

Agnieszka KLESZCZ
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska
al. A.Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: agak@agh.edu.pl

Barbara TOMASZEWSKA
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie
Zakład Odnawialnych Źródeł Energii i Badań Środowiskowych
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7
e-mail: tomaszewska@meeri.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2013

PROGNOZOWANIE *SCALINGU* NA PRZYKŁADZIE WÓD UJMOWANYCH OTWOREM BAŃSKA PGP-1

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z problematyką wytrącania minerałów wtórnych w instalacji geotermalnej oraz wybrane wyniki z modelowania geochemicznego, zrealizowanego na przykładzie wód ujmowanych otworem Bańska PGP-1. Modelowanie wykonano na podstawie archiwalnych analiz fizykochemicznych wód termalnych eksploatowanych w latach 2008–2012, przy wykorzystaniu programu Phreeqci Interactive.

Prognozowanie wytrącania substancji mineralnych z wód termalnych to zagadnienie kluczowe dla podejmowania odpowiednich środków zaradczych ukierunkowanych na bezawaryjną pracę systemu geotermalnego.

SŁOWA KLUCZOWE

Bańska PGP-1, wody termalne, *scaling*, modelowanie geochemiczne

* * *

WPROWADZENIE

Znajdująca się w rejonie Podhala ciepłownia geotermalna PEC Geotermia Podhalańska SA jest największą tego typu instalacją w Polsce. W 2011 roku produkcja energii wyniosła 352 tys. GJ, moc systemu 57,17 MW, a z usług Spółki korzystało około 1 540 odbiorców. W 2012 r. całkowity koszt wytworzenia i dostawy energii wyniósł 52 zł/GJ (www.geotermia.pl; Ślimak 2011).

Wody termalne dla potrzeb systemu ciepłowniczego eksploatowane są obecnie dwoma odwiertami Bańska IG-1 i Bańska PGP-1 (zasoby eksploatacyjne otworów Bańska PGP-1 i Bańska IG-1 wynoszą odpowiednio 550 i 120 m³/h, przy temperaturze wody na głowicy 82–86°C). Po oddaniu ciepła do wody sieciowej, wykorzystane wody termalne zatłaczane są do górotworu otworami chłonnymi: Biały Dunajec PAN-1 i Biały Dunajec PGP-2 (przy zatwierdzonej chłonności odpowiednio 200 i 400 m³/h). Nadmiar wykorzystanych wód termalnych odprowadzany jest, zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym, do pobliskiej rzeki (Bujakowski, Tomaszewska 2012). Wody występują w warunkach artezyjskich, przy wysokich wartościach ciśnień statycznych i dynamicznych. W celu zwiększenia możliwości wydobywania wody termalnej, a tym samym ilości produkowanego ciepła, w 2013 roku odwiercono nowy odwiert produkcyjny Bańska PGP -3, którego głębokość wyniosła 3 400 metrów. Obecnie trwają badania i testy hydrodynamiczne w celu rozpoznania zasobów eksploatacyjnych ujęcia (www.geotermia.pl, <http://e-bmp.pl>).

System ciepłowniczy PEC Geotermia Podhalańska SA składa się z następujących elementów (www.geotermia.pl; Ślimak, Wartak 2009; Ślimak 2011):

1. Układ geotermalny obejmujący:

- dwa dublety odwiertów: eksploatacyjne – Bańska PGP-1 i Bańska IG-1 oraz chłonne – Biały Dunajec PGP-2 i Biały Dunajec PAN-1,
- ciepłownia geotermalna,
- pompownia geotermalna,
- chłodnia wentylatorowa.

2. Sieć ciepłownicza:

- pompownie wody sieciowej w ciepłowni geotermalnej,
- magistrala ciepłownicza,
- przepompownie,
- kotłownie centralne,
- sieci dystrybucyjne oraz przyłącza ciepłownicze,
- instalacje wewnętrzne u odbiorców.

Wody termalne w zakładzie geotermalnym PEC Geotermia Podhalańska wykorzystywane są w ciepłownictwie, rekreacji i balneologii. Eksploatowaną wodę zalicza się do typu sodowo-wapniowo-siarczanowo-chlorkowego. Wody badanych ujęć charakteryzują się dość niską mineralizacją wynoszącą około 3g/dm³. Są to wody twarde, zawierające od 660 do 880 mg CaCO₃/dm³, wykazujące podwyższoną zawartość boru, strontu, fluorków, żelaza oraz krzemionki. Badania jakości tych wód w cyklu kwartalnym realizowane są obecnie w akredytowanym Laboratorium Hydrogeochemicznym Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Tomaszewska 2008; Mazurkiewicz 2012).

1. PROBLEM WYTRĄCANIA MINERAŁÓW WTÓRNYCH (SCALING)

Doświadczenia krajowe, jak również doniesienia prezentowane w licznych pracach naukowo-badawczych pokazują, że z eksploatacją instalacji geotermalnej mogą wiązać się różnorodne problemy natury złożowej, technologicznej jak i technicznej. Jednym z nich jest zjawisko wytrącania się minerałów wtórnych w instalacji. Badanie składu fizykochemicznego wód oraz prognozowanie tego zjawiska umożliwi podejmowanie działań ograniczających jego negatywne skutki.

Wytrącanie substancji mineralnych (ang. *scaling*) jest powszechnym zjawiskiem towarzyszącym eksploatacji złóż geotermalnych. Zjawisko to powinno być w odpowiedni sposób badane i analizowane nie tylko na etapie projektowania instalacji, ale przede wszystkim w trakcie eksploatacji. Intensywność procesów wytrącania, jak również rodzaj powstających minerałów i związków chemicznych są zróżnicowane, a skutki ich występowania mogą prowadzić m.in. do zmniejszenia produktywności i chłonności odwiertów, ograniczenia wielkości przepływu płynów geotermalnych przez instalację czy skrócenia jej żywotności. Wpływają również na podwyższenie kosztów eksploatacji, a w skrajnych sytuacjach mogą powodować konieczność wyłączenia z eksploatacji całej instalacji lub jej poszczególnych elementów (odwiertów, rurociągów przesyłowych). Na tendencję *scalingu* wpływa głównie skład fizykochemiczny wody, odczyn pH, temperatura, ciśnienie, zawartość gazów rozpuszczonych i/lub ilość bakterii beztlenowych (rys. 1.) (Banaś i in. 2005; Kępińska, Bujakowski (red.) 2011; Baticci i in. 2010; Tomaszewska, Pająk 2012).



Rys. 1. Zjawisko wytrącania minerałów wtórnych (na podstawie Kohl 2009)

Fig. 1. The phenomenon of precipitation of secondary minerals (based on Kohl 2009)

Cząstki stałe – produkty korozji, wtórne substancje wytworzone z wody termalnej, czy też cząstki skał zbiornikowych – mogą osadzać się na powierzchni rur, filtrów i innych instalacji, w przyodwiertowej strefie skał zbiornikowych, a także migrować wraz z wodą do skał zbiornikowych. Efektem tych procesów jest zatykanie porów i szczelin poziomu

produktywnego, a tym samym zmniejszenie chłonności strefy przyotworowej i skał zbiornikowych.

Wyróżniono cztery główne typy uszkodzeń otworów, stref przyotworowych i zbiornikowych skał powodowanych przez cząstki stałe (Kepińska, Bujakowski (red.) 2011):

- zwężenie średnicy otworu,
- zapełnianie dolnej części otworu wskutek grawitacyjnej sedymentacji cząsteczek,
- kolmatacja stref czynnych filtrów, obsypek czy perforowanych odcinków rur,
- uszkodzenia skał zbiornikowych.

Do metod ograniczających wytrącanie minerałów wtórnych, a także sposobu ich usuwania z instalacji wykorzystywane są metody chemiczne, fizyczne oraz mechaniczne (Kepińska, Bujakowski (red.) 2011):

- usuwanie mechaniczne (zwiercenie) wytrąconych osadów,
- utrzymywanie stałych warunków wydobywania i zatłaczania wód, unikanie przestojów w pracy systemu,
- prowadzenie eksploatacji w szczelnym, zamkniętym systemie bez dostępu tlenu,
- dozowanie małych ilości kwasu solnego dla obniżenia odczynu wody i redukcji jej twardości,
- stosowanie inhibitorów zapobiegających osadzaniu minerałów wtórnych i korozji przez korektę odczynu,
- kwasowanie skał zbiornikowych.

Należy podkreślić, że dobór właściwych metod ograniczania wytrącania minerałów wtórnych lub też sposób ich usuwania z instalacji wymaga przede wszystkim znajomości właściwości fizycznych wody, składu gazowego i chemicznego, stanu termodynamicznego eksploatowanej wody termalnej, składu mineralogicznego oraz litologii skał (Tomaszewska, Pająk 2012).

Wytrącanie się osadów z wód następuje w wyniku przesylenia roztworu daną fazą mineralną, przy przekroczeniu stanu równowagi termodynamicznej. Wszystkie minerały są rozpuszczalne w wodzie w ograniczonym zakresie, a obliczenia ich rozpuszczalności wykorzystywane są do prognozowania zjawisk wytrącania substancji wtórnych. Rozpuszczalność oraz tendencja do wytrącania osadów zależy m.in. od ciśnienia, siły jonowej, temperatury, potencjału redox i odczynu pH wody (Tomaszewska 2008; Kepińska 2009).

2. METODY PROGNOZOWANIA ZJAWISKA SCALINGU

Stosowane aktualnie metody modelowania geochemicznego i hydrodynamicznego dają możliwość poznania równowag termodynamicznych układów woda–skała i oceny możliwości wytrącania/rozpuszczania minerałów w szerokim zakresie temperatur, w warunkach głębinowych i powierzchniowych. Należą one do typowych analiz składu chemicznego i zaliczane są do klasycznych metod badań każdego systemu i złoża geotermalnego. W metodach geochemicznych używane jest oprogramowanie specjalistyczne, takie jak WATEQ4F,

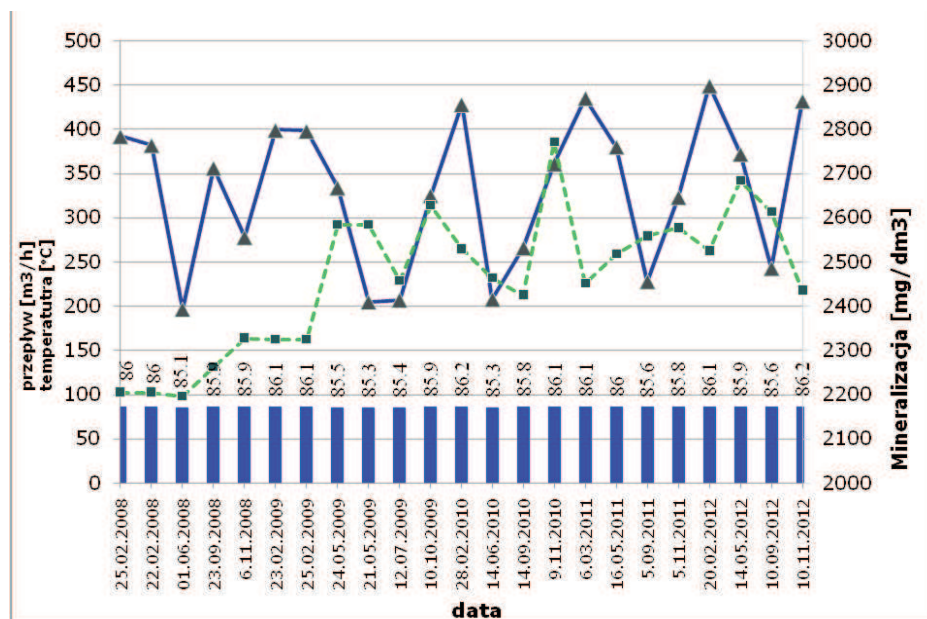
PHREEQCI oraz PHRQPITZ. Na jakość prognozowania zjawisk wytrącania substancji wtórnych istotny wpływ ma znajomość składu mineralogicznego i parametrów zbiornikowych systemu geotermalnego oraz zakres wykonywanych oznaczeń fizykochemicznych wód i gazów w wodzie termalnej. Szczególnie istotne jest posiadanie wiedzy na temat parametrów fizycznych wody termalnej (na podstawie pomiarów *in-situ*), temperatury, odczynu pH, potencjału redox, gdyż ukierunkowują one przebieg większości procesów zachodzących w wodach podziemnych. Czynniki te mają kluczowe znaczenie dla jakości prognoz dokonywanych z użyciem wymienionych narzędzi. Modelowanie geochemiczne z wykorzystaniem wymienionych wyżej metod pozwala na określenie stanu roztworu wodnego przy uwzględnieniu wpływu zmienności temperatur na wartość obliczanych parametrów (Tomaszewska 2008; Kępińska, Bujakowski (red.) 2011; Tomaszewska, Pająk 2012).

3. WYNIKI ANALIZ

Podczas schładzania wody termalnej przebiega wiele reakcji fizykochemicznych i termodynamicznych, które mogą prowadzić do zmiany nasycenia form mineralnych w wodzie. Zjawisko to może przyczynić się do wytrącania rozpuszczonych wcześniej składników mineralnych. Intensywność tego procesu, w określonych przypadkach może być powiązana z wielkością poboru wody ujęciem geotermalnym. Wynika to z faktu, iż w trakcie eksploatacji uruchamiany jest przepływ wód różnymi uprzywilejowanymi strefami i szczelinami. Udostępniona otworem Bańska PGP-1 strefa złoża geotermalnego wynosi około 700 m, w tym strefa czynna obejmuje około 100 m. W obrębie tej sumarycznej, 100-metrowej przestrzeni, wielkość poboru wody w danym czasie może decydować o jakości wody. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany wielkości poboru wody termalnej ujęciem Bańska PGP-1 w skali czasowej oraz wahania mineralizacji w czasie.

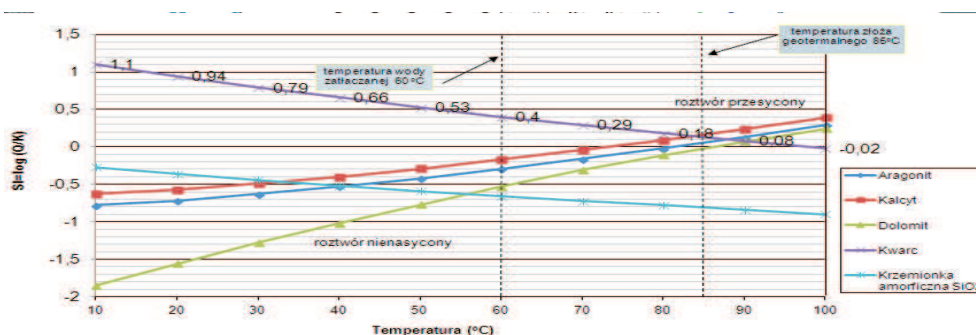
Zaobserwowane zależności pomiędzy wydajnością ujęcia i mineralizacją wody pozwalają stwierdzić, że szczegółowa ocena pracy systemu geotermalnego i zależności pomiędzy danymi eksploatacyjnymi i fizykochemicznymi w kontekście prognozy *scalingu* jest zadaniem istotnym. Wstępna prognoza *scalingu* dla wód eksploatowanych otworem Bańska PGP-1, przeprowadzona na podstawie danych archiwalnych z lat 2008–2012 wykazała, iż w trakcie schładzania wody występuje tendencja do wytrącania kwarcu z wody (rys. 3).

Dla zweryfikowania przedstawionej, wstępnej prognozy, opartej na danych archiwalnych, zaplanowano zrealizowanie szczegółowego programu badań, w trakcie którego próbki wody geotermalnej do badań fizykochemicznych pobierane będą przez okres jednego pełnego roku kalendarzowego, w stałych odstępach czasu (dwa razy w miesiącu). Wyniki właściwości fizykochemicznych wody zostaną szczegółowo przeanalizowane w odniesieniu do parametrów eksploatacyjnych, w tym bieżącej wydajności ujęcia, ciśnienia, temperatury i in. Uzyskane wyniki zostaną przeanalizowane w doniesieniu do wyników badań archiwalnych. Kompleksowe zestawienie pozyskanych danych w układzie rocznym wyko-



Rys. 2. Zmiany poboru wody termalnej w czasie dla Bańska PGP-1 (2008–2012)

Fig. 2. Changes in the performance collection on time for Bańska PGP-1(2008–2012)



Rys. 3. Stopień nasycenia wody termalnej eksploatowanej otworem Bańska PGP-1 względem wybranych faz mineralnych w temp. od 10 do 100°C obliczony przy wykorzystaniu programu PHREEQCI

Fig. 3. The degree of saturation of the thermal water hole exploited Bańska PGP-1 with selected mineral phases in the range of 10 to 100°C, calculated by using the PHREEQCI

rzystane zostanie do budowy modeli umożliwiających długoterminowe prognozowanie zjawiska *scalingu* w analizowanym systemie ciepłowniczym.

PODSUMOWANIE

Scaling to proces złożony, często towarzyszący eksploatacji wód i energii geotermalnej. Dokładne zidentyfikowanie mechanizmów będących przyczyną jego powstawania jest trudne, ale konieczne. Znajomość parametrów wody oraz potencjalnego ryzyka *scalingu* pozwala na ograniczenie lub eliminowanie wystąpienia tego zjawiska.

W artykule, na podstawie danych archiwalnych, przedstawiono wstępne rozpoznanie zależności pomiędzy wielkością poboru wody ujęciem geotermalnym i mineralizacją eksploatowanej wody. Wyniki tej analizy pokazują, że w prognozowaniu *scalingu* istotna jest szczegółowa ocena pracy systemu geotermalnego i zależności pomiędzy danymi eksploatacyjnymi i fizykochemicznymi ujmowanej wody. Dalsze planowane badania uszczegóławiające pozwolą na doprecyzowanie przedstawionego poglądu.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Panom Czesławowi Ślimakowi i Wojciechowi Wartakowi (PEC Geotermia Podhalańska) za udostępnienie danych archiwalnych wykorzystanych w niniejszej pracy.

LITERATURA

- BANAŚ J., MAZURKIEWICZ B., SOLARSKI W., PAWLIKOWSKI M., 2005 — Problemy korozji rur wydobywczych w instalacjach geotermalnych. *Ochrona przed korozją* 48/2004.
- BATICCI F., GENTER A., HUTTENLOCH, ZORN R., 2010 — Corrosion and Scaling Detection in Soultz EGS Power Plant, Upper Rhine Graben, France. *Proceeding World Geothermal Congress 2010*.
- BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., 2012 — Wykorzystanie energii geotermalnej na Podhalu. *Technologia Wody* 5/2012 (19), s. 30–36.
<http://e-bmp.pl>
- KĘPIŃSKA B., 2009 — Znaczenie badań podhalańskiego systemu geotermalnego dla eksploatacji wód geotermalnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia Zrównoważony Rozwój* 48 (2), 29–48, Kraków.
- 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.
- MAZURKIEWICZ J., 2012 — Ocena stabilności składu chemicznego wód termalnych udostępnionych odwiertami Bańska IG-1 i Bańska PGP-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1.
- ŚLIMAK Cz., 2011 — Projekt geotermalny na Podhalu – efekty funkcjonowania i perspektywy rozwoju. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1.
- ŚLIMAK Cz., WARTAK W., 2009 — PEC Geotermia Podhalańska S.A. Doświadczenia, stan obecny, perspektywy rozwoju. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 2.
- TOMASZEWSKA B., 2008 — Prognozowanie kolmatacji instalacji geotermalnych metodą modelowania geochemicznego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24 z. 2/3, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- TOMASZEWSKA B., 2011 — Utylizacja wód termalnych, korozja i scaling. Wstępne wyniki realizacji projektu badawczo-rozwojowego. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1.

TOMASZEWSKA B., PAJAŁ L., 2010 — Analysis of treatment possibilities of high- mineralized geothermal water (Central Poland- Gostynin region). Proceeding World Geothermal Congress 2010.

TOMASZEWSKA B., PAJAŁ L., 2012 — Dynamics of clogging processes in injection wells used to pump highly mineralized thermal waters into the sandstone structures lying under the Polish Lowland. Archives Of Environmental Protection 38 (3), s. 103–117.

www.geotermia.pl

PREDICTION OF SCALING PHENOMENON BASED ON BAŃSKA PGP-1 GEOTHERMAL WELL

ABSTRACT

The paper presents the problem of the precipitation of secondary minerals in geothermal systems and selected results of geochemical modeling of water for example, recognized by PEC Podhale Geothermal borehole Baska PGP-1. Modeling was performed using the Phreeqc Interactive and archival physico-chemical analysis of geothermal waters in operation in 2008–2012.

The use of modeling to predict the precipitation of minerals from geothermal waters can contribute to take adequate measures for the trouble-free work geothermal system.

KEY WORDS

Baska PGP-1, geothermal water, scaling, geochemical modeling