

Wiesław BUJAKOWSKI
Zakład Odnawialnych Źródeł Energii
i Badań Środowiskowych
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7
e-mail: buwi@min-pan.krakow.pl
Marek BALCER
Geotermia Mazowiecka S.A.
Bogusław BIELEC
Zakład Odnawialnych Źródeł Energii
i Badań Środowiskowych
Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7
e-mail: bielec@min-pan.krakow.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2013

PORÓWNAWCZY OBRAZ PRODUKTYWNOŚCI POZIOMU WODONOŚNEGO NA PODSTAWIE BADAŃ ZESTAWEM SOND PL I SONDĄ MIT60 NA PRZYKŁADZIE ODWIERTU GEOTERMALNEGO MSZCZONÓW IG-1

STRESZCZENIE

Zabieg udostępnienia poziomu wodonośnego wymaga szczególnej uwagi. Zwłaszcza, gdy wykonywany jest w starym odwiercie, którego pierwotnym celem nie było ujęcie wód termalnych. Warstwa złożowa w strefie przyodwiertowej jest zwykle uszkodzana wpływem prac wiertniczych, filtracji płuczki oraz zabiegu cementowania rur okładzinowych. Dodatkowe uszkodzenia powoduje proces udostępnienia złoża, który odbywa się poprzez perforację rur okładzinowych i zabiegi intensyfikacyjne. W artykule zaprezentowano wyniki kilkakrotnych badań produktywności odwiertu Mszczonów IG-1, przeprowadzonych z wykorzystaniem zestawu sond Production Log oraz badań stanu technicznego rur eksploatacyjnych sondą MIT60 w interwale perforacji.

SŁOWA KLUCZOWE

Energia geotermalna, geofizyka otworowa, wydajność odwiertu

* * *

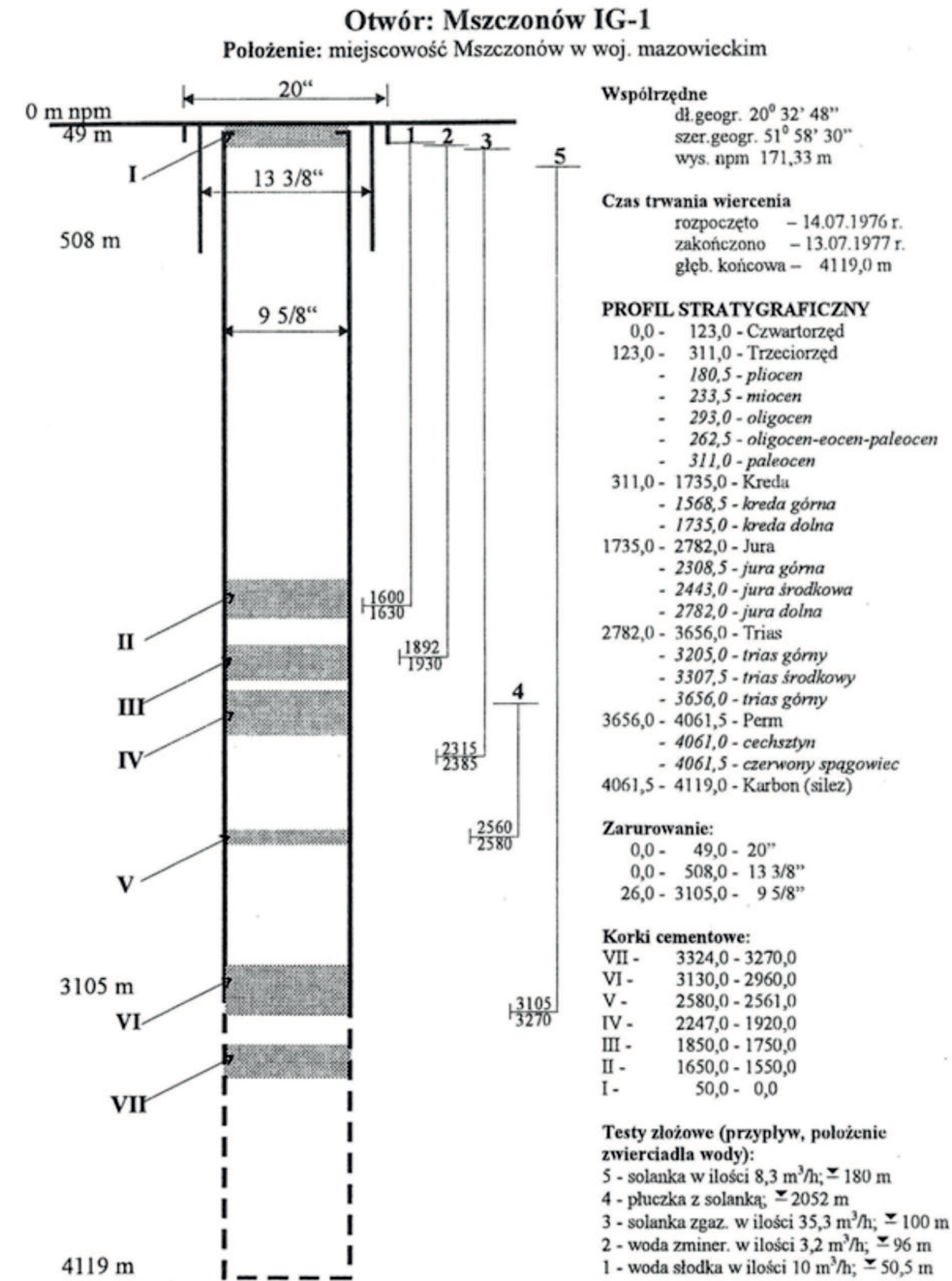
WPROWADZENIE

Głównym celem prac wiertniczych jest osiągnięcie celu geologicznego. Otwory wykonywane w ubiegłych latach miały praktycznie dwa cele, tj. badawczy, nastawiony na rozpoznanie budowy geologicznej – otwory wykonywane przez Państwowy Instytut Geologiczny lub złożowy, ukierunkowany na poszukiwanie, rozpoznanie i eksploatację złóż surowców, głównie węglowodorów – otwory wykonywane przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo. W obydwu przypadkach prace na otworze, nie wnikając w szczegóły, przebiegały według następującego zgeneralizowanego schematu: dowiercenie do planowanej głębokości, pomiary geofizyczne dla określenia stref złożowych, zbrojenie otworu kolumnami rur wraz z cementowaniem, badania wytypowanych horyzontów, likwidacja otworu lub oddanie do eksploatacji. W procesie dowiercania i rurowania otworu dochodziło do bardzo istotnego uszkodzenia strefy przyodwiertowej zwłaszcza w strefach złożowych, w których składniki płuczki oraz zaczyn cementowy powodują powstanie wysokich wartości tzw. „skin efektu” bardzo negatywnie wpływającego na wartości produktywności złoża. Także przebieg badania horyzontów w efekcie dodatkowo negatywnie wpływał na strefę złożową. Testy te wykonywano „od dołu do góry”, tzn. od najgłębiej do najpłycej występującej wytypowanej strefy. Udostępnienie strefy wykonywano poprzez perforację rur okładzinowych, a po ich zakończeniu strefa była likwidowana korkiem cementowym i przechodzono do kolejnej wytypowanej strefy znajdującej się wyżej. W ten sposób postępując uzyskiwano bardzo dużą ilość informacji obarczonych jednakże dużym błędem wynikającym z kilkakrotnego negatywnego oddziaływania na skały zbiornikowe. Z problemami tymi zderzono się w trakcie realizacji pierwszej w Polsce kompletnej rekonstrukcji starego odwiertu dla potrzeb geotermalnych. Rekonstrukcja objęła odwiert Mszczonów IG-1 i została zrealizowana w latach 1996–2000 przez konsorcjum Gminy Mszczonów i IGSMiE PAN (Bujakowski 1999; Bujakowski red. 2000).

1. STAN BADAŃ W ODWIERCIE MSZCZONÓW IG-1 PRZED REKONSTRUKCJĄ

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 generalnie zbadanie perspektywiczności starszego mezozoiku, permu i paleozoiku pre-permskiego 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).

Podstawowym zadaniem otworu Mszczonów IG-1 było zbadanie zmienności facjalnej dolomitu głównego na obszarze niecki warszawskiej. Do swej końcowej głębokości 4119 m otwór Mszczonów IG-1 przewiercił utwory mezozoiku, permu i kilkadziesiąt metrów utworów karbonu, spełniając swoje zasadnicze zadanie geologiczne. Po zakończeniu wiercenia opróbowano główne horyzonty.



Rys. 1. Otwór Mszczonów IG-1 stan z 1977 r. przed rekonstrukcją

Fig. 1. Mszczonów IG-1 borehole, status of 1977 before reconstruction

1. Poziom zbiornikowy 3270–3705 (trias środkowy i górny)

Badania wykonano za pomocą rurowego próbnika złoża (RPZ) zapinając próbnik w rurach 9⁵/₈" w głębokości 3067 m p.p.t. W wyniku uzyskano:

- przyływ solanki zgazowanej w ilości 8,3 m³/h,
- zwierciadło solanki zmierzono na głębokości 180 m p.p.t.,
- ciśnienie denne w głębokości 3075 m wynosiło 31,6 MPa ($31,6 \cdot 10^6$ N/m²).

Badaniami stwierdzono, że skały wapienia muszlowego i kajpru wykazują dobre właściwości zbiornikowe, a wartości uzyskane z przyływów mają związek z dużą miąższością warstw zbiornikowych.

2. Poziom zbiornikowy 2580–2560 (jura dolna)

Wykonano 2 badania próbnikiem Halliburtona. Pierwsze z nich wykazało duży dopływ 4416 litrów gęstej płuczki, która spowodowała zatkanie próbnika. Z tej przyczyny wykonano drugie badanie zapinając próbnik w rurach 9⁵/₈" na głębokości 2519 m p.p.t. Także tego badania nie uznano za udane ze względu na zatkanie filtra i próbnika piaskiem. Przyczyną takiej sytuacji był bardzo silny przyływ solanki w czasie kilku minut. W tym czasie przypłynęło około 3 m³ płynu o mineralizacji około 95,0 g/l. Oszacowana wydajność solanki wyniosła kilkadziesiąt m³/h. Ciśnienie złożowe ekstrapolowano na 26,0 MPa ($26,0 \cdot 10^6$ N/m²). Właściwości zbiornikowe oceniono jako bardzo dobre.

Po wyciągnięciu próbnika stwierdzono, że próbnik i 1 m przewodu wiertniczego zostały całkowicie wypełnione drobnoziarnistym piaskiem tworzącym silnie zbity korek.

3. Poziom zbiornikowy 2385–2357,5 oraz 2335–2375, 0 (jura środkowa)

Badania wykonano próbnikiem Halliburtona uzyskując:

- bardzo silny przyływ solanki około 35,3 m³/h,
- w ciągu około 34 minut przypłynęło 20 m³ zgazowanej solanki,
- zwierciadło zmierzono na głębokości 100 m p.p.t.,
- ciśnienie złożowe około 23,7 MPa ($23,7 \cdot 10^6$ N/m²),
- mineralizacja wód około 77,0 g/l.

Oceniono, że skały posiadają bardzo dobre właściwości zbiornikowe.

4. Poziom zbiornikowy 1930,0–1892,0 (jura górna)

Badania wykonano próbnikiem Halliburtona uzyskując:

- przyływ 3,2 m³/h wody zmineralizowanej,
- ciśnienie złożowe wynosiło 19,2 MPa ($19,2 \cdot 10^6$ N/m²),
- mineralizacja około 29,9 g/l.

Skały wykazują średnią przepuszczalność ($k = 28$ mD) i ich właściwości zbiornikowe oceniono jako dobre.

5. Poziom zbiornikowy 1630, 0–1600, 0 (kreda dolna)

Po perforacji rur przeprowadzono badania przy użyciu kompresora i łyżki wiertniczej. W dniach 7–8.IX.1977 wytlóczono z otworu za pomocą kompresora 39 m³ wody przy objętości otworu 64 m³. Dalsze wytlóczenie uniemożliwiły względy techniczne, dlatego też przystąpiono do szczypania wody z otworu za pomocą łyżki wiertniczej. 9–10.IX.1977 szczypano około 53 m³, pobierając wodę z głębokości około 60 m p.p.t. Przy maksymalnej

wydajności łyżkowania nie udało się obniżyć zwierciadła wody, co świadczy o dużym przyplywie wody złożowej. Przyływ oszacowano na poziomie około 10 m³ przy depresji 0,5–1,0 m. Poziom zwierciadła wód ustalił się na głębokości około 50,5 m p.p.t.

Próbki wody pobrano do analizy chemicznej, stwierdzając mineralizację wody około 1 g/l. Według klasyfikacji balneologicznej są to wody 0,1% chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowo-wapniowe o gęstości 1,0003 g/cm³ i pH = 7,0 ze śladowymi ilościami gazu.

Wynikiem powyższych badań wykonanych w 1977 roku były następujące wnioski:

- przebadane poziomy wapienia muszlowego i kajpru oraz jury dolnej, środkowej, górnej i kredy dolnej wykazywały bardzo dobre właściwości zbiornikowe skał,
- utwory te leżą w strefie subartezyjskiej,
- ciśnienia złożowe zbliżone są do ciśnień hydrostatycznych,
- mineralizacja wód horyzontów wzrasta wraz z głębokością:
 - kreda dolna (1600 m p.p.t.) – 1,0 g/l,
 - jura górna (1892 m p.p.t.) – 29,9 g/l,
 - jura środkowa (2315 m p.p.t.) – 77,0 g/l,
 - jura dolna (2560 m p.p.t.) – 95,0 g/l;
- utwory kredy leżą w strefie intensywnej wymiany wód o głębokim zasięgu.

2. UDOSTĘPNIENIE DOLNOKREDOWEGO POZIOMU WODONOŚNEGO

Udostępnienie strefy poziomu wodonośnego wykonano poprzez perforację rur okładzinowych 9⁵/₈" w głębokościach 1602,5–1645,5 m oraz 1663,5–1714,0 m, stosując 30 ładunków na 1 mb rur.

Przed przystąpieniem do zabiegu przeanalizowano dwa rodzaje perforacji: przy użyciu perforatorów korpusowych (ładunki kumulacyjne zamontowane na stelarzu umieszczonym wewnątrz rury osłonowej) i perforatorów bezkorpusowych (ładunki kumulacyjne zamontowane na stelarzu powiązane linkami bez osłony zewnętrznej).

Perforacja perforatorami korpusowymi: charakteryzuje się wysoką niezawodnością, kontrolą skuteczności perforacji i pozostawieniem czystego odwiertu po wykonaniu zabiegu, ale jednocześnie długim czasem zabiegu przy dłuższych interwałach perforacji, większą praco- i materiałochłonnością oraz dużym kosztem perforacji.

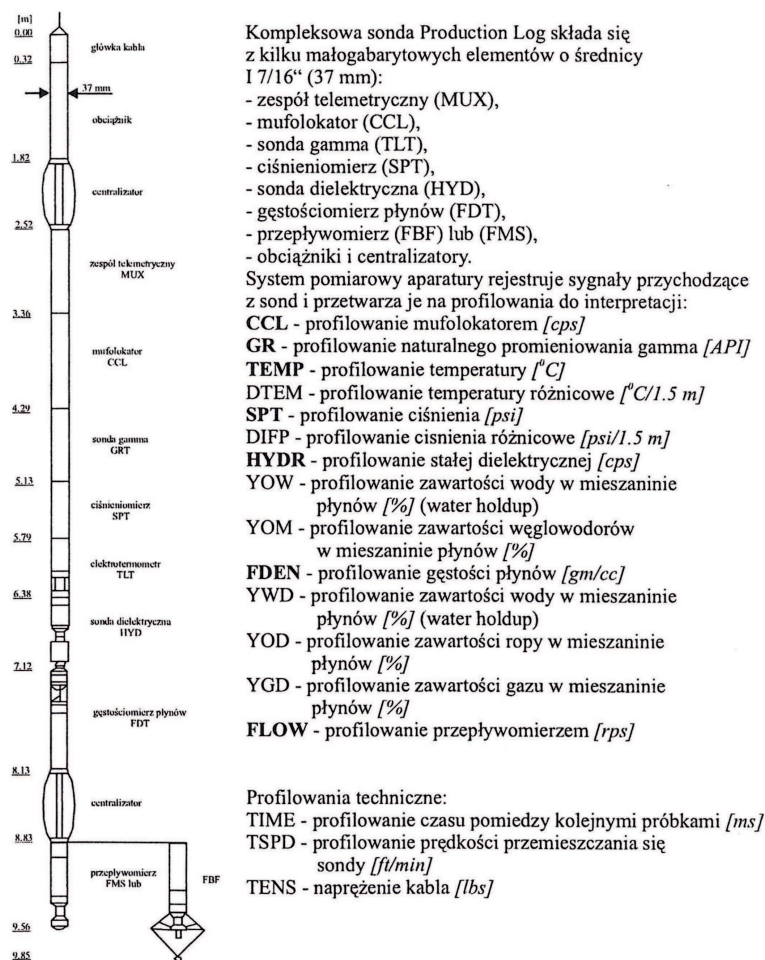
Perforacja perforatorami bezkorpusowymi: jest bardzo szybkim i najtańszym sposobem perforacji, charakteryzuje się niezawodnością przy perforacji pojedynczych kolumn rur okładzinowych, ale jednocześnie brakiem kontroli skuteczności perforacji i pozostawianiem w odwiercie zanieczyszczeń.

Dla warunków występujących w odwiercie Mszczonów IG-1 zdecydowano się na perforację przy zastosowaniu perforatora bezkorpusowego z uwagi na to, że należało przestrzelić pojedynczą kolumnę rur okładzinowych w dwóch, stosunkowo długich interwałach, oraz że koszt wykonania zabiegu perforatorem korpusowym byłby kilkakrotnie wyższy. Po udostęp-

nieniu złoża przeprowadzono długotrwałe pompowanie wody w trzech seriach, uzyskując zadowalającą wielkość przyływu.

3. POMIARY PRODUKCYJNE I BADANIA STREFY SPERFOROWANEJ

Pomiary produkcyjne i badania stanu technicznego strefy perforowanej w odwiercie Mszczonów IG-1 wykonywane były w latach 1997 (Zychowicz 1997), 1999 (Bujakowski 1999; Bujakowski red. 2000), 2001 (Zychowicz, Wójcik 2001), 2003 (Zychowicz, Miziołek 2003) i 2012 (Wójcik 2012) zestawami sond Production Log (rys. 2) oraz średnicomierzami

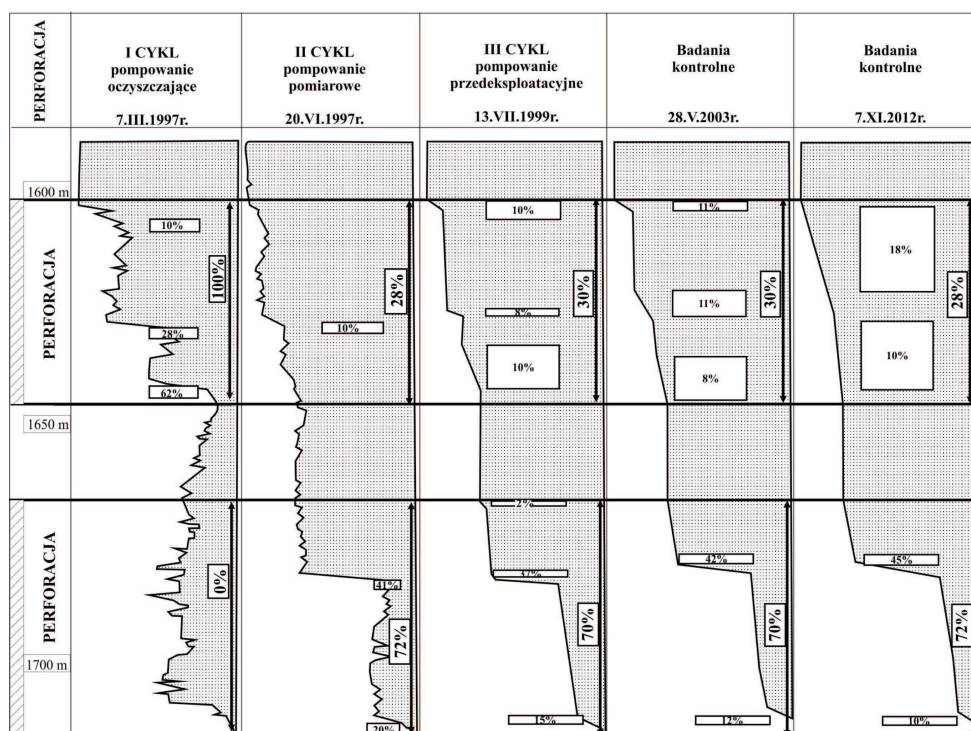


Rys. 2. Kompleksowa sonda Production Log

Fig. 2. Comprehensive Production Log probe

wieloramiennymi, w tym również sondą MIT60. Badania produkcyjne wykonywane były na chłonność podczas grawitacyjnego zatłaczania wody do odwiertu.

Z porównania analiz pomiarów produkcyjnych z poprzednich lat wynika (rys. 3), że chłonność odwiertu, oceniana na podstawie pomiarów przepływomierzem, nie ulega znaczącym zmianom, z wyjątkiem I cyklu badań w dniu 7.III.1997 r., kiedy stwierdzono brak chłonności w interwale dolnej perforacji. Badaniami następnymi (20.VI.1997 r. i 13.VII.1999 r.) chłonność dolnej perforacji oceniona została na około 70%, a górnej na około 30%.



Rys. 3. Zestawienie wyników badań PL wykonanych w latach 1997, 1999, 2003 i 2012

Fig. 3. Summary of results of PL studies carried out 1997, 1999, 2003 and 2012

Badania wykonane w roku 2003 i najnowsze z 2012 potwierdziły wcześniejszy obraz chłonności (rys. 3). Największa, skokowa zmiana chłonności odwiertu występuje na głębokości 1680 m.

Najnowsze pomiary wykonane przepływomierzem w 2012 roku (rys. 3) są znacznie gorszej jakości od pomiarów wykonanych w 2003 roku. Przepływomierz nie pracuje stabilnie. Na zestawieniu pomiaru przepływomierzem FLOW(s), wykonanego w warunkach statycznych, z pomiarem prędkości przemieszczania się zestawu sond TSPD(s) obserwuje się rozejścia krzywych świadczące o niestabilnej pracy przepływomierza. Oba pomiary powinny nałożyć się na siebie, gdyż obroty turbinki w zarurowanym odwiercie wypełnionym

nieruchomą wodą zależą tylko od prędkości przemieszczania się zestawu sond. Jednakże efekt końcowy analizy pomiarów wykonanych w warunkach dynamicznych podczas załtaczania wody nie zmienia obrazu chłonności uzyskanego w poprzednich badaniach. Złoże pracuje stabilnie. Warto zauważyć, że jakkolwiek strefa dolnej perforacji – jak wcześniej podkreślono – chłonie około 70%, to w jej obrębie na głębokości około 1680 m występuje kilkunastocentymetrowy odcinek, w obrębie którego chłonność ocenić można na około 40% (rys. 3, 4, 5 i 6).

Perforacja w obrębie tego bardzo krótkiego odcinka (o dł. ok. 14 cm) wykonana została tylko po jednej stronie rur, ale za to penetracja górotworu poza rurami sięgnęła prawdopodobnie głęboko poza zewnętrzny ich obrys. Przy zakładanej gęstości strzelania wynoszącej 30 ładunków/m otworu, perforacja każdego odcinka ze względów technicznych musiała być wykonywana wielokrotnie, a to przy braku kontroli skuteczności perforacji i niedostatecznym dowiązaniu głębokościowym poszczególnych zabiegów mogło powodować nierównomierne rozmieszczenie i nadmierne zagęszczenie przestrzelin w pewnych odcinkach perforacji (int. 1605–1632 m) lub pozostawienie fragmentów rur niedostatecznie sperforowanych, a nawet wcale nie perforowanych (int. 1711–1713 m).

Na obrazie przestrzelin przedstawionym na rysunku 6 uwagę zwraca również rozmiar otworów, który znacznie przekracza rozmiar przestrzelin uzyskiwanych przy użyciu standardowych ładunków kumulacyjnych pokazanych na rysunkach 7 i 9. Można przypuszczać, że na brzegach tych otworów, przy tak dużym przypiływie i prędkości wody występuje silna korozja i abrazja spowodowana piaszczeniem formacji. Intensywność tego procesu nie jest możliwa do oceny bez porównania z analogicznym obrazem wykonanym wcześniej np. w roku 2003.

Obrazy perforacji rur okładzinowych z wyżej leżących interwałów pokazują, że przestrzeliny po perforacji rejestrowane przez czujniki sondy MIT60 uwidaczniają się najczęściej tylko jako pojedyncze punkty, których głębokość nie zawsze sięga poza zewnętrzny obrys rury i pozwalają stwierdzić jedynie, że ładunki perforatora zostały odpalone. Takie obrazy nie gwarantują też, że rura została przestrzelona, a przestrzelina penetruje skałę na głębokość do 500–600 mm. Przykłady takich stref perforacji z głębokości około 1626 i 1632 m przedstawiono na rysunkach 7, 8, 9 i 10.

PODSUMOWANIE

Wykonana w trakcie rekonstrukcji otworu Mszczonów IG-1 perforacja rur nie jest równomierna. Na podstawie przeprowadzanych kilkakrotnie badań geofizycznych stwierdzono, że około 40% dopływu pochodzi z głębokości 1680 m, w której znajdują się trzy otwory o średnicy około 3–4 cm na odcinku około 14 cm. Otwory rozmieszczone są liniowo tylko z jednej strony rury. Na głębokości 1626 i 1632 m p.p.t. widoczna jest natomiast wielopunktowa perforacja rur o trudnym do ustalenia stopniu penetracji formacji. Nie stwierdzono wyraźnych różnic pomiędzy pomiarami wykonanymi na przestrzeni lat 1997–2012.

W celu zwiększenia intensywności oraz poprawy równomierności dopływu wody termalnej do otworu proponuje się rozważenie możliwości wykonania dodatkowej perforacji przy zastosowaniu perforatora rurowego. Daje on możliwość większej kontroli skuteczności i równomierności wykonanego zabiegu perforacji.

LITERATURA

- BUJAKOWSKI W., 1999 — Dokumentacja powykonawcza z prac badawczo-rozwojowych pn.: „Dostosowanie otworu Mszczonów IG-1 dla potrzeb eksploatacji złoża geotermalnego do systemu grzewczego”. Archiwum IGSMiE PAN, Kraków.
- BUJAKOWSKI W. (red.), 2000 — Wybrane problemy wykorzystania geotermii – I. Studia Rozprawy Monografie nr 76, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- WÓJCIK R., 2012 — Określenie stanu technicznego rur 9 $\frac{5}{8}$ " na podstawie kawernomierza wieloramiennego MIT-60. Geofizyka Kraków S.A. Archiwum Geotermia Mazowiecka S.A.
- ZYCHOWICZ J., 1997 — Określenie miejsc chłonności w strefie złożowej w otworze Mszczonów IG-1. Geofizyka Kraków S.A. Archiwum Geotermia Mazowiecka S.A.
- ZYCHOWICZ J., WÓJCIK R., 2001 — Pomiary geofizyki wiertniczej i wyniki prac interpretacyjnych wykonanych dla oceny chłonności piaskowców kredy w otworze Mszczonów IG-1. Geofizyka Kraków S.A. Archiwum Geotermia Mazowiecka S.A.
- ZYCHOWICZ J., MIZIOŁEK E., 2003 — Pomiary geofizyki wiertniczej i wyniki prac interpretacyjnych wykonanych dla oceny chłonności piaskowców kredy w otworze Mszczonów IG-1. Geofizyka Kraków S.A. Archiwum Geotermia Mazowiecka S.A.

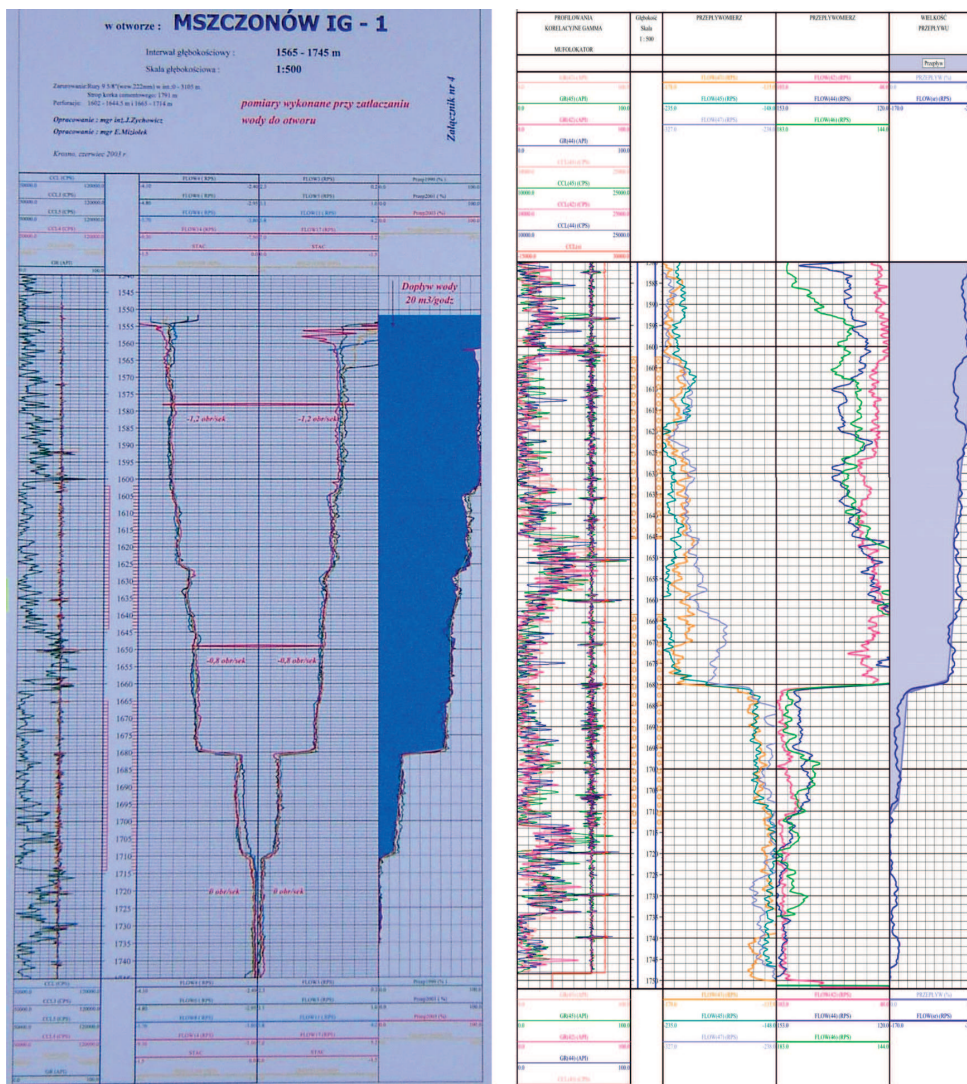
COMPARISON OF THE PRODUCTIVITY OF THE AQUIFER BASED ON GEOPHYSICAL SURVEYS ON THE EXAMPLE OF A GEOTHERMAL BOREHOLE MSZCZONÓW IG-1

ABSTRACT

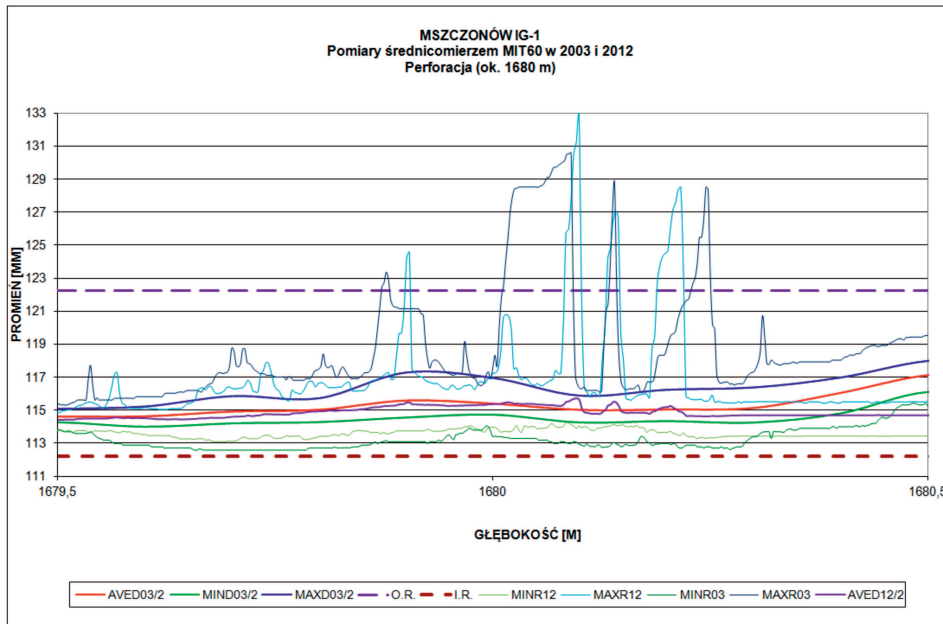
The first operation of the geothermal aquifer require a special attention. Especially when it takes place in an old well, the main goal was not to the consumption of geothermal waters. Reservoir layers are usually very damaged by mud and cement used during drilling. This paper presents the results of tests of perforated pipes Mszczonów IG-1 by geophysics probe MIT60 and performance testing carried out using a set of probes Production Log.

KEY WORDS

Geothermal energy, well logging, borehole productivity



Rys. 4. Zestawienie profilowań PL wraz z interpretacją wyników chłonności strefy złożowej wykonanych w odwiercie Mszczonów IG-1 w 2003 (wykres po lewej stronie) i w 2012 roku
 Fig. 4. Summary profiles of PL with the interpretation of the results of absorption zone in the wellbore reservoir made Mszczonów IG-1 in 2003 (graph on the left) and in 2012



Rys. 5. Porównanie pomiarów promieni rury wykonanych średnicomierzem MIT60 (2003 i 2012 r.) z zaznaczającymi się trzema pikami w miejscach przebicia rur okładzinowych

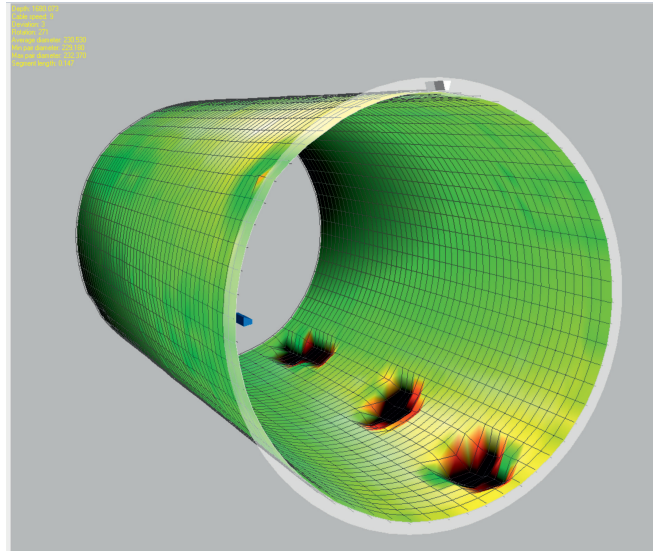
Legenda do zestawienia pomiarów promieni rury okładzinowej:

AVED3/2 – średnica średnia/2 2003 rok, MIND3/2 – średnica minimalna/2 2003 r., MAXD3/2 – średnica maksymalna/2 2003 r., O.R. – nominalny promień zewnętrzny, I.R. – nominalny promień wewnętrzny, MINR12 – promień minimalny 2012 r., MAXR12 – promień maksymalny 2012 r., MINR03 – promień minimalny 2003 r., MAXR03 – promień maksymalny 2003 r., AVED12/2 – średnia średnica/2 2012 r.

Fig. 5. Comparison of MIT60 images (2003 and 2012) with three peaks in the penetration casing pipes

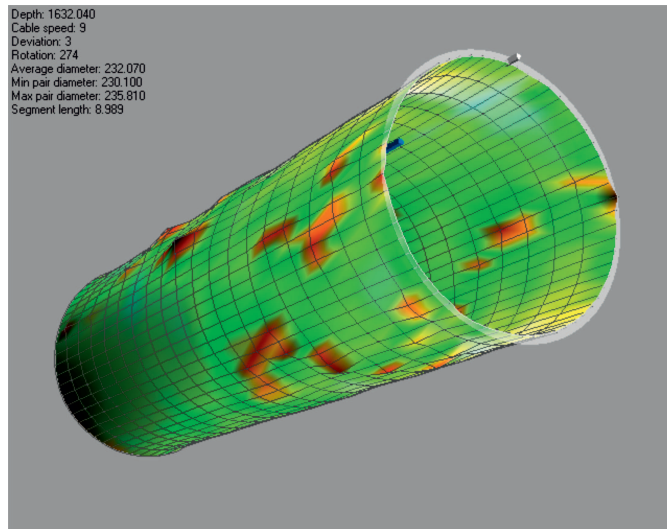
Legend for casing radius measurements comparison:

AVED3/2 – average diameter/2 2003, MIND3/2 – minimum diameter/2 2003, MAXD3/2 – maximum diameter/2 2003, OR – outer pipe radius, IR – inner pipe radius, MINR12 – minimum radius 2012, MAXR12 – maximum radius 2012, MINR03 – minimum radius 2003, MAXR03 – maximum radius 2003, AVED12 – average diameter/2 2012



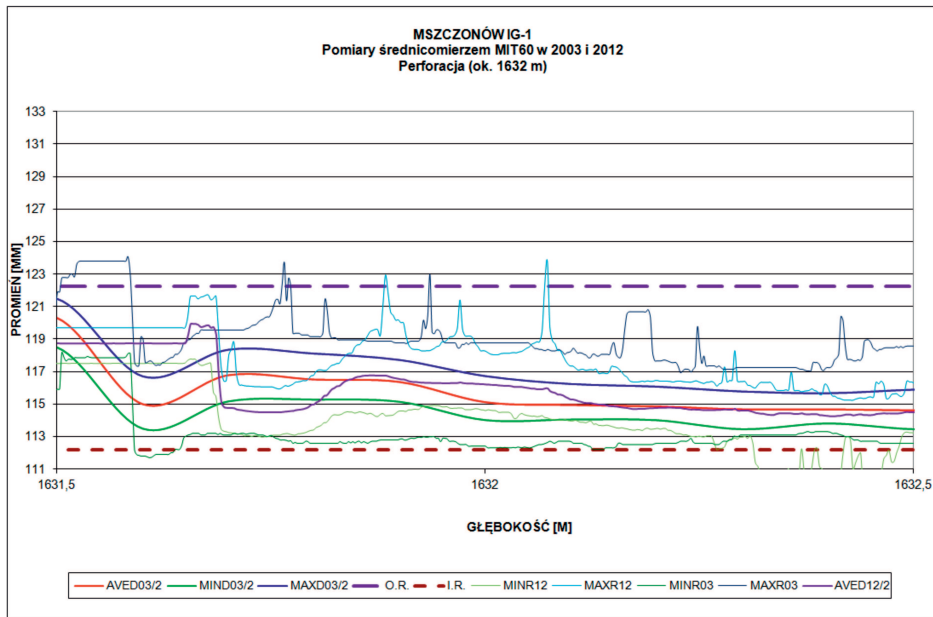
Rys. 6. Obraz sperforowanej strefy rur okładzinowych z głębokości około 1680 m, otrzymany z pomiaru sondą MIT60 f. SONDEX (w 2012 r.). Trzy kilkucentymetrowe (3–4 cm) otwory po perforacji rur, przez które dopływa około 40% całego strumienia wody

Fig. 6. Image of perforated area of casing at the depth of about 1680 m obtained from measurement with MIT60 SONDEX tool (in 2012). Three few centimeters pipe perforation holes through which flows approximately 40% of the total water stream



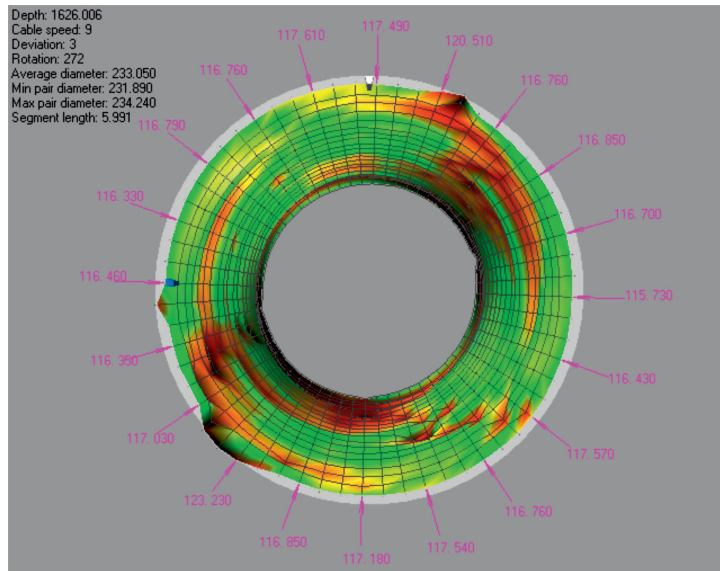
Rys. 7. Obraz perforacji rur w głębokości około 1632 m otrzymany z pomiaru sondą MIT60. Widoczne wielopunktowe uszkodzenia rur po odpaleniu ładunków perforatora na odcinku około 9 mb w odw. Mszczonów IG-1, 2012 rok

Fig. 7. Image of perforated pipes from MIT60 log in a depth of about 1632 m. Visible casing damages after perforation over a distance of about 9 m of the Mszczonów IG-1 borehole, 2012



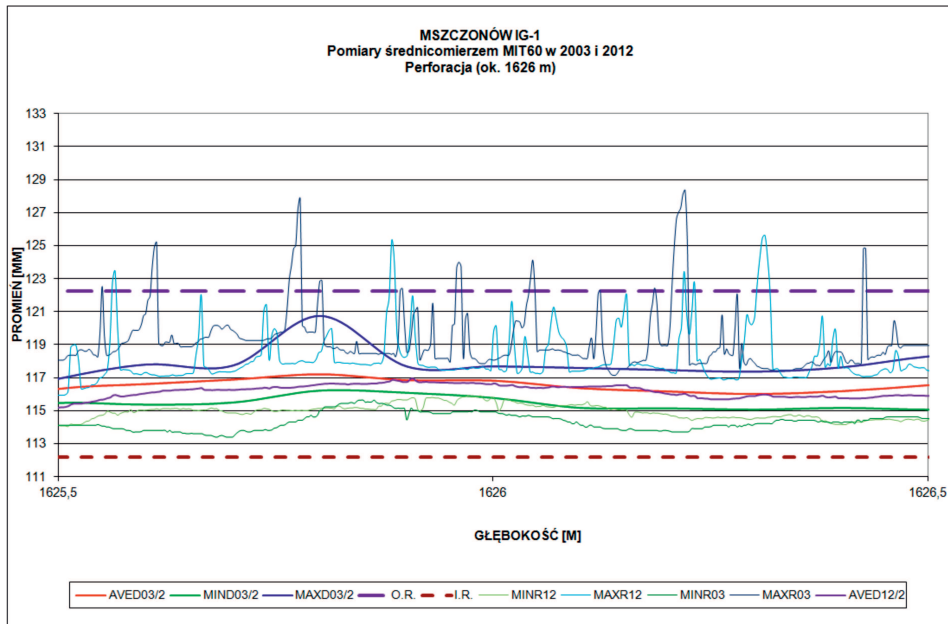
Rys. 8. Wykres porównawczy pomiarów MIT 60 strefy perforowanej na głębokości około 1632 m. Rok 2003 i 2012 – opis jak na rys. 5

Fig. 8. Figure comparison study of MIT60 perforated zone to a depth of 1632 m (2003 and 2012). Description as shown in Figure 5



Rys. 9. Obraz przekroju rury okładzinowej w głębokości 1626 m. Wyraźne wielopunktowe przebicia rury, 2012 rok.

Fig. 9. Image of casing section at a depth of 1626 m. Clear multi-tube puncture holes, 2012



Rys. 10. Wykres porównawczy pomiarów MIT 60 wykonanych w strefie perforowanej około 1626 m p.p.t. Rok 2003 i 2012 – opis jak na rys. 5

Fig. 10. Figure comparison study of MIT60 perforated zone to a depth of 1626 m (2003 and 2012). Description as shown in Figure 5

