

BARBARA TOMASZEWSKA*

Prognozowanie kolmatacji instalacji geotermalnych metodą modelowania geochemicznego

Wprowadzenie

Skład chemiczny wód podziemnych uzależniony jest od szeregu czynników w tym od litologii skał zbiornikowych, warunków krążenia wód podziemnych oraz stanu równowagi termodynamicznej w układzie woda–skała. Właściwości fizykochemiczne wód termalnych mają znaczący wpływ na występowanie kolmatacji w systemie geotermalnym. Korozja i kolmatacja instalacji obiegu wody stanowi jeden z najistotniejszych problemów towarzyszących eksploatacji złóż wód termalnych, rzutując bezpośrednio na koszt pozyskania energii. Intensywność przebiegu tych procesów jest uzależniona w głównej mierze od składu chemicznego wody, w tym obecności rozpuszczonych gazów, przede wszystkim dwutlenku węgla i siarkowodoru (Banaś i in. 2002; Banaś i in. 2007a, Banaś i in. 2007b). Wykorzystanie modelowania stanu termodynamicznego wód w układzie woda–skała umożliwi prognozowanie możliwości wytrącania substancji mineralnych z wód termalnych, zarówno we wczesnym stadium projektowania inwestycji, jak również w trakcie pracy systemu już istniejącego. Skład fizykochemiczny wód wraz z oceną agresywności korozyjnej oraz możliwości wytrącania osadów jest ważnym zagadnieniem, który winien być rozpoznany na etapie poprzedzającym prace związane z projektowaniem przyszłego systemu.

* Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
e-mail: tomaszewska@min-pan.krakow.pl

1. Charakterystyka fizykochemiczna wód termalnych eksploatowanych na terenie Polski

Udostępnione i eksploatowane obecnie złoża wód termalnych na terenie Polski cechują się zróżnicowanymi właściwościami fizykochemicznymi. Występują tu wody słodkie, niskozmineralizowane o podwyższonej zawartości składników swoistych oraz solanki.

W południowej części Niecki Warszawskiej w miejscowości Mszczonów, z dolnokredowego horyzontu zbudowanego z piaskowców przewarstwionych mułowcami i ilowcami, eksploatowane są wody o niskiej mineralizacji wynoszącej poniżej $0,5 \text{ g/dm}^3$ i temperaturze 41°C (otwór Mszczonów IG-1). Są to wody Cl-HCO₃-Na-Ca, wysokiej jakości, które po odbiorze z nich ciepła w absorpcyjnej pompie i uzdatnieniu, wykorzystywane są do celów pitnych w miejskiej sieci wodociągowej. Podobnie zagospodarowywane są wody podziemne eksploatowane ze zbiornika cenomańskiego w miejscowości Słomniki (woj. małopolskie). Są to wody o niskiej mineralizacji, około $0,350 \text{ g/dm}^3$, temperaturze wody na wypływie z otworu – $16,5^\circ\text{C}$ i typie hydrogeochemicznym HCO₃-Ca-Na-Mg.

Na Podhalu wody, wydobywane z węglanowych utworów eocenu środkowego oraz wapieni i dolomitów triasu środkowego, charakteryzują się stosunkowo niską mineralizacją, od $2,358 \text{ g/dm}^3$, typem hydrogeochemicznym Na-Ca-SO₄-Cl (otwór Bańska IG-1) do $3,150 \text{ g/dm}^3$, typem SO₄-Cl-Na-Ca (otwór Bańska PGP-1) (Kepińska 2001). Temperatura mierzona na wypływie wynosi od 69 do 86°C . Są to wody twarde, zawierające średnio od 660 do $880 \text{ mg CaCO}_3/\text{dm}^3$, posiadają odczyn zbliżony do obojętnego, podwyższoną zawartość boru (od 1,96 do $8,27 \text{ mg/dm}^3$), strontu (od 1,7 do $6,52 \text{ mg/dm}^3$), fluorków (od 0,2 do $4,0 \text{ mg/dm}^3$), żelaza (od 0,04 do $11,41 \text{ mg/dm}^3$) oraz krzemionki (od 39,8 do $73,5 \text{ mg/dm}^3$). W wodach z otworu Bańska IG-1 stwierdzono występowanie siarkowodoru, w ilości od 0,009 do $3,4 \text{ mg/dm}^3$ (Kepińska 2006).

Horyzont złożowy w Uniejowie budują utwory piaskowcowe dolnej kredy (ten sam zbiornik jest eksploatowany w Mszczonowie). Temperatura wód na powierzchni terenu wynosi 68°C . Wody charakteryzują się stosunkowo niską mineralizacją wynoszącą około 8 g/dm^3 i typem hydrogeochemicznym Cl-Na (Bujakowski 2003).

Odmienny charakter posiadają wody termalne eksploatowane z utworów kompleksu mezozoicznego Nizu Polskiego w miejscowości Pyrzyce (województwo zachodniopomorskie). Są to solanki, typu Cl-Na, bardzo twarde ($8\ 653 \text{ mg CaCO}_3/\text{dm}^3$) o mineralizacji $123,8 \text{ g/dm}^3$ (otwór GT-1, analiza z 1997 r.) i temperaturze 61°C . Wody zawierają podwyższone stężenia siarczanów (1115 mg/dm^3), żelaza ($16,4 \text{ mg/dm}^3$) i manganu ($1,5 \text{ mg/dm}^3$) oraz fluorków ($1,2 \text{ mg/dm}^3$) (Kania 2003).

2. Modelowanie stanu termodynamicznego wód termalnych

Zastosowanie metod geochemicznych do oceny stanu termodynamicznego wód pozwala na modelowanie stanu równowagi układu woda – skały zbiornikowe pod wpływem zmian

temperatury, a także wczesne prognozowanie niepożądanych zjawisk związanych z wytrącaniem substancji mineralnych m.in. w przypadku zmiany warunków redox. Stan termodynamiczny wód podziemnych kształtowany jest przez szereg czynników, do których zalicza się przede wszystkim litologię systemu skalnego w obrębie którego następuje przepływ wód podziemnych, ilość składników rozpuszczonych zawartych w wodach, nasycenie gazami, temperaturę, odczyn, warunki utleniająco-redukcyjne oraz kinetykę reakcji pomiędzy poszczególnymi składnikami systemu. Znajomość stanu termodynamicznego wód podziemnych umożliwia wnioskowanie na temat stopnia ich nasycenia względem określonych faz mineralnych przy uwzględnieniu wpływu zmienności temperatury na wartość obliczanych parametrów.

W procesie schładzania wody termalnej, 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 (Kępińska 2006; Kania 2003; Górecki 2006; Bujakowski, Tomaszewska 2007).

Modelowanie stanu termodynamicznego wód geotermalnych należy do podstawowego zakresu badań i analiz w przypadku zagranicznych instalacji geotermalnych (Fournier 1981; Giggenbach 1991; Papic 1991; Liping 1991; Gunnlaugsson 2004). W warunkach Polski stosowano dotychczas w nielicznych przypadkach i w ograniczonym zakresie, np. dla systemu geotermalnego Podhala (Kępińska 2001, 2006) i w Pyrzycach (Kania 2003). Badania dotyczące wytrącania minerałów wtórnych z wód geotermalnych wykonane dla systemu geotermalnego Podhala pokazały, iż głównym minerałem wtórnym jest kalcyt, który jest także głównym składnikiem skał zbiornikowych – wapieni i dolomitów (Kępińska 2006). W przypadku Pyrzyc stwierdzono stan niewielkiego przesycenia wód względem kwarcu i chalcedonu w niższych temperaturach (Kania 2003).

Powstawanie minerałów wtórnych powoduje wiele zmian w pierwotnych cechach skał zbiornikowych, w tym zmiany gęstości, porowatości, przepuszczalności, własności magnetycznych i elektrycznych, zmiany pola naprężeń w górotworze, zmiany mineralogiczne i chemiczne (Górecki 2006). Rozpoznanie tendencji i możliwych do zaistnienia zjawisk w odniesieniu do specyfiki mineralogicznej skał zbiornikowych pozwala na właściwe projektowanie oraz długotrwałą eksploatację instalacji.

W zależności od zasolenia analizowanych wód do określenia współczynników aktywności jonów w roztworze wykorzystany zostanie model Pitzera, w odniesieniu do wód słonych i model Debye-Hückela dla wód słodkich i słonawych. Do tego celu wykorzystywane są m.in. programy PHRQPITZ i PHREEQCI (Parkhurst, Apello 1999; Górecki 2006).

3. Wstępne rozpoznanie stanu termodynamicznego wód termalnych w rejonie Gostynina

W ramach przeprowadzonych w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku prac wiertniczych mających na celu m.in. rozpoznanie głębszej budowy geologicznej wału ku-

jawskiego i przyległej do niego strefy niecki płockiej (rejon Gostynina) wykonanych zostało kilka otworów badawczych, w których określono warunki hydrogeologiczne panujące w kolejno przewierczanych utworach stratygraficznych.

Szczegółowe próby otworowe wykonane w otworach Gostynin IG-1/1a, Gostynin IG-3, Gostynin IG-4 pokazały, że korzystne warunki hydrogeotermalne związane są głównie ze strefą kontaktu utworów jury środkowej i dolnej, który w rejonie miasta Gostynina występuje na głębokości około 2000 m (Dembowska, Marek 1985; Bujakowski i in. 2004; Tomaszewska, Barbaccki 2008). Na podstawie analizy danych otworowych (Bujakowski i in. 2004) opracowany został Projekt Prac geologicznych dla wykonania odwiertu geotermalnego Gostynin GT 1. Prace wiertnicze i dokumentacyjne przy tym otworze są obecnie (2008 rok) na ukończeniu. W niniejszej publikacji nie zostały uwzględnione informacje z tych prac.

Skład chemiczny wód podziemnych jury dolnej rozpoznany został w niewielkim zakresie, w trakcie wykonania otworów badawczych Gostynin IG-1/1a i Gostynin IG-4 oraz łącznie z utworami jury środkowej (aalen) w otworze Gostynin IG-3. Zakres wykonanych oznaczeń fizykochemicznych ograniczył się tylko do pomiaru pH, gęstości i mineralizacji wody oraz analizy zawartości: wapnia, magnezu, żelaza ogólnego, sodu, potasu, chlorków, siarczanów, wodorowęglanów, bromków i jodu oraz gazów (dwutlenku węgla i azotu).

W obrębie utworów piaskowcowych jury dolnej i środkowej w rejonie Gostynina wody podziemne występują na głębokości 2000–2500 m p.p.t., są to wody wysokozasolone, o mineralizacji w zakresie od 74 do 110 g/dm³. W składzie jonowym dominują chlorki i sól. Wśród mikroelementów stwierdzono wysokie stężenia żelaza, bromków i jodu. Zgodnie z klasyfikacją Sulina, stosowaną w przemyśle naftowym, wody te zalicza się do typu chlorkowo-wapniowego. Wynika to z faktu, iż jony chlorkowe występują w wodzie w stężeniach przewyższających sumaryczną zawartość jonów Na⁺ i Mg²⁺, w związku z czym muszą być związane z jonami Ca²⁺. Do typu wód chlorkowo-wapniowych należą zwykle silnie zmineralizowane, reliktowe, sedimentacyjne wody pochodzące ze stref izolowanych od dopływu wód infiltracyjnych. Klasa I lub II świadczy jednocześnie o słabym stopniu ich zmetamorfizowania.

W odniesieniu do klasyfikacji wód według Altowskiego-Szwieca wody podziemne jury dolnej i środkowej w rejonie Gostynina zalicza się do typu chlorkowo-sodowego. Procentowy udział miligramorównoważników chlorków w stosunku do sumy anionów zawiera się w przedziale 98,7–99,0, natomiast sodu – 86,7–88,7% mval kationów.

Dokładność obliczeń stanu termodynamicznego wód, w dużej mierze uzależniona jest od zakresu wskaźników oznaczonych w analizowanej wodzie. Im więcej parametrów fizykochemicznych wody zostało oznaczonych, tym wyniki modelowania są bardziej precyzyjne. Do obliczeń stanu termodynamicznego wód jury dolnej rejonu Gostynina, wykorzystano wyniki badań wód stwierdzonych na głębokości 2290–2245 m p.p.t. w otworze Gostynin IG-1/1a. Uznano, iż zarówno lokalizacja tego otworu w terenie, jak również głębokość strefy opróbowania najlepiej przybliża charakter wód możliwych do pozyskania w rejonie miasta. Z uwagi na małą liczbę danych możliwych do wykorzystania w obliczeniach, uzyskane wyniki traktować należy jako przybliżone. Niemniej jednak pozwalają one rozpoznać możliwe

do zaistnienia w instalacji geotermalnej procesy termodynamiczne związane z wytrącaniem osadów. Znajomość tych procesów powinna zostać wykorzystana na etapie tworzenia projektu przyszłej instalacji geotermalnej.

Obliczenia stanu termodynamicznego wód przeprowadzono dla kilku wariantów, uwzględniających zmianę temperatury wód. Jako punkt wyjściowy przyjęto temperaturę wody na wypływie równą 75°C. Następnie zamodelowano możliwe do wystąpienia zmiany stanu termodynamicznego eksploatowanych wód przy ich schłodzeniu, co 5 stopni do temperatury ostatecznej 5°C. W obliczeniach przyjęto redukcyjny charakter środowiska wodnego jury dolnej (brak jest udokumentowanych danych pomiarowych na temat potencjału utleniająco-redukcyjnego analizowanych wód). Założenia te odpowiadają warunkom stwierdzonym w innych głębokich otworach geotermalnych, wykonanych na Podhalu i Niżu Polskim. Charakter przyjętego do modelu potencjału redox jest istotny z uwagi na fakt, iż warunki utleniająco-redukcyjne ukierunkowują przebieg większości procesów zachodzących w wodach podziemnych. Potencjał redox jest miarą zdolności do utleniania lub redukcji określonego układu, decydując przez to o formie migracji danych jonów w wodzie.

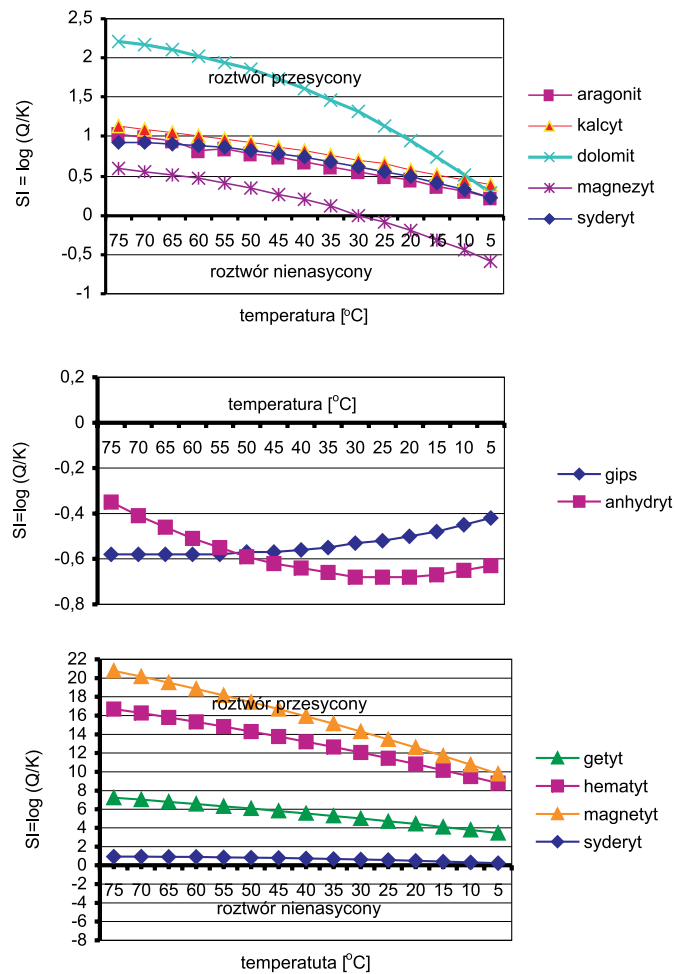
Badania wykonano dla tych minerałów, względem których możliwe jest przesylenie roztworu wodnego, tj. węglanowych, siarczanowych i żelazowych form mineralnych. Są to: aragonit (CaCO_3), kalcyt (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), magnezyt (MgCO_3), gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhydryt (CaSO_4), getyt (FeOOH), hematyt (Fe_2O_3), magnetyt (Fe_3O_4), syderyt (FeCO_3).

Analiza stopnia nasycenia wód względem minerałów węglanowych: aragonitu, kalcytu, dolomitu, magnezytu i syderytu wykazała, że w zamodelowanych warunkach, wody jury dolnej cechuje przesylenie w odniesieniu do węglanu wapnia i żelaza w całym analizowanym zakresie temperatur (rys. 1). Stwierdzono również przesylenie wód węglanem magnezu (magnezytem) w temperaturze powyżej 30°C. Przesylenie roztworu wymienionymi fazami mineralnymi sygnalizuje możliwość ich wytrącania. Proces ten jednak będzie miał charakter dynamiczny. Przy analizowanej mineralizacji wód jury dolnej (ok. 103 g/dm³ stwierdzone w otworze Gostynin IG-1/1a, na głębokości 2290–2245 m p.p.t.) i przewidywanej temperaturze wody na wypływie (75°C), istnieją warunki do wytrącenia nawet 8 mg sumy CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, MgCO_3 i FeCO_3 z 1 litra wody termalnej. Ilość możliwych do wytrącenia substancji mineralnych spada wraz z obniżaniem temperatury wody. W temperaturze 35°C możliwe jest wytrącenie około 2,6 mg/dm³ wymienionych form mineralnych.

W przypadku form siarczanowych badania przeprowadzono w odniesieniu do anhydrytu i gipsu. Stwierdzono niedosycenie wód minerałami siarczanowymi, czyli brak wskazań do ich wytrącania w analizowanych warunkach redox (rys. 1). Niemniej jednak wartości stopnia SI (wskaźnik nasycenia roztworu, ang. Saturation Index) względem anhydrytu i gipsu wskazują, iż w przypadku eksploatacji wód o wyższej zawartości form siarki w wodzie oraz zmianie potencjału redox, ten układ może ulec zmianie.

Wartość potencjału redukcyjno-utleniającego i pH roztworu decydują o formie migracji żelaza w wodach. Minerale zawierające żelazo trójwartościowe są nietrwałe w warunkach

redukcyjnych, a zawierające żelazo dwuwartościowe – w warunkach utleniających. Stąd też obliczenia przeprowadzone przy założeniu istnienia warunków redukcyjnych i dwuwartościowej formy występowania żelaza w wodzie (charakterystycznej dla warunków redukcyjnych) wykazały, że z minerałów żelaza dogodne warunki do wytrącania z roztworu istnieją jedynie dla syderytu (FeCO_3). W przewidywanej temperaturze wody na wypływie 75°C , istnieją warunki do wytrącenia około $0,099 \text{ mg FeCO}_3$ z litra wody termalnej, tj. około 12 g/h w przypadku eksploatacji wód w ilości $120 \text{ m}^3/\text{h}$.



Rys. 1. Otwór Gostynin IG-1/1a (jura dolna). Stan nasycenia wód formami mineralnymi w funkcji temperatury SI – wskaźnik nasycenia roztworu, Q – iloczyn jonowy rzeczywistych stężeń składników wody mogących wchodzić z danym minerałem w reakcję rozpuszczania/wytrącania, K – stała równowagi

Fig. 1. The Gostynin IG-1/1a well (Jurassic lower). Water Diagrams of saturation of water with minerals components as a function of temperature

SI – Saturation Index, Q – product of true ionic concentrations of components participating in dissolution/precipitation reaction with given mineral, K – equilibrium constant

Wprowadzenie do obliczeń ogólnej zawartości żelaza (podanej w zestawieniu składu chemicznego wód ujętych w otworze Gostynin IG-1/1a), czyli sumy żelaza dwu- i trójwartościowego determinuje możliwość wytrącania z wód poza syderytem – getytem, hematytu i magnetytu (rys. 1). Proces przesylenia roztworu wymienionymi formami mineralnymi będzie zachodził również w warunkach utleniających. Wytrącanie z wód tlenków i wodorotlenków żelaza wpływa na występowanie procesów korozji i kolmatacji w instalacji geotermalnej.

Podsumowanie

Informacje geologiczne uzyskane w wyniku prac poszukiwawczych prowadzonych przez przemysł naftowy oraz prac wykonanych w ramach rozpoznawania budowy geologicznej kraju pozwalają na wstępną ocenę możliwych do pozyskania zasobów wód geotermalnych. Znajomość właściwości fizykochemicznych tych wód umożliwia, przy wykorzystaniu metod modelowania geochemicznych, rozpoznanie stanu równowagi układu woda – skały zbiornikowe, pod wpływem zmian temperatury oraz warunków redox. Wczesne prognozowanie niepożądanych zjawisk, związanych z możliwością wytrącania substancji mineralnych w instalacji geotermalnej, umożliwia wdrożenie rozwiązań technicznych ograniczających ten proces.

W pracy przedstawiono prognozę stanu nasycenia wód termalnych jury dolnej w rejonie Gostynina względem węglanowych, siarczanowych i żelazowych form mineralnych. Stwierdzono dogodne warunki do osadzania w instalacji geotermalnej dolomitu, kalcytu, aragonitu, magnetytu, hematytu i getytu.

Analiza wyników badań składu fizykochemicznego wód rozpoznanych głębokimi otworami poszukiwawczymi i eksploatacyjnymi może dostarczyć istotnych informacji o agresywności korozyjnej wód, możliwości wytrącania z nich osadów jak również potencjale balneoterapeutycznym i leczniczym.

LITERATURA

- Banaś J., Mazurkiewicz B., Solarski W., Khalayef O., 2002 – Influence of CO₂ and H₂S on lokal corrosion of iron alloys at elevated pressure and temperature. *Acta Metallurgica Slovaca*; vol. 8 apec. iss. (2/2).
- Banaś J., Mazurkiewicz B., Solarski W., 2007a – Korozja metali w wodach geotermalnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*. Nr 2. Wyd. IGSMiE PAN Kraków; 5–12.
- Banaś J., Mazurkiewicz B., Solarski W., 2007b – Ochrona przed korozją systemów eksploatacji wód geotermalnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*. Nr 2. Wyd. IGSMiE PAN Kraków; 13–21.
- Bujakowski W., 2003 – Energia geotermalna – przegląd polskich doświadczeń. *Systemy energetyczne wykorzystujące czyste, odnawialne źródła energii na przykładzie energii geotermalnej*: Wyd. IGSMiE PAN Kraków; 97–108.

- Bujakowski W., Barbacki A., Graczyk S., Hołojuch G., Kępińska B., Koster M., Pająk L., Pilecka E., 2004 – Studium pozyskania i zagospodarowania energii wód geotermalnych do celów balneologicznych i ciepłowniczych w mieście Gostynin. Archiwum IGSMiE Polska Akademia Nauk – opracowanie wykonane na zlecenie UM Gostynin (praca niepublikowana).
- Bujakowski W., Tomaszewska B., 2007 – Wstępna analiza możliwości uzdatniania wód termalnych po procesie odzysku ciepła. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój. Nr 1. Wyd. IGSMiE PAN Kraków; 3–8.
- Dembowska J., Marek S., 1985 – Gostynin IG-1/1a, Gostynin IG-3, Gostynin IG-4, Żychlin IG-3, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Fournier R.O., 1981 – Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering. In: Rybach L., Muffler L.J.P. “Geothermal systems: Principles and case histories. John Wiley & Sons, Chichester.
- Giggenbach W.F., 1991 – Chemical techniques in geothermal exploration. In: D’Amore F. Applications of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publication. Rome.
- Górecki W., (red.), 2006 – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. GOLDRUK.
- Gunnlaugsson E., 2004 – Aspekty chemiczne oraz metody stosowane w rozpoznawaniu i wykorzystaniu złóż geotermalnych. Materiały Międzynarodowych Dni Geotermalnych „Polska 2004”. Wyd. IGSMiE PAN. Kraków–Skopje.
- Kania J., 2003 – Geochemical interpretation of thermal fluids from low-temperature wells in Stykkishólmur, W-Iceland and Pyrzyce, NW-Poland.
- Kępińska B., 2001 – Warunki hydrotermalne i termiczne podhalańskiego systemu geotermalnego w rejonie otworu Biały Dunajec PAN – 1. Studia, Rozprawy, Monografie IGSMiE PAN 93.
- Kępińska B., 2006 – Warunki termiczne i hydrotermalne podhalańskiego systemu geotermalnego. Studia, Rozprawy, Monografie Nr 135. Wyd. IGSMiE PAN Kraków.
- Liping B., 1991 – Chemical modeling programs for predicting calcite scaling, applied to low temperature geothermal waters in Iceland. UNU Geothermal Training Programme Reykjavik, Iceland.
- Papic P., 1991 – Scaling and corrosion potential of selected geothermal waters in Serbia. UNU Geothermal Training Programme Reykjavik, Iceland.
- Parkhurst D.L., Apello A.A.J., 1999 – User’s guide to PHREEQCI (version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimension transport and inverse geochemical calculations: U.S Geological Survey Water-Resources Investigation Report 97-4259.
- Tomaszewska B., Barbacki A. P. 2008 – Wstępne rozpoznanie właściwości hydrogeochemicznych wód termalnych w rejonie Gostynina (w druku Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój. Wyd. IGSMiE PAN Kraków)

PROGNOZOWANIE KOLMATACJI INSTALACJI GEOTERMALNYCH METODĄ MODELOWANIA GEOCHEMICZNEGO

Słowa kluczowe

Wody termalne, stan termodynamiczny wód, skład chemiczny wód

Streszczenie

Korozja i kolmatacja instalacji obiegu wody stanowi jeden z najistotniejszych problemów towarzyszących eksploatacji złóż wód termalnych, rzutując bezpośrednio na koszt pozyskania energii. Intensywność przebiegu tych procesów jest uzależniona w głównej mierze od składu chemicznego wody.

Zastosowanie metod geochemicznych do oceny stanu termodynamicznego wód pozwala na modelowanie stanu równowagi układu woda–skały zbiornikowe pod wpływem zmian temperatury, a także wczesne prognozowanie niepożądanych zjawisk związanych z wytrącaniem substancji mineralnych m.in. w przypadku zmiany warunków redox. Stan termodynamiczny wód podziemnych kształtowany jest przez szereg czynników, do których

zalicza się przede wszystkim litologię systemu skalnego w obrębie którego następuje przepływ wód podziemnych, ilość składników rozpuszczonych zawartych w wodach, nasycenie gazami, temperaturę, odczyn, warunki utleniająco-redukcyjne oraz kinetykę reakcji pomiędzy poszczególnymi składnikami wody.

W procesie schładzania wody termalnej, 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. W pracy przedstawiono prognozę stanu nasycenia wód termalnych jury dolnej w rejonie Gostynina względem węglanowych, siarczanowych i żelazowych form mineralnych. Obliczenia przeprowadzono dla kilku wariantów, uwzględniających zmianę temperatury wód. Jako punkt wyjściowy przyjęto temperaturę wody na wypływie równą 75°C. Następnie zamodelowano możliwe do wystąpienia zmiany stanu termodynamicznego wód przewidzianych do eksploatacji, przy ich schłodzeniu, co 5 stopni do temperatury ostatecznej 5°C. W całym analizowanym zakresie temperatur, występują dogodne warunki do osadzania w instalacji geotermalnej dolomitu, kalcytu, aragonitu, magnetytu, hematytu i getytu.

THE PROGNOSIS OF SCALING PHENOMENA IN GEOTHERMAL SYSTEM USING THE GEOCHEMICAL MODELING METHODS

Key words

Geothermal water, thermodynamics position, chemical composition of water

Abstract

The corrosion and scaling phenomena are the biggest problems concomitant with exploitation of water flowing in geothermal systems, what immediately influence on the costs of gaining energy. The intensity of the progress of these processes is mainly coursed by the chemical composition of the water. The geochemical methods to estimate the thermodynamic state of the water allows to modelling the water-rock reservoir equilibrium, which in turn, is influenced by temperature changing. These methods are also suitable in early prognosis of minerals precipitation from water particularly in a case of redox changing. The thermodynamic state of groundwater has been changing by some factors, mainly by lithology of rock's reservoir within which the waters are flowing, the amount of total dissolved solids, saturation of gases, temperature, pH, redox and the kinetic reactions between internal water components. In the course of cooling the geothermal water some physics and chemical reactions are running what consequently change the thermodynamic state of the water. One of the effects of this process is the precipitation of dissolved mineral components what can be a source of serious problems during exploitation of these waters. In the present paper we described the prognosis of the state of saturation of Jurassic thermal waters in the region of Gostynin as to the carbonate, sulphur and ferric components. The calculations were performed for some configurations involving the changes of water temperatures. As a starting point it was assumed that the temperature of the outflow amounted 75°C. Afterwards there were modelled possible changes of thermodynamic states of the waters expected to exploitation step by step at every 5° to attain 5°C. As a result it was showed that in the all range of analysed temperatures there are good conditions to precipitation of dolomite, calcite, aragonite, magnetite, haematite and goethite at geothermal installations.