluorkowych

w wodzie zasilającej oraz produktów utleniania za pomocą NaOCl,

- węzeł odwróconej osmozy RO z membranami niskoenergetycznymi.

Zaproponowana technologia, oparta na procesach membranowych, umożliwi sukcesywne wprowadzanie ciągle udoskonalanych modułów ultrafiltracji oraz odwróconej osmozy w czasie eksploatacji instalacji przemysłowej. Wyniki badań uzdatniania wód termalnych, niestanowiących zasobów wód pitnych, po procesie odzysku ciepła posłużą do oceny możliwości poprawy lokalnego bilansu wód zwykłych. Rozważania prowadzone będą w kierunku mo-

żliwości bezpośredniego zagospodarowania oczyszczonych wód do celów pitnych lub przemysłowych oraz korzyści, jakie dla systemu przyniosłoby magazynowanie wód, np. w płytszych warstwach wodonośnych (systemy infiltracyjne). Analiza przedstawionych uwarunkowań pozwoli na opracowanie modelowej procedury utylizacji wód termalnych po procesie odzysku ciepła, rozumianej jako procedura wyboru optymalnego systemu, dzięki któremu zostaną osiągnięte podstawowe cele: poprawa ekonomicznej sfery funkcjonowania zakładów geotermalnych i poprawa lokalnego bilansu wodnego.

PODSUMOWANIE

Pomyślne zrealizowanie i rozwiązanie przedstawionego programu prac badawczych pozwoliłoby na opracowanie modelowej procedury utylizacji wód termalnych w nowo powstających instalacjach oraz propozycji usprawnienia pracy obiektów już istniejących. W szczególności zastosowanie metod odsalania wód w zakładach geotermalnych pracujących w otwartym układzie otworów, w którym schłodzona woda odprowadzona jest do odbiornika powierzchniowego, przyczyniłoby się do efektywniejszego ich wykorzystania, w tym poprawy bilansu wodnego danego rejonu.

Rozpoznanie możliwości wielowariantowego wykorzystania i zagospodarowania schłodzonych wód termalnych, w przypadku instalacji pracujących w obiegu zamkniętym, systemie zrównoważonym, umożliwiłoby znaczne obniżenie wysokich kosztów inwestycji (koszty otworu chłonnego, koszty poprawy chłonności itp.) i poprzez to rozwój sektora alternatywnych źródeł energii. Poprawa parametrów ekonomicznych może mieć kluczowe znaczenie dla inicjacji nowych inwestycji, a w konsekwencji zwiększenia udziału energii odnawialnej na rynku krajowym.

LITERATURA

- CHOWANIEC J., 2003 – Wody podziemne niecki podhalańskiej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11, cz. 1: 45–53. Gdańsk.
- GÓRECKI W. (red.), 2006 – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. GOLDRUK, Kraków.
- KANIA J., 2003 – Geochemical interpretation of thermal fluids from low-temperature wells in Stykkishólmur, W-Iceland and Pyrzyce, NW-Poland. Reports of the United Nations University Geothermal Training Programme. Iceland.
- KEPIŃSKA B., 2001 – Warunki hydrotermalne i termiczne podhalańskiego systemu geotermalnego w rejonie otworu Biały Dunajec PAN-1. *Studia, Rozprawy, Monografie. IGSMiE PAN*, nr 93. Kraków.
- KEPIŃSKA B., 2006 – Warunki termiczne i hydrotermalne podhalańskiego systemu geotermalnego. *Studia, Rozprawy, Monografie. Wyd. IGSMiE PAN*, nr 135. Kraków.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz.U. Nr 61, poz. 417.*
- STEFANSSON V., 2000 – The renewability of geothermal energy. *Proc. of the World Geothermal Congress: 883–888. Japan.*
- STEFANSSON V., AXELSSON G., 2005 – Sustainable utilization of geothermal resources through stepwise development. *Proc. of the World Geothermal Congress: 24–29. Turkey.*
- TOMASZEWSKA B., 2008 – Prognozowanie kolmatacji instalacji geotermalnych metodą modelowania geochemicznego. *Gosp. Sur. Miner.*, **24**, 2/3: 399–407.

SUMMARY

Two types of geothermal energy exploitation were developed both in Poland and worldwide: a two or more wells production-injection system (closed system) – in Germany, France and Poland (e.g. Podhale, Pyrzyce, Stargard Szczeciński, Uniejów) and an open system – in Island, Slovakia,

Poland (e.g. Mszczonów, Bukowina Tatrzańska, Zakopane –Szymoszkowa). The intensity of corrosion and scaling in geothermal systems is caused mainly by the chemical composition of water.

The paper presents the advantage of implementation of water treatment methods. The primary criterion in selection of water desalination technology was dependability of installation in the presence of: silica – 62.5 mg/dm³, hydrogen sulfide 0.085 mg/dm³, boron 9.95 mg/dm³, barium 0.142 mg/dm³, strontium 7.19 mg/dm³, ammonium ion 1.3 mg/dm³, fluoride 1.3 mg/dm³, bromide 1.75 mg/dm³, sulfate 872 mg/dm³, mineralization 2482.59 mg/dm³.

After preliminary calculation, technology for the pilot installation was selected. Four treatment steps will be created:

preliminary filtration 1000 µm, ultrafiltration UF (for SDI <4), activated carbon AC filtration, reverse osmosis RS.

The pilot installation of water treatment will be located in the Geothermal Laboratory of PAS MEERI. On the part of the total flow of water from the geothermal well – Bańska IG 1 in Bańska Niżna is going to be treated. The primary purpose is fresh water production, because of its deficit in the region.