

PRÓBA ZAPOBIEGANIA KOLMATACJI GEOTERMALNYCH OTWORÓW ZATŁACZAJĄCYCH W WYNIKU ZASTOSOWANIA SUPERMIĘKKIEGO 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. Kolmatacja powoduje trudności eksploatacyjne związane głównie z zatłaczaniem schłodzonej wody termalnej do macierzystych warstw wodonośnych w niemal wszystkich ciepłowniach geotermalnych. Celem obecnie prowadzonych badań jest modyfikacja metody miękkiego kwasowania tak, aby można ją było stosować do eliminowania przyczyn kolmatacji, a nie do usuwania jej skutków. Modyfikacja metody miękkiego kwasowania polega na tym, że pompę dozującą kwas solny zainstalowano tuż za otworem eksploatacyjnym. Kwas zatłaczany jest w trybie ciągłym, bez przerw, tak aby zapewnić stałe stężenie kwasu w zatłaczanej wodzie termalnej.

1. WPROWADZENIE

Zatłaczanie schłodzonych wód termalnych do górotworu odbywa się poprzez kolumnę rur tłocznych, która na górze zamocowana jest w głowicy odwiertu. Na dole kolumna rur tłocznych zamknięta jest filtrem, który udostępnia warstwę wodonośną.

Ciepłownia geotermalna w Pyrzycach posiada cztery odwierty geotermalne: dwa wydobywcze GT-1, GT-3 oraz dwa zatłaczające GT-2 i GT-4. Ujmują one wody dolnojurajskie, występujące w obrębie drobnoziarnistych, słabo zwięzłych piaskowców warstw mechowskich, zalegających na głębokości od 1429 do 1600 m. Wydobywane wody termalne są wysoko zmineralizowaną solanką o temperaturze osiągającej 64°C w złożu i 61°C na powierzchni.

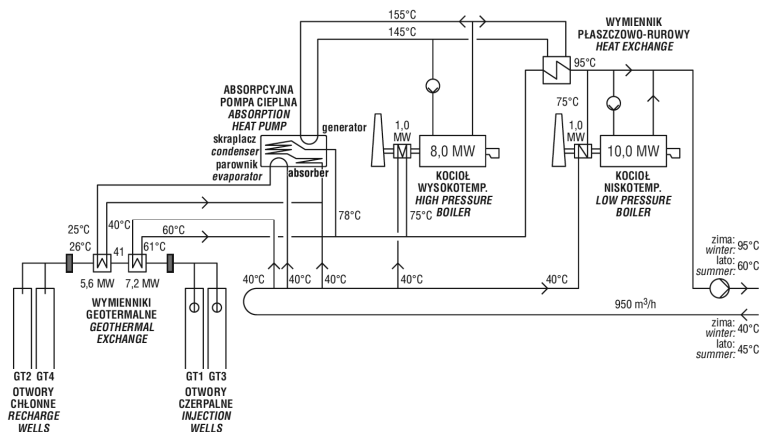
We wszystkich otworach, poszerzonych w warstwie wodonośnej do średnicy 432 mm, zainstalowano stalowe filtry szczelinowe firmy Johnson o średnicy 168 mm i wykonano obrypkę żwirową. Konstrukcję filtrów dostosowano do budowy warstwy wodonośnej, zawierającej słabo przepuszczalne przewarstwienia. W odwiercie Pyrzyce GT-1 ujęto 121,3 m interwału warstwy wodonośnej, w GT-2 89,4 m, w GT-3 120,4 m, a w GT-4 102,5 m [5].

W wyniku badań hydrogeologicznych w 1994 roku zasoby ujęcia udokumentowano w ilości 340 m³/h przy depresji 33,3 m w GT-1 i 33,0 m w GT-3. Z opracowanej przez POLGEOL S.A. dokumentacji hydrogeologicznej wynika, że zatłaczanie 170 m³/h solanki do otworu Pyrzyce GT-2 wymaga ciśnienia głowicowego 6,3 bara zaś zatłaczanie do GT-4 wymaga 8,4 bara [4].

2. PROCES TECHNOLOGICZNY CIEPŁOWNI GEOTERMALNEJ W PYRZYCACH

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 do dwóch niskotemperaturowych wymienników 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 wtlaczania w tym samym czasie wydobytej wody ze złoża.



Rys. 1. Uproszczony schemat instalacji geotermalnej w Pyrzycach

3. PRZYCZYNY POWSTAWANIA KOLMATACJI

Wody termalne zasilające Geotermię Pyrzyce eksploatowane są z otworów Pyrzyce GT-1 i GT-3. Wydobywane są za pomocą wielostopniowej pompy głębinowej i transportowane są rurociągami przesyłowymi przez baterię filtrów wstępnych do wymienników ciepła, po czym następnie przez baterie filtrów końcowych do otworów chłonnnych Pyrzyce GT-2 i GT-4.

Podczas tego cyklu solanka wydobywana z otworów GT-1 i GT-3 wykazuje tendencję do wytrącania osadów. Do dnia dzisiejszego jednak nie są znane dokładne przyczyny powstawania osadów - kolmatacji. Wiadomo natomiast, że cząsteczki stałe, zawiesiny, wytrącają się z minerałów zawartych w solance. Głównymi składnikami wytrącającego się osadu są: tlenki (Fe₂O₃), halogenki (NaCl), siarczki, siarczany i inne.

W wyniku przeprowadzonych analiz można stwierdzić, że przyczynami spadku wydajności zatłaczania są następujące czynniki [1, 3]:

- zmiany temperatury podczas eksploatacji wody termalnej - gwałtowne obniżenie temperatury powoduje, że siarczany żelaza i krzemionka wytrącają się w postaci osadu,
- zmiany odczynu pH - wzrost odczynu w trakcie eksploatacji powoduje spadek rozpuszczalności wielu soli i tlenków żelaza,
- zmiany ciśnienia w obiegu geotermalnym- obniżenie ciśnienia wody termalnej powoduje jej częściowe rozprężenie i uwolnienie części rozpuszczonego CO₂, co wpływa na wzrost pH,
- zmiany stężenia CO₂ przekładają się na odczyn pH wody termalnej,
- zmiany potencjału redox - wzrost potencjału nasila reakcje strącania tlenków żelaza.

4. SKUTKI KOLMATAcji W GEOTERMII PYRZYCE

Technologia odzysku energii geotermalnej zasadniczo wpływa na właściwości fizykochemiczne solanki, przetwarzanej w systemie geotermalnym. Woda termalna po przepłynięciu przez filtry odwiertów eksploatacyjnych Pyrzyce GT-1 i GT-3, na drodze do głowicy eksploatacyjnej, ulega odprężeniu, niewielkiemu schłodzeniu i wysyceniu produktami korozji rur okładzinowych. Produkty te dopiero po pewnym czasie przechodzą z roztworu w fazę stałą i jako takie są wychwytywane przez napowierzchniowe filtry workowe (rys. 2).



a)

b)

Rys. 2. Filtr workowy: a) nowy, b) zanieczyszczony osadami

Filtry workowe stanowią pierwszy cykl oczyszczania wody termalnej z otworów eksploatacyjnych. Po przefiltrowaniu solanka przechodzi kolejno przez wymienniki ciepła, a następnie przez baterie filtrów końcowych tzw. świecowych (rys. 3). Filtry te muszą być znacznie częściej wymieniane niż workowe. Ich czyszczenie i wymiana przed stosowaniem miękkiego kwasowania opracowanego przez firmę POLGEOL musiała odbywać się co kilkanaście dni. W wyniku wykonywania kwasowania miękkiego wymiana filtrów odbywa się znacznie rzadziej, co skutkuje znacznym obniżeniem kosztów zakupu nowych filtrów.

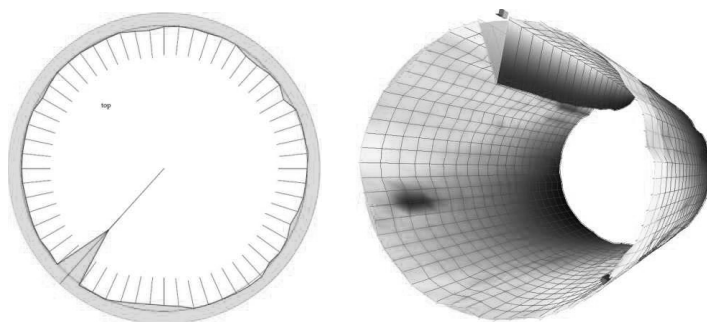


Rys. 3. Filtr świecowy: a) nowy, b) zanieczyszczony osadami

Woda termalna po oczyszczeniu na filtrach świecowych jest następnie włączana do otworów zatłaczających Pyrzyce GT-2 i GT-4.

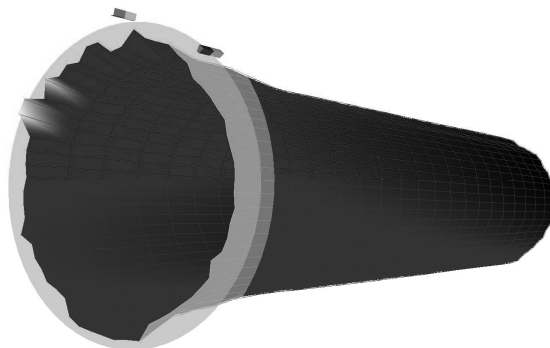
W 2005 roku założono wykonanie w otworach Pyrzyce GT-2, GT-3 i GT-4 profilowania średnicomierzem wieloramiennym Sondex MIT 60 w celu określenia średnicy wewnętrznej i stanu technicznego rur $\varnothing 9 \frac{5}{8}$ " i filtra Johnsona $\varnothing 6 \frac{5}{8}$ " [2]. Pomiaru dokonano w interwale od 0 do 1511 m z dokładnością do 3 mm.

Podczas badania stanu rur okładzinowych w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 stwierdzono oprócz wżerów korozyjnych również duże narosty głównie węgla wapnia, które powodują zmniejszenie średnicy wewnętrznej rur okładzinowych (rys. 4) [6].



Rys. 4. Wizualizacja narostów w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2: głębokość 221,094 m

W wyniku badań wieloramiennym średnicomierzem stwierdzono, że rury $6 \frac{5}{8}$ " (filtr Johnsona) we wszystkich otworach Geotermii Pyrzyce są w dobrym stanie technicznym. Stwierdzono jednak, że cały filtr pokryty jest osadem głównie węgla wapnia, który utrudnia, a czasami wręcz nawet uniemożliwia, przepływ do warstwy wodonośnej schłodzonej wody termalnej (rys. 5).

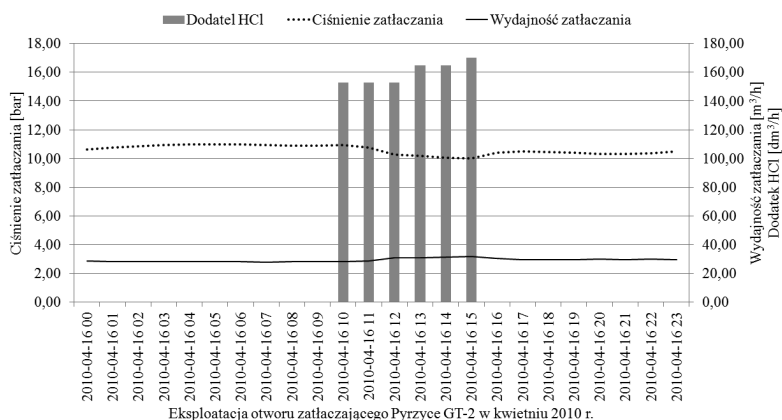


Rys. 5. Wizualizacja narostów w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 - filtr Johnsona

Wytrącający się osad z wody termalnej osad powoduje zmniejszenie porowatości warstwy przyfiltracyjnej. Znacznie wzrastają wtedy opory przepływu i zmniejsza się ogólna chłonność otworu. Aby nie dopuścić do całkowitego zakolmatowania i niedrożności otworów zatłaczających, należy stosować metody przeciwdziałające kolmatacji.

5. ZAPOBIEGANIE POWSTAWANIA KOLMATACJI

Jedną z metod usuwania skutków kolmatacji jest opracowana w 2008 roku metoda miękkiego kwasowania [1]. Celem miękkiego kwasowania, podobnie jak kwasowania standardowego, jest poprawa wydajności zatłaczania poprzez usunięcie skutków kolmatacji - między innymi węglanu wapnia (CaCO_3). 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 unieszkodliwiania. W tym przypadku kwas solny dozowany jest bezpośrednio do otworu zatłaczającego.

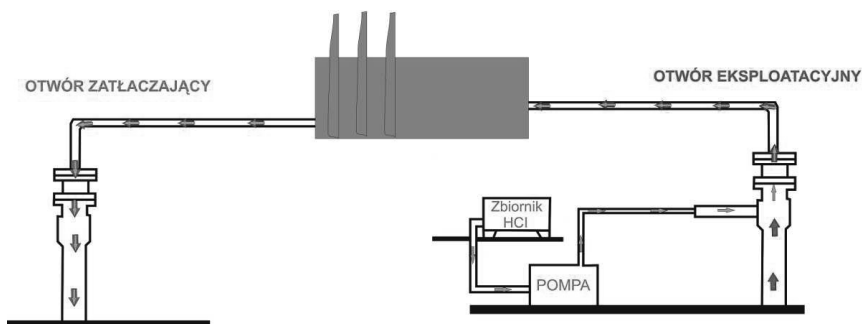


Rys. 6. Zastosowanie metody miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 w kwietniu 2010 r.

Metoda miękkiego kwasowania w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach została wdrożona w listopadzie 2009 roku. W wyniku jej zastosowania w otworach zatłaczających uzyskiwano zwiększanie się wydajności zatłaczania oraz zmniejszanie się ciśnienia koniecznego do pokonania oporów zatłaczania (rys. 6).

Podczas stosowania metody miękkiego kwasowania zauważono, że w okresie działania, w otworze zatłaczającym, kwasu solnego następowała poprawa parametrów zatłaczania. Natomiast w krótkim okresie po zaprzestaniu dozowania kwasu ponownie obserwowano wzrost ciśnienia i spadek wydajności zatłaczania.

Obserwacje te doprowadziły do modyfikacji metody miękkiego kwasowania polegającej na ciągłym dozowaniu jeszcze mniejszych ilości kwasu solnego (kwasowanie w ruchu ciągłym). Ponieważ kolmatacji ulegają również napowierzchniowe urządzenia geotermalne, w metodzie tej pompę dozującą kwas solny umieszczono tuż za otworem eksploatacyjnym Pyrzyce GT-1 (rys. 7). W ten sposób kwas solny działa w całej instalacji geotermalnej, a jego działanie rozpoczyna się w momencie, kiedy w solance rozpoczynają się zmiany właściwości fizyko-chemicznych.

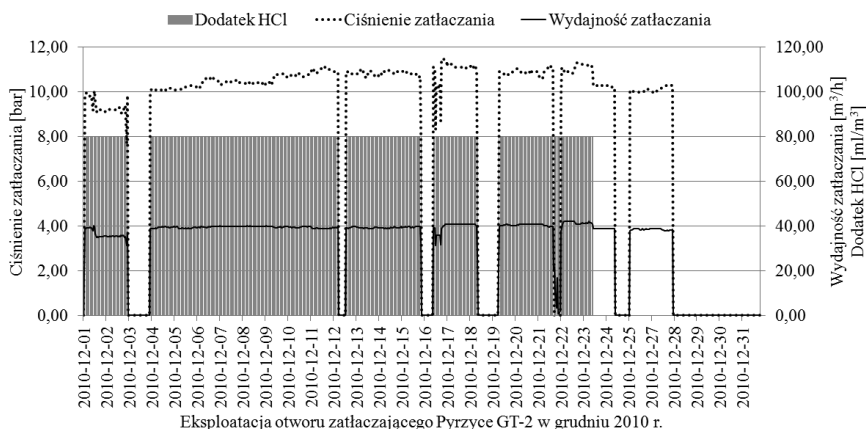


Rys. 7. Schemat metody supermiękkiego kwasowania

Zapobieganie powstawania kolmatacji na filtrach i w warstwie złożowej w wyniku proponowanej metody rozwiązano poprzez symulację pH solanki. Celem metody supermiękkiego kwasowania jest wyeliminowanie negatywnej działalności wykładnika stężenia jonów wodorowych (pH), jednej z przyczyn powstawania kolmatacji. Stymulacja pH pozwoli uzyskać stan równowagi chemicznej, w której węglan wapnia (CaCO_3) nie będzie strącany. Korzyścią płynącą z zastosowania tej metody będzie nie tylko wyeliminowanie przyczyny kolmatacji węglanowej, ale również pozbycie się dotychczasowych efektów w warstwie wodonośnej poprzez systematyczne rozpuszczanie węglanu wapnia gromadzącego się dotychczas w warstwie złożowej z dala od otworu [1, 3].

Badania przeprowadzone przez laboratorium PG POLGEOL S.A. wykazały, że dla solanki z ciepłowni w Pyrzycach optymalnym pH, dzięki któremu będzie można uzyskać stan równowagi, jest pH równe 4,5. Modyfikacja metody miękkiego kwasowania od 2009 r. rozwijana jest wspólnie z firmą MARCOR z Gdańska. Aby metoda ta przyniosła oczekiwany efekt, należy do kwasu solnego dodać niewielkie dawki antyskalanta i dyspergatora

W wyniku zastosowania w październiku 2010 roku w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach metody supermiękkiego kwasowania uzyskano stabilną pracę całego układu (rys. 8). Przy ustalonej stałej wydajności nie następuje już gwałtowne zwiększanie się ciśnienia zatłaczania. Również w przypadku wyłączenia układu jego ponowny rozruch następuje w warunkach sprzed wyłączania.



Rys. 8. Zastosowanie metody super miękkiego kwasowania w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 w grudniu 2010 r.

6. PODSUMOWANIE

Najpopularniejszym sposobem pozbywania się skutków kolmatacji jest kwasowanie, a więc zatłaczanie do otworu kwasu solnego w celu rozpuszczenia osadów węglanowych powstałych w wyniku tejże kolmatacji. Ponieważ kolmatacja dotyczy nie tylko samego filtra, ale również warstwy wodonośnej, dlatego kwasowania przeprowadzane są coraz częściej i z coraz gorszymi efektami. Zastosowanie miękkiego kwasowania polega na zatłaczaniu do otworu kwasu solnego w tej samej ilości co przy standardowym kwasowaniu. Różnica polega na dawkowaniu 1/60, co oznacza zatłaczanie przez 60 godzin (miękkie kwasowanie) tej samej ilości kwasu co przez godzinę standardowego kwasowania. W rezultacie przedkłada się to na zatłaczanie kwasu o stężeniu ok. 0,1 - 0,2 %. Efektem zabiegu jest udrożnienie otworu i warstwy wodonośnej w przeciwieństwie do kwasowania standardowego, które obejmuje tylko filtr i strefę przyodwiertową otworu. Metoda sprawdzona m.in. w basenie paryskim, gdzie po zastosowaniu miękkiego kwasowania wzrosła przepuszczalność warstwy złożowej [7]. Stosowana jest jednak głównie dla skał węglanowych.

Modyfikacja metody miękkiego kwasowania polega na tym, że pompę dozującą kwas solny zainstalowano tuż za otworem eksploatacyjnym. Dzięki takiemu ustawieniu warunki chemiczne można stymulować już w napowierzchniowym obiegu geotermalnym (rurociągu tłocznym). Kwas należy zatłaczać w trybie ciągłym, bez przerw, tak aby zapewnić stałe stężenie kwasu, a co za tym idzie - stałe warunki wykładnika stężenia jonów wodorowych. Przy zastosowaniu tej metody łatwiej jest obserwować zachodzące procesy na hali ciepłowni geotermalnej aniżeli w otworze zatłaczającym.

Obecnie w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach prowadzone są prace, które zmierzają do zastosowania supermiękkiego kwasowania nieustannie podczas codziennej pracy ciepłowni. Wstępne wyniki otrzymane po półrocznym okresie badań pozwalają stwierdzić, że nie następuje dalsze gwałtowne pogarszanie się parametrów eksploatacyjnych. Prace związane z pełnym wdrożeniem tej metody wymagają jeszcze dalszych badań związanych z dodaniem niedużych dawek antyskalanta i/lub dyspergatora, co powinno pozwolić na obniżenie zastosowanej dawki kwasu solnego.

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., Posyniak A.: Sprawozdanie z wykonanych prac na otworach geotermalnych Pyrzyce GT-2, Pyrzyce GT-3, Pyrzyce GT-4. Materiały archiwalne POLGEOL. Warszawa 2006.
3. 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.
4. Bujakowska K., Biernat H., Bentkowski A., Kapuściński J.: Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód termalnych z utworów jury dolnej dla potrzeb m. Pyrzyc. Materiały archiwalne POLGEOL. Warszawa 1995.
5. Maliszewski N.: Załączanie wykorzystanych wód termalnych. „Technika poszukiwań geologicznych: geosynoptyka i geotermia” 2004, nr 1-2, s. 69 - 75.
6. Milczanowski A.: MIT report overview Pyrzyce GT-2. Materiały archiwalne Geotermii Pyrzyce Sp. z o.o, Pyrzyce 2005.
7. Ventre A. V., Ungemach P.: Soft acidizing of damaged geothermal injection wells. Discussion of results achieved in Paris Basin. Twenty-Third Workshop on Geothermal Reservoir Engineering 1998.

AN ATTEMPT TO PREVENT CLOGGING INJECTION GEOTHERMAL WELLS BY USE SUPER SOFT ACIDIZING METHOD

Summary. Clogging causes operational difficulties mainly related to the pumping of cold water to stem the thermal aquifers in almost all geothermal plants. The aim of current research is a modified method of soft acidizing so that it can be used to eliminate the causes of clogging, rather than to remove its effects. Modified method of soft acidizing lies in the fact that hydrochloric acid dosing pump is installed just behind the production well. Acid is injected continuously without interruption in order to ensure the continued concentration of acid.