

## PROBLEMY INKRUSTACJI PRZY ZATŁACZANIU WYKORZYSTANYCH WÓD TERMALNYCH

HENRYK BIERNAT<sup>1</sup>, STANISŁAW KULIK<sup>2</sup>, BOGDAN NOGA<sup>3</sup>, ZBIGNIEW KOSMA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Przedsiębiorstwo Geologiczne POLGEOL S.A., ul. Berezyńska 39, 03-908 Warszawa*

<sup>2</sup> *Geotermia Pырzyce Sp. z o.o., ul. Ciepłownicza 27, 74-200 Pырzyce*

<sup>3</sup> *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. Bardzo poważnym problemem niemal wszystkich zakładów geotermalnych jest inkrustacja strefy przyodwiertowej związkami chemicznymi wytrącającymi się z wysoko zmineralizowanych wód na skutek zmian warunków fizyko-chemicznych spowodowanych eksploatacją. Wydaje się, że tego procesu obecnie nie da się całkowicie wyeliminować przy zatłaczaniu wód do kolektorów porowych. Po ograniczeniu lub wręcz wyeliminowaniu korozji w Ciepłowni Geotermalnej w Pырzycach, aby ograniczyć przytykanie strefy przyodwiertowej związkami chemicznymi, zastosowano „miękkie kwasowanie”.

### 1. WSTĘP

Polska jest krajem o dużych potencjalnych możliwościach pozyskiwania energii geotermalnej. Ponad połowę obszaru naszego kraju obejmuje wielki zbiornik permsko-mezozoiczny, w którego obrębie znajdują się mniejsze jednostki geologiczne z występującymi w nich kolektorami wód termalnych. Zbiorniki wód termalnych, które są perspektywiczne i mogą być wykorzystywane do pozyskania energii geotermalnej, znajdują się głównie w utworach mezozoicznych.

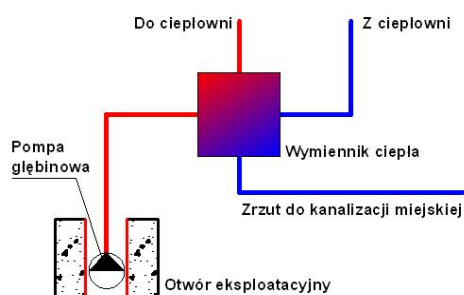
Na obszarze Niżu Polskiego głównym poziomem wodonośnym wód termalnych mogą być utwory jury dolnej. Jest to piaszczysty i piaszczysto-mułowcowy kompleks utworów liasowych występujących prawie na całej powierzchni Niżu. Warstwy te charakteryzują się dobrymi własnościami kolektorskimi. W warstwach tych udział piaskowców o dobrych własnościach kolektorskich wynosi około 60-80%. W piaskowcach tych porowatość określona laboratoryjnie wynosi 14-19%, przepuszczalność do 1000 mD. Z utworów można uzyskiwać wydajności od 100 m<sup>3</sup>/h do 300 m<sup>3</sup>/h [2].

Testy dokumentacyjne wykazują przyrodnicze możliwości eksploatacyjne złoża wód termalnych. Techniczne możliwości eksploatacji mogą być ustalone dopiero w trakcie przemysłowej eksploatacji i zależą od wielu czynników technicznych związanych z działalnością określonej ciepłowni, przy czym najważniejszymi wydają się być: sposób eksploatacji, tzn. wielkość poboru i ciągłość zatłaczania wody, oczyszczanie wody zatłaczanej, stałość schładzania wody, zabezpieczenie antykorozyjne całego układu, inkrustacji strefy przyodwiertowej.

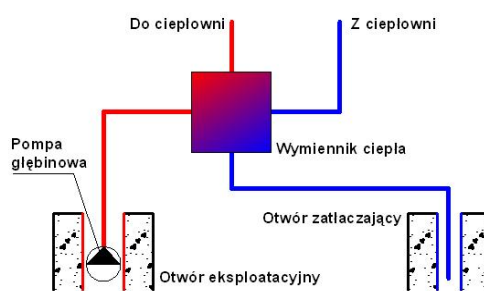
## 2. PROBLEMY Z ZATŁACZANIEM WÓD TERMALNYCH

Zasadniczym celem wykonywania otworów geotermalnych jest umożliwienie eksploatacji bądź zatłaczania wód. W praktyce stosowane są rozwiązania składające się z jednego otworu eksploatacyjnego geotermalnego (rys. 1) lub dubletu geotermalnego stanowiącego otwór eksploatacyjny i zatłaczający (rys. 2).

Wykorzystując jeden otwór geotermalny, można eksploatować tylko wodę termalną o małym zasoleniu i w stosunkowo niedużej ilości. W takim przypadku elementami składowymi układu geotermalnego będą: otwór eksploatacyjny, pompa głębinowa, filtry wstępne, płytowy wymiennik ciepła (rys. 1). W układzie takim nie istnieje problem zatłaczania schłodzonych wód termalnych, ponieważ są one utylizowane przez zrzut do wód powierzchniowych lub kanalizacji miejskiej.



Rys.1. Schemat jednootworowego układu geotermalnego



Rys.2. Schemat dubletu geotermalnego

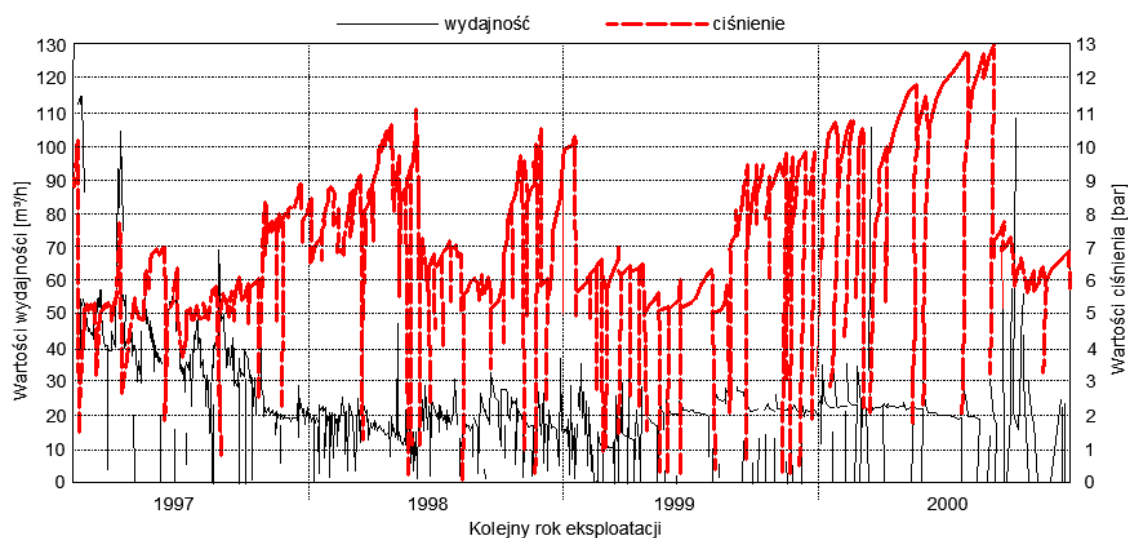
Podczas ujmowania wód termalnych o dużym zasoleniu nie ma możliwości ich utylizacji poprzez zrzut do wód powierzchniowych lub kanalizacji miejskiej. Tym razem w skład ciepłowni geotermalnej będą głównie wchodziły: otwór eksploatacyjny, pompa głębinowa, bateria filtrów wstępnych, płytowy wymiennik ciepła, bateria filtrów końcowych oraz otwór zatłaczający (rys. 2). Podstawową zasadą działania dubletu geotermalnego jest zapewnienie ciągłości przepływu pomiędzy otworem eksploatacyjnym a otworem zatłaczającym, wynikające z konieczności wtłaczania w tym samym czasie wydobytej wody do złoża.

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 wtłoczenia wód schłodzonych do górotworu z wykorzystaniem otworu zatłaczającego. Jak wykazały nasze badania, możliwości chłonne otworów już na etapie ich dokumentowania są o około jedną trzecią mniejsze niż możliwości eksploatacyjne.

Podstawowymi problemami otworów zatłaczających są postępujący spadek wydajności i efektywności zatłaczania oraz szybka korozja.

Problemy z zatłaczaniem schłodzonej wody termalnej przedstawione zostaną na przykładzie otworów zatłaczających Pyrzyce GT-2 oraz Pyrzyce GT-4. Po odwierceniu i zafiltrowaniu między 20.11.1992 – 23.01.1993 r. otworu Pyrzyce GT-2 wykonano pompowanie oczyszczające, które wykazało wydajność 168m<sup>3</sup>/h. Pod koniec 1995 i z początkiem 1996 roku przeprowadzono pompowanie eksploatacyjno-zatłaczające, a wydajność zatłaczania wynosiła 148,6 m<sup>3</sup>/h przy stabilizacji ciśnienia na poziomie 2,5 bara po 55 godzinach. Z kolei w otworze GT-4 uzyskano wydajność 143 m<sup>3</sup>/h oraz stabilizację ciśnienia na poziomie 3,7 bara, którą uzyskano po 314 godzinach. Po włączeniu otworu GT-2

do obiegu geotermalnego ciśnienie zatłaczania wynosiło 5,7 bara przy wydajności zatłaczania  $135 \text{ m}^3/\text{h}$ . Od 1997 następował systematyczny spadek wydajności od  $115 \text{ m}^3/\text{h}$  przy ciśnieniu 9 barów w marcu 1997 roku, aż do  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  w 2000 roku przy ciśnieniu przekraczającym 12 barów (rys. 3). W tym samym czasie w otworze GT-4 nie obserwowano pogorszenia chłonności - około 6 barów przy wydajności  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  i około 10 barów przy wydajności  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  [1].



Rys.3. Wydajność i ciśnienie w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 w pierwszych czterech latach eksploatacji

Do roku 2005 problemy z zatłaczaniem schłodzonej wody termalnej pojawiały się cyklicznie według tego samego schematu - nagły wzrost ciśnienia i spadek 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 skracaly 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 (osiągnięto rezultat  $170 \text{ m}^3/\text{h}$  przy ciśnieniu 1,8 bara) [1].

### 3. METODA MIĘKKIEGO KWASOWANIA

Dotychczas celem miękkiego kwasowania było poprawienie chłonności warstwy złożowej oraz oczyszczenie otworu [5]. Miękkie kwasowanie - w odróżnieniu od tradycyjnego kwasowania - oprócz filtra udrażnia również warstwę wodonośną, zwiększając jej przepuszczalność. Zaletą tej metody jest minimalizacja kosztów, wyeliminowane zostają urządzenia, których wynajęcie jest niezwykle kosztowne.

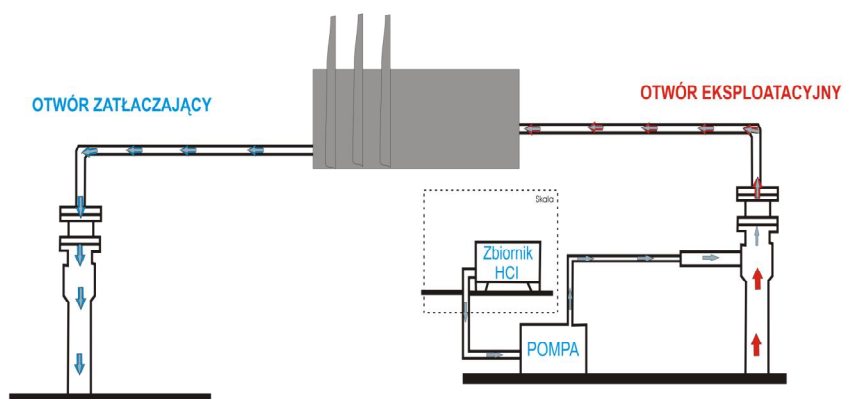
Problem w zastosowanej metodzie stanowiło stężenie kwasu solnego, jakie należałoby dobrać. Zbyt wysokie stężenie przy zatłaczaniu kwasu mogłoby uszkodzić rury, z kolei zbyt niskie nie odniosłoby żadnego skutku.

Badania przeprowadzone przez laboratorium PG POLGEOŁ wykazały, że optymalne stężenie kwasu solnego powinno wynosić około 0,2 %. Wyniki eksperymentalne uzyskano poprzez umieszczenie w naczyniach o różnym stężeniu kwasu solnego (0,2 %, 1 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %, 100 %) i obserwacji zmian w wydajności i ciśnieniu zatłaczania.

10 %, 15 %) pięciu próbek pobranych z rury stalowej. Następnie mierzono czas przebywania poszczególnych prób w zadanym środowisku kwasowym oraz mierzono ilość przereagowanego kwasu w danym czasie. Przy relatywnie wysokich stężeniach reakcja zachodziła prawie natychmiast. Kwas uzyskiwał jasnożółtą barwę świadcząca o reakcji kwasu ze stalą. Przy stężeniach niższych reakcja zachodziła znacznie wolniej. Przy roztworze kwasu solnego o stężeniu 1 % widoczne efekty zauważyć można było dopiero po kilku godzinach, zaś w przypadku stężenia 0,2 % minimalne efekty można było zaobserwować dopiero po 24h. Zatem stosowanie przez dłuższy czas kwasu o stężeniu 0,2 % nie powinno zdradzać objawów negatywnych. Co więcej, po oczyszczeniu rur z rdzy HCl ze stalowymi rurami będzie reagował w jeszcze mniejszym stopniu.

Celem badań była modyfikacja metody miękkiego kwasowania tak, aby można ją było stosować do eliminowania przyczyn kolmatacji, a nie do usuwania jej skutków. Cel ten można osiągnąć przez wyeliminowanie negatywnej działalności wykładnika stężenia jonów wodorowych (pH), jednej z przyczyn powstawania kolmatacji. Stymulacja pH pozwoli uzyskać stan równowagi chemicznej, w której węglan wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) nie będzie strącany. Korzyścią płynącą z zastosowania tej metody jest 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].

Modyfikacja metody miękkiego kwasowania polega na tym, że pompę dozującą kwas zainstalowano tuż za otworem eksploatacyjnym (rys. 4). 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 [3].

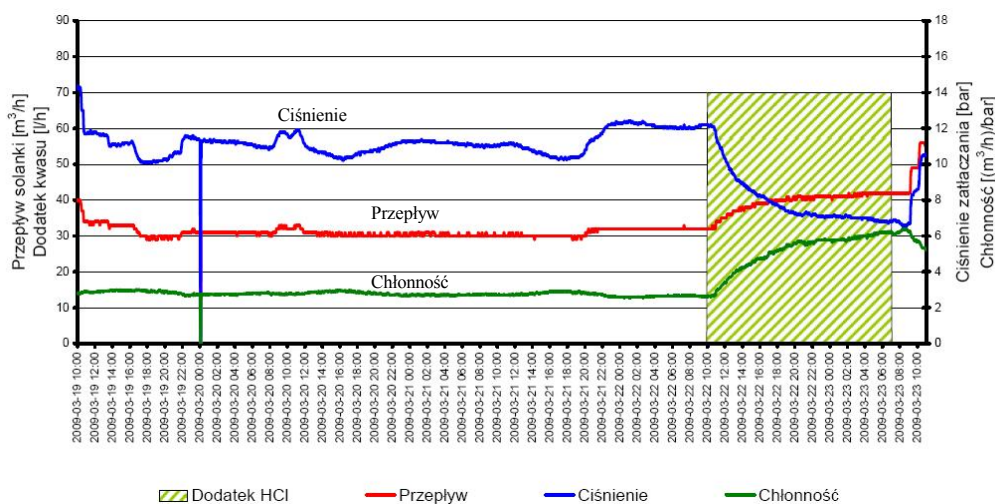


Rys.4. Schemat miękkiego kwasowania zapobiegającego kolmatacji poprzez stymulację pH

#### 4. ZASTOSOWANIE MIĘKKIEGO KWASOWANIA W CIEPŁOWNI W PYRZYCACH

W przypadku Geotermii Pyrzyce kolmatacja wydaje się być główną przyczyną spadku wydajności. Wydaje się, że tego procesu obecnie nie da się całkowicie wyeliminować przy eksploatacji wód w kolektorach porowych. Po ograniczeniu lub wręcz wyeliminowaniu korozji w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach, aby ograniczyć przytykanie strefy przyodwiertowej związkami chemicznymi, zastosowano „miękkie kwasowanie”, które może rozwiązać problem występowania inkrustacji i przytykania części czynnej filtra zainstalowanego w warstwie wodonośnej.

Wstępnie po zastosowaniu punktowego „miękkiego kwasowania” uzyskano znaczną poprawę chłonności otworów zatłaczających (rys. 5). Zdecydowanie wzrasta wydajność i spada ciśnienie zatłaczania. Niemniej jednak po pewnym czasie od wykonanego zabiegu obserwuje się powolny spadek chłonności otworów i wzrost ciśnienia zatłaczania. Tak więc na podstawie przeprowadzonych badań wynika, że skutecznym rozwiązaniem poważnie ograniczającym wpływ inkrustacji na wydajność zatłaczania będzie zastosowanie nieustannego miękkiego kwasowania.



Rys.5. Obraz zmian w wydajności zatłaczania do odwiertu GT4 po miękkim kwasowaniu przeprowadzonym w marcu 2009 r.

Obecnie w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach prowadzone są prace, które zmierzają do zastosowania ciągłego miękkiego kwasowania nieustannie podczas codziennej pracy ciepłowni, wykonywanego już z miejsca wyznaczonego w ciepłowni geotermalnej [3]. Powinno to nie tylko usuwać przyczyny inkrustacji, ale także zapobiegać wytrącaniu się związków z solanki powodujących przytykanie filtrów zainstalowanych w warstwie złożowej.

## 5. PODSUMOWANIE

Problemem w zdiagnozowaniu przyczyn powstawania kolmatacji jest wieloetapowość tego mechanizmu. Do tej pory nie modelowano zachowania solanki jako takiej w warunkach spadku ciśnienia i temperatury (przy eksploatacji) i ponownego wzrostu ciśnienia i temperatury (przy zatłaczaniu).

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, stąd 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 przekłada 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 była m.in. w basenie

paryskim, gdzie po zastosowaniu miękkiego kwasowania wzrosła przepuszczalność warstwy złożowej [7]. Stosowana jest jednak głównie dla skał węglanowych.

## LITERATURA

1. Bednarski L., Biernat H.: Program prac zmierzających do poprawy chłonności warstwy złożowej poprzez wykonanie zabiegów intensyfikacyjnych związanych z miękkim kwasowaniem. Warszawa : POLGEOL, 2008.
2. 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.
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". Warszawa : POLGEOL, 2010.
4. Parecki A., Biernat H.: Próba rozwiązania problemów towarzyszących eksploatacji ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych. „Technika poszukiwań geologicznych, geotermia, zrównoważony rozwój”. Kraków 2007 nr 2, z. 240, s. 107 - 109.
5. Portier S.: Review of chemical stimulation techniques and results of acid injection. EHDRA 2006.
6. Ventre A. V., Ungemach P.: Soft acidizing of damaged geothermal injection wells. Discussion of results achieved in Paris Basin, Twenly-Third Workshop on Geothermal Reservotr Engineenng, 1998.

## **INCRUSTATION PROBLEM WITH PUMPING COOL THERMAL WATER**

Summary. Almost every Geothermal Heating Plant have a very severe problem of the incrustation of the drill zone with the chemical compounds precipitated from the high-mineralized water as a result of physical and chemical conditions changes caused by exploitation. It seems that nowadays it's impossible to eliminated the process from water exploitation from pore collectors. After corrosion reduction and elimination, the Geothermal Heating Plant in Pyrzyce implemented "soft acid treatment" in order to reduce blocking drill zone with chemical compounds. This process is in the course of researches, but it's already possible to draw conclusions that in long-term prospects the process will bring required effects.