

**Stanisław Dubiel\*, Katarzyna Luboń\*,  
Wojciech Luboń\*, Wojciech Wartak\***

## **PROBLEMY REKONSTRUKCJI ODWIERTÓW GEOTERMALNYCH NA PRZYKŁADZIE ODWIERTU BIAŁY DUNAJEC PAN-1\*\***

### **1. WSTĘP**

Podczas wieloletniej eksploatacji wód geotermalnych obserwuje się niekorzystne oddziaływanie warunków złożowych – zarówno temperatury jak i wysoko zmineralizowanej wody – na konstrukcyjne elementy wyposażenia wglębnego i napowierzchniowego odwiertu oraz skały złożowe w strefie przyodwiertowej. Prowadzi to do niszczenia tych elementów na skutek korozji, a także powstawania osadów polimetalicznych i innych zmian materiałowych. Aby zapobiec tym procesom korozyjnym, podczas eksploatacji złoża wód termalnych, trzeba utrzymywać te elementy w jak najlepszym stanie technicznym, poprzez zastosowanie np. inhibitorów korozji, powłok antykorozyjnych, odpowiednich cieczy nadpakerowych i innych zabezpieczeń. Z czasem jednak wyposażenie to mimo wszystko ulega zużyciu, a odwiert wymaga rekonstrukcji. Oprócz tego, pogorszeniu ulegają również właściwości filtracyjne skał zbiornikowych w strefie przyodwiertowej, a zwłaszcza przepuszczalność tych skał, ograniczając dopływ wody złożowej do odwiertu, w wyniku kolmatacji tej strefy drobnymi cząstkami stałymi, a także osadami soli i rdzą.

Rekonstrukcja odwiertu obejmuje czynności prowadzące do poprawy jego stanu technicznego wyposażenia wglębnego (a niekiedy także wyposażenia powierzchniowego) oraz przygotowaniu go do wykonania zabiegów stymulacyjnych poprawiających właściwości filtracyjne skał strefy przyodwiertowej, a więc do intensyfikacji wydobywania wody złożowej. Współcześnie rekonstrukcji podlegają często także odwierty wcześniej zlikwidowane, których eksploatacja nigdyś była nieopłacalna.

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań statutowych Katedry Inżynierii Naftowej Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, nr 11.11.190.555

Przykładem rekonstrukcji odwiertu geotermalnego jest Biały Dunajec PAN-1, który został zrealizowany w latach 1988 –1990 przez Polską Akademię Nauk (PAN) w Białym Dunajcu. Od 1990 działał jako odwiert chłonny, najpierw w Doświadczalnym Zakładzie Geotermalnym PAN, a od 1993 w Geotermii Podhalańskiej S.A. Niestety, w 2003 roku podczas prac przygotowawczych do zabiegu kwasowania, stwierdzono nieszczelności rur okładzinowych kolumny eksploatacyjnej. Wykluczono wtedy ten odwiert z systemu eksploatacji wód termalnych. W 2011 roku przeprowadzona została jego rekonstrukcja, której zakres techniczny i technologiczny zostanie przykładowo przedstawiony w niniejszej publikacji.

## **2. PODSTAWY TYPOWANIA ODWIERTÓW GEOTERMALNYCH DO REKONSTRUKCJI**

Istotnym problemem towarzyszącym eksploatacji wód termalnych jest korozja elementów konstrukcyjnych odwiertów oraz ich wyposażenia wgłębnego i powierzchniowego, spowodowana głównie chemiczną agresywnością wody. Poprzez agresywność wody rozumie się między innymi obecność takich substancji jak  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$  (gazy kwaśne) rozpuszczonych w wodzie (które pod nieobecność tlenu są utleniaczami), a także obecność jonów chlorkowych, mających wpływ na pH wody, a niekiedy również obecność drobnoustrojów (bakterii redukujących siarczany), które stwierdzone zostały w obiegu wody termalnej w Geotermii Podhalańskiej [1]. W takich warunkach, może występować nie tylko korozja siarkowodorowa elementów stalowych oraz stopów miedzi, ale także intensywna korozja kamienia cementowego poza rurami okładzinowymi, a ponadto korków cementowych. Po upływie kilkunastu lat, może to prowadzić do powstawania nieszczelności w okładzinie (rura – cement) odwiertów geotermalnych. Korozja elementów konstrukcyjnych odwiertów geotermalnych, powoduje nie tylko ubytek materiału, ale niejednokrotnie również tworzenie się osadu, zwanego osadem korozyjnym. Może być to częstą podstawą typowania odwiertów do rekonstrukcji połączonej z zabiegiem stymulującym wydobycie wody lub zwiększającym chłonność skał zbiornikowych.

Obok korozji elementów stalowych podstawowym problemem decydującym o typowaniu odwiertów geotermalnych do rekonstrukcji, są procesy wytrącania wtórnych substancji mineralnych. Intensywność tych procesów, jak i rodzaj powstających minerałów oraz związków chemicznych, są zróżnicowane i niestety w wielu przypadkach mogą prowadzić do poważnych problemów. Należą do nich:

- pogorszenie przepuszczalności skał zbiornikowych, a więc zmniejszenie wydobycia wody, czy też chłonności tych skał;
- spadek wielkości przepływu wód termalnych przez instalację oraz skrócenie żywotności tych instalacji, bądź częste ich awarie i konieczność naprawy lub wymiany.

Wody termalne wydobywane w rejonie Bańskiej i Białego Dunajca są lekko przesycone kalcylem, dolomitem i anhydrytem, co powoduje tendencję do wytrącania tych minera-

łów, zarówno w warunkach temperatur złożowych, jak i rejestrowanych na wylotach odwiertów wydobywczych, a także chłonnych. Przesycenie to nie musi jednak prowadzić do natychmiastowego wytrącania węglanów – następuje ono dopiero po znacznym przekroczeniu równowagi roztworu. Obecnie w tym rejonie obserwuje się wytrącanie niewielkich ilości węglanu wapnia i gipsu w instalacjach powierzchniowych. Kolmatację skał zbiornikowych, w strefach przyodwiertowych, w dłuższej perspektywie czasu mogą powodować również minerały ilaste czy też fragmenty skał zbiornikowych [9].

Od kilkudziesięciu lat w światowej geotermii sporadycznie obserwuje się zjawisko tworzenia się metalicznego ołowiu i osadów polimetalicznych. Dla przykładu pierwsze opisane w literaturze wytrącanie się ołowiu w rurach wydobywczych zanotowano w 1968 roku na złożu geotermalnym Cheleken w Turkmenistanie. Stwierdzono tam istnienie skorupy metalicznego osadu ołowiu o grubości 1–5 mm na wewnętrznej powierzchni tych rur na długości setek metrów [10]. Odwierty takie typowane są do rekonstrukcji.

Również problem dopływu chłodniejszych wód z niektórych interwałów może być kłopotliwy szczególnie w przypadku eksploatacji par geotermalnych. Taki przypadek odnotowano na Filipinach, na złożu geotermalnym Mak-Ban. W niektórych odwiertach chłodniejszy płyn przedostawał się do głębszych warstw, co skutkowało uszkodzeniem strefy produkcyjnej w tym odwiercie oraz w odwiertach sąsiednich. Powodowało to również zatrzymanie produkcji pary z tych odwiertów [14]. Rozwiązaniem tego problemu będzie rekonstrukcja odwiertu polegająca na odizolowaniu interwału z dopływem chłodniejszej wody.

### **3. ZAKRES PRAC REKONSTRUKCYJNYCH W ODWIERTACH GEOTERMALNYCH**

Skutki korozji i wytrącania osadów, występujące szczególnie często w odwiertach geotermalnych, można eliminować poprzez ich rekonstrukcję. Aby dokonać rekonstrukcji danego odwiertu należy najpierw przeprowadzić w nim określone badania i testy złożowe np.: próbne pompowania, testy hydrodynamiczne, badania geofizyczne oraz badania stanu technicznego odwiertu, a także badania fizykochemiczne wody złożowej. Na tej podstawie można wykonać projekt prac rekonstrukcyjnych dla danego odwiertu.

Pracami rekonstrukcyjnymi mogą być [4]:

- Zlikwidowanie nieszczelności rur okładzinowych lub innych elementów odwiertu geotermalnego, spowodowanych np. przez korozję. Może się to odbyć poprzez ich wymianę lub naprawę, a więc na docementowaniu, uszczelnieniu, wprowadzeniu dodatkowych litych (nieperforowanych) rur (łat) lub nawet ich nowej kolumny. Natomiast podczas wymiany odbywa się frezowanie uszkodzonych rur i ich wymiana na nowe. Kiedy chce się uniknąć kosztownej wymiany rur, a konieczne jest utrzymanie sprawności technicznej odwiertu, o ile to możliwe, zapuszcza się kolumnę o mniejszej średnicy i cementuje ją w dotychczasowej;

- W przypadku powstania osadu na ścianie odwiertu lub powierzchni rur produkcyjnych czy okładzinowych, konieczne jest jego mechaniczne usunięcie (poprzez zwiercenie). Zabieg ten wykonywany jest w odwiercie jedynie wtedy gdy stan rur okładzinowych (w tym wydobywczych) pod względem szczelności pozwala na pozostawienie ich w odwiercie.
- Usunięcie wytraconych minerałów (zwykle także produktów korozji) w strefie przyodwiertowej w poziomie zbiornikowym, poprzez zabiegi stymulacji. Najczęściej są to zabiegi szczelinowania hydraulicznego oraz kwasowania. Kwasowanie skał węglanowych powoduje zwiększenie efektywnego promienia drenażu odwiertu poprzez wytrawianie kwasem nowych przewodzących szczelin sięgających od strefy przyodwiertowej w głąb warstwy skał zbiornikowych. Zabiegi kwasowania są najczęściej stosowanymi zabiegami stymulacji wydobywania wód termalnych w skałach węglanowych i piaskowcach o spoiwie węglanowym. Natomiast poprzez hydrauliczne szczelinowanie zwiększa się hydroprzewodność poziomu skał zbiornikowych, w wyniku wytworzenia w nim szczeliny o dużej rozciągłości. Zabieg ten stosuje się w przypadkach znacznego uszkodzenia przepuszczalności, którego nie można usunąć poprzez kwasowanie matrycy skalnej.
- Pogłębienie odwiertu, bądź udostępnienie poprzez perforację okładziny odwiertu w nowych interwałach wodonośnych wcześniej nieudostępnionych. Alternatywnym sposobem udostępnienia uszkodzonego interwału może być ponowne dowiercenie warstwy wodonośnej, które polega na ponownym przewierceniu warstwy wodonośnej, nad jej stropem, odwiertem odchylonym i zainstalowaniu dodatkowego filtra.
- W przypadku stwierdzenia pogorszenia się kontaktu hydraulicznego między warstwą wodonośną a odwiertem, można wykonać ponowną perforację rur eksploatacyjnych. Takie pogorszenie spowodowane może być najprawdopodobniej tym, że wcześniej wykonane kanały perforacyjne uległy wypełnieniu osadami oraz zablokowaniu cząstkami stałymi.

Aby poddać rekonstrukcji odwiert wcześniej zlikwidowany, który zawsze jest częściowo uszczelniony korkami cementowymi, prace należy rozpocząć od zwiercenia tych korków, po czym przystępuje się do wykonania koniecznych testów i badań. Bazując na otrzymanych wynikach można podjąć decyzję o rodzaju dalszych prac rekonstrukcyjnych.

Wykonanie rekonstrukcji odwiertu można ująć według następującej procedury:

1. Prace przygotowawcze terenu w celu postawienia urządzenia rekonstrukcyjno-wiertniczego, składowanie materiałów i sprzętu.
2. Dobór płynu zabiegowego.
3. Przed rozpoczęciem rekonstrukcji odwiertu dokonuje się sprawdzenia funkcjonowania wyposażenia powierzchniowego i wydobywczego odwiertu.
4. Zatlóczenie odwiertu płuczką lub cieczą zabiegową (obiegowe, odwrotny obieg lub prawy, albo jeżeli to konieczne, metodą forsowną).

5. Wyciągnięcie z odwiertu sprzętu wydobywczego (żerdzie pompowe, pompa, sprzęt linowy, rury wydobywcze, paker itp.).
6. Ocena mechanicznych właściwości rur okładzinowych, rur filtrowych oraz stanu nieorurowanego odcinka odwiertu. Zapuszczenie pierścienia pomiarowego, czyszczaka rur okładzinowych, sondy do kontroli jakości rur i innego sprzętu pomiarowego. Czyszczenie oraz forsowne wypłukanie soli i piasku.
7. Zapuszczenie sprzętu stosowanego w rekonstrukcji (tuleja przepływowa, paker, kolumna rur wydobywczych, korek cementowy, przyrządy do prób, perforator, sprzęt linowy). Bardzo ważne jest dokonanie pomiarów i dokumentowanie wszystkich elementów zapuszczonych do odwiertu, a szczególnie narzędzi do instrumentacji.
8. Wykonanie wymaganej operacji rekonstrukcyjnej i sprawdzenie właściwości mechanicznych wyposażenia wydobywczego przeznaczonego do zapuszczenia do odwiertu (oczyszczenie i kontrola wszystkich elementów wyposażenia węgłbnego, który nie był naprawiany lub wymieniany).
9. Zapuszczenie sprzętu wydobywczego węgłbnego, zachowanie szczegółowych i dokładnych zapisów i szkiców dotyczących poszczególnych elementów i ich umiejscowienia w odwiercie oraz rodzaju materiałów.
10. Doprowadzenie odwiertu do wymaganego zadania (wydobycie lub iniekcja).
11. Kontrola wyników, ocena ekonomiczna, zakończenie szczegółowego sprawozdania z rekonstrukcji z dokładnym rysunkiem wyposażenia odwiertu oraz sprawdzenie, czy wszystkie pozycje sprzętu są właściwie oznaczone i zapisane w dokumentacji odwiertu.

W obszarze Niecki Podhalańskiej, w latach 1963–1997 wykonano dwadzieścia jeden otworów wiertniczych, a wody geotermalne otrzymano w czternastu spośród nich (rys. 1, tab. 1).

#### **4. REKONSTRUKCJA ODWIERTU BIAŁY DUNAJEC PAN-1**

Odwiert Biały Dunajec PAN-1 został zrealizowany w latach 1988–1990 przez Polską Akademię Nauk – Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią (obecnie Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią). Odwiert ten wykonano do głębokości 2394,0 m i zarurowano: rurami o średnicy 20" do głębokości 23,0 m; rurami 13 3/8" do głębokości 295,0 m oraz rurami 9 5/8" do głębokości 2135,0. Interwał 2135,0–2394,0 m został niezarurowany, a na głębokości 2155–2394 m znajduje się przewód wiertniczy pozostawiony po awarii w trakcie wiercenia. W rurach okładzinowych o średnicy 9 5/8", w interwale 2117,0–2135,0 m wykonana została perforacja, a samo wypływu wody złożowej o wydajności 270 m<sup>3</sup>/h stwierdzono w serii zbiornikowej składającej się z utworów eocenu numulitowego i triasu środkowego jednostki regłowej dolnej, znajdujących się w interwale 2113,0–2394,0 m (rys. 2).

Tabela 1

Litologia interwału złożowego oraz głębokość oraz zasoby otworów w rejonie Podhala w których otrzymano przyływ wody termalnej (na podstawie [6, 8, 12, 15])

Nazwa otworu	Skaty zbiornikowe (wiek)	Zawartość związków korodujących	Głębokość otworu [m]; wysokość [m n.p.m.]	Rok wykonania	Zatwierdzone zasoby [m <sup>3</sup> /h]
Zakopane IG-1	marle i wapień z rogowcami (lotaryng – domer)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	3073,2; 864,9	1963	50
Siwa Woda IG-1	wapień dolomitowe, zlepienie (eocen środkowy) – dolomity (trias środkowy)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	856,0; 920,0	1972 – 1973	4
Zakopane 2	wapień numulitowe (eocen środkowy) – dolomity (trias środkowy)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	1113,0; 871,2	1975	80
Bańska IG-1	wapień numulitowe (eocen środkowy) – wapień i dolomity (trias środkowy)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	5261,0; 679,0	1979 – 1981	120
Zazadnia IG-1	wapień numulitowe i zlepienie (eocen środkowy)	CO <sub>2</sub> , Cl	680; 855	1985 – 1986	25,1
Białe Dunajec PAN-1	zlepienie (eocen środkowy) – wapień i dolomity (trias środkowy)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	2394,0; 685,0	1988 – 1990	Otwór chłonny
Poronin PAN-1	wapień i dolomity zbrekcyjne (trias środkowy)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	3003,0; 741,0	1988 – 1990	70
Furmanowa PIG-1	zlepienie (eocen środkowy) – piaskowce (jura)– wapień (jura i kreda)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	2324,0; 1010,0	1989 – 1992	90
Chochołów PIG-1	dolomity zbrekcyjne i wapień (trias środkowy)	H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , Cl	3572,0; 778,0	1989 – 1992	120
Bukowina Tatrzańska PIG/PNiG-1	wapień margliste (jura górna, kreda dolna)	CO <sub>2</sub> , Cl	3780,0; 957,0	1989 – 1992	40
Bańska PGP-1	wapień margliste (eocen środkowy) – wapień i dolomity (trias środkowy)	CO <sub>2</sub> , Cl	3242,0; 672,3	1996 – 1997	550
Białe Dunajec PGP-2	wapień i dolomity (trias środkowy)	CO <sub>2</sub> , Cl	2450,0; 682,7	1996 – 1997	Otwór chłonny

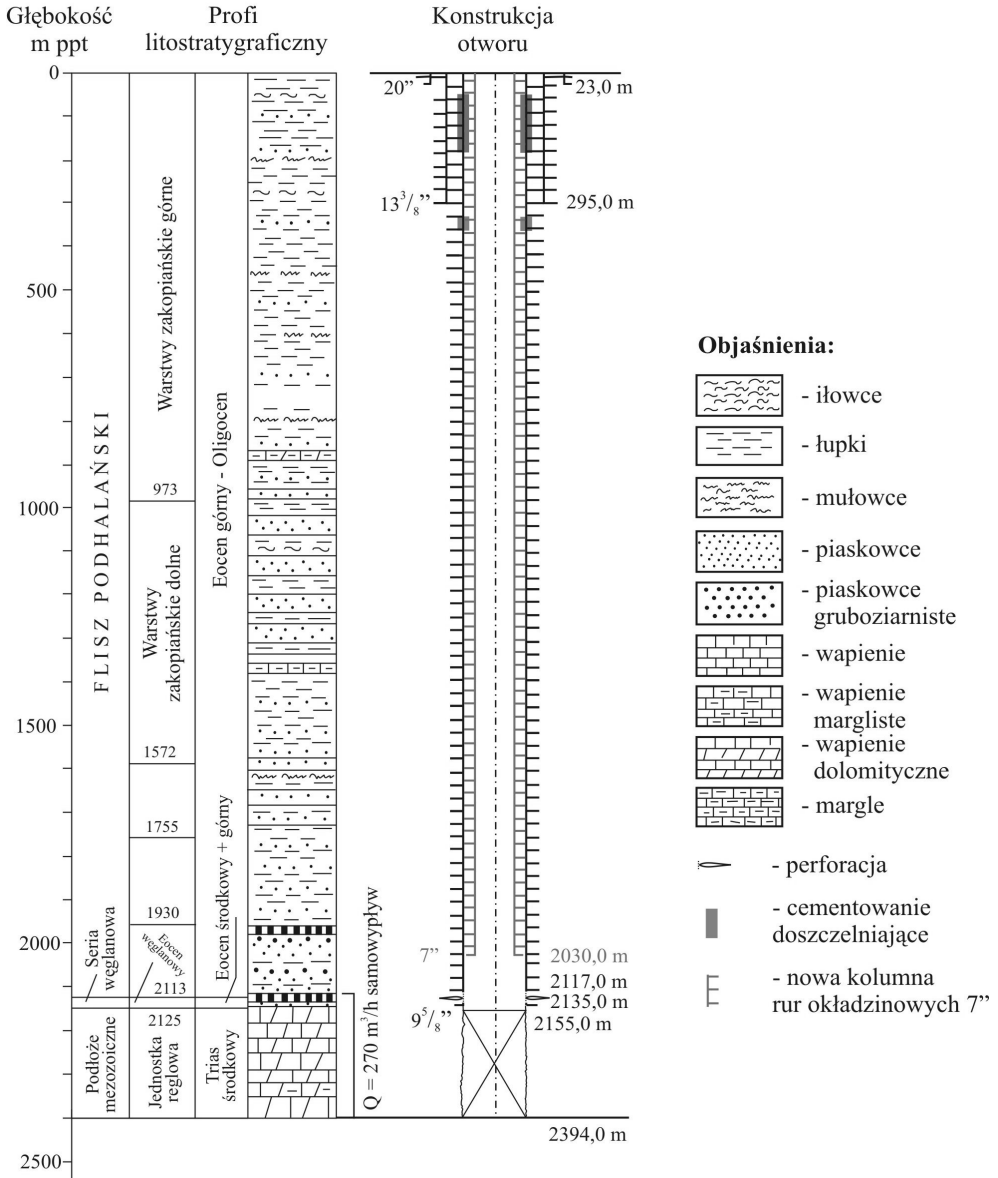
Na początku lat 90. XX wieku omawiany odwiert działał w systemie dubletu odwiertów geotermalnych Bańska IG-1 – Biały Dunajec PAN-1, jako chłonny. Dublet ten zasiliał wymienniki ciepła w obiekcie Doświadczalnego Zakładu Geotermalnego PAN w Bańskiej Niżnej. Przedsięwzięcie to zakończyło się sukcesem, więc z końcem 1993 roku dla komercyjnego wykorzystania wód termalnych do celów ciepłowniczych powołano Geotermię Podhalańską S.A. Tam w latach 1993–2003 odwiert Biały Dunajec PAN-1 funkcjonował w systemie opartym na odwiertach produkcyjnych: Bańska PGP-1, Bańska IG-1 i chłonne: Biały Dunajec PGP-2 i Biały Dunajec PAN-1 (rys. 1).



**Rys. 1.** Lokalizacja odwiertów geotermalnych w rejonie Niecki Podhalańskiej (na podstawie [8])

W roku 2003 w czasie prac przygotowawczych do zabiegu kwasowania, którego celem miało być poprawienie chłonności w strefie złożowej, w otworze Biały Dunajec PAN-1 stwierdzono nieszczelności rur okładzinowych kolumny eksploatacyjnej na głębokości 355 m i 360 m. Miejsce uszkodzenia rur okładzinowych potwierdziły pomiary geofizyczne. Wykluczono wtedy odwiert z systemu eksploatacji wód termalnych, a poniżej uszkodzenia rur zapięty został paker izolujący strefę produkcyjną [2, 3, 13, 16].

## BIAŁY DUNAJEC PAN-1



**Rys. 2.** Schemat konstrukcji odwiertu geotermalnego Biały Dunajec PAN-1 (na podstawie [2])

W 2011 roku w miesiącach czerwiec – wrzesień wykonana została rekonstrukcja odwiertu Biały Dunajec PAN-1. Celem rekonstrukcji było przywrócenie możliwości zatłaczania wody termalnej do złoża w inetrwałach 2117–2132 m, 2135–2155 m przy ciśnieniu roboczym nie większym niż 6,3 MPa.



Najpierw zdemontowana została istniejąca termalna głowica eksploatacyjna 9 5/8" i zamontowany prewenter hydrauliczny 9" oraz urządzenie wiertnicze. Następnie sprawdzona została szczelność zamontowanego przeciwrupejnego zabezpieczenia wylotu odwiertu. Strop korka mechanicznego, izolującego strefę produkcyjną, znajdował się na głębokości 396,5 m, a nad nim stwierdzono zasyp powstały z nagromadzenia osadu z rur do głębokości 367,43 m. Wykonano próbę szczelności przestrzeni pierścieniowej 9 5/8"–13 5/8" z wynikiem pozytywnym, oraz próbę szczelności w rurach 9 5/8", czego wynikiem było stwierdzenie chłonności przy niewielkim ciśnieniu rzędu 0,04 MPa. W głębokości 360–340 m wykonany został doszczelniający korek cementowy w celu zlikwidowania nieszczelności rur okładzinowych 9 5/8" w interwale 355–360 m. Strop korka doszczelniającego stwierdzono na głębokości 338 m.

Okazało się jednak, że rury okładzinowe posiadają drobne nieszczelności również w interwale 338–0 m. Przeprowadzona została wówczas ponowna analiza wyników profilowania geofizycznego oraz stwierdzenie możliwego uszkodzenia w głębokości 263,9–264,05 m (wgniecenie kolumny rur 9 5/8" do wewnątrz). W związku z tym wykonany zostaje drugi korek cementowy w interwale 338–0 m przez wtłoczenie 20,0 m<sup>3</sup> zaczynu cementowego na chłonność. Po związaniu cementu strop tego korka stwierdzono na głębokości 47 m i zwiercono go przy użyciu zestawu przewodu z frezerem, do głębokości 183 m, gdzie zaobserwowano brak korka cementowego. Następnie zapuszczono zestaw przewodu wiertniczego z frezerem do głębokości pierwszego (wykonanego w tym odwiercie w ramach prac rekonstrukcyjnych) korka cementowego na głębokości 338 m, i zwiercono jego część w głębokości 338,0–367,43 m oraz wyrobiono zasyp w głębokości 367,43–395,5 m przy równoczesnym stwierdzeniu braku zaniku płuczki. W dalszej kolejności wykonana zostaje próba szczelności w rurach 9 5/8", w interwale 393,5–0 m, z której wynika, iż możliwa jest kontynuacja prac zgodnie z projektem prac rekonstrukcyjnych w odwiercie Biały Dunajec PAN-1. W tym celu frezerem o średnicy 216 mm zwiercono korek typu Bridge Plug izolujący strefę produkcyjną. Po przewierceniu tego korka prewenter zostaje zamknięty, a odwiert zatłoczony na chłonność płuczką obiegową w celu wyrównania ciśnienia. Następnie, do głębokości 2070 m zapuszczony zostaje zestaw z frezerem o średnicy 216 mm wraz ze skrobakiem do rur okładzinowych 9 5/8", przy ciągłym utrzymywaniu cyrkulacji płuczki w odwiercie oraz przerabianiu co 150 m. Po wymianie i zapuszczeniu kolejnego zestawu frezera ze skrobakiem pojawiają się problemy – odwiert zaciąga i klinuje. Zestaw zostaje wyciągnięty, a w odwiercie przeprowadzone zostają badania geofizyki wiertniczej – pomiar MIT 60 oraz cementomierzem. Sonda geofizyczna schodzi do głębokości 2048 m i stwierdza zasyp powstały z osadu z rur okładzinowych.

Podjęto więc decyzję o zapuszczeniu do odwiertu świdra gryzowego o średnicy 216 mm w celu wypłukania zasypu. Zasypu jednak przybywało do około 4 m, więc zestaw ze świdrem wyciągnięto i zapuszczono przewód przez który wykonano korek cementowy na głębokości 2030 m. Następnie zapuszczono do odwiertu rury okładzinowe o średnicy 7" do głębokości 2023 m i zacementowano je do wierzchu. Później do odwiertu zapuszczono frezer o średnicy 149 mm i stwierdzono nim strop korka cementowego na głębokości 1980 m. Przeprowadzona pomyślna próba szczelności nowej kolumny rur okładzinowych 7"

umożliwiła kontynuację dalszych prac takich jak: zwiercenie korka cementowego do głębokości 2030 m oraz korka mechanicznego do głębokości 2030,6 m, a także przerobienie odwiertu tym frezem do głębokości 2070 m. W dalszej kolejności świdrem mimośrodowym przerobiono odwiert do głębokości 2072 m, a później frezerem o średnicy 149 mm, zwiercono pozostałości po korku i przerobiono zasyp w odwiercie do głębokości 2150 m. Następnie wtłoczono płuczkę o podwyższonej lepkości, przewód podciągnięto do buta rur 7" i wykonano test (stójkę) na wytrącenie.

Kiedy jednak przewód zapuszczono do spodu, stwierdzono występowanie zasypu do głębokości 2137 m. Wtedy przewód wyciągnięto i odwiert przygotowano do zabiegu kwasowania oraz przeprowadzono pomiary geofizyki otworowej, w celu sprawdzenia szczelności zacementowania rur 7". Po wyciągnięciu sondy i zamknięciu prewentera stwierdzono ciśnienie 0,2 MPa. Odwiert zostaje przepłukany zapuszczonym do spodu przewodem, a następnie przewód zostaje wyciągnięty. Następnie do odwiertu zapuszczono frezer o średnicy 149 mm w celu ponownego sprawdzenia zasypu na spodzie. W tym czasie stwierdzony zostaje samowypływ z odwiertu.

Od głębokości 2115 m, przy użyciu zestawu z frezerem, wypłukiwano czystą wodą zasyp mułowy, po czym zaobserwowano nieznaczny wzrost wydajności odwiertu. Przystąpiono więc do oczyszczania odwiertu aż do momentu uzyskania całkowitej klarowności wody, a następnie zdemontowano urządzenie wiertniczego. Po tym przeprowadzono zabieg kwasowania odwiertu Biały Dunajec PAN-1 z użyciem jednostki azotowej. W tym celu uruchomiono odwiert na samoczynny wypływ wody na 24 godziny przed rozpoczęciem zabiegu kwasowania. Następnie zamontowano instalację do zabiegu kwasowania i wykonano test szczelności na ciśnieniu 15 MPa. Wtłoczono do odwiertu 20 m<sup>3</sup> cieczy kwasującej na chłonność przez rury 7", a po cieczy kwasującej – 26,22 m<sup>3</sup> wody jako przybitki – oraz zatłoczono odwiert azotem do ciśnienia 11 MPa. Po upływie 15 minut wywołano odwiert na wolny wypływ. Po tym zabiegu wykonano próbę chłonności odwiertu, uzyskując wynik pozytywny.

## 5. WNIOSKI

- 1) Do podstawowych przyczyn uszkodzeń konstrukcji odwiertów w rejonie Niecki Podhalańskiej należy zaliczyć korozję spowodowaną występowaniem w wodach termalnych Podhala związków korodujących stopy stali oraz stopy miedzi, takich jak: siarkowodór, dwutlenek węgla oraz jony chloru.
- 2) Likwidacja powstałych nieszczelności może być zrealizowana poprzez docementowanie, wymianę rur, lub też zapuszczenie dodatkowej kolumny rur eksploatacyjnych.
- 3) Podczas zabiegów rekonstrukcji celowy jest dobór rur ze stali odpornych na korozję wodorową oraz specjalnych receptur zaczynu cementowego do ich uszczelnienia.
- 4) W celu zwiększenia efektywności prac rekonstrukcyjnych proponuje się wykonanie zabiegów stymulacji (kwasowanie lub hydrauliczne szczelinowanie skał zbiornikowych).

- 5) W celu wykorzystania w geotermii wszystkich, wykonanych dotychczas w Niece Podhalańskiej odwiertów, konieczne jest opracowanie sposobów kontroli ich stanu technicznego (np. próby ciśnieniowe, próby chłonności oraz pomiary geofizyczne) i na podstawie uzyskanych wyników, zaprojektowanie zakresu prac rekonstrukcyjnych, przy użyciu najnowszych rozwiązań technicznych.

## LITERATURA

- [1] Banaś J., Mazurkiewicz B., Kurzydłowski K., Solarski W., Roźniatowski K.: *Problemy związane z korozją materiałów konstrukcyjnych w wodach geotermalnych*. [w:] Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. Górecki W. (red.), AGH, Kraków, 2011.
- [2] Biernat H., Drozdowski B., Gryszkiewicz I., Posyński A.: *Dodatek nr 1 do Projektu Zagospodarowania złoża wód termalnych „Podhale” z utworów podfliszowych niecki podhalańskiej*. Warszawa, wrzesień 2006.
- [3] Biernat H., Drozdowski B., Posyński A., Wartak W.: *Projekt Zagospodarowania Złoża Wód Termalnych „Podhale” z utworów podfliszowych niecki podhalańskiej*. Przedsiębiorstwo Geologiczne „POLGEOLOG” S.A., Warszawa, kwiecień 2005.
- [4] Bujakowski W., Górecki W., Kępińska B., Nagy S., Soboń J.: *Podstawowe metody stymulacji skał zbiornikowych*. [w:] Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. Górecki W. (red.), AGH, Kraków 2006.
- [5] Bujakowski W. (red.): *Energia geotermalna – Świat – Polska – Środowisko*. IGSMiE PAN, Kraków 2000, s. 71.
- [6] Chowaniec J., Nagy S., Freiwald P., Łopuszyńska M.: *Dokumentacja hydrogeologiczna dla ustalenia zasobów eksploatacyjnych wód termalnych w otworze Bukowina Tatrzańska PIG/PNiG – 1*. OK PIG, Kraków 2004.
- [7] Chowaniec J., Nagy S.: *Dodatek nr 1 do Dokumentacji hydrogeologicznej dla ustalenia zasobów wód termalnych: otwory Biały Dunajec PGP-2 i Bańska PGP-1*. Kraków – Zakopane, 2003, s. 38.
- [8] Ciągło J., Kępińska B.: *Możliwości zagospodarowania wód geotermalnych Podhala do celów balneoterapeutycznych i rekreacyjnych*. *Geologia*, 34 (3), 2008, s. 541–559.
- [9] Kępińska B., Kania J.: *Wpływ stanu termodynamicznego wód geotermalnych na procesy wytrącania substancji mineralnych – implikacje dla eksploatacji*. [w:] Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. Górecki W. (red.), AGH, Kraków 2011.
- [10] Lebedev L.M.: *Minerals of contemporary hydrotherms of Cheleken*. *Geochem. Int.* 9, 1972, s. 485–504.
- [11] Ney R., red.: *Wybrane problemy wykorzystania geotermii – II*. *Studia, Rozprawy, Monografie*. IGSMiE PAN Kraków, 2001, s. 65.

- [12] Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Informacji o Złożach i Obszarach Górniczych we współpracy z Zakładem Geologii Złóż oraz Zakładem Analiz i Prognoz Hydrogeologicznych, 2010 – Bilans Zasobów Kopalni i Wód Podziemnych w Polsce według stanu na 31 XII 2010 r.
- [13] Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Geotermia Podhalańska S.A. 2007 – Dodatek nr 2 do Planu ruchu część szczegółowa Zakładu Górniczego PEC Geotermia Podhalańska S.A. w Bańskiej Niżnej. Maj 2007.
- [14] Torres A.C., Lim W.Q.: *Bulalo 99 Workover: Complex Zonal Isolation*. Proc. World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 25–29 April 2010.
- [15] Uchwała z dnia 30 czerwca 2011 roku nr VII/59/11 w sprawie: odstąpienia od sporządzenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego dla terenu górniczego „Witowskie Cieplice” w jego części położonej na terenie Gminy Kościelisko.
- [16] Wartak W., Wróbel A., Ignacok W.: *PEC Geotermia Podhalańska S.A. Ciepłowniczy zakład geotermalny na Podhalu: doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy*. Ogólnopolski Kongres Geotermalny, Radziejowice 2007.