

ZWIĘKSZANIE MOŻLIWOŚCI CHŁONNYCH GEOTERMALNYCH OTWORÓW ZATŁACZAJĄCYCH W WYNIKU ZASTOSOWANIA MIĘKKIEGO KWASOWANIA

HENRYK BIERNAT¹, STANISŁAW KULIK², BOGDAN NOGA³, ZBIGNIEW KOSMA³

¹ Przedsiębiorstwo Geologiczne POLGEOL S.A., ul. Berezyńska 39, 03-908 Warszawa

² Geotermia Pyrzyce Sp. z o.o., ul. Ciepłownicza 27, 74-200 Pyrzyce

³ Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, Politechnika Radomska, ul. Krasickiego 54, 26-600 Radom
e-mail: biernat@polgeol.pl, geotermia@inet.pl, b.noga@pr.radom.pl, z.kosma@pr.radom.pl

Streszczenie. W artykule zaprezentowano metodę miękkiego kwasowania, która jest modyfikacją standardowego kwasowania otworów zatłaczających. Jej modyfikacja polega na zmniejszeniu ilości zatłaczanego kwasu solnego, co zwalnia z konieczności jego odbioru i utylizacji. Metoda ta jednocześnie jest tańsza w zastosowaniu przemysłowym, ponieważ nie wymaga stosowania urządzenia wiertniczego. Jej przemysłowe zastosowanie w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach przyniosło oczekiwane rezultaty w postaci zmniejszenia ciśnienia i zwiększenia wydajności zatłaczania schłodzonej wody termalnej.

1. INSTALACJA GEOTERMALNA W PYRZYCACH

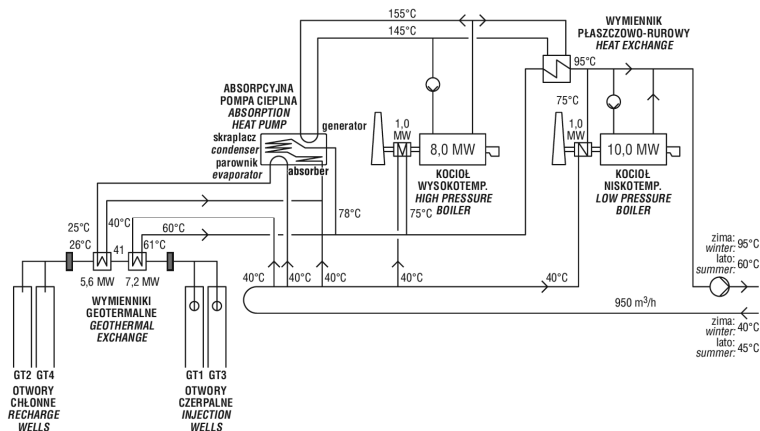
Na początku lat 90. ubiegłego wieku w Pyrzycach rozważano możliwość budowy nowoczesnej ciepłowni miejskiej, która miała zastąpić 68 małych kotłowni lokalnych spalających rocznie około 38 tys. ton węgla. Chciano zainwestować w system bardziej przyjazny środowisku tym bardziej, że miasto Pyrzyce zlokalizowane jest w strefie ochronnej jeziora Miedwie, stanowiącego zbiornik wody pitnej dla Szczecina [13, 14].

Budowę ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach rozpoczęto w 1992 r. Projekt został zainicjowany przez gminę Pyrzyce, a jego realizacja była kontynuowana przez spółkę Geotermia Pyrzyce. Ciepłownia uruchomiona została w 1997 r. jako pierwszy tego typu zakład przemysłowy w Polsce [9, 10, 11, 12].

Proces technologiczny w ciepłowni Pyrzyce polega na wydobyciu za pomocą dwóch otworów eksploatacyjnych Pyrzyce GT-1 i GT-3 wody termalnej z wnętrza ziemi o temperaturze 61°C za pomocą pomp eksploatacyjno-chłonnnych i przepompowaniu jej do hali ciepłowni (rys. 1). Maksymalna wydajność jednego otworu eksploatacyjnego wynosi 170 m³/h, zaś wydajność pomp eksploatacyjno-chłonnnych jest zmienna, tak więc ilość wydobywanej wody termalnej jest dostosowywana do aktualnych potrzeb ciepłowni.

W budynku ciepłowni woda termalna po przepompowaniu jej przez zespół filtrów workowych trafia na dwa niskotemperaturowe wymienniki ciepła, oddając swoją energię uzdatnionej wodzie sieciowej krążącej w zamkniętym systemie centralnego ogrzewania. Ze względu na wysoką mineralizację wynoszącą 120 g/dm³ wydobyta woda termalna po oddaniu energii cieplnej musi zostać ponownie zatłoczona do górotworu. Do tego celu w ciepłowni

geotermalnej w Pyrzycach służą dwa otwory zatłaczające Pyrzyce GT-2 i GT-4. Podstawową zasadą działania dubletu geotermalnego jest zapewnienie ciągłości przepływu pomiędzy otworem eksploatacyjnym a otworem zatłaczającym, wynikającą z konieczności wtlaczenia w tym samym czasie wydobytej wody ze złoża [8].



Rys. 1. Uproszczony schemat instalacji geotermalnej w Pyrzycach

2. PROBLEMY Z ZATŁACZANIEM WÓD TERMALNYCH

Prawie wszystkie zakłady geotermalne zlokalizowane na terenie Polski w mniejszym lub większym stopniu borykają się z trudnościami związanymi z zatłaczaniem schłodzonej wody termalnej do macierzystych warstw wodonośnych. Trzeba również zaznaczyć, że wszystkie te ciepłownie mają udokumentowane zasoby wód, limitowane nie możliwościami wydobywczymi otworów eksploatacyjnych, a możliwościami wtlaczenia wód schłodzonych do górotworu, wykorzystując otwór zatłaczający. Jak wykazały nasze badania, możliwości chłonne otworów już na etapie ich dokumentowania są o około jedną trzecią mniejsze niż możliwości eksploatacyjne [3].

Podstawowymi problemami otworów zatłaczających są zmniejszanie się wydajności i efektywności zatłaczania oraz szybka korozja. Problemy z zatłaczaniem schłodzonej wody termalnej przedstawiono na przykładzie otworów zatłaczających Pyrzyce GT-2 oraz Pyrzyce GT-4.

Na przełomie lat 1995/96 uruchomiono obieg geotermalny i przeprowadzono pompowania eksploatacyjno-zatłaczające z otworu eksploatacyjnego Pyrzyce GT-1 do otworu zatłaczającego Pyrzyce GT-2. Po 55 godzinach uzyskano wydajność zatłaczania $148 \text{ m}^3/\text{h}$ przy stabilizacji ciśnienia na poziomie 2,5 barów. Podczas pompowania eksploatacyjno-zatłaczającego z otworu eksploatacyjnego Pyrzyce GT-1 do otworu zatłaczającego Pyrzyce GT-4 uzyskano wydajność $143 \text{ m}^3/\text{h}$ przy stabilizacji ciśnienia na poziomie 3,7 bara. Po krótkim okresie eksploatacji zaobserwowano zmniejszenie wydajności i znaczny wzrost ciśnienia na zatłaczaniu. Otwór GT-4 na krótki okres został wyłączony z ciągłej eksploatacji.

Z obserwacji pracy obiegu geotermalnego wynika, że po każdym przestoju najczęściej wzrastało ciśnienie na zatłaczaniu. Należy zaznaczyć, że otwór Pyrzyce GT-4 początkowo nie był włączany do obiegu. Całe obciążenie wynikające z wypłukiwania rurociągów tłocznych, przestojów i krótkotrwałych włączeń i wyłączeń obiegu geotermalnego przejął na siebie

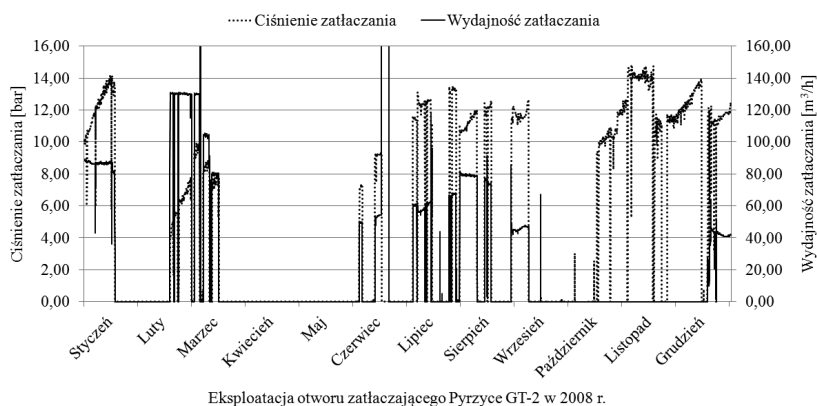
otwór zatłaczający Pyrzyce GT-2. To musiało odbić się na jego dalszej sprawności. Po wykonanych zabiegach intensyfikacyjnych (czyszczenie mechaniczne i chemiczne) w październiku 1996 r. chwilowo tylko uzyskał sprawność zbliżoną do pierwotnej ($135 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu 5,7 bara), po czym wydajność zaczęła maleć, a ciśnienie rosnąć.

Od marca 1997 r. prowadzono ciągłą rejestrację ciśnienia, wydajności i temperatury. Okres pracy obiegu geotermalnego w czasie od 1997 do 2000 r. można podzielić na trzy okresy [7]:

1. rok 1997, kiedy najczęściej spotykane wydajności zatłaczania wynosiły od 35 do $55 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu zatłaczania mieszczącym się w granicach od 4 do 6 bar,
2. rok 1998 i 1999, kiedy obserwowano znaczne zmniejszenie wydajności rzędu 15 - $30 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu zatłaczania około 10 bar,
3. rok 2000, kiedy zanotowano zmniejszenie się wydajności do około $20 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu zatłaczania w granicach 12 bar.

W 2000 roku stwierdzono jednoznacznie duże narosty osadu w interwałach części roboczej filtra, powodujące zmniejszenie średnicy filtra ze 158 mm do 143 mm [2]. Z interpretacji geofizycznych wynika, że największe zwężenie średnicy otworu występuje w interwale 1428 - 1435 m. Prace rekonstrukcyjne polegały na czyszczeniu mechanicznym i chemicznym filtra. Po wykonanych zabiegach w pierwszej dobie uzyskano wydajność $100 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu 0 barów- podciśnienie.

Do roku 2005 problemy z zatłaczaniem schłodzonej wody termalnej pojawiały się cyklicznie według tego samego schematu - nagły wzrost wartości ciśnienia i zmniejszenie wydajności po przestoju. Każdorazowo pomagała regeneracja otworów; w otworze Pyrzyce GT-2 po regeneracji w lutym 2004 wydajność wzrosła dwukrotnie. Jednak każde obniżenie efektywności zatłaczania i każdorazowa regeneracja pomimo poprawy parametrów skracały czas między wystąpieniami kolejnych spadków wydajności. W 2005 roku wykonano kolejne próby poprawy chłonności otworów Pyrzyce GT-2 i GT-4 poprzez gruntowne czyszczenie mechaniczne i chemiczne. Wykonane wówczas prace doprowadziły do znacznej poprawy parametrów eksploatacji instalacji geotermalnej (osiągnięto wydajność zatłaczania $170 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu 1,8 bara).

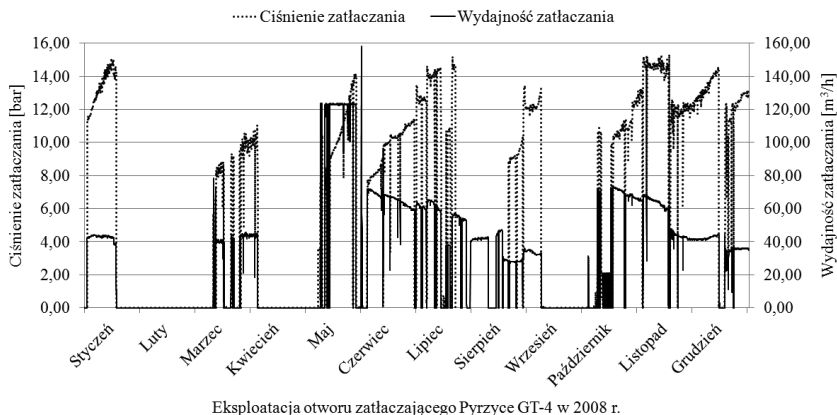


Rys. 2. Eksploatacja otworu zatłaczającego Pyrzyce GT-2 w 2008 r.

W latach 2007/2008 cały rurociąg tłoczny i otwory zatłaczające wyłożono rurami HDPE odpornymi na korozję [5]. Wyeliminowało to zjawisko korozji rur, ale nadal wytrącają się związki, które powodują zmniejszenie wydajności i wzrost ciśnienia zatłaczania.

Czyszczenie mechaniczne i chemiczne w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 ponownie wykonano w lutym 2008 r. Jego efektem było uzyskanie wydajności zatłaczania na poziomie

130 m³/h przy ciśnieniu około 5 bar (rys. 2). Na przełomie kwietnia i maja 2008 r. podobne zabiegi wykonano w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-4. Zabiegi te spowodowały wzrost wydajności zatłaczania do 125 m³/h przy ciśnieniu około 10 bar (rys. 3). Przy ciągłej eksploatacji obiegu geotermalnego obserwuje się ciągłe zmniejszanie się wydajności i wzrost ciśnienia zatłaczania zarówno w otworze Pyrzyce GT-2 jak i w otworze Pyrzyce GT-4. Konsekwencją spadku wydajności i wzrost ciśnienia zatłaczania jest konieczność ponownego wykonywania czyszczenia mechanicznego i chemicznego w otworach zatłaczających przy użyciu urządzenia wiertniczego, którego wynajęcie jest bardzo kosztowne i wymaga wyłączenia czyszczonego otworu z pracy układu geotermalnego.



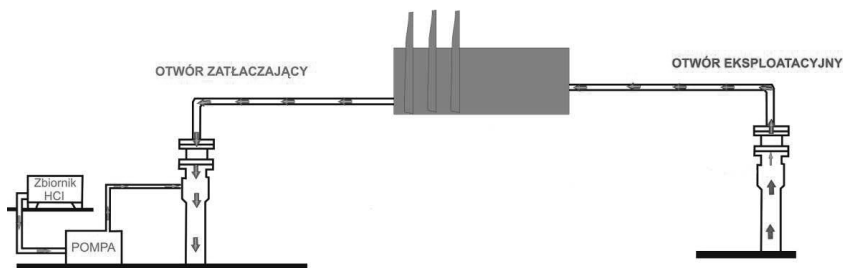
Rys. 3. Eksploatacja otworu zatłaczającego Pyrzyce GT-4 w 2008 r.

3. METODA MIĘKKIEGO KWASOWANIA

W 2008 roku zdecydowano się na zastosowanie nowej metody czyszczenia otworów zatłaczających polegającej na tzw. miękkim kwasowaniu [1, 4, 6]. Celem miękkiego kwasowania, podobnie jak kwasowania standardowego, jest poprawa wydajności zatłaczania poprzez usunięcie skutków kolmatacji – między innymi węglanu wapnia (CaCO₃). Miękkie kwasowanie adresowane jest nie tylko do filtra i strefy przyodwiertowej, ale również do warstwy wodonośnej. Bardzo małe stężenie zatłaczanego kwasu solnego rzędu 0,1 - 0,2% uwalnia od konieczności odbioru kwasu i jego utylizacji. Miejscem docelowym jego stosowania jest warstwa wodonośna, do której dociera, rozpuszczając po drodze węglany wytrącające się na filtrze i strefie przyodwiertowej. Zaletą metody miękkiego kwasowania jest minimalizacja kosztów - wyeliminowane zostają urządzenia, których wynajęcie jest niezwykle kosztowne.

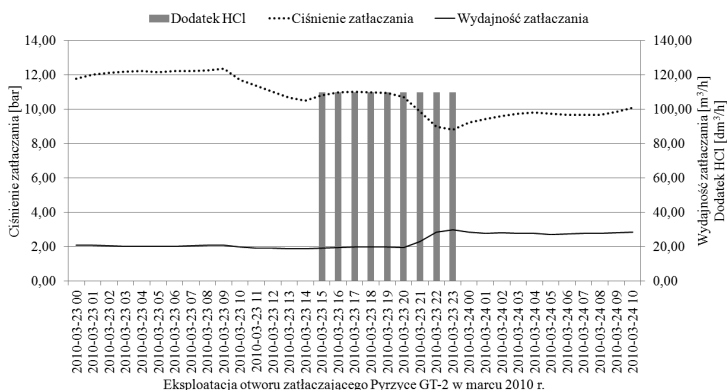
Problem w zastosowanej metodzie stanowiło stężenie kwasu solnego, jakie należałoby dobrać. Zbyt wysokie stężenie przy zatłaczaniu kwasu mogłoby uszkodzić rury, z kolei zbyt niskie nie odniosłoby żadnego skutku.

Pompa dozująca kwas podłączona jest bezpośrednio przy otworze zatłaczającym. Kwas solny 30% do otworu chłonnego zatłaczany jest ze zbiornika, który również ustawiony jest w bezpośrednim sąsiedztwie otworu zatłaczającego (rys. 4).

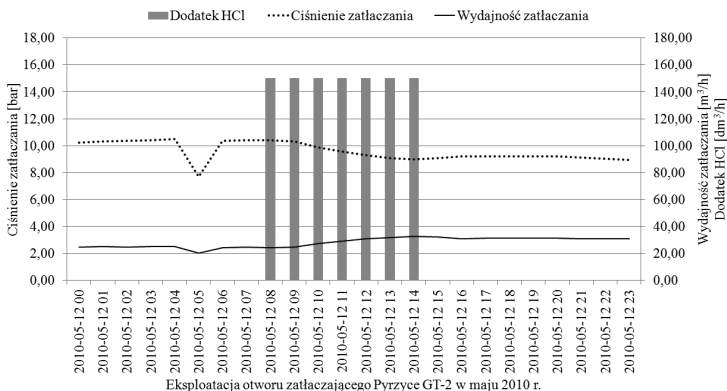


Rys. 4. Schemat metody miękkiego kwasowania

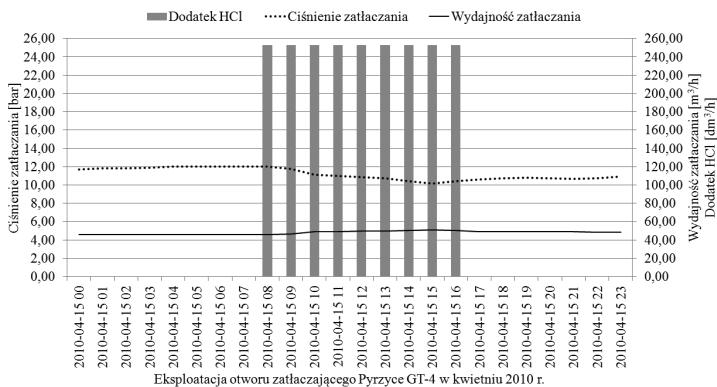
Zastosowanie w 2010 r. miękkiego kwasowania spowodowało zmniejszenie ciśnienia zatłaczania oraz zwiększenie się wydajności utylizacji wody termalnej. Prawdopodobnie taką można zaobserwować zarówno w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 (rys. 5 ÷ 6) jak i w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-4 (rys. 7 ÷ 9).



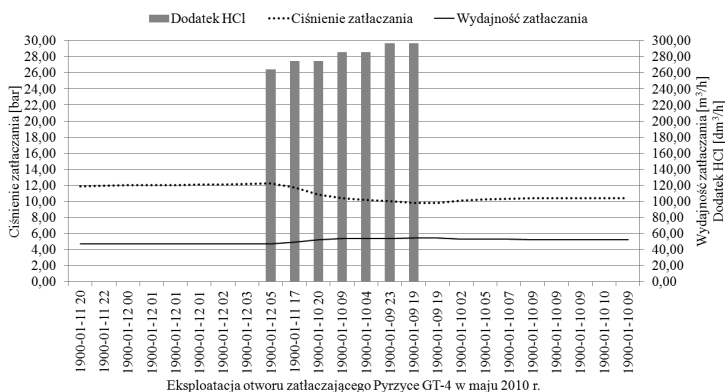
Rys. 5. Zastosowanie miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 w marcu 2010 r.



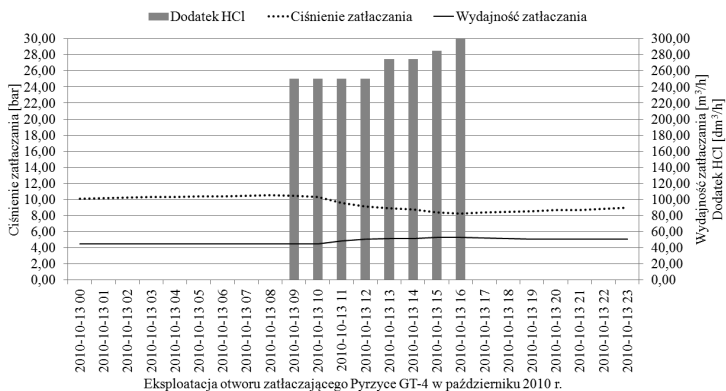
Rys. 6. Zastosowanie miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 w maju 2010 r.



Rys. 7. Zastosowanie miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-4 w kwietniu 2010 r.



Rys. 8. Zastosowanie miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-4 w maju 2010 r.



Rys. 9. Zastosowanie miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-4 w październiku 2010 r.

Podczas przeprowadzania miękkiego kwasowania w ciepłowni w Pyrzycach stwierdzono, że podczas działania kwasu w otworach zatłaczających następuje zmniejszenie ciśnienia zatłaczania i zwiększenie właściwości chłonnych. Obserwacje te pozwoliły na opracowanie nowej metody polegającej na ciągłym dozowaniu niewielkich ilości kwasu solnego do otworów zatłaczających. Metoda supermiękkiego kwasowania od października 2010 roku jest testowana w Geotermii Pyrzyce i przynosi oczekiwane rezultaty.

4. PODSUMOWANIE

W pracy zaproponowana została koncepcja zastosowania nowej metody czyszczenia otworów zatłaczających polegająca na tzw. miękkim kwasowaniu. Celem tej metody, podobnie jak kwasowania standardowego, jest poprawa wydajności zatłaczania poprzez usunięcie skutków kolmatacji. Duże rozcieńczenie kwasu solnego włączanego bezpośrednio do otworu zatłaczającego zwalnia z konieczności jego odbioru poprzez wypompowanie, a następnie jego utylizację. Kwas solny jest włączany razem ze zużytą wodą termalną do warstwy wodonośnej, gdzie następuje jego dalsze rozcieńczenie.

Po zastosowaniu w Geotermii Pyrzyce metody miękkiego kwasowania uzyskano znaczną poprawę chłonności otworów zatłaczających - wzrasta wydajność i maleje ciśnienie zatłaczania. Metoda miękkiego kwasowania została wdrożona do przemysłowego użycia w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach w listopadzie 2009 roku. Od tego czasu metoda ta stosowana jest okresowo (raz, dwa razy w miesiącu) przez kilka godzin dziennie. Jak wykazały badania podczas działania kwasu solnego wartość ciśnienia maleje i wzrasta wydajność zatłaczania. Po wyłączeniu dozowania kwasu po krótkim czasie następuje ponowny wzrost ciśnienia i zaczyna maleć wydajność zatłaczania.

Doświadczenia zdobyte podczas stosowania metody miękkiego kwasowania doprowadziły do opracowania nowej metody nazwanej roboczo metodą supermiękkiego kwasowania, która polega na ciągłym dozowaniu bardzo małych ilości kwasu solnego od zatłaczanej wody termalnej. Metoda ta od października 2010 r. jest już testowana w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach. Wymaga ona jeszcze wielu badań, a największym problemem jest dobór odpowiedniego stężenia kwasu w zatłaczanej solance.

LITERATURA

1. Bednarski L., Biernat H.: Program prac zmierzających do poprawy chłonności warstwy złożowej poprzez wykonanie zabiegów intensyfikacyjnych związanych z miękkim kwasowaniem. Materiały archiwalne POLGEOL. Warszawa 2008.
2. Biernat H., Bujakowska K.: Program działań zmierzających do poprawy chłonności w otworze Pyrzyce GT-2. Materiały archiwalne POLGEOL. Warszawa 2000.
3. Biernat H., Kulik S., Noga B.: Możliwości pozyskiwania energii odnawialnej i problemy związane z eksploatacją ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych. „Przegląd Geologiczny” 2009, t. 57, nr 8, s. 655 - 656.
4. Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z.: Problemy inkrustacji przy zatłaczaniu wykorzystanych wód termalnych. „Modelowanie Inżynierskie” 2010, nr 39, t. 8, s. 7 - 12.
5. Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z.: Problemy korozji przy zatłaczaniu wykorzystanych wód termalnych. „Modelowanie Inżynierskie” 2010, nr 39, t. 8, s. 13 - 18.
6. Biernat H., Kulik S., Noga B.: Problemy związane z eksploatacją ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych. „Technika

- Poszukiwań Geologicznych”. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, Nr 1-2, Kraków 2010, s. 17 - 28.
7. Biernat H., Martyka P., Noga B., Saletowicz G.: Projekt prac geologicznych zmierzających do poprawy chłonności warstwy złożowej poprzez wykonanie zabiegów intensyfikacji i dozowania parametrów kondycjonujących dla otworów geotermalnych "Geotermii Pyrzyce". Materiały archiwalne POLGEOL. Warszawa 2010.
 8. Kujawa T., Nowak W., Stachel A.: Heat-flow characteristics of one-hole and two-hole systems for winning geothermal heat. „Applied Energy” 2003, 74, p. 21-31.
 9. Meyer Z., Sobański R.: The first Polish geothermal district heating plant in Pyrzyce. In: International Seminar on Environmental Protection by the Use of Geothermal Energy Jointly with Third Meeting of the Forum of the European Branch of the IGA. Zakopane, 13-18th September 1993.
 10. Meyer Z.: O miejskim geotermalnym systemie grzewczym w Pyrzycach. “Inżynieria i Budownictwo” 1994, 50(5), s. 235-236.
 11. Meyer Z.: Geothermal plant Pyrzyce – concept of utilizing of geothermal heat in the Pommerania. In: International Seminar District Heating System in Pyrzyce – Practical Implementation of Geothermal Energy in Poland. Szczecin 1996.
 12. Meyer Z.: Ciepłownia geotermalna w Pyrzycach. „Inżynieria Morska i Geotechnika” 1997, 1, s. 61-65.
 13. Nowak W., Stachel A., Borsukiewicz-Gozdur A.: Zastosowania odnawialnych źródeł energii. Szczecin : Wyd. Pol. Szczec., 2008.
 14. Oniszk-Popławska A., Zowski M., Rogulska M.: Ciepło z wnętrza ziemi. Podstawowe informacje na temat wykorzystania energii geotermalnej. EC BREC/IBMER, Gdańsk-Warszawa 2003.

INCREASE THE ABSORPTIVITY GEOTHERMAL INJECTION WELLS AFTER USING OF SOFT ACID METHOD

Summary. The paper presents a method for soft-acid treatment, which is a modification of the standard acid treatment injection holes. Its modification is to reduce the amount of injected hydrochloric acid which dispenses with the need of acceptance and utilization. This method is also cheaper for industrial use because it requires no drilling equipment. Its industrial use in a geothermal plant in Pyrzyce brought the expected results in a reduction of blood pressure and increase the efficiency of chilled water thermal injection.