

Bogdan NOGA^{1,2}, Zbigniew KOSMA¹, Jacek ZIELIŃSKI¹

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZWIĘKSZENIA CHŁONNOŚCI OTWORÓW ZATŁACZAJĄCYCH NA PRZYKŁADZIE CIEPŁOWNI GEOTERMALNEJ W PYRZYCACH

STRESZCZENIE

W prezentowanej pracy została przeanalizowana chłonność otworów zatłaczających w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach. Możliwości chłonne dwóch otworów wynosiły 340 m³/h wody przy ciśnieniu około 4 barów. W bardzo krótkim czasie wydajność ta zmniejszyła się do około 60 m³/h przy ciśnieniu zatłaczania nierzadko przekraczającym 12 barów. Taka sytuacja utrzymywała się przez okres około 20 lat. Próby poprawy chłonności były krótkotrwałe i nie miały wpływu na poprawę sprawności działania otworów chłonnych. Dopiero prace przeprowadzone w 2016 roku doprowadziły do uzyskania długotrwałej efektywnej pracy otworu chłonnego Pyrzyce GT-2. W ramach zabiegów rekonstrukcyjnych uzyskano wydajność zatłaczania 130 m³/h do jednego otworu przy ciśnieniu nieprzekraczającym 7 barów. Uzyskany efekt utrzymywany był na niemal stałym poziomie przez ponad dwa lata poprzez stosowanie różnych preparatów chemicznych dozowanych do zatłaczanej wody termalnej. Przeprowadzone badania przyczyniły się do zwiększenia sprawności pracy ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach.

SŁOWA KLUCZOWE

Otwory chłonne, zatłaczanie, kolmatacja, ciepłownia geotermalna, geotermia

* * *

¹ Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu, Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, ul. Krasickiego 54, 26-600 Radom, e-mail: b.noga@uthrad.pl, zbigniew.kosma@uthrad.pl, jacekzielon_2007@wp.pl

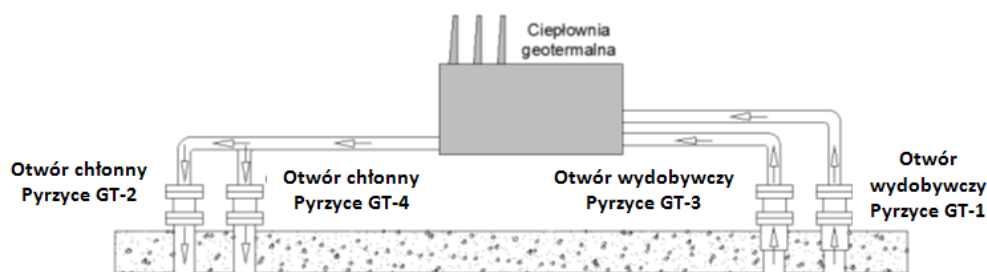
² HPC POLGEOL Spółka Akcyjna, ul. Berezyńska 39, 03-908 Warszawa, e-mail: bogdan.noga@polgeol.pl

WPROWADZENIE

Głównym problemem w efektywnej pracy ciepłowni geotermalnych, działających w dubletach otworów, jest zmniejszająca się sprawność zatłaczania schłodzonych wód termalnych. Praca w dublecie polega na wydobywaniu wody termalnej za pomocą otworu wydobywczego i po jej schłodzeniu w wymiennikach ciepła, ponownym zatłoczeniu do tej samej warstwy wodonośnej, z której została wcześniej wydobyta. Możliwość ponownego zatłoczenia schłodzonych wód termalnych do górotworu determinuje ilość pozyskiwanego ciepła geotermalnego. Problemy z zatłaczaniem schłodzonych wód wynikają głównie z rozwijających się procesów kolmatacyjnych (Kępińska i Bujakowski red. 2011). Objawiają się one poprzez wytrącanie się różnych związków chemicznych z zatłaczanej wody. Produkty kolmatacji osadzają się na rurach okładzinowych, filtrach oraz w strefie złożowej. Produkty te powodują stopniowe obniżanie się wydajności zatłaczania przy jednoczesnym wzroście ciśnienia w całej instalacji geotermalnej.

Problemy z kolmatacją ma również ciepłownia geotermalna w Pyrzycach. Jest to na terenie Nizy Polskiego pierwsza ciepłownia geotermalna, która powstała jako komercyjne źródło ciepła dla miasta Pyrzyce. Pracuje ona w systemie biwalentnym, czyli poza okresem grzewczym pracuje jako geotermalna, natomiast w okresie grzewczym jej praca wspomagana jest kotłami opalonymi gazem ziemnym.

Zgodnie z założeniami projektowymi ciepłownia geotermalna w Pyrzycach miała pracować na podstawie dwóch dubletów geotermalnych. W skład instalacji geotermalnej wchodzi dwa otwory wydobywcze Pyrzyce GT-1 i Pyrzyce GT-3 oraz dwa otwory chłonne Pyrzyce GT-2 i Pyrzyce GT-4 (rys. 1).



Rys. 1. Uproszczony schemat obiegu wody termalnej w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach

Fig. 1. Simplified scheme of geothermal water circulation in the geothermal heating plant in Pyrzyce

Proces technologiczny polega na wydobyciu otworami wydobywczymi Pyrzyce GT-1 i Pyrzyce GT-3 wody termalnej o temperaturze 61°C (w złożu 64°C) i wydajności $340\text{ m}^3/\text{h}$ (po $170\text{ m}^3/\text{h}$ z każdego z otworów wydobywczych). Woda wydobywana jest za pomocą pomp głębinowych zamontowanych w otworach wydobywczych na głębokości 110 m. Tymi samymi pompami gorąca woda przetłaczana jest następnie do hali ciepłowni, gdzie przepływając przez wymienniki ciepła, jest schładzana średnio do temperatury 35°C .

Dalej za pomocą tych samych pomp głębinowych schłodzona woda termalna jest przepompowywana do otworów chłonnych, oddalonych od otworów wydobywczych o około 1500 m, w celu jej ponownego zatłoczenia do górotworu. Dzięki temu praca instalacji geotermalnej w ciepłowni odbywa się w systemie zamkniętym, a zatłoczona do górotworu woda, przepływając w kierunku otworów wydobywczych, ponownie ogrzewa się od skał zbiornikowych.

Przy powyżej określonych parametrach wody termalnej można oszacować, że ciepłownia powinna mieć do dyspozycji około 7,8 MW ciepła geotermalnego, pochodzącego z wnętrza Ziemi. Na etapie projektów założono, że wodę termalną przy pomocy absorpcyjnych pomp ciepła można będzie schłodzić do temperatury około 20°C. Przy takim schłodzeniu i założonym wcześniej przepływie możliwe byłoby uzyskanie około 12,3 MW ciepła geotermalnego, co miało stanowić około 20% całej mocy zainstalowanej równej 52 MW.

Woda termalna wydobywana jest z głębokości około 1640 m z piaskowców jury dolnej (warstwy mechowskie). Posiada ona mineralizację na poziomie 120 g/dm³. Głównym składnikiem w suchej pozostałości jest chlorek sodu – czyli sól (NaCl). To ze względu na skład chemiczny wydobywanej wody nie może być ona zagospodarowywana w inny sposób, jak tylko przez ponowne jej zatłoczenie do górotworu za pomocą otworów chłonnych. Takie rozwiązanie pociąga za sobą problemy związane z zatłoczeniem wydobytej wody. Ilość pozyskiwanego ciepła geotermalnego w tym przypadku nie zależy od ilości wydobywanej wody, lecz od ilości wody możliwej do zagospodarowania (czyli zatłoczenia).

1. WPŁYW PROCESÓW KOLMATACJI NA EFEKTYWNOŚĆ PRACY CIEPŁOWNI GEOTERMALNEJ W PYRZYCACH

Procesy kolmatacji objawiające się stopniowym spadkiem chłonności otworu zatłaczającego są podstawowym problemem niemalże wszystkich ciepłowni geotermalnych nie tylko na Niżu Polskim (Biernat i in. 2009; Parecki i in. 2007), ale także w Europie i na świecie. Ciepłownie geotermalne pracujące na Niżu Polskim zatłaczają schłodzone wody termalne do kolektorów porowych wykształconych w piaskowcach. Pory charakteryzują się małą objętością oraz mało efektywnymi połączeniami hydraulicznymi. Przeważnie porowatość efektywna ujmowanych piaskowców nie przekracza 20%. Powoduje to ogromne problemy z zatłaczaniem schłodzonych wód termalnych. Zatłaczanie schłodzonych wód termalnych do węglanowych skał zbiornikowych typu szczelinowego (Podhale, Sudety) jest znacznie mniej kłopotliwe niż zatłaczanie do skał piaskowcowych typu porowego, które są ujmowane w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach.

Na procesy kolmatacji otworów chłonnych składa się kilka przyczyn. Jedną z nich jest korozja rur okładzinowych (Banaś i in. 2007; Biernat i in. 2010a) oraz przede wszystkim kolmatacja warstwy złożowej (Biernat i in. 2010b). W wyniku postępującej kolmatacji następuje zwężanie się średnicy wewnętrznej otworu chłonnego oraz zatykanie się stref czynnych filtrów, obsypek i skał zbiornikowych (Barkman i in. 1972). Wszystkie te przyczy-

ny doprowadzają do zatykania porów i szczelin poziomu wodonośnego cząstkami stałymi, a tym samym do zmniejszenia chłonności strefy przyodwiertowej i skał zbiornikowych. Promień strefy przyodwiertowej o przepuszczalności skał zmniejszonej w skutek postępującej kolmatacji może wynieść od kilku centymetrów do kilku metrów (Wirght i in. 1989).

Podstawowym mechanizmem kolmatacji strefy przyodwiertowej (złożowej) jest wytrącanie się substancji osadotwórczych z wody termalnej. Podczas schładzania wody termalnej między innymi w wymiennikach ciepła zachodzą reakcje fizykochemiczne, w wyniku których następuje wtórne wytrącanie się związków chemicznych m.in. trudno rozpuszczalnych soli a także, w przypadku dostępu tlenu do rurociągów wód termalnych, również tlenków oraz hydroksytlenków żelaza i manganu. W niektórych przypadkach naruszenia równowagi oksydacyjno-redukcyjnej i termodynamicznej roztworu może następować wytrącanie siarczków żelaza, manganu i miedzi. Szczególnie intensywnie występuje kolmatacja w przypadku zatłaczania do złoża wody termalnej schłodzonej w wymiennikach ciepła. To procesy fizykochemiczne zachodzące w wodzie termalnej, wykorzystanej w procesach energetycznych, są odpowiedzialne za pogarszającą się sprawność geotermalnych otworów chłonnych.

Początki działania ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach to przełom lat 1995/1996. Pierwsze próby obiegu wody w skali przemysłowej podjęto w grudniu 1995 r. Przy wydajności 150 m³/h ciśnienie w otworze zatłaczającym Pyrzyce GT-2 wynosiło 5,3 bar. Zatłaczanie przerwano ze względu na prace wykończeniowe w hali wymiennikowni. Ponownie uruchomienie nastąpiło miesiąc później podczas oficjalnego startu całej ciepłowni geotermalnej. Uzyskano wtedy wydajność zatłaczania 148,6 m³/h przy ciśnieniu ok. 10 barów. Podczas pierwszych miesięcy pracy instalacji geotermalnej wystąpiły 42 przestoje. Po każdym przestoju najczęściej wzrastało ciśnienia zatłaczania. W związku z tym już w październiku 1996 r. wykonano zabiegi czyszczenia mechanicznego i chemicznego otworu chłonnego Pyrzyce GT-2. Po chwilowym uzyskaniu wydajności wody termalnej zbliżonej do początkowej (135 m³/h przy ciśnieniu 5,7 bara) wydajność zatłaczania ponownie zaczęła maleć, a ciśnienie rosnąć. Następnym zabiegiem mającym intensyfikować zatłaczanie do otworu Pyrzyce GT-2 było azotowanie wykonane w listopadzie 1998 i marcu 1999 r. Do czasu tego zabiegu wydajność zatłaczania spadła zaledwie do 10 m³/h przy ciśnieniu ponad 10 barów. Reakcja otworu chłonnego Pyrzyce GT-2 na azotowanie była pozytywna, ale krótkotrwała – wydajność wzrastała do 23 m³/h, a ciśnienie spadło do 6 barów.

W roku 1997 najczęściej spotykanymi wartościami wydajności były 35–55 m³/h przy ciśnieniu 4–6 barów. Lata 1998–1999 charakteryzują się dalszym spadkiem wydajności zatłaczania do przedziału 15–30 m³/h przy wzroście ciśnienia do około 10 barów. W roku 2000 zanotowano kolejny spadek wydajności zatłaczania do około 20 m³/h przy wzroście ciśnienia do około 12 barów.

W 2005 roku wykonano kolejne badania geofizyczne w otworze Pyrzyce GT-2 oraz czyszczenie mechaniczne i chemiczne części roboczej filtra przy pomocy urządzenia wiertniczego. Pozwoliło to na uzyskanie chłonności 170 m³/h przy ciśnieniu zatłaczania 1,8 bara. Uzyskane parametry były lepsze niż te uzyskane podczas prac dokumentacyjnych w trakcie

pompowań pomiarowych po wykonaniu otworu Pyrzyce GT-2. Jednak dłuższa eksploatacja powodowała stały spadek wydajności i wzrost ciśnienia zatłaczania.

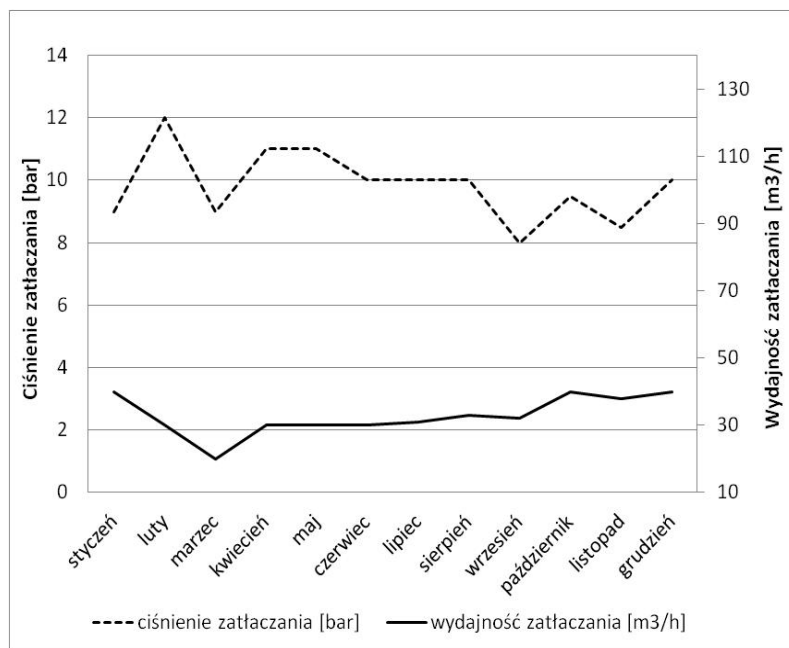
Na przełomie lat 1995/1996 w otworze chłonnym Pyrzyce GT-4 przeprowadzono pompowania eksploatacyjno-zatłaczające. Uzyskano wydajność 143 m³/h przy stabilizacji ciśnienia na poziomie 3,7 bara. Po krótkim okresie eksploatacji zaobserwowano spadek wydajności i znaczny wzrost ciśnienia zatłaczania. W związku z tym już w październiku 1996 roku zostały wykonane zabiegi czyszczenia mechanicznego oraz chemicznego, które pozwoliły uzyskać wydajność zatłaczania w ilości 170 m³/h przy podciśnieniu. Kolejne lata pracy otworu Pyrzyce GT-4 odznaczały się stabilnymi parametrami. Było to około 100 m³/h zatłaczanej wody termalnej przy ciśnieniu 6 barów. Znaczne pogorszenie stanu technicznego otworu zaobserwowano w 2004 roku. Prace rekonstrukcyjne przeprowadzone w 2005 roku polegały na mechanicznym i chemicznym czyszczeniu filtra i przyniosły efekt w postaci wzrostu wydajności zatłaczania do 100 m³/h przy zerowym ciśnieniu zatłaczania (podciśnienie). Podobnie jak w przypadku wcześniejszych zabiegów i te przynosiły efekt krótkotrwały – wydajności malały przy rosnących ciśnieniach zatłaczania. Zarówno w otworze Pyrzyce GT-2, jak i otworze Pyrzyce GT-4 nagły wzrost ciśnienia zatłaczania pojawiał się po przestojach w działaniu obiegu geotermalnego.

W latach 2008–2009 w otworach chłonnych Pyrzyce GT-2 i Pyrzyce GT-4 rury okładzinowe wyłożono rurami HDPE. Celem tego zabiegu były wyeliminowanie zjawiska korozji stalowych rur okładzinowych. Nie wpłynęło to na jednak na poprawę parametrów zatłaczania (Noga i in. 2012). W dalszym ciągu wydajność zatłaczania malała, a ciśnienie w instalacji geotermalnej rosło.

Aby utrzymać wydobywanie wody termalnej otworu Pyrzyce GT-1 przy wydajności 130 m³/h, zdecydowano się w 2010 roku na zamianę otworu wydobywczego Pyrzyce GT-3 na otwór chłonny. W 2010 roku wydajność zatłaczania do otworu Pyrzyce GT-2 zmieniała się od 20 do 40 m³/h przy ciśnieniach zatłaczania 8–12 barów (rys. 2). Wydajność zatłaczania do otworu Pyrzyce GT-4 zmieniała się w zakresie 40–60 m³/h przy ciśnieniu zatłaczania 8–13 barów (rys. 3). Pozostałą wydobytą wodę termalną w ilościach 40–60 m³/h trzeba było zatłaczać do otworu Pyrzyce GT-3.

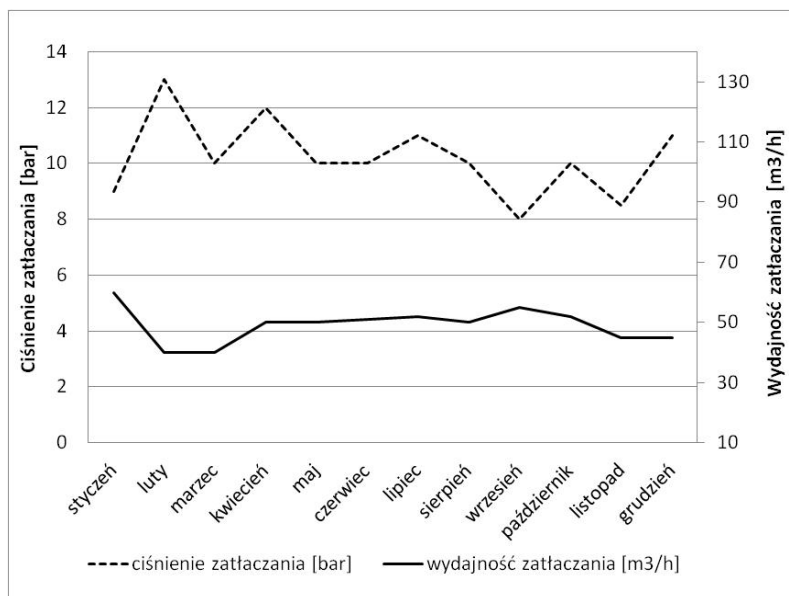
Zatłaczanie wód schłodzonych do otworu Pyrzyce GT-3 wpłynęło negatywnie na temperaturę wód ujmowanych pobliskim otworem Pyrzyce GT-1. Odległość pomiędzy otworem Pyrzyce GT-1 a Pyrzyce GT-3 wynosi około 300 m. Przed przystąpieniem do zatłaczania schłodzonych wód do otworu Pyrzyce GT-3 temperatura wydobywanej za pomocą otworu Pyrzyce GT-1 wody termalnej wynosiła 61°C. Po około 5 latach od włączenia otworu Pyrzyce GT-3 jako chłonnego temperatura wydobywanej wody termalnej zmniejszyła się do wartości około 58°C.

Mimo iż od czerwca 2016 roku otwór Pyrzyce GT-3 nie jest wykorzystywany jako otwór chłonny i nie zatłacza się do niego schłodzonych wód, temperatura eksploatowanej wody termalnej w dalszym ciągu utrzymuje się na poziomie 58°C. Jak widać, ponad rok eksploatacji nie pozwolił na odbudowę pierwotnej temperatury wody termalnej uzyskiwanej otworem Pyrzyce GT-1. Można zatem powiedzieć, że problemy z kolmatacją w sposób pośredni



Rys. 2. Parametry pracy otworu chłonnego Pyrzyce GT-2 w 2010 roku

Fig. 2. Parameters of injection well Pyrzyce GT-2 in 2010



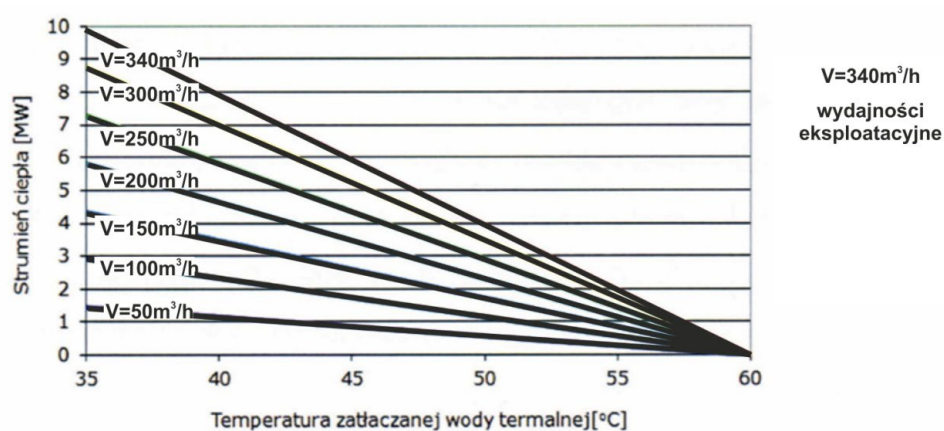
Rys. 3. Parametry pracy otworu chłonnego Pyrzyce GT-4 w 2010 roku

Fig. 3. Parameters of injection well Pyrzyce GT-4 in 2010

wpłynęły na temperaturę ujmowanej wody termalnej. Zamiana roli otworu wydobywczego Pyrzyce GT-3 na otwór chłonny została wymuszona przez procesy kolmatacji otworów zaprojektowanych jako chłonne.

Ilość pozyskiwanego ciepła geotermalnego jest uzależniona głównie od temperatury wydobywanej i zatłaczanej wody termalnej oraz ilości zatłaczanej wody termalnej (rys. 4). W ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach wpływ kolmatacji na sprawność pozyskiwania ciepła geotermalnego objawia się:

- bezpośrednio poprzez obniżenie wydajności zatłaczanej wody termalnej,
- pośrednio poprzez obniżenie temperatury wydobywanej wody termalnej.



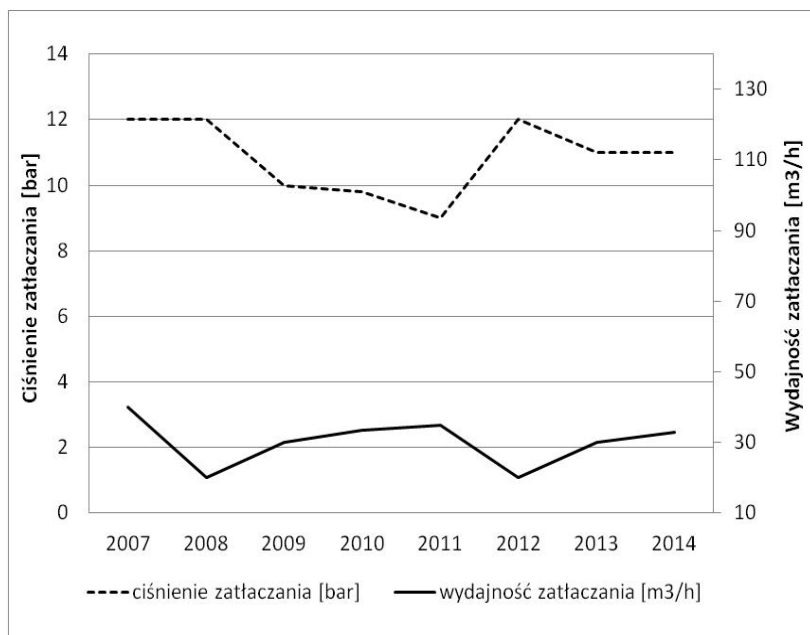
Rys. 4. Możliwości pozyskiwania ciepła geotermalnego przy różnych przepływach i temperaturach zatłaczania wody termalnej

Fig. 4. Possibility of geothermal heat acquisition at different flows and temperatures of injected geothermal water

Na potrzeby przeprowadzenia analizy wpływu procesów kolmatacyjnych na sprawność pracy ciepłowni geotermalnej założono, że średnia temperatura zatłaczanej wody termalnej wynosi 35°C. Średnie temperatury zatłaczania wody termalnej zależą od pory roku. Najniższe temperatury notowane są w okresie zimy (sezon grzewczy), kiedy odbiór ciepła geotermalnego wspomagany jest za pomocą absorpcyjnej pompy ciepła, natomiast najwyższe latem, kiedy zapotrzebowanie na ciepło jest najniższe.

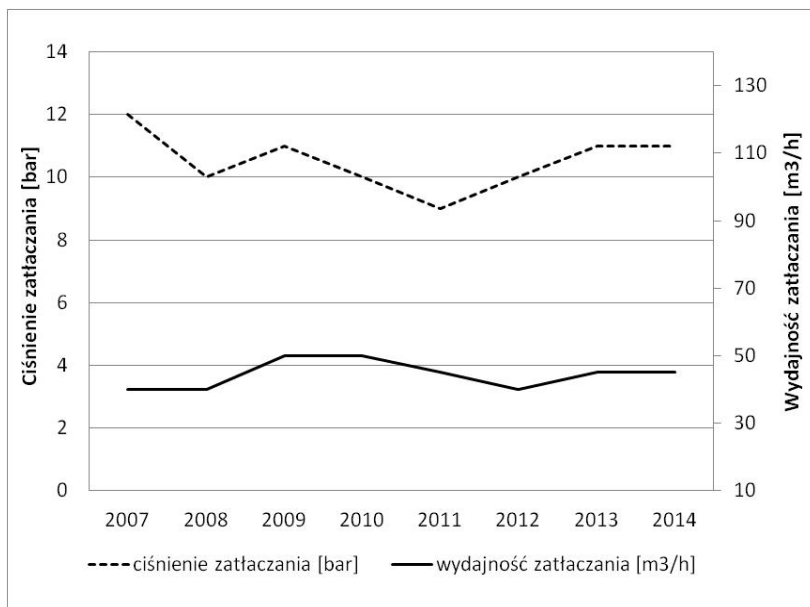
Analizując pracę ciepłowni geotermalnej w latach 2007–2014 można zauważyć, że otwory chłonne są w coraz gorszej kondycji. Za pomocą otworu Pyrzyce GT-2 można zatłaczać średnio około 20–40 m³/h przy ciśnieniu około 9–12 barów (rys. 5). Za pomocą otworu chłonnego Pyrzyce GT-4 można zatłaczać około 40–50 m³/h przy ciśnieniu około 9–12 barów (rys. 6).

Dodatkowo w celu utrzymania zakładanej wydajności zatłaczania prowadzone były okresowe czyszczenia otworów chłonnych za pomocą metody kwasowania (Parecki i in. 2007). Zabiegi te pozwalały na chwilowe obniżenie ciśnienia zatłaczania i zwiększenie wydajności zatłaczania.



Rys. 5. Średnie parametry pracy otworu chłonnego Pyrzyce GT-2 w latach 2007–2014

Fig. 5. Average working parameters of the injection well Pyrzyce GT-2 in the years 2007–2014



Rys. 6. Średnie parametry pracy otworu chłonnego Pyrzyce GT-4 w latach 2007–2014

Fig. 6. Average working parameters of the injection well Pyrzyce GT-4 in the years 2007–2014

Analizując około 20-letni okres pracy ciepłowni geotermalnej można stwierdzić, że sprawność pozyskiwania ciepła geotermalnego obniża się z roku na rok. W 2010 roku sprawność pozyskiwania ciepła geotermalnego wynosiła jedynie 20% w stosunku do założeń projektowych. Sprawność ta wynika z możliwości chłonnych otworów zatłaczających. W tym momencie ciepłownia geotermalna stanęła przed wizją przekształcenia się w ciepłownię gazową. Z założeń projektowych wynikało, że człon gazowy będzie stanowił szczytowe źródło ciepła, a główny ciężar produkcji ciepła przejmie człon geotermalny.

W związku z tym, że otwory chłonne przyjmowały jedynie około 60 m³/h schłodzonej wody termalnej, nie było potrzeby eksploataowania obydwu otworów wydobywczych (Pyrzyce GT-1 i Pyrzyce GT-3). Na potrzeby członu geotermalnego w zupełności wystarczała woda pozyskiwana z otworu Pyrzyce GT-1 (udokumentowana wydajność 170 m³/h).

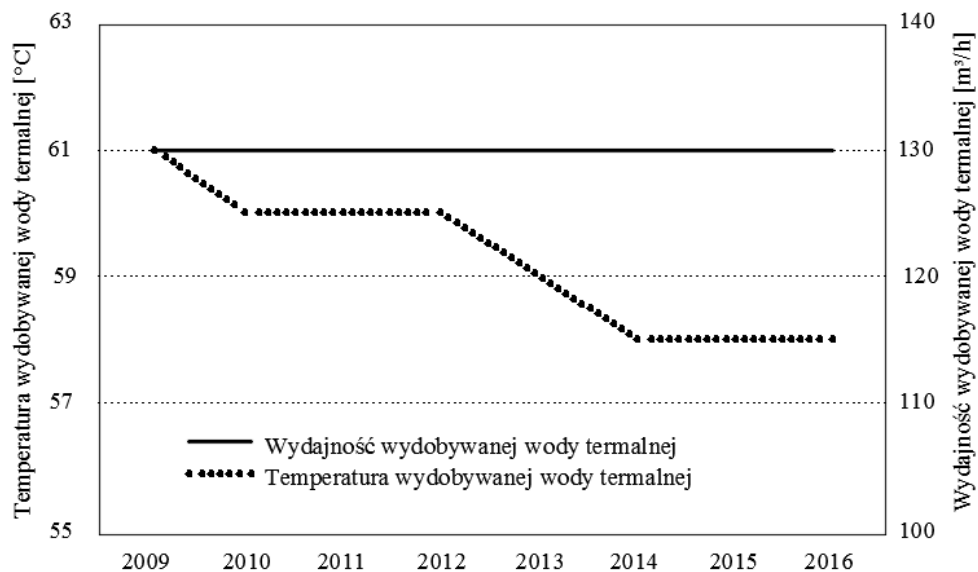
Chcąc w dalszym ciągu utrzymać człon geotermalny, w roku 2010 podjęto decyzję o przekształceniu otworu wydobywczego Pyrzyce GT-3 w otwór chłonny. Dzięki temu zabiegowi uzyskano zatłaczanie na poziomie 90–110 m³/h przy ciśnieniu 9–10 barów. Dzięki zatłaczaniu schłodzonej wody termalnej do 3 otworów chłonnych można pozyskiwać 2–8 MW ciepła geotermalnego. Pozyskiwana ilość ciepła geotermalnego stanowi około 50% ciepła prognozowanego na etapie projektowania ciepłowni.

Niższa sprawność wynika głównie z braku możliwości schłodzenia wody termalnej do zakładanej, na etapie projektowania, temperatury 25°C. Dodatkowo na przestrzeni lat w miejscowości Pyrzyce dokonano szeregu inwestycji związanych z termoizolacją budynków. Te zabiegi spowodowały obniżenie zapotrzebowania na ciepło.

Zamiana otworu wydobywczego Pyrzyce GT-3 w otwór chłonny nie odbyła się bez konsekwencji dla instalacji geotermalnej. Odległość otworu Pyrzyce GT-3 od otworu Pyrzyce GT-1 wynosi około 300 m. Odległość ta nie miała większego znaczenia w momencie projektowania otworów. Zarówno otwór Pyrzyce GT-1 jak i otwór Pyrzyce GT-3 były otworami wydobywczymi. Właściwości kolektorskie ujmowanej warstwy pozwalały na tak małą odległość między nimi.

Po zmianie roli otworu Pyrzyce GT-3 okazało się, że odległość ta jest zbyt mała. Po 4 latach zatłaczania schłodzonej wody do otworu Pyrzyce GT-3 nastąpiło obniżenie temperatury wody wydobywanej otworem Pyrzyce GT-1 (rys. 7). Na przestrzeni 8 lat temperatura wody obniżyła się z 61 do 58°C (temperatura mierzona na wypływie z otworu). W tym okresie za pomocą otworu Pyrzyce GT-1 wydobywano około 130 m³/h wody termalnej. Obniżenie temperatury wydobywanej wody termalnej nie pozostało obojętne na sprawność członu geotermalnego. Obniżenie temperatury o 3°C spowodowało zmniejszenie się sprawności członu geotermalnego o około 10%.

Kontynuacja zatłaczania schłodzonej wody termalnej do otworu Pyrzyce GT-3 w ilości około 60 m³/h bez wątpienia nie pozostałoby bez wpływu na sprawność członu geotermalnego. Analizując dalsze zatłaczanie schłodzonej wody termalnej do otworu Pyrzyce GT-3 można zauważyć, że w 2017 roku temperatura wydobywanej wody zostałaby prawdopodobnie obniżona do około 57°C.



Rys. 7. Obniżanie się temperatury wody termalnej wydobywanej otworem Pyrzyce GT-1 w latach 2009–2016

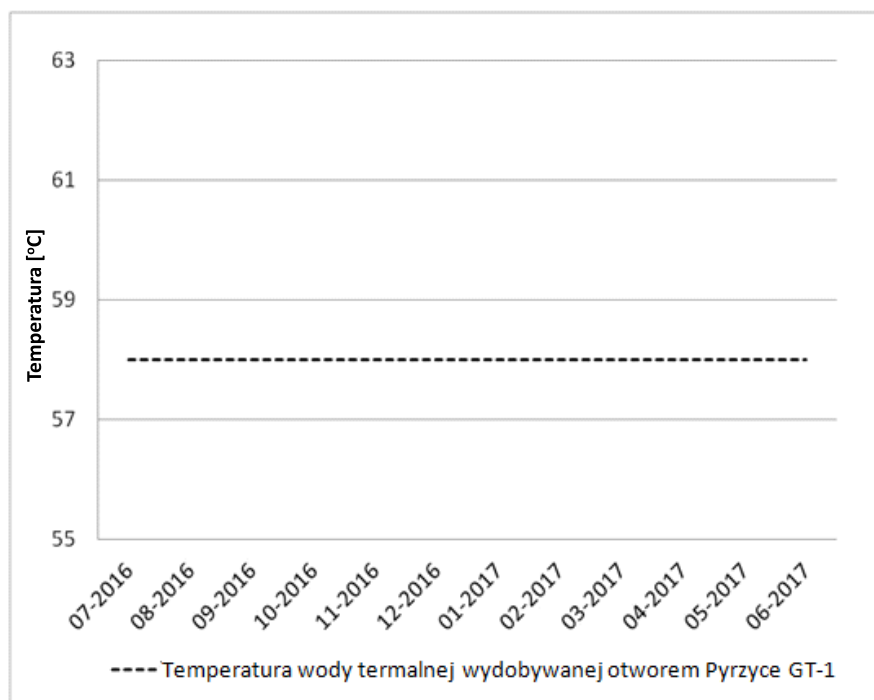
Fig. 7. Temperature drop of geothermal water produced by Pyrzyce GT-1 well in the years 2009–2016

Jak widać, wychładzanie się warstwy złożowej następuje bardzo szybko. Dużo gorzej jest z jej wygrzewaniem się. Jak wykazują analizy (Biernat i in. 2012) przywrócenie temperatury wychłodzonych skał złożowych następuje w dłuższej perspektywie, a przeprowadzone badania potwierdzają również wyniki badań w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach. Podobnie jak w otworze Stargard Szczeciński GT-2 wzrost temperatury schłodzonych skał następuje w długiej perspektywie czasu.

W lipcu 2016 roku z eksploatacji wyłączono otwór Pyrzyce GT-3 (cała wydobywana w ilości 130 m³/h woda jest zatłaczana do otworu Pyrzyce GT-2). Teoretycznie rzecz ujmując, od tego momentu temperatura wody termalnej wydobywanej otworem Pyrzyce GT-1 powinna wzrosnąć i uzyskać temperaturę początkową, czyli 61°C mierzone na głowicy otworu. Tak się jednak nie stało. Temperatura na wypływie z otworu w okresie 1 roku nie uległa zmianie (rys. 8).

2. PRACE ZMIERZAJĄCE DO ZWIĘKSZENIA CHŁONNOŚCI OTWORÓW ZATŁACZAJĄCYCH

W 2015 roku rozpoczęto prace badawcze nad opracowaniem technologii zapobiegania kolmatacji chłonnych otworów geotermalnych. Technologia ta zakładała udroźnienie otworów chłonnych oraz kondycjonowanie wody termalnej. Opracowywana technologia mia-



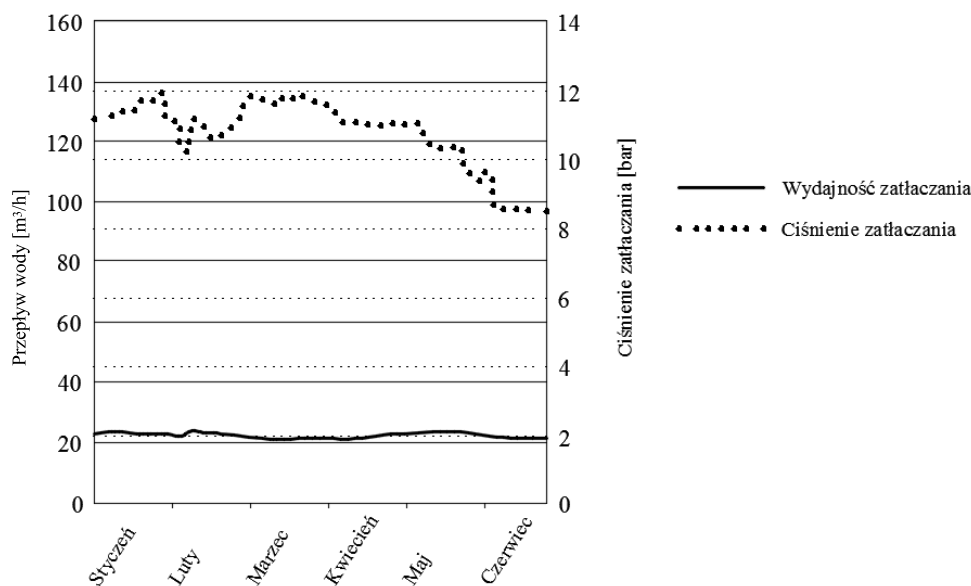
Rys. 8. Temperatura wody termalnej wydobywanej otworem Pyrzyce GT-1 w okresie lipiec 2016–czerwiec 2017

Fig. 8. Temperature of geothermal water produced by the Pyrzyce GT-1 well in the period July 2016–June 2017

ła na celu przywrócenie początkowych parametrów zatłaczania (ok. 120–130 m³/h wody termalnej przy możliwie jak najniższych ciśnieniach) oraz zapewnić trwałość uzyskanych parametrów.

Wcześniejsze próby udrożnienia otworu chłonnego Pyrzyce GT-4 w 2015 roku zakończyły się niepowodzeniem. Prace nad opracowaniem technologii czyszczenia chłonnych otworów geotermalnych w 2016 roku powtórzone zostały w otworze Pyrzyce GT-2. Przed przystąpieniem do prac rekonstrukcyjnych, które zakładały udostępnienie dodatkowych interwałów jury dolnej (wcześniej nieujętych), charakteryzujących się podwyższoną przepuszczalnością, otworem Pyrzyce GT-2 możliwe było zatłoczenie około 20 m³/h przy ciśnieniu bliskim 12 barów (rys. 9).

W początkowej fazie prac w otworze Pyrzyce GT-2 wykonano badania geofizyki otworowej w celu określenia miejsc perforacji rur okładzinowych. Perforacja musiała być wykonana w interwałach, gdzie występuje dobre zawodnienie skał (piaskowców). Docelowo poszukiwane były piaskowce drobnoziarniste i średnioziarniste (tzw. warstwy komorowskie jury dolnej) zalegające nad zafiltrowanymi wcześniej warstwami mechowskimi. Badania geofizyczne polegały na zpuszczeniu na linii karotażowej próbnika promieniowania gamma wraz z mufolokatorem.



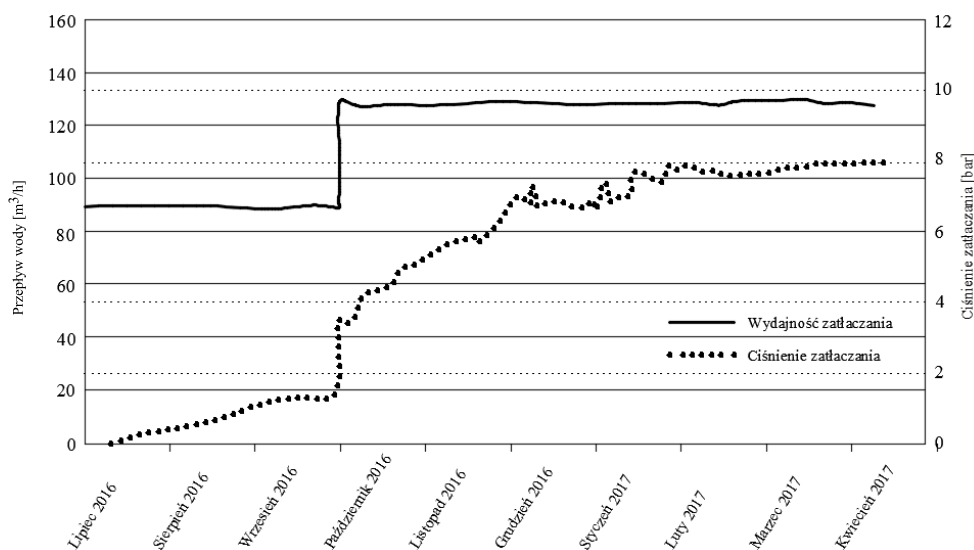
Rys. 9. Wydajność i ciśnienie zatłaczania wody termalnej za pomocą otworu chłonnego Pырzyce GT-2 w okresie od stycznia do czerwca 2016 roku

Fig. 9. Injection capacity and pressure via injection well Pырzyce GT-2 in the period January to June 2016

Perforacja rur okładzinowych miała za zadanie udostępnić warstwę wodonośną wytypowaną w badaniach geofizycznych nad strefą już wcześniej zafiltrowaną. By to zrealizować konieczne było przebicie za pomocą ładunku wybuchowego ścianki otworu, na którą składała się rura HDPE – 10 mm, rura okładzinowa – 10 mm oraz warstwa cementu.

Perforacja rur okładzinowych została wykonana perforatorem rurowym o średnicy 114 mm firmy DYNAenergetics zapuszczonym na przewodzie kablu inicjowanym zapalnikiem elektrycznym Z480 i 0015 FDE. Ładunkami wybuchowymi były ładunki kumulacyjne DYNAenergetics 39g HMXDP2. Gęstość perforacji wynosiła 16,5 przestrzeliny na 1 metr, fazowanie 60°. Zasięg perforacji to 65,4”, a średnica przestrzeliny to 0,47”.

Kolejnym etapem prac było kwasowanie i odpłukanie strefy perforowanej, które miało na celu oczyszczenie jej z pozostałości rur okładzinowych, cementu oraz skał. Wykonano je za pomocą rurek syfonowych zapuszczonych do głębokości wykonania perforacji. Prowadzono strefowe płukania poprzez stopniowe dokładania kolejnych syfonówek. Na każdym poszczególnym etapie płukania rury syfonowe były podciągane i opuszczane z jednoczesnym odsysaniem płynu złożowego aż do uzyskania klarownej cieczy. Po odpłukaniu danej strefy perforowania dokładano kolejne syfonówki, tym samym schodząc do kolejnej strefy. Prace rekonstrukcyjne spowodowały uzyskanie wydajności 90 m³/h przy ciśnieniu poniżej 2 barów (rys. 10). Zwiększenie wydajności do 130 m³/h spowodowało skokowy wzrost ciśnienia zatłaczania do około 3,5 bara, a następnie dalszy, stopniowy wzrost do ok. 8 barów.



Rys. 10. Wydajność i ciśnienie zatłaczania za pomocą otworu chłonnego Pyrzyce GT-2 w okresie od lipca 2016 do kwietnia 2017 roku

Fig. 10. Injection capacity and pressure via the injection well Pyrzyce GT-2 for the period July 2016 to April 2017

3. PRACE ZMIERZAJĄCE DO UTRZYMANIA CHŁONNOŚCI OTWORÓW ZATŁACZAJĄCYCH

Równoległe z pracami rekonstrukcyjnymi prowadzonymi w otworze Pyrzyce GT-2 wykonywane były również badania zmierzające do opracowania składu i stężenia cieczy kondycjonującej zatłaczaną wodę termalną. Celem dozowania tej cieczy było utrzymanie wysokiej sprawności otworu chłonnego.

Woda termalna eksploatowana otworem Pyrzyce GT-1 to wysokozmineralizowana solanka o najwyższych stężeniach chlorków, sodu, wapnia, magnezu i siarczanów. Badania prowadzone na przestrzeni kilkunastu miesięcy pozwoliły na stwierdzenie, że woda ma stały skład chemiczny.

W ramach badań analizowano również skład chemiczny gazu wydobywającego się z wody termalnej. Najwięcej jest w nim azotu oraz dwutlenku węgla. Pozostałe gazy stanowią znikomy procent. Skład gazów jest, tak jak w przypadku składu wody termalnej, stały. Różnice stężeń poszczególnych składowych są bardzo nieznaczne.

Skład chemiczny osadów jest stały co do rodzajów oznaczonych związków, lecz zmienny co do ich ilości. Zawartość poszczególnych związków zależy od miejsca wycięcia próbki z filtra czy od daty poboru. Najwięcej związków tworzących osady związane jest z żelazem – tlenki, wodorotlenki oraz siarczki i związki wapnia.

By jak najszerszej spojrzeć na problem wtórnego wytrącania się osadów, wykonywano również pomiary odczynu pH, potencjału redox, przewodności elektrycznej oraz zawartości tlenu w wodzie termalnej przy otworze wydobywczym Pyrzyce GT-1, w hali ciepłowni oraz na otworze chłonnym Pyrzyce GT-2. Zakresy wyników pomiarów wykonanych na głowicy otworu wydobywczego Pyrzyce GT-1 przedstawiają się następująco: pH (5,7–6,4), redox ((–392)–(–14) mV), konduktywność (172 738–180 691 μ S), zawartość tlenu (0,32–1,2%). Wyniki pomiarów tuż za wymiennikiem ciepła przedstawiają się następująco: pH (5,7–6,3), redox ((–424)–(–141) mV), konduktywność (172 781–180 486 μ S), zawartość tlenu (0,39–1,15%). Wyniki pomiarów przeprowadzone na głowicy otworu chłonnego Pyrzyce GT-2 przedstawiają się następująco: pH (5,7–6,3), redox ((–419)–(–121) mV), konduktywność (173 173–180 228 μ S), zawartość tlenu (0,32–1,13%).

Wymienione zakresy poszczególnych pomiarów próbowano skorelować z parametrami pracy układu geotermalnego, którymi były: ciśnienie zatłaczania na otworze chłonnym, wydajność eksploatacji otworu wydobywczego oraz temperatura wody termalnej. Zależności nie stwierdzono. Przewodność elektryczna, pH, zawartość tlenu oraz redox są w wąskich zakresach i zależą wyłącznie od składu i charakteru fizykochemicznego samej wody termalnej. Nie korelują się z parametrami pracy układu geotermalnego.

Analiza przedstawionych wyników pomiarów wraz z obliczeniami indeksów nasycenia pozwoliły na wytypowania środków chemicznych, które miały zostać przebadane jako potencjalne substancje kondycjonujące wodę termalną.

Analizę wpływu środków chemicznych na zdolność zmodyfikowanej wody termalnej do deponowania osadów przeprowadzono dla próbki wody termalnej pobranej z otworu Pyrzyce GT-1. Została ona pobrana tak, by w jak najmniejszym stopniu miała kontakt z powietrzem atmosferycznym. Taka woda miała następujące parametry „zerowe”: pH – 6,20, mętność – 17 NTU oraz zasadowość ogólną – 3 mmol/l. Są to parametry, których zmiany najłatwiej obrazują zdolność poszczególnych substancji do kondycjonowania wody termalnej. Woda o niższym pH i zasadowości ogólnej ma mniejszą tendencję do deponowania osadów, natomiast wartość mętności pokazuje wprost, jak zmienia się ilość osadów (przejrzystość wody) po dodaniu środka kondycjonującego.

Do tak przygotowanej wody termalnej środki były dozowane w stężeniu 0,25 g lub 0,25 ml na 1 dm³ wody termalnej. Wytypowano do badań substancję o charakterze obojętnym, zasadowym oraz kwasowym.

W wodzie termalnej bez dodatku środka kondycjonującego po dobie widoczne są procesy deponowania osadów. Woda zmienia barwę na czerwono-brązową, która jest spowodowana osadami związków żelaza. Zachowuje wartości pH oraz zasadowość ogólną, natomiast mętność rośnie do około 100 NTU.

Środkami kondycjonującymi w trakcie badań były między innymi: kwas akrylowy 99,5%, kwas mrówkowy 80%, kwas octowy 99,9%, kwas jabłkowy 99%, kwas szczawiowy, kwas wersenowy, kwas winowy, kwas cytrynowy, kwas salicylowy, kwas amidosulfonowy, kwas askorbinowy, kwas walerianowy, kwas solny 35%, chlorowodorek mocznika 1:1, chlorowodorek mocznika 2:1, tiosiarczan sodu oraz kopolimer akrylowy.

Badane substancje spowodowały bardzo różne działanie. Część z nich zahamowała wytrącanie się osadów z wody termalnej, podczas gdy inne doprowadziły do ich szybszego powstawania. Jak wynika z uzyskanych wyników (tab. 1), środkami, które najlepiej kondycjonują wodę termalną, nie pozwalając na wytrącanie się osadów, są kwas mrówkowy 80 %, kwas cytrynowy, kwas amidosulfonowy, kwas askorbinowy, kwas solny 35% oraz chlorowodorek mocznika. Po dodaniu tych środków chemicznych woda pozostaje przezroczysta i nie ma w niej śladów związków żelaza. Wymienione środki zostały zaaprobowane do dalszych testów mających na celu sprawdzić, czy będą rozpuszczać już wytrącone z wody termalnej osady.

Tabela 1

Zestawienie wartości pH, zasadowości ogólnej oraz mętności wody termalnej 24 godziny po dozowaniu wybranych środków chemicznych

Table 1

Comparison of pH value, total alkalinity and turbidity of geothermal water 24 hours after dosing of selected chemical agents

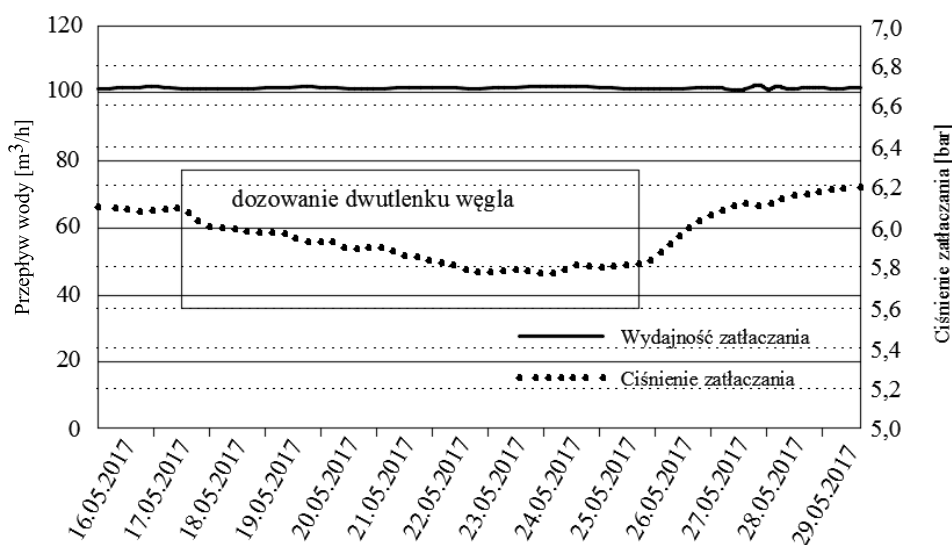
Dozowany środek chemiczny	pH [-]	Zasadowość ogólna [mmol/dm ³]	Mętność [NTU]
Kwas akrylowy 99,5%	4,79	2,20	21,30
Kwas mrówkowy 80%	3,80	<0,4	15,10
Kwas octowy 99,9%	4,74	3,00	20,70
Kwas jabłkowy 99%	4,70	1,60	21,15
Kwas szczawiowy	3,38	<0,4	530
Kwas wersenowy	5,73	2,95	23,58
Kwas winowy	4,73	1,10	22,98
Kwas cytrynowy	4,63	1,72	2,39
Kwas salicylowy	5,72	2,80	25,60
Kwas amidosulfonowy	5,22	4,00	16,50
Kwas askorbinowy	5,74	2,90	1,78
Kwas walerianowy	4,84	3,60	26,60
Kwas solny 35%	5,29	1,20	18,80
Chlorowodorek mocznika 1:1	5,67	2,18	17,70
Chlorowodorek mocznika 2:1	5,39	1,60	18,40
Tiosiarczan sodu	6,16	3,68	93,40
Kopolimer akrylowy	5,74	4,60	29,30

Najskuteczniej pH oraz zasadowość ogólną obniża kwas szczawiowy, jednak w wodzie powstają wtórnie osady soli kwasu szczawiowego (szczawiany), stąd tak wysoka wartość mętności. Również w przypadku kwasu wersenowego, kwasu salicylowego, kopolimeru akrylowego, tiosiarczanu sodu, kwasu akrylowego i kwasu walerianowego powstają wtórne osady (sole danego kwasu), jednak w mniejszej ilości niż w przypadku kwasu szczawiowego. W przypadku dozowania kwasu salicylowego woda termalna zmienia barwę na fioletową.

Jak można zaobserwować, obniżanie pH oraz zasadowości ogólnej nie gwarantuje najlepszego działania środka kondycjonującego. Dodatkowo niższe pH roztworu wody termalnej ze środkiem kondycjonującym może powodować zwiększoną korozyjność rur stalowych używanych w ciepłowniach termalnych i na otworach chłonnych.

W przypadku dozowania dwutlenku węgla, którego do otworu Pyrzyce GT-2 zatłoczono w sumie 35 ton, obserwowano zmianę składu gazu uzyskanego z wody termalnej. W tym przypadku większość stanowił dwutlenek węgla ($1708,723 \text{ g/m}^3$), którego z czystej wody termalnej (przed kondycjonowaniem) wytrącało się około 250 g/m^3 – wtedy azot był głównym składnikiem gazu wydzielającego się z wody termalnej. Zmiana nastąpiła wyłącznie na czas dozowania gazu do obiegu geotermalnego. Zatłaczanie CO_2 spowodowało spadek ciśnienia zatłaczania wody termalnej na otworze Pyrzyce GT-2 oraz zmniejszenie jej pH do 4,43–4,9. Przed dozowaniem CO_2 wydajność zatłaczania wynosiła $130 \text{ m}^3/\text{h}$ przy ciśnieniu na głowicy otworu Pyrzyce GT-2 stopniowo dochodzącym do ponad 9 barów.

Po zatłoczeniu dwutlenku węgla w dniach 17–25 maja 2017 roku ciśnienie na głowicy otworu chłonnego Pyrzyce GT-2 spadło do 5,8 bara, a następnie rosło do 6,2 bara osiągając maksymalnie 7 barów przy wydajności zatłaczania do $100 \text{ m}^3/\text{h}$ (rys. 11). Do końca sierpnia 2017 roku ciśnienie zatłaczania na głowicy otworu Pyrzyce GT-2 nie przekroczyło 7,5 bara. W czasie dozowania dwutlenku węgla ciśnienie na głowicy otworu Pyrzyce GT-2 utrzymywało się na stałym poziomie, by po zakończeniu dozowania zacząć nieznacznie rosnąć.



Rys. 11. Wydajność i ciśnienie zatłaczania wody termalnej za pomocą otworu Pyrzyce GT-2 w okresie dozowania dwutlenku węgla

Fig. 11. Geothermal water injection capacity and pressure with by the Pyrzyce GT-2 well during the carbon dioxide dosing period

Na tym etapie o skuteczności stosowanych środków może świadczyć również częstość wymiany filtrów. Przed rozpoczęciem testowania filtry workowe wymieniane były co

8–10 dni. Podczas dozowania wytypowanych środków kondycjonujących filtry workowe pracują nawet powyżej 30 dni. Zaprzestanie testów ponownie powoduje konieczność częstszego wymieniafiltrów. Podobnie sytuacja wygląda z filtrami świecowymi. Bez dozowania cieczy kondycjonującej ich żywotność wynosi około 3 tygodni. W trakcie prowadzenia testów filtry świecowe pracują powyżej 6 tygodni bez konieczności ich wymiany.

PODSUMOWANIE

Na przestrzeni lat działania Geotermii Pyrzyce Sp. z o.o. procesy kolmatacji doprowadzały do znacznych problemów z chłonnością otworów zatłaczających. Uzyskiwano mniejszą produkcję ciepła z członu geotermalnego, co wiązało się z koniecznością zakupów większej ilości gazu ziemnego, by sprostać zapotrzebowaniu na ciepło. Poza tym, by zapewnić jakiegokolwiek działanie dubletu geologicznego, dokonywano szeregu prac usprawniających zatłaczanie, co wiązało się dodatkowymi, nierzadko znaczącymi, kosztami.

Wpływ procesów kolmatacji na sprawność ciepłowni geotermalnej jest na tyle znaczący, że zasadne jest kontynuowanie badań na ten temat. Obecne technologie stosowane w celu poprawy chłonności są nieskuteczne lub skuteczne w ograniczonym stopniu. Zapewniają krótkotrwałą poprawę parametrów zatłaczania bez trwałych efektów, które pozwoliłyby na planowanie rozwoju pozyskiwania ciepła z członu geotermalnego.

W ramach przeprowadzonych badań opracowano technologię zapobiegania kolmatacji chłonnych otworów geotermalnych. Opracowana technologia powoduje przedłużenie dobrej sprawności geotermalnych otworów chłonnych. Do tej pory problemem niemalże wszystkich ciepłowni geotermalnych eksploatujących wodę termalną z utworów porowych i pracujących za pomocą dubletów geotermalnych (otwór wydobywczy i otwór chłonny) była bardzo szybka kolmatacja (zatykanie się) otworów chłonnych. Otwory zatykane są różnymi związkami chemicznymi wytrącającymi się z zatłaczanej wody termalnej. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest zmiana ciśnienia złożowego oraz schłodzenie na wymiennikach ciepła wydobywanej z głębokości poniżej 1000 m wody termalnej. Następują wtedy zmiany przesunięć równowag termodynamicznych w wodzie termalnej, które powodują wtórne wytrącanie się związków osadotwórczych. W związku z postępującymi procesami kolmatacji maleje wydajność wydobywanej wody przy jednoczesnym zwiększaniu się ciśnienia zatłaczania schłodzonej wody termalnej. Zmniejszająca się wydajność przekładała się na ilość ciepła pozyskiwanego z odnawialnego źródła energii, jakim jest woda termalna. Zmniejszająca się sukcesywnie ilość czystego ciepła geotermalnego wiąże się ze zwiększonym udziałem w bilansie energetycznym ciepła pochodzącego ze spalania paliw kopalnych (np. węgiel kamienny lub gaz ziemny). Konieczność zwiększonego spalania paliw kopalnych wiąże się ze zwiększoną emisją gazów cieplarnianych do atmosfery. Procesy kolmatacji niemalże całkowicie zatykają otwory chłonne w ciągu kilku tygodni. Przykładowo w ciepłowni geotermalnej w Pyrzcach wydajność zatłaczania z ilości 170 m³/h zmniejsza się do około 20 m³/h w ciągu 3–4 tygodni.

Opracowana technologia zapobiegania kolmatacji chłonnych otworów geotermalnych może być stosowana w każdym chłonnym otworze geotermalnym. Może ona być stosowana zarówno w otworach nowych, jak i otworach starych, w których zaistniały już procesy kolmatacji.

Opracowana technologia zapobiegania kolmatacji chłonnych otworów geotermalnych łączy ze sobą odpowiednio dobraną technologię eksploatacji wody oraz jej kondycjonowanie. Technologia eksploatacji polega głównie na ustabilizowaniu pracy ciepłowni przy doborze odpowiednich ciśnień oraz przepływów wody. Istotne znaczenie ma również sposób włączania eksploatacji po zatrzymaniu pompy głębinowej, np. w wyniku zaniku napięcia lub awariami na rurociągach. Podczas stosowania opracowanej technologii muszą być zachowane wszystkie wdrożone procedury związane z wymogami dotyczącymi odpowiedniego odpowietrzania instalacji.

Kondycjonowanie wody termalnej polega na dozowaniu do niej różnych związków chemicznych, które powodują ograniczenie wytrącania się związków chemicznych ze schłodzonej wody termalnej. Planowany efekt dla ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach osiągnięto po zastosowaniu kilku preparatów chemicznych. Podstawowym składnikiem płynu kondycjonującego jest dwutlenek węgla. Dodatkowo stosowany jest antyskalant i dyspergator. Płyn kondycjonujący dozowany jest do rurociągu wody termalnej w ruchu ciągłym podczas normalnej pracy ciepłowni geotermalnej. Poszczególne preparaty stanowiące płyn kondycjonujący dozowane są w różnych miejscach, odpowiednio dobranych na instalacji geotermalnej. Przykładowo jeden z preparatów dozowany jest tuż za wymiennikiem ciepła, czyli w punkcie, w którym najprawdopodobniej następuje intensyfikacja wytrącania się różnych związków ze schłodzonej wody termalnej.

W przypadku otworów już zniszczonych procesami kolmatacji opracowaną technologię należy rozszerzyć o gruntowne czyszczenie otworu chłonnego. W ramach prowadzonych badań również opracowano nowatorską metodę czyszczenia otworów chłonnych. Metoda ta polega na połączeniu mechanicznego i chemicznego czyszczenia.

Skuteczność opracowanej technologii udokumentowano podczas badań prowadzonych bezpośrednio na instalacji geotermalnej w ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach. Potwierdzono, że otwór chłonny o wydajność około 20 m³/h i ciśnieniu zatłaczania 12 barów można oczyścić i usprawnić do wydajności 130 m³/h przy ciśnieniu zatłaczania nieprzekraczającym 7 barów. Udowodniono również, że efekt czyszczenia może być utrzymany na stałym poziomie przez okres co najmniej dwóch lat. W tym czasie wyeliminowane zostały wszelkie inne zabiegi związane z przywracaniem otworu do jakiegokolwiek sprawności – jak to miało dotychczas miejsce. W przeszłości do utrzymania sprawności otworów chłonnych na poziomie 20–40 m³/h stosowane były metody chemiczne, które były wykonywane 1–2 razy w miesiącu.

Prezentowane w pracy wyniki badań uzyskano w ramach realizacji projektu pn. „Nowa technologia zapobiegania kolmatacji chłonnych otworów geotermalnych” dofinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach programu GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych. Umowa nr GEKON1/O4/214087/42/2015.

LITERATURA

- Banaś i in. 2007 – Banaś, J., Mazurkiewicz, B. i SolarSKI, W. 2007. Korozja metali w wodach geotermalnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 2, s. 5–12.
- Barkman, J.H. i Davidson, D.H. 1972. Measuring water quality and predicting well important. *Journal of Petroleum Technology* July 1972.
- Biernat i in. 2009 – Biernat, H., Kulik, S. i Noga, B. 2009. Możliwości pozyskiwania energii odnawialnej i problemy związane z eksploatacją ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych. *Przegląd Geologiczny* t. 57, nr 8, s. 655–656.
- Biernat i in. 2010a – Biernat, H., Kulik, S., Noga, B. i Kosma, Z. 2010a. Problemy korozji przy zatłaczaniu wykorzystanych wód termalnych. *Modelowanie Inżynierskie* t. 8, nr 39, s. 13–18.
- Biernat i in. 2010b – Biernat, H., Kulik, S., Noga, B. i Kosma, Z. 2010b. Problemy inkrustacji przy zatłaczaniu wykorzystanych wód termalnych. *Modelowanie Inżynierskie* t. 8, nr 39, s. 7–12.
- Biernat i in. 2012 – Biernat, H., Noga, B. i Kosma, Z. 2012. Eksploatacja wody termalnej przed i po zmianie roli otworu chłonnego na otwór eksploatacyjny na przykładzie Geotermii Stargard Szczeciński. *Modelowanie Inżynierskie* nr 44, s. 15–20.
- Kępińska i in. 2011 – Kępińska, B. red.nauk., Bujakowski, W. red.nauk., Bielec, B., Tomaszewska, B., Banaś, J., SolarSKI, W., Mazurkiewicz, B., Pawlikowski, M., Pająk, L., Miecznik, M., Balcer, M. i Hołojuch, G. 2011. *Wtyczne projektowe poprawy chłonności skał zbiornikowych w związku z zatłaczaniem wód termalnych w polskich zakładach geotermalnych*. Kraków: Wydawnictwo EJB, s. 236.
- Noga i in. 2012 – Noga, B., Biernat, H., Martyka, P. i Saletowicz, G. 2012. *Program prac dla poprawy chłonności i zapobiegania kolmatacji warstwy złożowej w otworach chłonnych poprzez wykonanie zabiegów intensyfikujących z dozowaniem preparatów kondycjonujących w Ciepłowni Geotermalnej Pyrzyce*.
- Parecki, A. i Biernat, H. 2007. Próba rozwiązania problemów towarzyszących eksploatacji ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 2, s. 107–110.
- Wirght, C.C. i Chilingarian, G.V. 1989. Water quality for subsurface injection. [W:] *Surface operations for petroleum*, II. Eds. Chilingarian, Robertson, Kumar: Developments in Petroleum Science. Elsevier.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE ABSORPTION CAPACITY OF INJECTION OPENINGS ON THE EXAMPLE OF A GEOTHERMAL HEATING PLANT IN PYRZYCE

ABSTRACT

As part of the work presented, the absorption capacity of the injection boreholes in the geothermal heat plant in Pyrzyce was analyzed. The absorption capacity of two wells was 340 m³/h at the pressure of about 4 bar. In a very short time this efficiency decreased to around 60 m³/h at the injection pressure frequently exceeding 12 bar. This situation lasted for about 20 years. Attempts to improve the absorbency were short-lived and did not improve the efficiency of the lymphatic openings. It was not until 2016 that the Pyrzyce GT-2 lymphatic bore was effectively drilled for a long time that the reconstructions achieved an injection rate of 130 m³/h into one bore at a pressure not exceeding 7 bar. The effect obtained was kept almost constant for over two years through the use of various chemical preparations dosed into the injected thermal water. The conducted research contributed to increasing the efficiency of the operation of the geothermal heating plant in Pyrzyce.

KEYWORDS

Absorbers, injection, plugging, geothermal heating, geothermal energy