

Wiesław BUJAKOWSKI
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków
e-mail: w.bujakowski@min-pan.krakow.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2015

REKONSTRUKCJA ODWIERTU MSZCZONÓW IG-1 NA TLE INNYCH, WYBRANYCH REKONSTRUKCJI OTWORÓW GEOTERMALNYCH

STRESZCZENIE

Rekonstrukcja odwiertu Mszczonów IG-1 była pierwszą w Polsce kompletną rekonstrukcją starego, zlikwidowanego odwiertu. Odwiert ten prowadzony przez Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy (ówczesny Instytut Geologiczny), wykonany został do głębokości 4119 m p.p.t. w 1976/1977 roku i po przeprowadzeniu planowanych badań, zlikwidowany do stanu uniemożliwiającego naoczną lokalizację. Po dwudziestu latach został poddany kompletnej rekonstrukcji i oddany do użytku w 2000 roku, pełniąc funkcję ujęcia wód geotermalnych dla trzeciego w Polsce Zakładu Geotermalnego w Mszczonowie prowadzonego przez Geotermię Mazowiecką S.A. W artykule przedstawiono przebieg rekonstrukcji oraz główne wyniki prac wykonanych w trakcie tych prekursorskich działań przeprowadzonych przez zespół Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN z Krakowa oraz Geotermię Mazowiecką S.A. Tło opisu stanowią przykłady kilku wybranych rekonstrukcji przeprowadzonych w Polsce, jakkolwiek ich zakres był znacząco węższy i przez to mniej wymagający od prac wykonanych w Mszczonowie. Przykłady te dotyczą odwiertów istniejących, uszkodzonych bądź też nowych.

SŁOWA KLUCZOWE

Energia geotermalna, rekonstrukcja odwiertów, Mszczonów

* * *

WPROWADZENIE

Według Słownika języka polskiego (www.sjp.pwn.pl) definicja pojęcia rekonstrukcji obejmuje odtworzenie czegoś nieistniejącego lub odnowienie czegoś zniszczonego. W aspekcie geotermalnym dotyczy ona trzech obszarów działań na odwiercie, tj:

- odtworzenia obiektu zniszczonego lub zlikwidowanego,
- odnowienie istniejącego obiektu,
- naprawa całego lub części istniejącego obiektu.

Zgodnie z tym możemy wydzielić kompletną lub częściową rekonstrukcję takich obiektów jak odwierty geologiczne. Rekonstrukcja odwiertu obejmuje wiele czynności prowadzących do poprawy lub naprawy jego stanu technicznego konstrukcji wgłębnej i powierzchniowej przygotowując w ten sposób odwiert do pracy.

Stare, istniejące niekiedy od dziesiątek lat, odwierty wykonywane były do innych celów niż eksploatacji wód geotermalnych. Z tego względu mają zwykle konstrukcję, a szczególnie zarurowanie, uniemożliwiające ich prostą adaptację do celów geotermalnych. Szacuje się, że spośród kilku tysięcy głębokich odwiertów istniejących na obszarze Polski, tylko niewielki procent nadaje się do odzyskania i zagospodarowania. Z dużą pewnością można stwierdzić, że liczba ta jeszcze ulegnie zmniejszeniu na etapie szczegółowej analizy dostępnych dokumentacji. Niemniej jednak zagospodarowanie starych odwiertów może być bardzo atrakcyjne głównie z ekonomicznego punktu widzenia. Z doświadczenia wynika, iż do celów rekonstrukcji mogą nadawać się przede wszystkim odwierty wykonane na podstawie projektów Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB), odwierty takie mają w nazwie rozszerzenie „IG” lub „PIG”. Wynika to z faktu, że często były to wiercenia o charakterze badawczo-rozpoznawczo-strukturalnym i dlatego zwykle były wiercone do większych głębokości, większymi średnicami i pełniej opróbowywane w porównaniu do wierceń wykonywanych dla przemysłu naftowego. Aczkolwiek zdarza się, że i odwierty naftowe mogą spełniać kryteria rekonstrukcji, czego przykładem jest projekt rekonstrukcji odwiertu naftowego Kompina 2.

1. PRZYKŁADY WYBRANYCH REKONSTRUKCJI POLSKICH ODWIERTÓW GEOTERMALNYCH

Odwierty, w których zrealizowano lub zaprojektowano prace rekonstrukcji można podzielić na cztery grupy w zależności od skali i zakresu tych prac:

Grupa I. Odwierty objęte kompletną rekonstrukcją – po wykonaniu poddane zostały całkowitej likwidacji z rekultywacją terenu i likwidacją miejsca wiercenia, np.:

- odwiert Mszczonów IG-1 (wykonany w 1977 r. – zrekonstruowany w 1999 r.),
- odwiert Kompina 2 (z 1981 r. – z zaprojektowaną rekonstrukcją w 2009 r.).

Grupa II. Odwierty tzw. zastawione, czasami z udokumentowanymi zasobami wód geotermalnych i posiadające wyposażenie powierzchniowe, do tej grupy zaliczono np.:

- odwiert Bańska IG-1 (wykonany w 1981 r. – zrekonstruowany i uruchomiony w 1993 r.),
- odwiert Poręba Wielka IG-1 (z 1975 r. – zrekonstruowany w 2010 r.),
- dublet odwiertów Skierniewice GT-1 i Skierniewice GT-2 (odpowiednio z 1991 i 1997 r. – z projektem wykorzystania z 2011 r.),
- 3 odwierty w Uniejowie (wykonane po 1978 r. – uruchomione w 2001 r.).

Grupa III. Odwierty które uległy uszkodzeniu w trakcie kilkuletniej pracy w systemie dubletu eksploatacyjno-chłonnego lub w których znacząco obniżyły się parametry złożowe np.:

- odwiert Biały Dunajec PAN-1 (wykonany w 1990 r. – uruchomiony w 1993 r. naprawiany w 2011 r. i w 2014 r.),
- 4 odwierty w Pyrzycach (wykonane po 1992 r. – uruchomione w 1997, później kilkakrotnie modyfikowane i uzdatniane),
- odwiert Stargard Szczeciński GT-2 (wykonany w 2005 r. – naprawiany w 2012 r.).

Grupa IV. Odwierty, które nie osiągnęły celu geologicznego i zostały poddane rekonstrukcji w kierunku wykorzystania innego niż jako ujęcie wód np. jako wgłębnego otworowego wymiennika ciepła np.:

- odwiert Czarny Potok GT-1 w Krynicy (wykonany w 2011 i z zaprojektowaną rekonstrukcją z 2012 r.).

Dla każdego z wymienionych obiektów zakres prac rekonstrukcyjnych był inny. Największy zakres miała rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1, który po zakończeniu prac wiertniczych w 1977 roku, został całkowicie zlikwidowany z pełną rekultywacją terenu wiertni do stanu umożliwiającego prowadzenie placu handlowego w miejscu otworu. Szczegółowa charakterystyka i przebieg rekonstrukcji przedstawiono w dalszej części artykułu.

Pełna rekonstrukcja odwiertu zaprojektowana została dla także otworu Kompina 2 (Bujakowski red. 2009; Bujakowski i in. 2010), który po wykonaniu został podany likwidacji w stopniu zbliżonym do likwidacji otworu Mszczonów IG-1. Jednakże zaprojektowana tu rekonstrukcja nie została dotychczas przeprowadzona.



Fot. 1. Odwiert Skierniewice GT-1 stan po wykonaniu prac w 1991 r. (Barbacki i in. 2000)

Fot. 1. The Skierniewice GT-1 well status after execution of work in 1991 (Barbacki et al. 2000)

Przypadki projektów i wykonanych rekonstrukcji w otworach z II grupy to: Bańska IG-1, Poręba Wielka IG-1, Skierniewice GT-1 i GT-2 czy też na odwiertach istniejących w Uniejowie obejmują podobny zakres. Odwierty te po wierceniu zaopatrzone zostały w głowice, a teren bodni zabezpieczony. Rekonstrukcja w tych przypadkach opierała się głównie na ocenie stanu technicznego rur eksploatacyjnych, stanu zacementowania, stanu udostępnienia strefy złożowej i jej produktywności (wydajności lub chłonności). Na podstawie tych badań ustalano zakres prac rekonstrukcyjnych, którymi zwykle były zabiegi oczyszczania ścian odwiertu, szablonowania, oczyszczania i usprawniania strefy złożowej zabiegami intensyfikacji. Wszystkie wymienione prace mogą być wykonywane w warunkach artezyjskich wówczas przed przystąpieniem do prac niezbędne jest ustabilizowanie ciśnienia poprzez wprowadzenie do odwiertu cieczy o odpowiedniej gęstości. Końcowym elementem rekonstrukcji i przygotowania odwiertu do pracy są testy złożowe i montaż odpowiedniej głowicy przystosowanej do wydobycia lub zatłaczania wód.

W grupie III zestawiono przykłady odwiertów, które funkcjonowały jako odwierty chłonne i w trakcie eksploatacji uległy uszkodzeniu. Zwykle związane to jest z mechanicznym osłabieniem rur będącym wynikiem procesów korozji. W takich przypadkach analizowana jest naprawa odwiertu poprzez docementowanie, zastosowanie łaty, wymianę rur lub zapuszczenie nowej kolumny. Taką interpretację zastosowano w trakcie diagnozy wystąpienia nieszczelności rur okładzinowych kolumny eksploatacyjnej w odwiercie Stargard Szczeciński GT-1 i Biały Dunajec PAN-1 (Dubiel i in. 2012). Naprawa odwiertu Biały Dunajec PAN-1 polegała na zapuszczeniu dodatkowej kolumny rur (w 2011 roku) oraz na wykonaniu w 2014 roku odbicia kierunkowego udostępniającego nowy obszar strefy złożowej.

Z tej listy obiektów należy wyodrębnić specyficzny przypadek odwiertu Czarny Potok GT-1. Odwiert ten nie jest obiektem starym, ale ponieważ nie udostępnił wód złożowych, a był bardzo głęboki, inwestor zainteresował się możliwością wykorzystania go jako otworowego wymiennika ciepła (praca zbiorowa pod kierunkiem W. Bujakowskiego 2013). Projekt niestety nie został do chwili obecnej zrealizowany. Tematyka dotycząca wykorzystania starych ponaftowych odwiertów do pozyskiwania ciepła ziemi była przedmiotem wielu badań naukowych (Gonet i in. 2010 i 2011).

2. REKONSTRUKCJA ODWIERTU MSZCZONÓW IG-1 – PRZYKŁAD PEŁNEGO ZAKRESU PRAC

W 1996 roku został skierowany przez gminę Mszczonów do ówczesnego Komitetu Badań Naukowych (jednostka finansująca badania z ramienia Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego) wniosek o dofinansowanie Projektu Celowego pt.: „Pilotowa stacja eksploatacji ciepła ze zrekonstruowanego otworu Mszczonów IG-1”. Wniosek obejmował etap prac badawczo-rozwojowych pt.: „Dostosowanie otworu Mszczonów IG-1 dla potrzeb eksploatacji złoża geotermalnego do systemu grzewczego” oraz etap prac wdrożeniowych, który dotyczył wykonania systemu ciepłowniczego opartego na energii wód geotermalnych.

Wniosek ten opracowany został w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN przy współpracy z Geotermią Mazowiecką S.A. Wykorzystano tam opracowanie pt.: „Projekt rekonstrukcji i badań hydrogeologicznych wód geotermalnych z horyzontu kredowego w otworze Mszczonów IG-1”, wykonane w 1991 roku przez PG Polgeol SA – Warszawa. Wynikiem oceny Komitetu Badań Naukowych projekt został zaakceptowany i przeznaczony do dofinansowania. Zgodnie z umową prace rozpoczęto 1.08.1996 r. i zakończono po 36 miesiącach 31.07.1999 r.

Niniejsza praca zawiera informację o przeprowadzonym etapie badawczo-rozwojowym Projektu Celowego. W skład zespołu autorskiego pod kierownictwem autora wchodził: dr hab. inż. Antoni Barbacki, Sławomir Graczyk, dr hab. inż. Beata Kępińska, mgr inż. Grażyna Hołojuch, mgr inż. Agnieszka Kazanowska, dr inż. Leszek Pająk, dr hab. inż. Barbara Uliasz-Misiak. Praca była na bieżąco konsultowana przez profesora Romana Neya.

Zespół ten współpracował także z następującymi jednostkami:

- Laboratorium Hydromineralogicznym IGSMiE PAN, Kraków,
- PG Polgeol SA, Warszawa,
- Przedsiębiorstwem Robót Wiertniczych i Górniczych, Warszawa,
- PGNiG SA Oddział Geofizyka Toruń, Oddział Geofizyka Kraków,
- Wydziałem Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, Kraków,
- BSP Electronic s.c, Bielsko Biała,

oraz specjalistami z Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH, Wydziału Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, PGNiG SA Geonafta – Kraków, Hydro-Vacuum Grudziądz, IGNiG Krosno.

Należy przypomnieć i wyraźnie podkreślić bardzo dobrą współpracę w trakcie realizacji projektu, z instytucjami współodpowiedzialnymi, tj.: z Komitetem Badań Naukowych w osobie mgr inż. Haliny Sobkowskiej oraz gminą Mszczonów w osobach mgr inż. Józefa Grzegorza Kurka – burmistrza gminy oraz Mariana Jackowskiego – ówczesnego wiceburmistrza. Szczególne wyrazy uznania i podziękowanie za współpracę należą się mgr inż. Markowi Balcerowi – prezesowi Geotermii Mazowieckiej S.A., który był reprezentantem gminy w trakcie realizacji projektu.

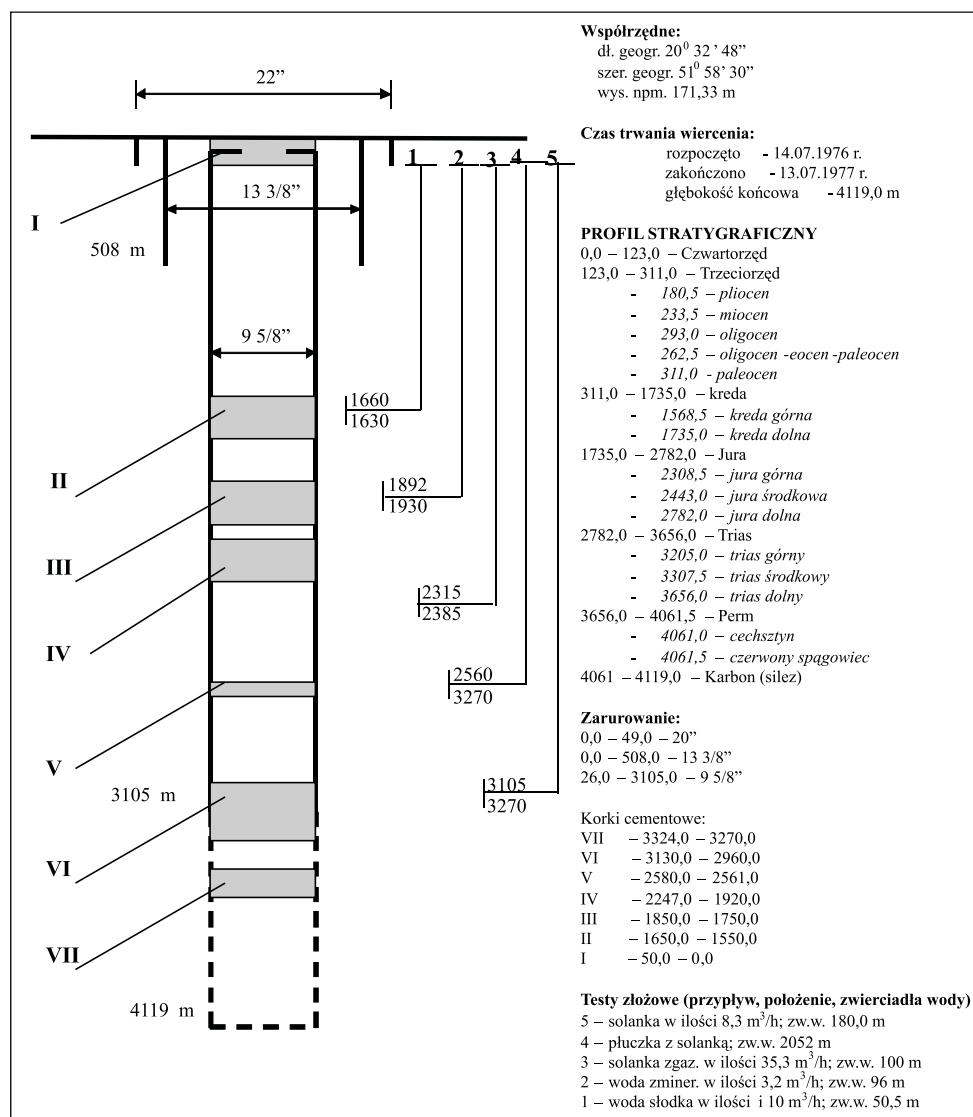
Jak wyżej zaznaczono, Wniosek ten został złożony do KBN przez gminę Mszczonów, Realizatorem prac badawczych był IGSMiE PAN a komercyjnym beneficjentem bezpośrednio uczestniczącym w pracach była Geotermia Mazowiecka S.A. Taka trójstronna formuła zadania badawczego (samorząd, przedsiębiorca, jednostka naukowa) okazała się bardzo skuteczna na etapie realizacji i co najważniejsze w późniejszym racjonalnym wdrożeniu osiągnięcia badawczego.

Rekonstrukcja ta miała maksymalnie możliwy zakres gdyż, jak wcześniej wspomniano, otwór Mszczonów IG-1 został całkowicie zlikwidowany w 1976 roku, a teren wiertni zrehabilitowany w stopniu uniemożliwiającym naoczną lokalizację nawet śladów po otworze (Barbacki i in. 2000).

Otwór Mszczonów IG-1 wykonany został w latach 1976–1977, w ramach „Projektu badań geologicznych w synklinorium warszawskim i na antyklinorium kujawskim”. Zadaniem

tego programu było zbadanie perspektywiczności starszego mezozoiku, permu i paleozoiku prepermskiego w strefie kontaktowej platformy prekambryjskiej i paleozoicznej. Poniżej przedstawiono schemat otworu Mszczonów IG-1 wraz z podstawowymi informacjami dotyczącymi stratygrafii, opróbowania i stanu technicznego (rys. 1).

Testy złożowe wykonane zostały w pięciu wytypowanych interwałach głębokości odpowiadających zaleganiu stref złożowych zbiorników kredy dolnej, jury górnej, środkowej i dolnej oraz triasu. Zbiorcze wyniki z tych testów przedstawiono na rysunku 1 i w tabeli 1.



Rys. 1. Odwiert Mszczonów IG-1 – stan w 1977 roku (Barbacki i in. 2000)

Fig. 1. The Mszczonów IG-1 well – the state in 1977 (Barbacki et al. 2000)

Tabela 1

Wyniki opróbowania poziomów perspektywicznych wykonanych w trakcie wiercenia otworu Mszczonów IG-1 (Barbacki i in. 2000)

Table 1

The results of prospective reservoirs test taken during drilling well Mszczonów IG-1 well (Barbacki et al. 2000)

Lp.	Głębokość zalegania [m p.p.t.]	Wiek	Położenie zw. wody [m p.p.t.]	Ciśnienie złożowe [MPa]	Wydajność [m ³ /h]	Mineralizacja [g/l]	Metoda badania
1.	3270,0–3705,0	trias środkowy i górny	180,0	31,6	8,3	–	RPZ
2.	2580,0–2560,0	jura dolna	–	26,0	kilkadziesiąt	95,0	RPZ
3.	2385,0–2357,5 2335,0–2375,0	jura środkowa	100,0	23,7	35,3	77,0	RPZ
4.	1930,0–1892,0	jura górna	–	19,2	3,2	29,9	RPZ
5.	1630,0–1600,0	kreda dolna	50,5	–	10,0	1,0	szerpywanie łyżką wiertniczą

* RPZ – rurowy próbnik złoża

Wyniki opróbowania horyzontu dolnokredowego wykonanego w okresie wiercenia otworu w latach 1976–1977 wskazały ten horyzont jako najbardziej korzystny kompleks zbiornikowy wód geotermalnych w rejonie Mszczonowa. Opróbowanie wykonano po perforacji rur okładzinowych 9 5/8" poprzez ściąganie płynu kompresorem i łyżką wiertniczą. Wydajność określono jako wysoką, gdyż w ciągu godziny uzyskano 10 m³ wody przy depresji 0,5–1,0 m. Zwierciadło wody w otworze stabilizowało się na głębokości 50,5 m p.p.t. Opróbowany horyzont uznano za alb środkowy – barrem o litologii piaszczysto-mułowej. Rozpoznanie utworów kredy dolnej było jednak niepełne ze względu na mały zakres rdzeniowania otworu. Utwory dolnokredowe wykształcone są tu w facji terygeniczej, sporadycznie w facji węglanowej. Miąższość ich w otworze Mszczonów IG-1 wynosi 132,5 m. Należy jednak zaznaczyć, iż z tego kompleksu dolnokredowego uzyskano rdzenia o długości około 33 m, a zatem określenie miąższości kompleksu oraz rozpoznanie jego litologii i stratygrafii bazowało głównie na korelacji międzyotworowej z wykorzystaniem krzywych geofizyki wiertniczej z sąsiadujących otworów oraz na analizie rdzeni tych otworów. Korelacja międzyotworowa krzywych geofizycznych oraz dane geofizyki otworowej uzyskane z otworu Mszczonów IG-1 wskazują, że w otworze tym piaskowce stanowią około 85% ogólnej miąższości utworów kredy dolnej. Z tej ilości na alb środkowy (barrem) przypada aż 84%. Porowatości efektywne barremu są wysokie i wahają się od 22 do 29% przy przepuszczalności 1,58–1,48 D. Są to jednak dane z rdzeni otworów sąsiednich

(Nadarzyn IG-1, Korabiewice IG-1), gdyż w otworze Mszczonów IG-1 badań tych nie wykonano (Barbacki i in. 2000).

Prace rekonstrukcji odwiertu rozpoczęto 10.12.1996 roku. Zgodnie z opracowaną metodologią prace wiertnicze miały następujący przebieg (Barbacki i in. 2000):

II. Prace techniczne, w skład których weszły m.in.:

- prace wiertnicze i zabezpieczające otwór,
- udostępnienie strefy złożowej,
- instalacje i urządzenia eksploatacyjne.

II. Badania i testy złożowe obejmujące m.in.:

- pompowanie oczyszczające,
- pompowanie pomiarowe,
- pompowanie przedeksploatacyjne,
- testy hydrodynamiczne,
- badania geofizyczne stref chłonnych,
- badania stanu technicznego odwiertu,
- badania fizyko-chemiczne wód,
- badania mineralogiczno-petrograficzne,
- badania izotopowe wód.

W pierwszym etapie wykonano następujące techniczne prace wiertnicze:

- zwiercono korki cementowe występujące w głębokościach 0,0–39 m, 1352–1355 i 1508–1612 m p.p.t. (rys. 1). Przy zwiercaniu pierwszego korka cementowego stwierdzono brak rur 9 5/8" w interwale 0,0–26 m p.p.t. W głębokości 59,6–60,3 m p.p.t. stwierdzono uszkodzenie rur. Interwał ten przerobiono frezem;
- po zakończeniu zwiercania korków cementowych wypłukano z odwiertu cały materiał pochodzący ze zwierceni karków, przepłukano odwiert do głębokości 1793 m p.p.t.;
- wymieniono płuczkę wiertniczą używaną do zwierceni karków cementowych na wodę;
- wykonano szablonoanie rur okładzinowych 9 5/8" do głębokości około 200 m przy użyciu szablonu rurowego o średnicy zewnętrznej 203 mm i długości 5,9 m w celu stwierdzenia pełnej drożności górnego odcinka kolumny rur okładzinowych w odwiercie. Szablon był blokowany w głębokości około 23,6 m p.p.t (strop rur 9 5/8") oraz zatrzymywany w głębokości około 60,0 m p.p.t.

Celem zdiagnozowania przyczyny komplikacji w zapuszczaniu szablonu wykonano przegląd uszkodzonych miejsc kamerą telewizyjną i stwierdzono:

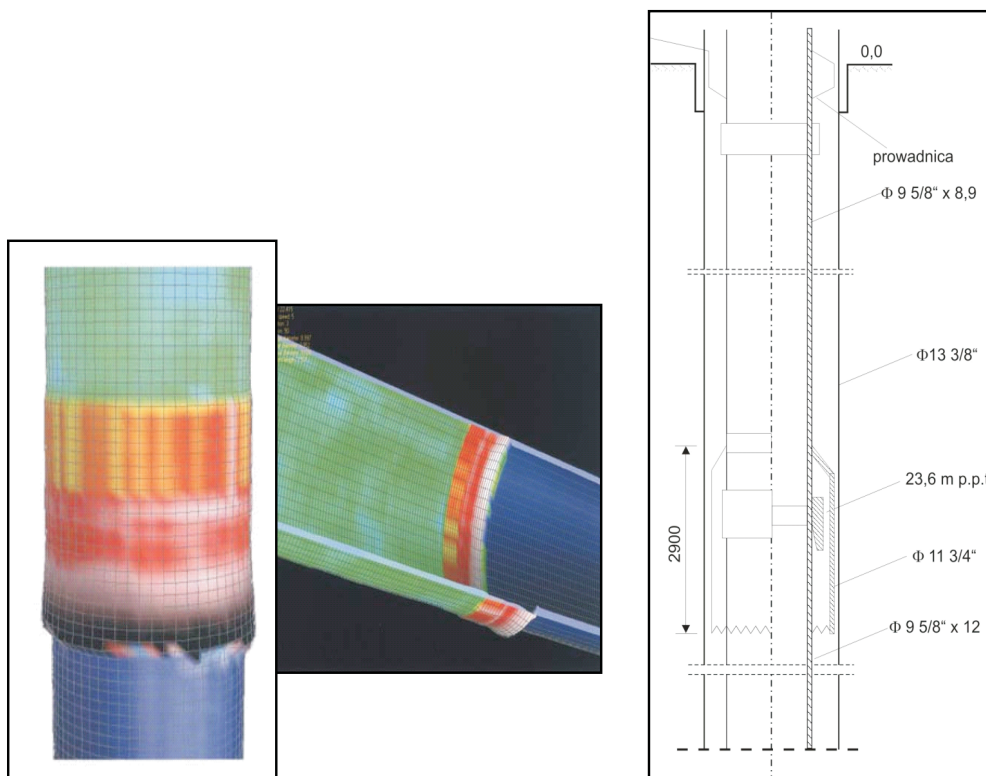
- od powierzchni terenu do głębokości 23,6 m otwór zarurowany rurami 13 3/8" – czysty, po zwierceni korka cementowego, na ściankach wewnętrznych rur brak śladów cementu;
- na głębokości 23,6 m widoczne czoło rur 9 5/8". Szczelina między rurami 13 3/8" i 9 5/8" jest wypełniona cementem, którego pokruszone kawałki wystają kilka centymetrów nad czoło rur 9 5/8" tworząc nieregularny zarys. Rury 9 5/8" rozpoczynają się gładką powierzchnią cylindryczną. Brak śladów gwintu świadczy, że rury rozpoczynają się czopem. Mufa prawdopodobnie została odkręcona podczas likwidacji otworu w 1977 r.;

- od głębokości 23,6 m do 54 m kolumna rur 9 5/8" bez wody, na ściankach ślady korozji i osadów, na połączeniach mufowych rur widać zarysy gwintów;
- w głębokości 54 m kamera trafiła na lustro wody. Powierzchnia wody zanieczyszczona pozostałościami smarów i innych zanieczyszczeń,
- w głębokości 60 m kamera zatrzymuje się.

Następnie wykonano badania geofizyczne kawernomierzem 80-ramiennym w interwale 0–70 m stwierdzając, że uszkodzony jest odcinek rury nad i poniżej mufy w interwale 55–58,5 m. Rura w tym odcinku ma powiększoną średnicę do 9,55 cala (243 mm). Prawdopodobnie w tym miejscu nastąpiło przetarcie rury (rys. 3).

Po przeprowadzeniu badań wykonano frezowanie czołowe i boczne uzyskując drożność odwiertu do głębokości około 60 m oraz uzupełniono kolumnę rur 9 5/8" (od 23,6 m p.p.t.) do wierzchu bez dokręcania, stabilizując ją centrycznie w rurach 13 3/8" (rys. 1 i 2).

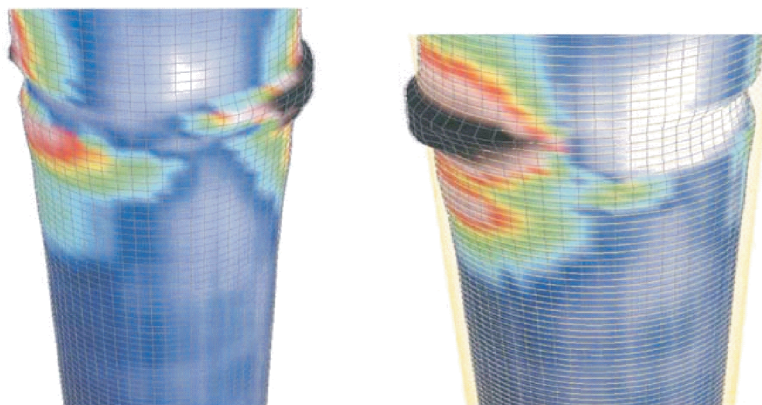
Uszkodzenie w głębokości 23 m zostało naprawione poprzez posadzenie uzupełniającego odcinka rur (rys. 2).



Rys. 2. Naprawa rur okładzinowych na głębokości 23 metrów (z lewej obraz połączonych rur z sondy MIT, z prawej projekt uzupełnienia rur) (według Barbacki i in. 2000)

Fig. 2. Repair casing at a depth of 23 meters (left picture – a probe MIT, the right – project to supplement pipes) (according Barbacki et al. 2000)

Uszkodzenie orurowania stwierdzone na głębokości około 59 m zostało zidentyfikowane i naprawione poprzez frezowanie rur (rys. 3).



Rys. 3. Uszkodzenie rury okładzinowej na głębokości 59 metrów – obraz z sondy MIT (Bujakowski, Balcer, Bielec 2013a)

Fig. 3. Damage to the casing string at a depth of 59 meters – the image of the probe MIT (Bujakowski, Balcer, Bielec 2013a)

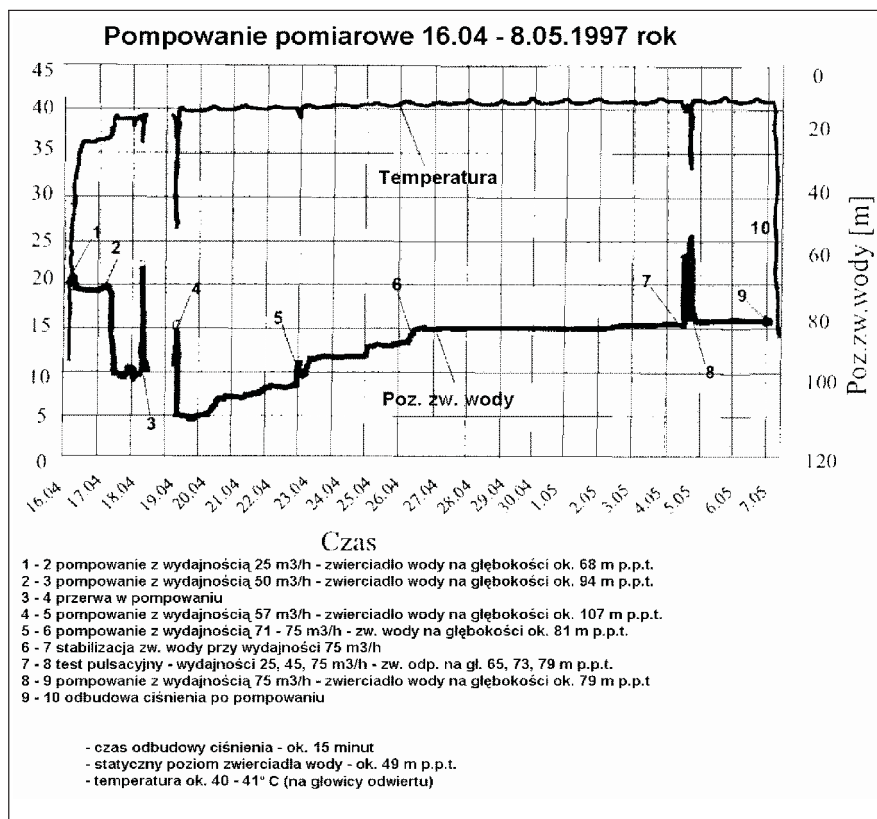
Badania kontrolne szablonem wykazały drożność odwiertu w strefach stwierdzonych uszkodzeń kolumny rur eksploatacyjnych. Dobry stan techniczny odwiertu był kluczowym celem rekonstrukcji gwarantującym bezpieczny montaż agregatu pompowego w odwiercie oraz stabilne pompowanie wód geotermalnych. Z tego też powodu strefy te są pod kontrolą i obserwacją przy wykorzystaniu geofizycznych sond otworowych (Bujakowski, Balcer, Bielec 2013a).

Kolejnym ważnym zadaniem rekonstrukcji było określenie bezpiecznej dla środowiska naturalnego wielkości wydobycia wody geotermalnej oraz jej jakości (w przypadku jej nieprzydatności do celów spożywczych i konieczności zatłaczania wód do złoża odwiertem chłonnym, zmieniłoby to zasadniczo ekonomiczny plan całego przedsięwzięcia).

Z szeregu przeprowadzonych w trakcie rekonstrukcji badań warto wyszczególnić badania i testy złożowe. Były to: pompowanie oczyszczające, pompowanie pomiarowe, pompowanie przed eksploatacyjne, testy hydrodynamiczne oraz badania geofizyczne stref chłonnych. Zestawienie wybranych wyników pomiarów w trakcie pompowania pomiarowego przedstawiono w tabeli 2 i na wykresach (rys. 4, 5 i 6) (Barbacki i in. 2000).

Wykonanymi pracami udokumentowano wody geotermalne o następujących parametrach:

- wydajność 60 m³/h,
- depresja $S = 24,6$ m,
- temperatura 41,5°C,
- mineralizacja 490 mg/dm³,
- typ wód HCO₃-Cl-Na-Ca,
- zwierciadło statyczne wody na głębokości 49 m p.p.t.



Rys. 4. Wykres zmian położenia zwierciadła wody podczas pompowania pomiarowego (Barbacki i in. 2000)

Fig. 4. Graph of the water level during measurement pumping (Barbacki et al. 2000)

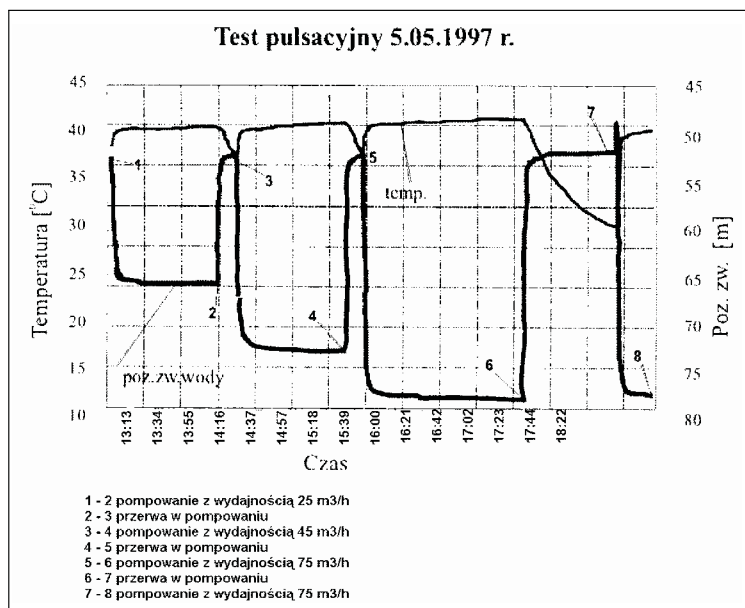
Tabela 2

Zestawienie wyników pompowania pomiarowego (Barbacki i in. 2000)

Table 2

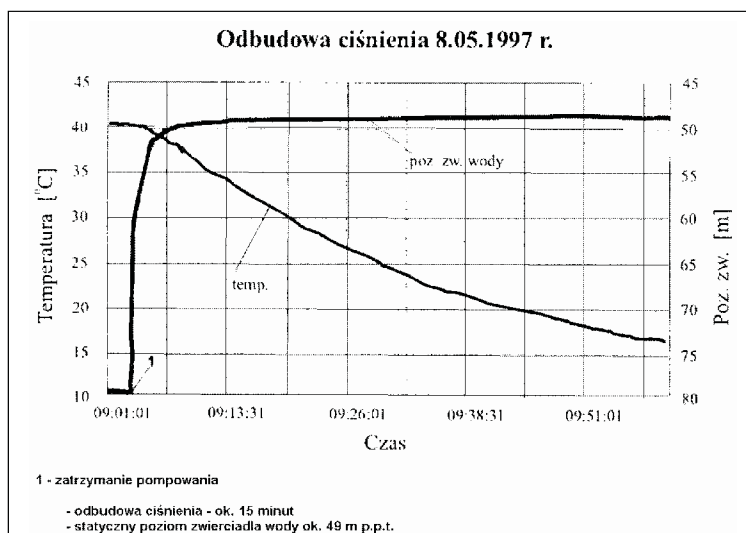
Summary of the results of the measuring during pumping (Barbacki et al. 2000)

Wydajność [m ³ /h]	Czas pompowania	Najniższe położenie zw. wody [m p.p.t.]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h/m]	Temperatura pod koniec pompowania [°C]
29,00	29 h 30'	67,46	14,46	2,01	36,6
56,00	47 h 45'	91,73	38,73	1,45	39,3
od 69,00 do 75,00	442 h	107,3–79,09	54,3–26,09	1,27–2,87	40,5



Rys. 5. Wykres położenia zwierciadła wody i zmian temperatury wody na głowicy podczas testu pulsacyjnego (Barbacki i in. 2000)

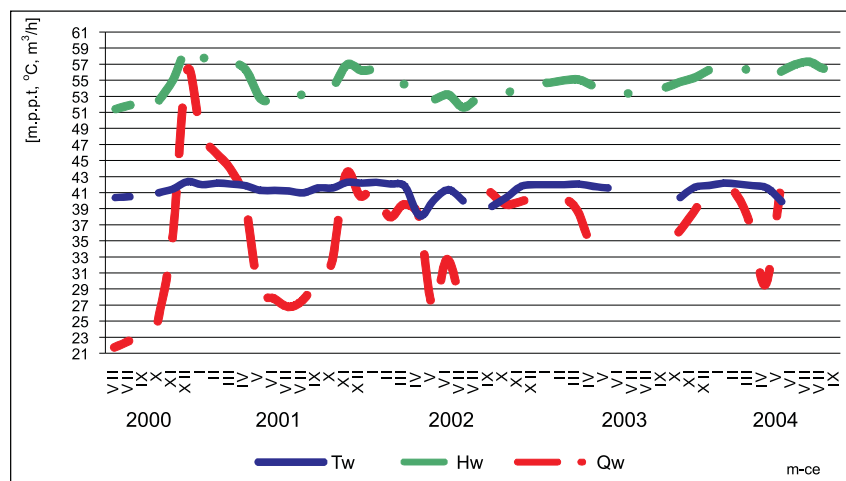
Fig. 5. Chart the water level and water temperature during the test head pulsed (Barbacki et al. 2000)



Rys. 6. Wykres położenia zwierciadła wody i zmian temperatury wody na głowicy podczas odbudowy ciśnienia (Barbacki i in. 2000)

Fig. 6. Chart the water level and water temperature during reconstruction of head pressure (Barbacki et al. 2000)

Obserwacja głównych parametrów realizowana jest w trakcie monitoringu umożliwiając rejestrację ewentualnych zmian temperatury i położenia zwierciadła wody. Monitoring taki winien być prowadzony w czasie pracy złoża obejmując wieloletnie obserwacje. Na rysunku 7 przedstawiono wybrane zestawienie obserwacji podstawowych parametrów pracy złoża w okresie ponad 4 lat. Wykres wskazuje na stabilną pracę złoża.



Rys. 7. Zbiornicze zestawienie miesięcznych pomiarów parametrów pracy odwiertu geotermalnego Mszczonów IG-1: T_w – temperatura, H_w – położenie zwierciadła wód, Q_w – wydajność (Barbacki i in. 2000)

Fig. 7. The monthly measurements of parameters of the geothermal well Mszczonów IG-1: T_w – temperature, H_w – the position of the water level, Q_w – performance (Barbacki et al. 2000)

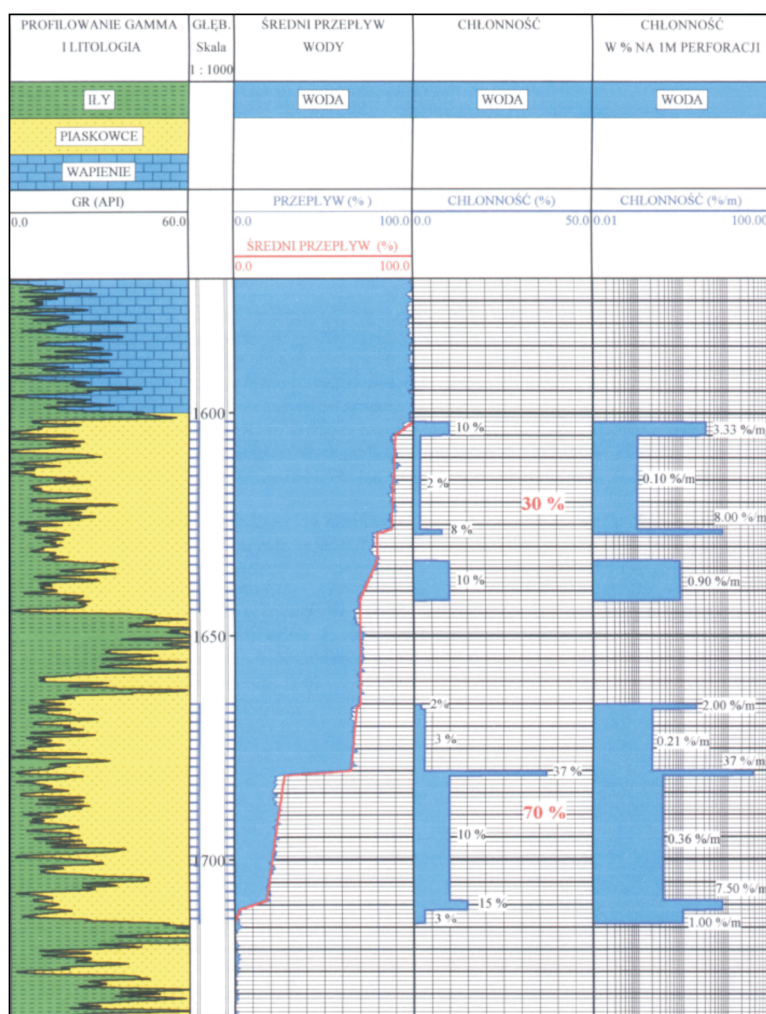
W etapie rekonstrukcji przeprowadzono badania horyzontu wodnego z wykorzystaniem zestawu sond geofizyki otworowej, który używany jest w pomiarach produkcyjnych wykonywanych dla potrzeb przemysłu naftowego. Celem badań strefy złożowej wód geotermalnych jest:

- ocena produktywności poszczególnych interwałów (udział procentowy),
- ocena przyływów z poszczególnych interwałów kompleksu zbiornikowego,
- lokalizacja stref nieprodukcyjnych (rozważanie możliwości powtórnej perforacji lub innych zabiegów udrażniających horyzonty),
- określenie miąższości efektywnej strefy złożowej dla oceny wydajności złoża.

W przypadku warunków subarteryjskich pomiary wykonywane są na chłonność złoża z wykorzystaniem kompleksowej sondy Producing Log (PL) w skład której wchodzi:

- mufolokator – CCL,
- sonda gamma – GRT,
- elektrotermometr – TLT,
- ciśnieniomierz – SPT,
- przepływomierz – FBF.

Dla wyznaczenia miejsca pochłaniania wody i ilościowej oceny chłonności badanej formacji stosuje się metodę wielokrotnych pomiarów tym zestawem PL w kierunku dołu i w kierunku wylotu odwiertu ze stałą, lecz różną dla każdego cyklu pomiarowego prędkością. Metoda ta pozwala ilościowo określić prędkość przepływu wody w odwiercie z pomiarów przepływomierzem i prędkości przemieszczania się zestawu pomiarowego w obrębie nieperforowanych rur. W otworze Mszczonów IG-1 pomiary wykonano w interwale 1575–1711 m przy czym temperaturę w warunkach statycznych mierzono w całym otworze 0,0–1711 m. Pomiary realizowano przy stałym zatłaczaniu wody około 11 m³/h.



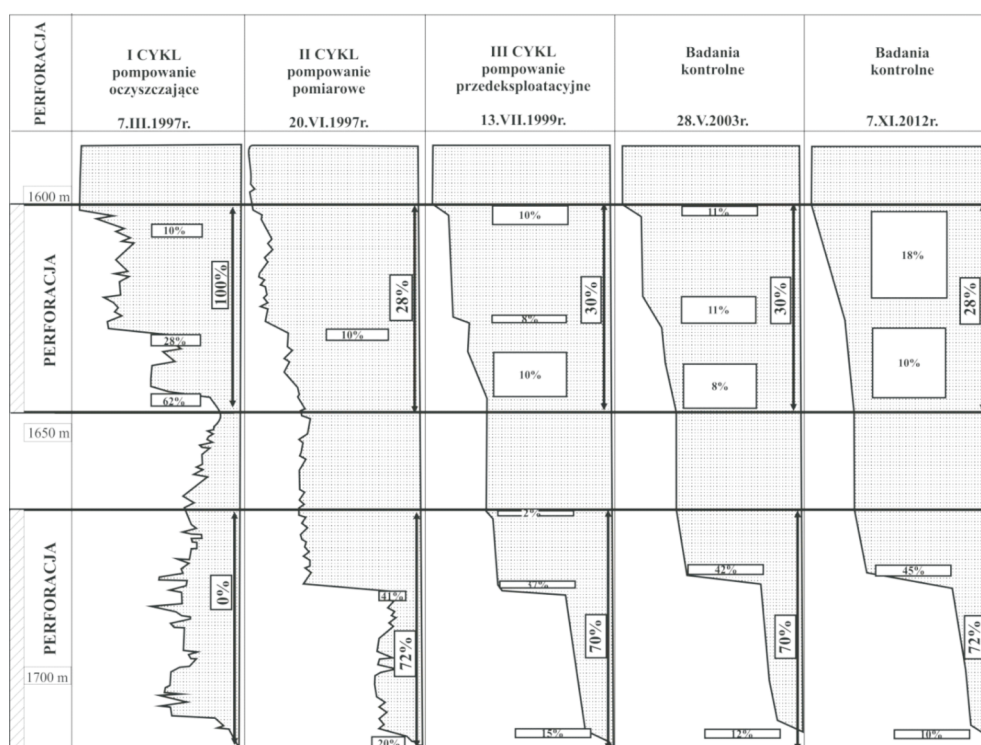
Rys. 8. Zestawienie wyników badań zestawem sond PL w otworze Mszczonów IG-1 (Barbacki i in. 2000)

Fig. 8. Summary of test results set of probes PL in well Mszczonów IG-1 (Barbacki et al. 2000)

Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci wykresu zawierającego: zestawienie obliczonego zailenia, zawodnienia i przepuszczalności, zestawienie objętościowego składu litologicznego i porowatości oraz nasycenia wód (rys. 8). Jak wynika z zestawienia parametrów zbiornikowych, piaskowce w całej badanej strefie mają porowatości rzędu 15% z niewielkimi zmianami w stropie albu. Piaskowce w całości są nasycone wodą złożową słabo zmineralizowaną. Pomędzy seriami piaskowców występują wkładki nieprzepuszczalnych i nieporowatych ilów (Barbacki i in. 2000).

Badania strefy złożowej zestawem sond PL należą do zakresu monitoringu i wykonywane były w trzech cyklach w trakcie realizacji Projektu Celowego rekonstrukcji oraz kontrolnie w roku 2003 i 2012 (rys. 9; Bujakowski, Balcer, Bielec 2013b).

Z porównania analiz pomiarów produkcyjnych z poprzednich lat wynika (rys. 9), że chłonność odwiertu, oceniana na podstawie pomiarów przepływomierzem, nie ulega znaczącym zmianom, z wyjątkiem I cyklu badań w dniu 7.03.1997 r. kiedy to stwierdzono brak chłonności w interwale dolnej perforacji. Badaniami następnymi (20.06.1997 r. i 13.07.1999 r.) chłonność dolnej perforacji oceniona została na około 70 % a górnej na około 30%.



Rys. 9. Zestawienie wyników badań PL wykonanych w latach 1997, 1999, 2003 i 2012 (Bujakowski, Balcer, Bielec 2013b)

Fig. 9. Summary of results of PL studies carried out 1997, 1999, 2003 and 2012 (Bujakowski, Balcer, Bielec 2013b)

Badania wykonane w latach 2003 i najnowsze z 2012 roku potwierdziły wcześniejszy obraz chłonności (rys. 9) (Bujakowski, Balcer, Bielec 2013b).

W trakcie pompowań wykonanych w czasie rekonstrukcji prowadzone były badania własności fizykochemicznych wód termalnych. Analizy te prowadzone były na próbkach wody pobranych w różnych momentach badania złoża. Ogółem pobrano około 100 próbek wody wypompowywanej w różnych etapach testów. Wody złożowe zostały określone jako wodorowęglanowo-sodowe – według klasyfikacji balneologicznej – 0,1% chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowo-wapniowe o gęstości około 1 g/l i pH = 7,0.

Istotnym efektem badań chemicznych wykonanych w trakcie pompowania przedekspluatacyjnego była stabilizacja ilości jonu chlorkowego. Z wyników można wnosić, że duży strumień eksploatacji mógł uruchomić wody z niższych warstw zbiornika. Po ograniczeniu wypływu najpierw do wartości około 65 m³/h zaobserwowano ciągle wysokie zawartości jonu chlorkowego (do około 120 mg/dm³), ale po kolejnej zmianie wydajności do około 55 m³/h zawartość chloru w wodzie powróciła do wartości notowanej przed przebiciem się wód bardziej zasolonych (do około 80 mg/dm³). Podobny charakter zmian obserwowany był w odniesieniu do innych jonów, z tym że zawartość wapnia podwyższyła się i ustabilizowała mając bezpośredni wpływ na wielkość twardości ogólnej.

Z uwagi na to, że w trakcie pompowań obserwowano piaszczenie o różnym nasileniu związanym z wielkością strumienia wód, wydobywający się materiał skalny poddano badaniom mikroskopowym stwierdzając 99-procentowy udział ziarn kwarcu. Przeprowadzono tzw. pompowania oczyszczające i przedekspluatacyjne umożliwiające określenie wydajności, przy której piaszczenie praktycznie zanika. Z uwagi jednak na stwierdzony fakt piaszczenia napowierzchniowa część instalacji eksploatacyjnej uzupełniona została o separator frakcji stałej.

Wyniki przeprowadzonych testów hydrodynamicznych skorelowano z rzeczywistymi potrzebami na wodę do celów ciepłowniczych. Było to podstawą określenia wartości zasobów eksploatacyjnych w wysokości 60 m³/h. Dla takiej wartości wydajności depresja całkowita została określona na poziomie 24,6 m. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz interpretacji ich wyników opracowano „Dokumentację hydrogeologiczną zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód termalnych z utworów kredy dolnej”.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- dolnokredowe złożo geotermalne wykazuje dużą stabilność wydajności i temperatury wody,
- niaszczenie ze złoża jest niewielkie i szybko się zmniejsza podczas intensywnego pompowania,
- szybko następuje odbudowa ciśnienia oraz temperatury wody złożowej,
- wyniki analiz chemicznych wody wskazują, że można dopuścić ją do użytku jako wodę pitną (likwiduje to problem utylizacji wody po wykorzystaniu jako źródła ciepła),
- badania rur okładzinowych wskazują na ich dobry stan pomimo ich wieku i innego pierwotnego przeznaczenia.

Odwiert Mszczonów IG-1 od 2000 roku pracuje bezawaryjnie jako eksploatacyjny w układzie jednootworowym (w odróżnieniu od układów wielootworowych, w których

zachodzi proces eksploatacji i zatłaczania wód) z jednoczesnym wykorzystaniem wód do celów grzewczych i pitnych bez zatłaczania wód do górotworu.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona rekonstrukcja starego, ponad dwudziestoletniego odwiertu Mszczonów IG-1 umożliwiła eksploatację wód geotermalnych dla potrzeb wytwarzania ciepła w zakładzie geotermalnym. Rekonstrukcja była poprzedzona wielokryterialną oceną parametrów m.in. energetycznych, jakościowych i ekonomicznych możliwych do uzyskania w wyniku korelacji warunków złożowych (źródło energii) i infrastrukturalnych (odbiorca energii). Od strony źródła energii analizowano 5 zbiorników (tab. 1, rys. 1) ze szczególną uwagą położoną na zbiornik kredy dolnej i jury dolnej. Głównym użytkownikiem energii miała być sieć ciepłownicza do trzech osiedli mieszkaniowych. W efekcie zdecydowano się na udostępnienie wód z utworów kredy dolnej o niższym potencjale energetycznym niż wody jury dolnej, jednocześnie o mineralizacji umożliwiającej eksploatację jednootworową z włączeniem schłodzonych wód złożowych do sieci wód pitnych. Takie wykorzystanie nie byłoby możliwe w przypadku ujęcia wysokomineralizowanych wód jury dolnej. Ocena energetyczna kredy dolnej wskazała potrzebę wytworzenia szczytowego źródła energii (gazowego), które będzie w znacznie większym stopniu wykorzystywane niż gdyby był ujęty dolnojurajski horyzont charakteryzujący się znacznie wyższą temperaturą. Ten zakres analizy porównawczej zmierzał do określenia optymalnego rozwiązania w kontekście przyszłej pracy całego systemu ciepłowniczego. W tych warunkach zakres prac rekonstrukcyjnych także był poddany optymalizacji. Przykładowo – wydajność uzyskana w trakcie tych prac została ustabilizowana i udokumentowana na poziomie 60 m³/h, co stanowi nieco ponad 30% możliwej potencjalnej wydajności określonej dla utworów kredy dolnej w omawianym rejonie tego zbiornika. Wydajność ta, przy temperaturze wód na wypływie 41°C, była jednakże wystarczająca dla potrzeb istniejących odbiorców ciepła w mieście Mszczonów.

Taka analiza optymalizacyjna umożliwiła osiągnięcie celu geologicznego i energetycznego przy zminimalizowanych kosztach prac rekonstrukcyjnych. Z perspektywy czasu można ocenić, że koszt tych prac stanowił około 30–40% kosztu wykonania nowego odwiertu w istniejących warunkach geologicznych.

Wnioski wypływające z przedstawionej w artykule, jak i innych przeprowadzonych rekonstrukcji odwiertów i dostosowania ich do potrzeb funkcjonowania zakładu ciepłowniczego wskazują, że Polska zdobyła bogate doświadczenia w tym zakresie. Cenne byłoby usystematyzowanie tej wiedzy ze wsparciem o dane źródłowe pochodzące od operatorów systemów geotermalnych.

LITERATURA

- BARBACKI A., BUJAKOWSKI W., GRACZYK S., HOŁOJUCH G., KAZANOWSKA A., KĘPIŃSKA B., PAJAŁ L., ULIASZ-MISIAK B., 2000 — Rekonstrukcja otworu Mszczonów IG-1 na potrzeby eksploatacji złoża geotermalnego do systemu grzewczego [W:] Bujakowski red. „Wybrane problemy wykorzystania geotermii – część 1”, Studia Rozprawy Monografie nr 76, Wydawnictwo IGSMiE PAN, s. 63–106, Kraków
- BUJAKOWSKI W., BARBACKI A., CZERWIŃSKA B., PAJAŁ L., PUSSAK M., STEFANIUK M., TRZEŚNIEWSKI Z., 2010 – Integrated seismic and magnetotelluric exploration of the Skierniewice, Poland, Geothermal Test Site. *Geothermics* 39, p. 78–93.
- BUJAKOWSKI W., BALCER M., BANAŚ J., BARBACKI A., BIELEC B., DAJEK B., GÓRECKI W., GRACZYK S., HOŁOJUCH G., KASZTELEWICZ A., KĘPIŃSKA B., MIECZNIK M., PAJAŁ L., TOMASZEWSKA B., 2011 – Dokumentacja geologiczna dotycząca opracowania wytycznych projektowych poprawy chłonności skał zbiornikowych w związku z zatłaczaniem wód termalnych w polskich zakładach geotermalnych. Arch. IGSMiE PAN, Kraków
- BUJAKOWSKI W., BALCER M., BIELEC B., 2013a – Ocena zmian stanu technicznego rur okładzinowych w trakcie wieloletniej eksploatacji odwiertu geotermalnego Mszczonów IG-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1, s. 83–90
- BUJAKOWSKI W., BALCER M., BIELEC B., 2013b – Porównawczy obraz produktywności poziomu wodonośnego na podstawie badań zestawem sond PL i sonda MIT 60 na przykładzie odwiertu geotermalnego Mszczonów IG-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój* nr 1, s. 73–82.
- DUBIEL S., LUBOŃ K., LUBOŃ W., WARTAK W., 2012 – Problemy rekonstrukcji odwiertów geotermalnych na przykładzie odwiertu Biały Dunajec PAN-1. *AGH Drilling Oil Gas. Vol. 29, No 1.*
- GONET A., ŚLIWA T., JEZUIT Z., SAPIŃSKA-ŚLIWA A., KNEZ D., 2010 – Koncepcja wykorzystania odwiertów naftowych w Karpatach. *Wiertnictwo Nafta-Gaz. 27, 4, 773–780.*
- GONET A., ŚLIWA T., STRYCZEK S., SAPIŃSKA-ŚLIWA A., JASZCZUR M., PAJAŁ L., ZŁOTKOWSKI A., 2011 – Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła. Wyd. AGH, Kraków.
- Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Bujakowskiego, 2005 – Program działań wraz z oceną możliwości uruchomienia eksploatacji energii geotermalnej z dubletu odwiertów Skierniewice GT-1 i GT-2 – Wstępne Studium Celowości. Arch. UM Skierniewice, IGSMiE PAN.
- Praca zbiorowa pod kierunkiem W. Bujakowskiego, 2013 – Opracowanie modelu technologicznego wykorzystania energii geotermalnej ujętej otworowym wymiennikiem ciepła w otworze Czarny Potok GT-1. Arch. Kolej Gondolowa Jaworzyna Krynicka S.A., IGSMiE PAN.
- www.sjp.pwn.pl

RECONSTRUCTION OF THE MSZCZONÓW IG-1 WELL AGAINST THE BACKGROUND OF OTHER SELECTED GEOTHERMAL WELLS' RECONSTRUCTION PROJECTS

ABSTRACT

The reconstruction of the Mszczonów IG-1 well was the first a complete reconstruction of an old, defunct borehole in Poland. This well was operated by the Polish Geological Institute – National Research Institute (formerly the Institute of Geology), was drilled to a depth of 4119 m in 1976–1977 and then liquidated. After 20 years, it underwent a complete reconstruction and reopened in 2000, serving as a geothermal water intake for the third geothermal plant in Poland operated by Geotermia Mazowiecka S.A.

The article presents the course of the reconstruction, and the main results of this work carried out by a team from Mineral and Energy Economy Institute of the Polish Academy of Sciences from Krakow and Geotermia Mazowicka S.A.

This description is supplemented with a few selected examples of reconstruction carried out in Poland, although their ranges are much narrower and therefore less demanding of the work done in Mszczonow. These examples relate to existing wells, damaged or new. In light of the Polish experience, it can be said that Poland is the leading country in terms of the reconstruction of wells for geothermal energy.

KEY WORDS

Geothermal energy, reconstruction of wells, Mszczonów