

NAJNOWSZE ROZPOZNANIE PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH WÓD TERMALNYCH W UJĘCIU CHOCHOŁÓW PIG-1 W ASPEKTCIE EFEKTU WYGRZEWANIA SIĘ OTWORU

Bogusław Bielec¹, Agnieszka Operacz^{2*}

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, ul. J. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków

² Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

* Autora korespondencyjny: a.operacz@urk.edu.pl

STRESZCZENIE

W obszarze niecki podhalańskiej funkcjonuje kilkanaście otworów hydrogeologicznych ujmujących wodę termalną. Jednym z nich jest otwór Chochołów PIG-1 eksploatowany na potrzeby kompleksu rekreacyjnego Chochołowskie Termy. W listopadzie 2017 roku przeprowadzono w przedmiotowym otworze badania hydrogeologiczne w celu korekty podstawowych parametrów hydrogeologicznych związanych z eksploatacją ujęcia tj. wyznaczenia jego zasobów eksploatacyjnych i dopuszczalnego obniżenia zwierciadła wód termalnych. Szczególną uwagę zwrócono na warunki wygrzewania się otworu. Wyniki przeprowadzonego pompowania pomiarowego pozwoliły głębiej poznać warunki występowania wód termalnych ujmowanych przedmiotowym otworem.

Słowa kluczowe: wody termalne, parametry hydrogeologiczne, niecka podhalańska, efekt wygrzewania się otworu

NEWEST RECOGNITION OF EXPLOITATION PARAMETERS BASED ON CHOCHOŁÓW PIG-1 BOREHOLE IN THE ASPECT OF TEMPERATURE EFFECT

ABSTRACT

In the Podhale basin there are several hydrogeological boreholes that cover geothermal water. One of them is the Chochołów PIG-1 well used for the needs of the Chochołowskie Termy recreation complex. In November 2017, hydrogeological tests were carried out in the well in order to establish the basic hydrogeological parameters related to exploitation of the intake, i.e. to determine its operational resources and permissible lowering of the groundwater table. Particular attention was paid to the conditions of the borehole temperature effect. The results of the conducted measuring pumping allowed to get to know more deeply the conditions of occurrence of thermal waters captured by the borehole.

Keywords: geothermal waters, hydrogeological parameters, Podhale basin, borehole temperature effect

WPROWADZENIE

Otwór Chochołów PIG-1 wykonany został w latach 1989–1990 na podstawie projektu, który przewidywał wykonanie dziewięciu głębokich wierceń za wodą termalną w obrębie Niecki Podhalańskiej na południu Polski [Sokołowski et al. 1978]. Zrealizowanych zostało sześć otworów, w tym otwór Chochołów PIG-1. Eksploatacja wód termalnych w omawianym rejonie stanowi ważną

atrakcję warunkującą rozwój turystyczny (Bugajski et al. 2017). Wyniki jego wiercenia przedstawione zostały w dokumentacji hydrogeologicznej [Chowaniec et al. 1992]. Zasoby eksploatacyjne otworu zostały zatwierdzone pierwotnie w wysokości 36 m³/h. W latach 1996–1997 wykonywane były badania hydrogeologiczne w niecce podhalańskiej, w ramach których ustalone zostały zasoby eksploatacyjne niektórych otworów oraz zasoby dyspozycyjne wód podziemnych

niecki podhalańskiej. Określono wówczas zasoby eksploatacyjne otworu Chochołów PIG-1 w wysokości 190 m³/h. Od momentu wykonania do 2009 r. otwór nie był zagospodarowany. W 2009 r. spółka Witowskie Cieplice – Miasteczko Wodne Sp. z o.o. podjęła starania zmierzające do uzyskania koncesji na wydobycie wody termalnej otworem Chochołów PIG-1. W trakcie realizacji kompleksu basenowo-rekreacyjnego korzystającego z otworu Chochołów PIG-1 spółka Witowskie Cieplice – Miasteczko Wodne Sp. z o.o. zmieniła nazwę na Chochołowskie Termy Sp. z o.o. Pierwszym krokiem zmierzającym do zagospodarowania otworu było ponowne opracowanie dokumentacji hydrogeologicznej w celu określenia zasobów eksploatacyjnych otworu w związku z wygaśnięciem z końcem 2007 r. decyzji zasobowej z 1997 r. W kolejnej opracowanej dokumentacji zweryfikowano zasoby eksploatacyjne ujęcia Chochołów PIG-1 w oparciu jedynie o analizę ciśnienia notowanego od 2006 roku na głowicy otworu i oszacowano je w wysokości 120 m³/h [Józefko and Bielec 2009].

W sierpniu 2017 r. zaprojektowano prace geologiczne w celu ustalenia aktualnych parametrów eksploatacyjnych oraz możliwości zwiększenia wydajności otworu, co podyktowane było planowaną rozbudową miasteczka wodnego [Bielec and Operacz 2017]. W listopadzie 2017 r. przeprowadzono zaprojektowane badania hydrogeologiczne.

Niniejszy artykuł zawiera wyniki i analizę badań hydrogeologicznych wykonanych w roku 2017 w otworze Chochołów PIG-1, stanowiących najnowsze rozpoznanie hydrogeologiczne ujmowanego złoża wód termalnych.

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ (GEOLOGIA I HYDROGEOLOGIA)

Otwór „Chochołów PIG-1” położony jest w północnej części miejscowości Witów, gmina Kościelisko, powiat tatrzański z/s w Zakopanem, województwo małopolskie.

Paleogeńska niecka podhalańska, w obrębie której odwiercono otwór Chochołów PIG-1, znajduje się w północnej części Karpat wewnętrznych – między Tatrami na południu i pienińskim pasem skałkowym (Pieninami) na północy. Powierzchnia niecki w granicach Polski wynosi około 490 km² i rozciąga się równoleżnikowo z zachodu na wschód, pasmem o

długości około 40 km. W regionie tatrzańskim wyróżnia się dwie główne jednostki geologiczno-strukturalne: masyw tatrzański (jednostka dolna) i nieckę Podhala (jednostka górna).

Wody piętra czwartorzędowego związane są z występowaniem utworów aluwialnych wypełniających koryta potoków lub utworów fluwio-glacialnych. Warunki hydrogeologiczne w obrębie utworów czwartorzędowych stwierdzonych podczas wiercenia otworu „Chochołów PIG-1” nie były badane.

Wody trzeciorzędowego (paleogeńskiego) piętra wodonośnego związane są z utworami fli-szu podhalańskiego i węglanowymi utworami podfiszowymi (eocen tatrzański). Utwory fli-szu podhalańskiego (łupki i piaskowce) są słabo zawodnione. W skali regionalnej, jako całość, uznać je można za utwory izolujące. Reprezentują głównie szczelinowy, rzadziej szczelinowo-porowy, typ wodonośca. Zwierciadło wody ma najczęściej charakter naporowy.

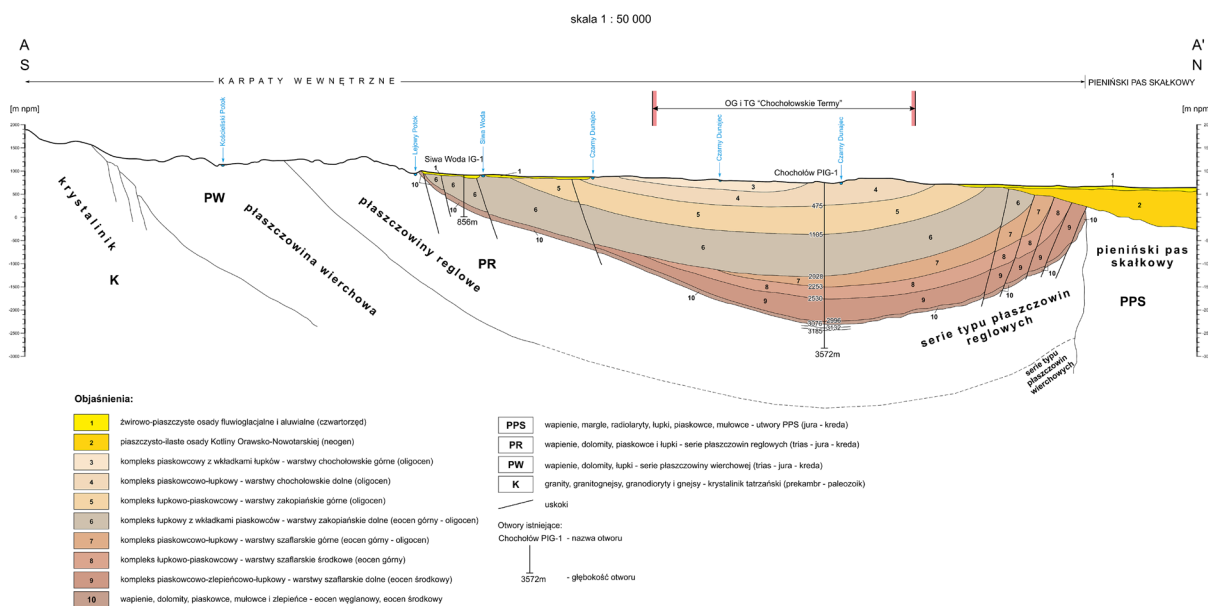
Wody występujące w głębszych, podfiszowych poziomach wodonośnych mają zwierciadło naporowe. Reprezentują szczelinowy lub szczelinowo-krasowy typ wodonośca.

Wody mezozoicznego piętra wodonośnego to wody głównie szczelinowo-krasowej krasowe, związane z seriami węglanowymi. Obszar zasilania podfiszowych poziomów wodonośnych wodami opadowymi znajduje się na terenie Tatr. Wody opadowe infiltrujące na tym terenie przemieszczają się systemem szczelin i pustek krasowych ku północy, zgodnie z kierunkiem zapadania utworów serii tatrzańskich. Część wód ma dość krótki obieg, bowiem pojawia się na powierzchni w postaci źródeł lub jest drenowana w dolinach. Pozostała część wód przenika w głąb, ogrzewa się i ujmowana jest otworami jako wody termalne.

CHARAKTERYSTYKA OTWORU CHOCHOŁÓW PIG-1

Profil otworu „Chochołów PIG-1” na tle budowy geologicznej regionu

Otwór Chochołów PIG-1 osiągnął głębokość 3572 m (rys. 1). Typ ujętej wody to 0,11% SO₄-Ca-Mg-Na. Mineralizacja eksploatowanej wody waha się w granicach 1050–1300 mg/dm³. Temperatura wody na wypływie wynosi 89,8 °C przy Q = 160 m³/h.



Rys. 1. Profil geologiczny otworu Chochołów PIG-1 (Józefko, Bielec 2009 zmodyf.)
Fig. 1. Geological profile of Chochołów PIG-1 borehole (Józefko, Bielec 2009 modified)

Utwory mezozoiczne serii regłowej zostały nawiercone na głębokości 3076 m i występują aż do końcowej głębokości otworu. W otworze tym stwierdzono najniżej zalegający w całej niecce podhalańskiej strop podłoża mezozoicznego. Na głębokości 3076–3132 m stwierdzono wapienie, reprezentujące jednostkę regłową dolną. Na głębokości 3132–3183 m występują osady ilasto-piaszczyste (trias górny-kajper), zaliczane także do jednostki regłowej dolnej. Na głębokości 3183–3572 m stwierdzono dolomity, okruszowce dolomityczne i wapienie zdolomityzowane (trias środkowy) reprezentujące również jednostkę regłową dolną.

W przedziale głębokości 2996–3076 m występują utwory eocenu węglanowego. Wykształcone są w postaci zlepieńców. Kompleks jest dwudzielny. Górna część stwierdzona w przedziale 2996–3030 m, zbudowana jest ze zlepieńców i piaskowców przedzielonych iłowcami i mułowcami. Dolna część kompleksu stwierdzona w przedziale 3030–3076 m wykształcona jest w przewadze ze zlepieńców, które zawierają otoczaki skał węglanowych pochodzących z jednostek regłowych.

W otworze „Chochołów PIG-1” nad utworami eocenu węglanowego (eocenu środkowego) występują utwory fliszowe wykształcone w postaci łupków marglistych oraz piaskowców w różnych stosunkach ilościowych. Spąg utworów fliszowych osiągnięto na głębokości 2996 m.

W otworze „Chochołów PIG-1” osady czwartorzędowe mają miąższość 9,0 m. Są to utwory aluwialne tworzące tarasu Czarnego Dunajca.

Wykształcone są jako żwiry, otoczaki i piaski, w stropowej części zaglinione.

Parametry techniczne i hydrogeologiczne ujęcia wód termalnych „Chochołów PIG-1” przedstawione zostały w tabeli 1.

Odwierzt wody termalnej Chochołów PIG-1 ujmuje warstwę wodonośną o zwierciadle napiętym, z ciśnieniem artezyjskim. Dzięki sprzyjającym warunkom hydrodynamicznym eksploatacja ujęcia Chochołów PIG-1 prowadzona jest w warunkach samowypływu, bez stosowania jakichkolwiek urządzeń mechanicznych.

Tabela 1. Parametry techniczne i hydrogeologiczne otworu Chochołów PIG-1

Table 1. Technical and hydrogeological parameters of Chochołów PIG-1 borehole

Rodzaj informacji	Otwór „Chochołów PIG-1”
Rzędna terenu m npm	789,54
Głębokość otworu	3572 m
Zarurowanie otworu, rury stalowe	Ø 20” do 36 m Ø 13 3/8” do 341 m Ø 9 5/8” do 2592 m
Sposób zafiltrowania	Ø 6 5/8” 2484-3547 m otwór bosy 3547-3572 m
Wiercenie otworu zakończono	03.06.1990 r.
Eksploatowany poziom ujęto w przedziale głębokości	3218 - 3547 m
Litologia i stratygrafia ujętych utworów	dolomity zbrękcjowane oraz okruszowce dolomityczne i wapienie zdolomityzowane trias środkowy
Rodzaj wód	szczelinowe i szczelinowo-krasowe

Wykonane badania w otworze Chochołów PIG-1

Badania hydrogeologiczne wykonane zostały w podziale na dwie fazy badań w dniach 27 i 28 listopada 2017 r. Przeprowadzone zostały w otworze, który jest stale eksploatowany na potrzeby kompleksu rekreacyjnego. Przed przystąpieniem do właściwego pompowania pomiarowego w dniu 27.11.2017 r. wyłączono zatem otwór z eksploatacji na 2 godziny.

W trakcie badań hydrogeologicznych prowadzono stały automatyczny pomiar temperatury wpływającej wody termalnej, ciśnienia na głowicy otworu i wydatku samowypływu. Poszczególne elementy układu pomiarowego połączone zostały do komputerowego systemu rejestrującego na bieżąco parametry pompowania.

Przebieg zmian ciśnienia, wydajności i temperatury w trakcie badań hydrogeologicznych w otworze Chochołów PIG-1 przedstawiono na rys. 2 i 3. Należy zwrócić uwagę na dość szybką stabilizację ciśnienia po każdym z poszczególnych stopni pompowania w przypadku obu testów hydrodynamicznych.

METODYKA ANALIZY I OBLICZENIA PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

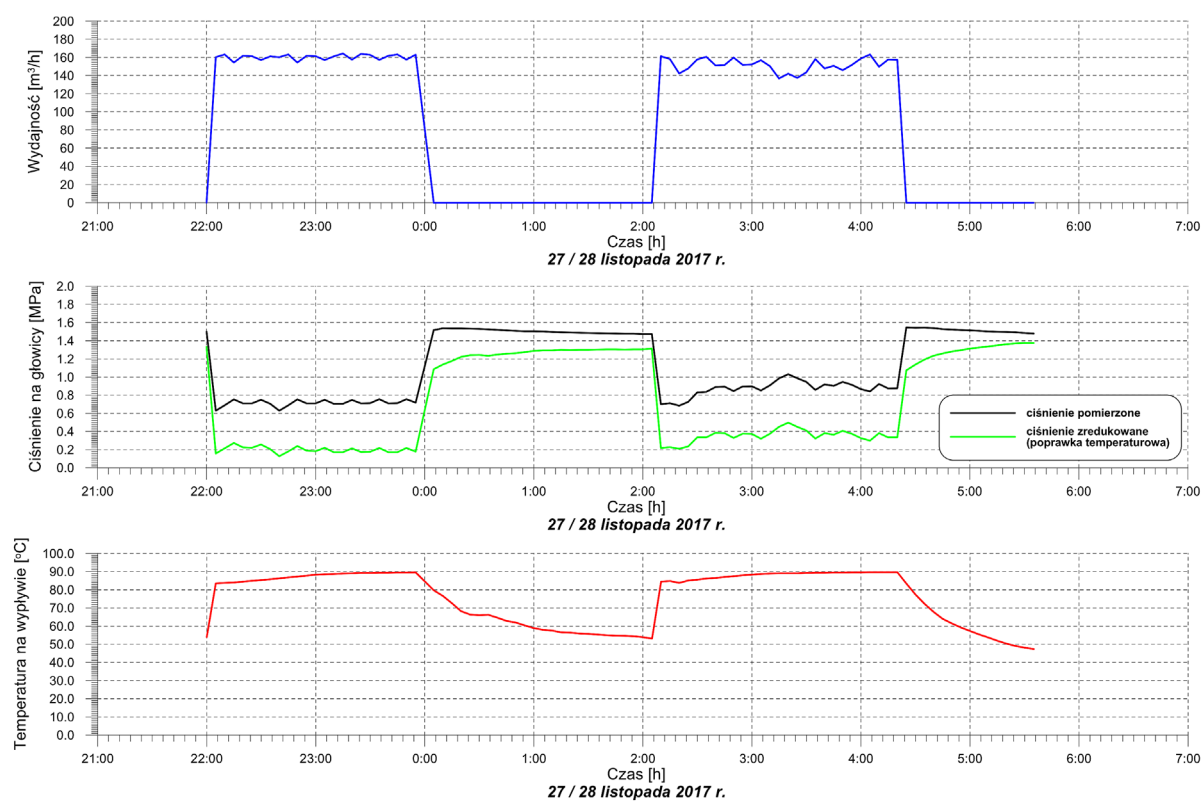
Wyniki testu hydrodynamicznego

W wyniku badań hydrogeologicznych, tj. przeprowadzonego testu hydrodynamicznego, uzyskano wyniki, które przedstawiono w tabeli 2.

Do interpretacji uzyskanych wyników posłużono się metodą wykresów półlogarytmicznych (Lee, 1982; Kapuściński i inni, 1997).

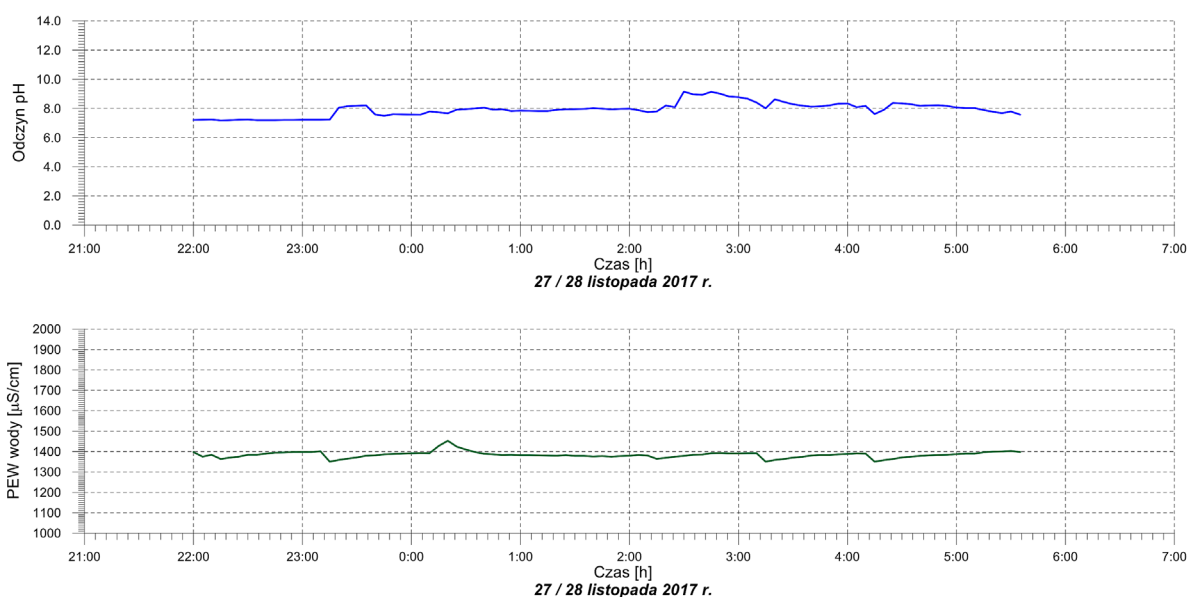
Wyznaczenie wartości zredukowanych ciśnienia głowicowego – eliminacja efektu wygrzewania otworu

W głębokich otworach eksploatujących wody termalne dochodzi do wygrzewania otworu, czego efektem jest rozprężanie objętościowe eksploatowanego płynu. Proces ten prowadzi do rejestrowania podwyższonych wartości ciśnienia głowicowego, które bez odpowiedniej korekty uniemożliwiają poprawną diagnostykę parametrów hydraulicznych warstwy złożowej. Zjawisko to ma tym większy



Rys. 2. Zmienność wydajności, ciśnienia na głowicy oraz temperatury w trakcie pompowania otworu Chochołów PIG-1 w dniach 27-28 listopada 2017

Fig. 2. Variability of efficiency, head pressure and temperature during pumping of the Chochołów PIG-1 borehole on 27-28 November 2017



Rys. 3. Zmienność odczynu pH i przewodności elektrolitycznej właściwej w trakcie pompowania otworu Chochołów PIG-1 w dniach 27-28 listopada 2017

Fig. 3. Variability of pH and electrical conductivity during pumping of the Chochołów PIG-1 borehole on 27-28 November 2017

Tabela 2. Podstawowe wyniki badań hydrogeologicznych (test hydrodynamiczny) przeprowadzonych w otworze Chochołów PIG-1

Tabela 2. Basic results of hydrogeological research (hydrodynamic test) carried out in the Chochołów PIG-1 borehole

Poziom dynamiczny	Wydajność [m³/h]	Depresja / ciśnienie [m] / [MPa]	Wydajność jednostkowa [m³/h/1mS]	Temperatura wody na wypływie [°C]	Czas [hh:mm]
I faza	160,4	79,5 / 0,78	2,02	89,6	02:00
stabilizacja					02:05
II faza	151,9	63,2 / 0,62	2,40	89,8	02:15
stabilizacja					01:15

wpływ na poprawną interpretację wyników, im głębszy jest otwór oraz wyższa temperatura złożowa (Bielec, Miecznik, 2012; Kawecki, 1995). Zaburzenie to jest doskonale widoczne na rysunku 2 (czarna linia), gdzie pomimo rejestracji odbudowy ciśnienia w otworze nie udało się zarejestrować charakterystycznego kształtu dla tego procesu. Nie uwzględnienie procesu wygrzewania otworu podczas interpretacji testów hydrodynamicznych prowadzi zawsze do wyznaczenia wyższej przewodności warstwy wodonośnej, niż jest w rzeczywistości. Poprawne wyznaczenia parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej jest możliwe po eliminacji efektu termicznego wygrzewania otworu, tj. sprowadzenia wartości rejestrowanego naporu do wartości naporu w warunkach otworu niewygrzanego (ciśnienie zredukowane). Kluczo-

wym parametrem dla poprawnego wyznaczenia wartości ciśnienia zredukowanego jest znajomość średniej gęstości słupa wody w otworze stojącym. Jakość dostarczonych danych ma w tym miejscu kluczowe znaczenie. Pomiar temperatury w otworze Chochołów PIG-1 prowadzone były w warunkach stabilizacji termicznej, można je zatem uznać za wiarygodne.

Wartość zredukowanego ciśnienia głowicowego wyznaczono za pomocą poniższego równania (Bielec, Miecznik, 2012; Kawecki, 1995):

$$P_{s_{red.}} = P_s - \left[1 - \frac{\rho(T_{sr.})}{\rho(T_{sr.c})} \right] \cdot \rho(T_{sr.c}) \cdot L \cdot g(1)$$

gdzie: $P_{s_{red.}}$ – wartość zredukowana ciśnienia mierzonego na głowicy [Pa],

P_s – wartość ciśnienia dynamicznego mierzonego na głowicy [Pa],

$\rho(T_{sr})$ – średnia gęstość kolumny wody termalnej w otworze eksploatowanym w danej chwili czasu [kg/m^3],

$\rho(T_{src})$ – średnia gęstość kolumny wody termalnej w otworze stojącym [kg/m^3],

L – głębokość TVD otworu [m],

g – przyspieszenie grawitacyjne [m/s^2].

Wartość zredukowanego ciśnienia głowicowego została wykorzystana podczas interpretacji testów hydrodynamicznych. Na rysunku 2 linią zieloną zaznaczono wartość ciśnienia głowicowego, jaka była by rejestrowana, gdyby nie dochodziło do ekspansji objętościowej wody w otworze wskutek wygrzewania. Założenie to jest podstawą do wykorzystania istniejących rozwiązań analitycznych w celu oszacowania parametrów hydraulicznych warstwy wodonośnej.

Wyznaczanie parametrów hydraulicznych warstwy wodonośnej

Do interpretacji testu przeprowadzonego w otworze Chochołów PIG-1 zastosowano model Theis'a. Analizę przeprowadzono przy wykorzystaniu metody Theisa z modyfikacją Agarwala (Theis, 1935, Agarwal, 1980). Do interpretacji wybrany został okres odbudowy ciśnienia. Obliczeń dokonano wykorzystując dane pomiarowe ciśnienia głowicowego zredukowanego (bez wpływu efektu termicznego). Nie brano natomiast pod uwagę nieliniowych oporów przepływu, które nie mają znaczenia w przypadku rozpatrywania okresu odbudowy ciśnienia ($Q = 0$). Uzyskane wielkości przewodności hydraulicznej przeliczono następnie na wartość współczynnika filtracji. Do obliczeń przyjęto miąższość ujętej warstwy złożowej równą 329 m (Chowaniec i in., 1997). Wyniki zestawione zostały w tabeli 3.

Do analizy testu hydrodynamicznego w otworze Chochołów PIG-1 (w warunkach samowpływu) do interpretacji wybrany został etap odbudowy ciśnienia. O takim wyborze zdecy-

dował fakt stałości wydatku w czasie odbudowy ciśnienia ($Q = 0$), co jest podstawowym założeniem przy testach prowadzonych w warunkach dopływu nieustalonego (Kapuściński i in., 1997, Dąbrowski, Przybyłek, 2005, Bielec, Hołojuch, 2011). Analizę przeprowadzono przy wykorzystaniu metody Theisa z modyfikacją Agarwala (Theis, 1935, Agarwal, 1980). Wyniki przeprowadzonej interpretacji przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Czas zdefiniowano tu jako $t/\Delta t'$, gdzie t – całkowity czas trwania testu na danym stopniu (pompowanie + odbudowa ciśnienia), zaś t' – czas odbudowy ciśnienia (czas jaki upłynie od momentu rozpoczęcia odbudowy ciśnienia). Na osi rzędnych zaznaczono natomiast depresję resztkową (wartość depresji od momentu rozpoczęcia odbudowy ciśnienia).

Wyniki obliczeń parametrów hydrogeologicznych

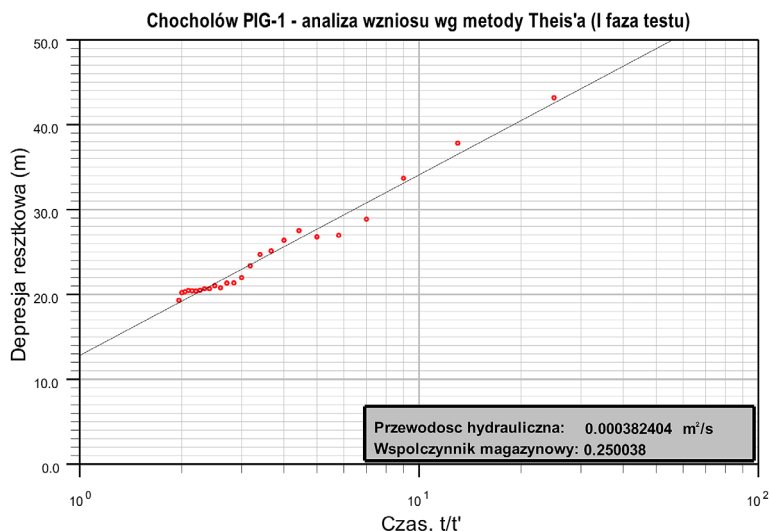
Wielkość maksymalnego poboru wody i wielkość dopuszczalnego obniżenia zwierciadła wody (ciśnienia głowicowego) określona została na podstawie wyników przeprowadzonych badań hydrogeologicznych (testy hydrodynamiczne). W wyniki przeprowadzonych interpretacji i obliczeń wartość zasobów eksploatacyjnych otworu Chochołów PIG-1 wynoszą $Q_c = 160 \text{ m}^3/\text{h} = 3840 \text{ m}^3/\text{d}$. Jako maksymalne obniżenie dynamicznego zwierciadła wody w ujęciu Chochołów PIG-1 przyjęto poziom zwierciadła wody obniżony o 145,5 m w stosunku do ustalonego zwierciadła wody tj. + 155,46 m n.p.t. Oznacza to konieczność utrzymania depresji powyżej poziomu 799,5 m n.p.m. (+10,0 m n.p.t.) – rysunek 6.

Dla otworu Chochołów PIG-1 eksploatowanego z wydajnością $160 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s = 145,5 \text{ m}$, teoretycznie wyznaczony za pomocą wzoru $R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}$ zasięg zmian hydrodynamicznych (lej depresji) wynosi 421 m. Uśredniony współczynnik filtracji wynosi $9,32 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$.

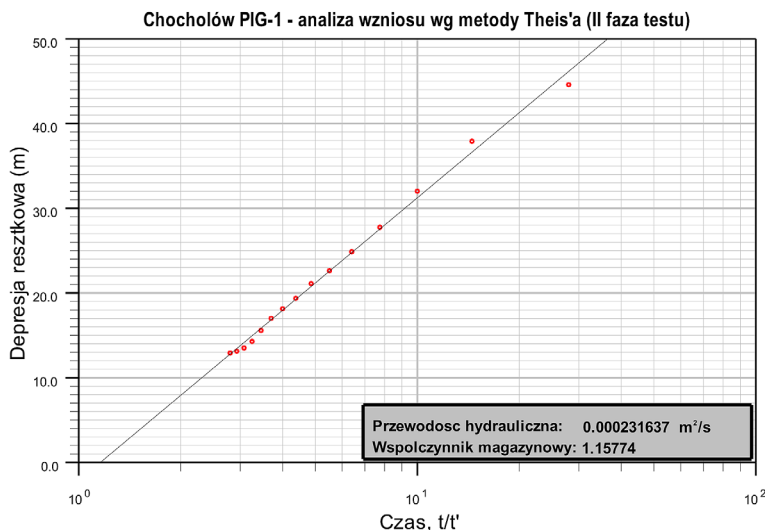
Tabela 3. Wyniki interpretacji parametrycznej wyników pompowania (testu hydrodynamicznego) otworu Chochołów PIG-1

Table 3. Results of parametrics interpretation based on pumping (hydrodynamics test) of Chochołów PIG-1 borehole

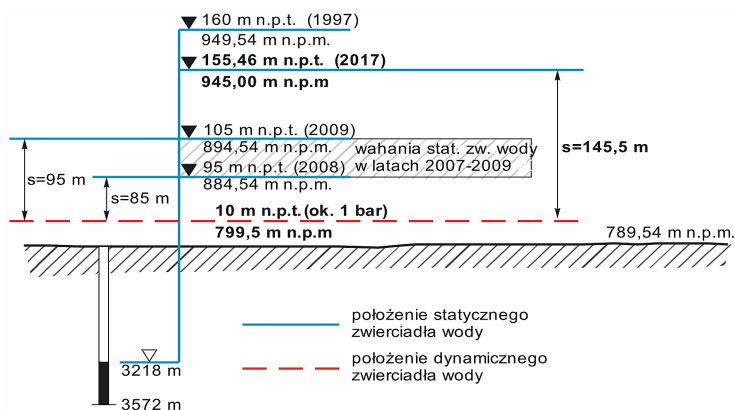
Typ analizy	Poziom dynamiczny	Przewodność [m^2/s]	Współczynnik filtracji [m/s]
Analiza wzniosu (z poprawką temperaturową)	I faza	$3,82 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$
	II faza	$2,32 \cdot 10^{-4}$	$7,04 \cdot 10^{-7}$



Rys. 4. Wykres diagnostyczny odbudowy ciśnienia po I fazie testu hydrodynamicznego w otworze Chochołów PIG-1
Fig. 4. Diagnostic chart for the pressure recovery after the first phase of the hydrodynamic test in the Chochołów PIG-1 borehole



Rys. 5. Wykres diagnostyczny odbudowy ciśnienia po II fazie testu hydrodynamicznego w otworze Chochołów PIG-1
Fig. 5. Diagnostic chart for the pressure recovery after the second phase of the hydrodynamic test in the Chochołów PIG-1 borehole



Rys. 6. Położenie statycznego i dynamicznego zwierciadła wody w otworze Chochołów PIG-1
Fig. 6. Static and dynamical water level in Chochołów PIG-1 borehole

WNIOSKI

Przeprowadzone badania hydrogeologiczne w otworze Chochołów PIG-1 pozwoliły na wyznaczenie nowych zasobów eksploatacyjnych. Wynoszą one 160 m³/h przy depresji 145,5 m, co odpowiada rzędnej $H_s = 799,5$ m n.p.m. Przy tak prowadzonej eksploatacji teoretycznie wyznaczony zasięg zmian hydrodynamicznych wywołanych eksploatacją ujęcia wód termalnych „Chochołów PIG-1” wynosi 421 m. Obliczona wartość współczynnika filtracji ujmowanej warstwy wodonośnej wynosi $9,32 \cdot 10^{-7}$ m/s, co mieści się w przedziale typowym dla niecki podhalańskiej (Bujakowski et al. 2016; Kępińska 2009).

Określone zasoby eksploatacyjne są niższe, niż wyznaczone w roku 1997 (równe 190 m³/h) ale wyższe, niż wyznaczone w roku 2009 (120 m³/h). Wartość ta podyktowana jest możliwościami pozyskania wód termalnych z otworu Chochołów PIG-1 oraz zapotrzebowaniem Chochołowskich Term na gorącą wodę stanowiącą kopalinę.

LITERATURA

1. Agarwal R.G., 1980. A new method to account for producing time effects when drawdown type curves are used to analyze pressure buildup and other test data. Proceedings of the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers. Paper SPE 9289.
2. Bielec B., Hołojuch G., 2011. Pompowanie testowe w dokumentowaniu wód termalnych. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1-2/2011, 319-328.
3. Bielec B., Miecznik M., 2012. Efekt termiczny w obliczeniach przewodności hydraulicznej w otworach ujmujących wodę termalną. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2012, 45-54.
4. Bielec B., Operacz A., 2017. Projekt robót geologicznych na wykonanie badań hydrogeologicznych w otworze „Chochołów PIG-1” ujmującym wodę termalną. VENA Kraków (nie publik.).
5. Bugajski P., Nowobiliska-Majewska, E., Nowobiliska-Luberda A., Bergel T., 2017. The use of geothermal waters in Podhale in terms of tourism and industrial applications. Journal of Ecological Engineering, 18(6), 185-191. <https://doi.org/10.12911/22998993/75692>.
6. Bujakowski W., Tomaszewska B., Miecznik M., 2016. The Podhale geothermal reservoir simulation for long-term sustainable production. Renewable Energy Vol. 99, 420-430. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.028>.
7. Chowaniec J., Długosz P., Drozdowski B., Nagy S., Poprawa D., Witczak S., Witek K., 1997. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód termalnych niecki podhalańskiej (nie publik. Centralne Archiwum Geologiczne w Warszawie).
8. Chowaniec J., Olszewska B., Poprawa D., Skulich J., Smagowicz M., 1992. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych – wody termalne. Otwór Chochołów PIG-1. Centralne Archiwum Geologiczne w Warszawie.
9. Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005. Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
10. Józefko I., Bielec B., 2009. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód termalnych „Chochołów PIG-1”. (nie publik. Centralne Archiwum Geologiczne w Warszawie).
11. Kapuściński J., Nagy S., Długosz P., Biernat H., Bentkowski A., Zawisza L., Macuda J., Bujakowska K., 1997. Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych. Poradnik metodyczny. Warszawa.
12. Kawecki M.W., 1995. Correction for temperature effect in the recovery of a pumped well. Ground Water, 33(6), 917-926.
13. Kępińska B., 2009. The role of the Podhale geothermal system's research for geothermal water. Tech. Poszuk. Geol. 244, 29-48.
14. Lee J., 1982. Well Testing. SPE Textbook series, Vol. 1, SPE Textbook Series Vol. 1, Dallas.
15. Sokołowski J. i in., 1978. Projektu badań geologicznych określających zasoby i warunki eksploatacji surowców energetycznych w niecce podhalańskiej (nie publik.).
16. Theis, C.V., 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 16, 519-524.