

7. Profilowanie temperatury i wybranych parametrów fizykochemicznych wód podziemnych w studniach wierconych i piezometrach

7.1 Wstęp

W ramach tematu „Młode strefy tektoniczne a warunki geotermalne w Sudetach w świetle badań geochronologicznych, strukturalnych i termometrycznych – etap II” wykonano profilowanie temperatury i wybranych parametrów fizykochemicznych wód podziemnych w otworach wiertniczych na terenie Dolnego Śląska, głównie w Sudetach oraz na bloku przedsudeckim i częściowo na monoklinie przedsudeckiej. Prace terenowe przeprowadzone zostały przez zespół pracowników PIG-PIB w następującym składzie: dr Maciej Kłonowski, mgr Tomasz Dembiec, mgr Dorota Russ i mgr Rafał Serafin, w terminie od 10.10.2019 do 18.12.2019 r. Ponadto w ramach opracowania tematu zrealizowano prace kameralne obejmujące m.in.: wytypowanie otworów wiertniczych do badań i pomiarów, przegląd literatury i materiałów archiwalnych, opracowanie metodyki badań, opracowanie dokumentacji fotograficznej badań terenowych, weryfikację i interpretację wyników badań i pomiarów, wykonanie obliczeń parametrów geotermicznych, przygotowanie opracowania tekstowego wraz z tabelami, rycinami i załącznikami oraz sporządzenie wniosków.

Celem przeprowadzonych badań było zweryfikowanie przyjętej metodyki pomiarów multimiernikiem KLL-Q2 wyposażonym w sondę MPS-D8, obliczeń i uzyskanych wyników dla wybranych otworów wiertniczych, pozyskanie nowych danych temperaturowych z otworów wiertniczych oraz obliczenie na ich podstawie, dla wybranych otworów, wartości gradientu geotermicznego i innych parametrów geotermicznych. Otrzymane wyniki przeanalizowano i porównano z rezultatami podobnych uprzednio wykonanych badań oraz dokonano ich interpretacji.

Realizacja pomiarów terenowych temperatury w otworach w ww. terminie – późniejszym, niż to zaplanowano, została spowodowana niezależnymi od wykonawców awariami multimiernika KLL-Q2 i długotrwałymi naprawami przez producenta – firmę Seba Hydrometrie GmbH, mającą siedzibę w Niemczech, o czym informacje przekazywane były Zamawiającemu na bieżąco.

Prace zostały zaplanowane na podstawie kwerendy danych znajdujących się w bazach danych otworowych, dokumentacjach geologicznych i wybranych opracowaniach PIG-PIB pt. „Profile głębokich otworów wiertniczych”. Do badań i pomiarów terenowych wytypowano wstępnie grupę około 100 otworów, które wydawały się spełniać niezbędne kryteria wyjściowe, z czego w ramach tematu, biorąc pod uwagę spodziewane trudności w dostępie do starych odwiertów, ostrożnie – jak się wydawało – zaplanowano, ujętą w harmonogramie zadania, realizację pomiarów temperatury w łącznie 35 do 60 otworach wiertniczych. Szczegóły dotyczące selekcji otworów zostały opisane w podrozdziale 7.2.

Otwory wiertnicze przeznaczone do pomiarów muszą spełniać szereg podstawowych kryteriów oraz wymogów technicznych, które umożliwiają zapuszczenie sondy multimiernika do otworu. Znacznej części wstępnie wytypowanych otworów nie udało się odnaleźć w terenie, m.in. ze względu na brak weryfikacji lokalizacji w bazach danych. Z kolei, w istotnej części otworów odnalezionych zapuszczenie sondy okazało się niemożliwe z uwagi na ograniczenia techniczne omówione w podrozdziale 7.2. W efekcie pomiary wykonano w łącznie 23 otworach wiertniczych na Dolnym Śląsku w większości w Sudetach i na bloku przedsudeckim. Wykonane pomiary terenowe wyczerpały możliwości wykonania pomiarów termicznych w grupie wytypowanych otworów w terminie realizacji tematu.

7.2 Materiały i metody

7.2.1 Przygotowanie do prac terenowych

Otwory przeznaczone do pomiarów i badań terenowych wyznaczono na podstawie analizy materiałów archiwalnych oraz następujących baz danych:

- Centralna Baza Danych Geologicznych (CBDG);
- Centralna Baza Danych Hydrogeologicznych (CBDH);
- Bank Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin (Bank Wód Mineralnych, BWM).

Przed przystąpieniem do badań terenowych, na podstawie danych pochodzących z CBDG, CBDH i BWM, opracowano listę ponad stu wstępnie wytypowanych do badań archiwalnych otworów wiertniczych – piezometrów i studni wierconych. Znacznej części otworów nie odnaleziono w terenie, a w istotnej części odnalezionych otworów wykonanie badań okazało się niemożliwe z uwagi na:

- lokalizację na terenie prywatnym i brak zgody właściciela terenu na wykonanie pomiarów;
- powszechną dewastację otworów wiertniczych pozostawionych w terenie bez nadzoru i często bez odpowiedniego zabezpieczenia;
- brak technicznej możliwości odkręcenia głowicy czy też huczka ze względu na np. zapiekanie gwintu;
- celowe zabezpieczenie wlotu otworu przez wykonawców poprzez całkowite zaspawanie lub zwężenie przekroju.

W terenie otwory zlokalizowano na podstawie współrzędnych geograficznych z baz danych otworowych CBDG, CBDH i BWM oraz map i danych pochodzących z kart otworów i dokumentacji. W celu weryfikacji w terenie zmierzone zostały współrzędne geograficzne w układzie WGS84 za pomocą ręcznego urządzenia Garmin GPSmap 62s. W odnalezionych w terenie i dostępnych do badań otworach wiertniczych wykonano profilowanie za pomocą multimiernika KLL-Q2 (Seba Hydrometrie 2012) wyposażonego w sondę MPS-D8 (Waterquality probes 2012). Lokalizacje 23 studni wierconych i piezometrów, dla których wykonano badania terenowe ilustruje Fig. 1.2.1 oraz Zał. 7.1, a ich ogólna charakterystyka podana jest w Zał. 7.2.

7.2.2 Charakterystyka sprzętu pomiarowego

Zestaw terenowy multimiernika KLL-Q2, wyprodukowany przez niemiecką firmę Seba Hydrometrie GmbH, składa się z:

- modułu elektronicznego zamkniętego w wodoszczelnej obudowie umieszczonej wewnątrz bębna;
- plastikowego bębna z rączką umocowanego na stalowej ramie umożliwiającego zwijanie przewodu;
- sondy MPS-D8, o średnicy $\varnothing = 48$ mm i długości $l = 493$ mm, wyposażonej w czujnik ciśnieniowy do pomiaru głębokości, termometr i sondy do pomiaru wybranych parametrów fizykochemicznych;
- przewodu zbrojonego nierozciągliwą stalową linką, łączącego moduł elektroniczny i sondę, wyskalowanego z rozdzielczością do 1 cm, o całkowitej długości nominalnej 200 m.b.;
- zasilacza do ładowania akumulatorów;

- buforów do kalibracji sondy pH;
- zapasowych o-ringów.

Sonda MPS-D8 wyposażona jest w zestaw sensorów i elektrod umożliwiających pomiar szeregu parametrów. Charakterystyka wybranych możliwości pomiarowych sondy MPS-D8 została zestawiona w Tab. 7.1 (Waterquality probes 2012).

Tab. 7.1 Charakterystyka możliwości pomiarowych sondy MPS-D8 (Waterquality probes 2012)

Parametr	Typ czujnika / metoda pomiarowa	Zakres pomiarowy	Dokładność pomiaru	Rozdzielczość wyniku
Temperatura, T	termometr półprzewodnikowy NTC 30	-5 – 50 °C	+/- 0,1 °C ZW*	0,01 °C
Elektroprzewodność właściwa, EC		0 – 200 [mS/cm]	+/- 0,1 [µS/cm] ZW* +/- 0,5% WZ dla ZW* >=200 [µS/cm]	
Stężenie O ₂	amperometryczna	0,04 – 40 [mg/l]	+/- 0,1% MZW**	0,01 [mg/l]
pH		0 – 14	+/- 0,1 pH	0,01 pH

*ZW – bieżąca zmierzona wartość

**MZW – maksymalna zmierzona wartość

Warunkami podstawowymi umożliwiającymi zapuszczenie sondy MPS-D8 do otworu oraz wykonanie profilowania są:

- możliwość odnalezienia otworu w terenie;
- fizyczna dostępność otworu;
- odpowiedni stan techniczny otworu, w tym drożność przelotu i brak infrastruktury w jego wnętrzu, np. pompy, rur, przewodów elektrycznych, itp.;
- średnica wewnętrzna otworu >= około 100 [mm];
- głębokość do zwierciadła wód podziemnych <= około 40 [m p.p.t.];
- brak znacznego ciśnienia artezyjskiego;
- brak znacznego samowypływu.

Za pomocą multimiernika KLL-Q2 i sondy MPS-D8 zmierzone zostały następujące parametry:

- głębokość pomiaru w metrach poniżej zwierciadła wód podziemnych [m];
- temperatura, T °C;
- elektroprzewodność właściwa, EC [mS/cm];
- odczyn, pH;
- stężenie tlenu, O₂ [mg/l];
- nasycenie tlenem, O₂%.

W celach obliczeniowych głębokość pomiaru została zsumowana z głębokością zalegania zwierciadła wód podziemnych, co odpowiada głębokości w metrach poniżej powierzchni terenu [m p.p.t.].

Na podstawie zmierzonych wartości ww. parametrów moduł elektroniczny multimiernika obliczył wartości następujących parametrów fizykochemicznych wody:

- mineralizacji całkowitej, TDS [g/l];
- gęstości [g/l];
- zasolenia [-].

Badania terenowe w otworze rozpoczynano od pomiaru głębokości zalegania zwierciadła wody w otworze świstawką elektroniczną typu GWE 100. Następnie za pomocą multimiernika KLL-Q2 mierzono temperaturę powietrza atmosferycznego przy gruncie. Multimierz KLL-Q2 wyposażony jest w tryb świstawki elektronicznej, dzięki któremu zetknięcie elektrod z wodą sygnalizowane jest dźwiękiem, co zostało wykorzystane w przypadku głębokiego zalegania zwierciadła wody w celu precyzyjnego ustalenia punktu początkowego profilowania. Po osiągnięciu zwierciadła wód podziemnych multimierz przełączano na tryb ręcznego wykonywania pomiarów i zapamiętywania wyników. Przed serią pomiarów terenowych elektrody sondy MPS-D8 zostały skalibrowane przez producenta. Zestaw multimiernika KLL-Q2 podczas badań terenowych ilustruje Fig. 7.1.



Fig. 7.1 Pomiary terenowe z wykorzystaniem świstawki elektronicznej i multimiernika KLL-Q2 w otworze Grzędę 3P

Moduł elektroniczny multimiernika KLL-Q2 ma wyświetlacz, wbudowaną pamięć wewnętrzną i zegar. Wszystkie zapamiętane wyniki pomiarów posiadają datę dzienną i czas pomiaru z dokładnością, co do minuty. Transfer danych z pamięci modułu elektronicznego wykonano po zrealizowaniu każdej serii pomiarowej przy użyciu oprogramowania SEBAConfig (Software SEBAConfig 2006) i kabla z wbudowanym konwerterem USB. Dane zostały zachowane w plikach formatu .xls.

7.2.3 Przyjęta metodyka pomiarów parametrów cieplnych

Temperatura wody (ewentualnie mieszaniny płynów w przypadku obecności gazów) wypełniającej otwór wiertniczy, po zakończeniu wiercenia i odpowiednio długim czasie trwania stójki, pozostaje w równowadze termodynamicznej z otaczającym środowiskiem skalnym

(górotworem). Wszystkie badane otwory cechowały się długotrwałym okresem stójki – od kilku do kilkudziesięciu lat, co biorąc pod uwagę założenie o termodynamicznej równowadze pomiędzy wodą, gazami i zawiesiną w otworze oraz górotworem, umożliwia uzyskanie wyników niezakłóconych przez czynniki związane z wierceniem i instalacją otworów, takie jak oddziaływanie płuczki czy cementacja, oraz bieżącą eksploatacją wód podziemnych. Z tego też względu w badaniach z założenia pominięto czynne otwory studzienne.

Poza wynikami badań geofizyki wiertniczej, badania temperatury wód podziemnych w otworach, w tym głównie profilowania, są standardowo stosowane do charakterystyki termicznej płytszych partii górotworu zarówno w celu określenia warunków geogenicznych, jak i wpływu czynników antropogenicznych (Bruszevska 2009, Headon i in. 2009, Pike i in. 2013, Tissen i in. 2019). W płytszych partiach litosfery warunki geotermiczne, w tym podpowierzchniowa temperatura skał i wód podziemnych wykazuje dużą zmienność (Szewczyk 2005) i zależność od wielu czynników geo- i antropogenicznych innych niż gradient geotermiczny. Do ważniejszych z nich zaliczamy: warunki klimatyczne i pogodowe, temperaturę powietrza, zaabsorbowane promieniowanie słoneczne, zagospodarowanie powierzchni terenu, obecność infrastruktury na- i podziemnej, właściwości termiczne skał, głównie przewodność, rezystancję i pojemność cieplną, oraz warunki hydrogeologiczne. Poniżej pewnej głębokości, wynoszącej od około 10 do czasami nawet 100 [m p.p.t.] wpływ ww. czynników zanika, a temperatura górotworu rośnie zgodnie z wartością gradientu geotermicznego (Kapuściński i Rodzoch 2010; Headon i in. 2009; Banks 2012; Pike i in. 2013). W niniejszej pracy do określenia ww. punktu na termogramie, który w warunkach ustalonych i niezakłóconych antropogenicznie odpowiada zazwyczaj wartości T_{min} , stosuje się termin „punkt inwersji temperatury”. Należy mieć na uwadze, że termin ten nie jest jednoznaczny z terminem „punkt inwersji termogramu” stosowanym w pracach Karwasieckiej i Bruszevskiej (1997) oraz Bruszevskiej (2000). W płytkiej strefie litosfery, głównie powyżej punktu inwersji temperatury, niskotemperaturowy potencjał geotermiczny jest w głównej mierze zależny od litologii i przewodności cieplnej skał oraz ich zawodnienia (Kłonowski i in. 2020).

Na wyniki pomiarów parametrów fizykochemicznych mierzonych w otworach wiertniczych wpływa szereg czynników, m.in. związanych z konstrukcją otworu, np.: zarurowaniem, cementacją, typem materiału rur i filtru oraz obecnym stanem technicznym otworu. Badane otwory zostały przeanalizowane pod względem ich konstrukcji na podstawie danych zawartych w CBDH, która z różnych względów nie w każdym przypadku jest wystarczająco dokładna. Wyniki inspekcji TV wykonanej w otworach Łężyce VII, Dobromyśl 5B, Gorzeszów P-1, Wambierzyce 18N, Krzyżanów 2 (Styrkowiec 2017a, b, c, d, e) wykazały znaczną rozbieżność pomiędzy danymi dotyczącymi zarurowania dostępnymi w CBDH i dokumentacjach powykonawczych, a stanem rzeczywistym. W związku z istotną niehomogenicznością danych dotyczących konstrukcji otworów, w tym zarurowania, zrezygnowano z kompleksowej analizy wpływu tego typu danych na wyniki mierzonych parametrów, ponieważ mogłoby to prowadzić do błędnych wniosków. Stan zarurowania badanych otworów zgodny z bieżącą wiedzą został przedstawiony w Zał. 7.2.

Temperatura wody w otworze w pewnej mierze zależy m.in. od przewodnictwa cieplnego (poziomego i pionowego) rur okładzinowych i cementu oraz pionowej konwekcji temperaturowej wynikającej z różnicy pomiędzy temperaturą minimalną i maksymalną w otworze. W przyjętej metodyce badań założono, że wpływ ww. parametrów w porównaniu z wartością gradientu geotermicznego, oraz częściowo dopływu wody do otworu przez filtr lub w przypadku braku zarurowania przez strefy i/lub warstwy wodonośne, jest nieznaczny i może zostać pominięty.

Należy jednak mieć na uwadze, że zjawisko konwekcji temperaturowej, które wynika z różnicy temperatur wody w otworze, jest silnie uzależnione od wartości gradientu geotermicznego.

W związku z powyższym przyjęto metodykę profilowania multimiernikiem KLL-Q2, zgodnie z zaleceniami opracowanymi dla analogicznych pomiarów temperatury w otworach (Görz i in. 2019), która pozwala na zbadanie warunków termicznych płytszego podłoża i wystarczająco dokładny pomiar temperatury poniżej punktu inwersji temperatury. Biorąc pod uwagę średnią głębokość punktu inwersji temperatury, pomiary w każdym badanym otworze wykonywano, co 2 m.b. do głębokości 20 metrów poniżej zwierciadła wody, natomiast poniżej tej głębokości, co 5 m.b. Analiza wyników pomiarów temperatury uwzględniająca zmiany pozostałych mierzonych parametrów fizykochemicznych wody umożliwiła identyfikację zakłóceń termogramu spowodowanych lateralnym przepływem wód podziemnych i dopływem wody do filtru.

Do obliczeń parametrów geotermicznych i interpretacji wyników brano pod uwagę wyłącznie odcinek termogramu poniżej punktu inwersji, na którym wpływ wartości gradientu geotermicznego jest wyraźny i stabilny, a następnie wyznaczano na nim interwał obliczeniowy. Dla interwału obliczeniowego zaznaczono na termogramach przedstawionych w załącznikach 7.3 – 7.25 linie trendu dla funkcji liniowej. Interwał obliczeniowy powinien być możliwie jak najdłuższy, co w przypadku wykonanych badań było ograniczone głębokością otworów i długością kabla multimiernika KLL-Q2 (200 m.b.). W praktyce oznacza to, że obliczenia wykonano dla wybranych otworów, w których możliwe było wyznaczenie interwału obliczeniowego na odcinku od około 100 metrów długości otworu.

Zjawisko sezonowych zmiany temperatury wody w otworach wiertniczych można często zaobserwować na termogramach (Kozdrój i Kłonowski 2014; Görz i in. 2019). Na Fig. 7.2 pokazano termogram wykonany dla otworu Krzyżanów 2, na którym na wykresie A widoczne są: krzywa ilustrująca zmienność temperatury w płytkiej strefie zmian sezonowych pomiędzy zwierciadłem wody i punktem inwersji temperatury, punkt inwersji temperatury występujący na głębokości około 10 [m p.p.t.] oraz odcinek poniżej ww. punktu w którym temperatura wody zależy głównie od wartości gradientu geotermicznego, dla którego wyznaczono interwał obliczeniowy. Zmiany temperatury na odcinku głębokości od około 75 do około 120 [m p.p.t.] spowodowane są przepływem wód podziemnych w warstwie wodonośnej. Na wykresie B widoczny jest odcinek termogramu poniżej punktu inwersji z wrysowaną linią trendu, który przyjęto do wyznaczenia interwału obliczeniowego.

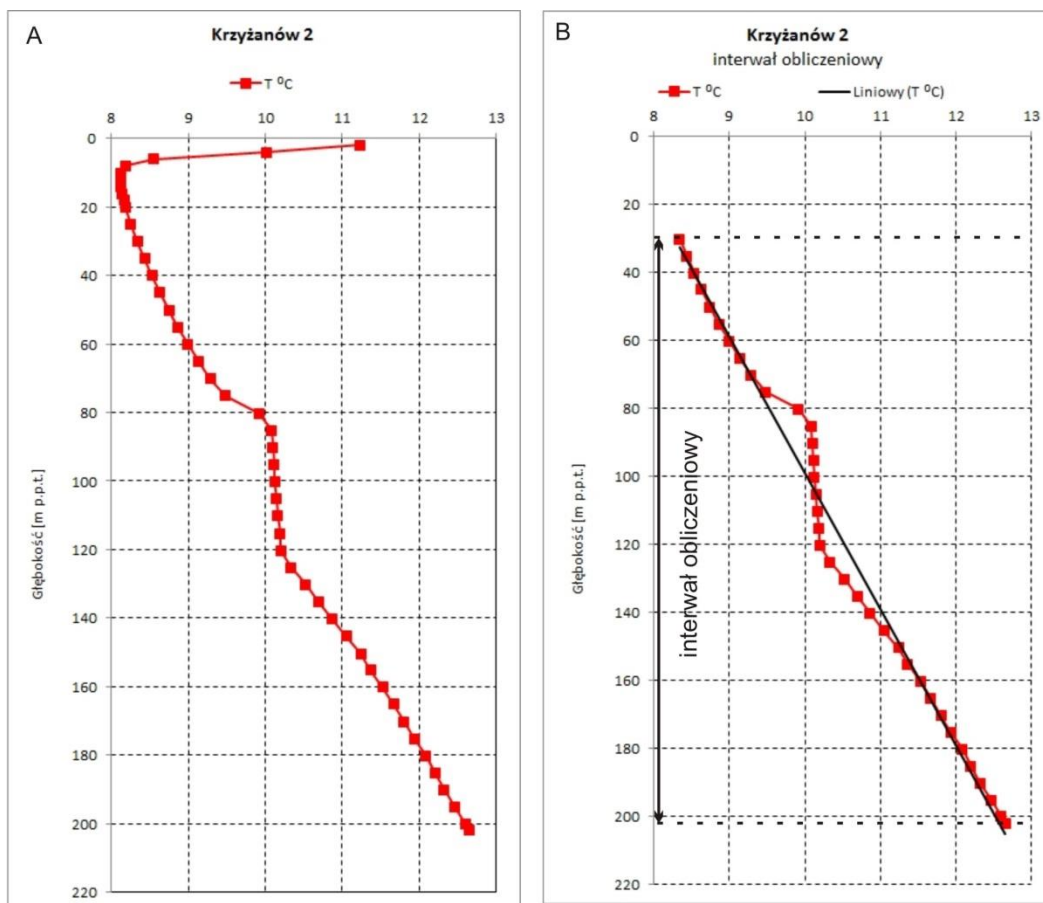


Fig. 7.2 Termogram (A) i metoda ustalania interwału obliczeniowego (B) na przykładzie otworu Krzyżanów 2

7.2.4 Metodyka obliczeń parametrów geotermicznych

Gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi jest zdefiniowana, jako ilość ciepła przepływającego przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu. Zgodnie z założeniami przyjętymi w poprzednich opracowaniach (Majorowicz 1974, Karwasiecka i Bruszevska 1997; Bruszevska 2000; Szewczyk i Gientka 2009) w niniejszych badaniach zdecydowano się na wykonanie podobnych uproszczonych obliczeń geotermicznych, mianowicie z pominięciem kondukcji i konwekcji, w tym pionowego i poziomego przewodnictwa ciepłego rur i cementu, oraz radiacji, zachodzących podczas wymiany energii ciepłej w litosferze. Zgodnie z prawem Fourier’a strumień ciepła Ziemi obliczamy, jako składową konduktywną, wg poniższego wzoru (7.1) (Karwasiecka i Bruszevska 1997; Kapuściński i in. 1997; Banks 2012):

$$Q = -K \cdot G \quad (7.1)$$

gdzie:

Q – strumień ciepły Ziemi [mW/m^2];

K – przewodność cieplna górotworu [$\text{mW}/\text{m}^\circ\text{C}$], znak „-” wskazuje na kierunek wektora;

G – gradient geotermiczny z głębokością H [$^\circ\text{C}/\text{m}$].

Gradient geotermiczny został obliczony dla wybranych otworów, dla których po weryfikacji wyników pomiarów otrzymano serię danych głębokości H [m p.p.t.] i temperatury T $^\circ\text{C}$, na podstawie, których możliwe było wyznaczenie interwału obliczeniowego dla miąższości

wynoszącej minimalnie około 100 metrów minimum, wg. wzoru (7.2) (Karwasiecka i Bruszevska 1997):

$$G = \frac{\Delta T}{\Delta H} = \frac{T_n - T_0}{H_n - H_0} \quad (7.2)$$

gdzie:

G – gradient geotermiczny z głębokością H [°C/m];

ΔT – zmiana temperatury °C;

ΔH – miąższość profilu w otworze [m];

T_n – temperatura końcowa interwału obliczeniowego °C;

T_0 – temperatura początkowa interwału obliczeniowego °C;

H_n – głębokość końcowa interwału obliczeniowego [m];

H_0 – głębokość początkowa interwału obliczeniowego [m].

Obliczone średnie wartości gradientu geotermicznego wykorzystano do obliczenia średniej wartości strumienia ciepłego wg wzoru (7.1). W obliczeniach założono uproszczenie procedury obliczeniowej i dla poszczególnych otworów przyjęto średnie wartości przewodności cieplnej K_{sr} (Zał. 7.2) odpowiadającej litologii ujętych poziomów wodonośnych, zgodnie z wartościami podanymi przez Karwasiecką i Bruszevską (1997). Ponadto dla otworów, dla których miąższość interwału obliczeniowego wynosiła minimalnie około 150 metrów obliczono temperatury górotworu na głębokościach 500, 1 000, 1 500 i 2 000 [m p.p.t.], jako funkcje średniego gradientu geotermalnego i K_{sr} w danej lokalizacji (analizowanego otworu wiertniczego), przyjmując uproszczenie zakładające uśrednienie wartości K_{sr} dla całości badanego profilu litostratygraficznego.

7.3 Rezultaty badań i dyskusja wyników

W wyniku przeprowadzonych badań i pomiarów terenowych wykonano profilowanie multimiernikiem KLL-Q2 dla 23 otworów dostępnych w terenie na Dolnym Śląsku. Ogólna charakterystyka otworów i zestawienie wyników badań zostały przedstawione w Zał. 7.2, a lokalizacja na Fig. 1.2.1 i Zał. 7.1. Fig. 7.3 ilustruje zbiorcze zestawienie wyników profilowania temperaturowego w postaci termogramów dla wszystkich przebadanych otworów.

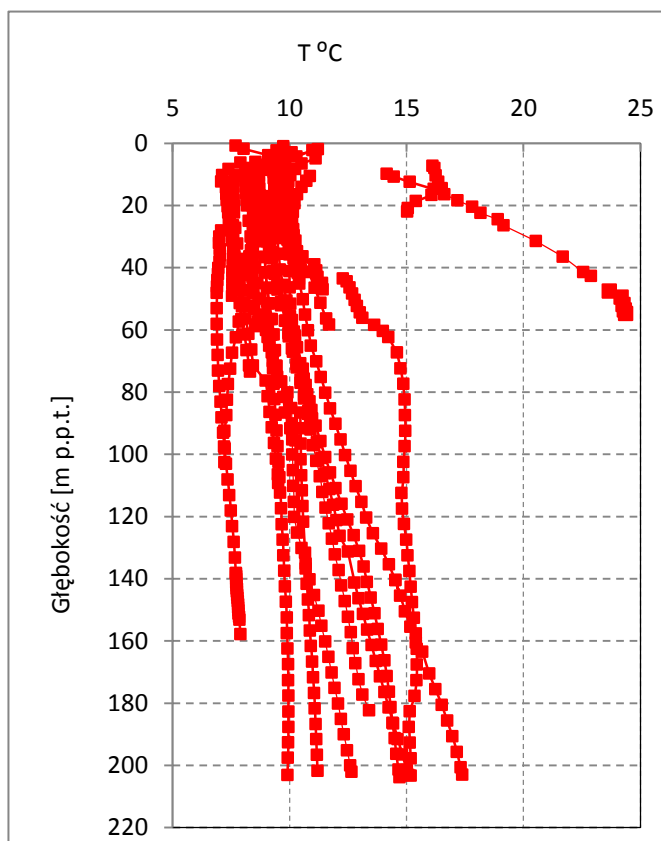


Fig. 7.3 Zbiorcze zestawienie wyników profilowania temperaturowego dla 23 otworów

7.3.1 Identyfikacja strefy sezonowych zmian temperatury podpowierzchniowej i położenie punktu inwersji termogramu

Identyfikacja strefy sezonowych zmian temperatury podpowierzchniowej (górotworu) była możliwa w przypadku 13 otworów. W pozostałych otworach zwierciadło wód podziemnych zalegało zbyt głęboko by umożliwić identyfikację ww. strefy na termogramie. Zgodnie z otrzymanymi wynikami pomiarów miąższość strefy sezonowych zmian temperatury, wyznaczona na podstawie identyfikacji punktu inwersji temperatury, jest silnie zróżnicowana i waha się od 7,81 do 48,16 metra, a średnio wynosi 19,87 metra. Temperatura zmierzona w punkcie inwersji termogramu waha się od 6,89 do 9,91 °C, a średnio wynosi 8,67 °C. Wyniki dotyczące głębokości zalegania zwierciadła wód podziemnych oraz głębokości punktu inwersji temperatury i odpowiadającej mu wartości temperatury zestawiono w Zał. 7.2 oraz dla każdego z przebadanych otworów z osobna w załącznikach: Zał. 7.3-7.25.

Wartości anomalne, tj. wysoką miąższość strefy oddziaływania czynników zewnętrznych oraz podwyższoną temperaturę w punkcie inwersji termogramu, zaobserwowano dla otworu Wrocław W-1 co z dużym prawdopodobieństwem można tłumaczyć występowaniem miejskiej wyspy ciepła. W przypadku otworów Dobromyśl 5B i Gorzeszów P-1, gdzie nie zanotowano wpływu czynników antropogenicznych, punkt inwersji temperatury jest położony stosunkowo głęboko. W przypadku otworu Gorzeszów P-1 zaobserwowano stałą regresję temperatury w całym badanym przelocie otworu, tj. do głębokości 102,55 [m p.p.t.]. W celu dokładnej interpretacji wykrytych wartości anomalnych obserwacje w ww. punktach należy powtórzyć w przyszłości i ewentualnie prowadzić okresowy monitoring ww. otworów.

7.3.2 Analiza termogramów i krzywych profilowania EC, pH i O₂

Analiza termogramów w porównaniu z wykresami profilowania wybranych parametrów fizykochemicznych wody mierzonych bezpośrednio przez sondę MPS-D8, tj. EC, pH i stężenia tlenu O₂, pozwoliła na identyfikację zaburzeń temperatury wody spowodowanych lateralnym dopływem wód podziemnych oraz dopływem do filtru. Zaburzenia te są szczególnie dobrze widoczne w przypadku odcinków niezarurowanych. W przyjętej metodologii badań nie jest możliwa identyfikacja i analiza zaburzeń spowodowanych różnicowaniem wartości przewodności cieplnej poszczególnych typów litologicznych skał w profilach badanych otworów wiertniczych.

Wyniki profilowania multimiernikiem KLL-Q2, wraz z wynikami obliczeń podstawowych parametrów statystycznych, wykresem dla analizowanych parametrów fizykochemicznych, termogramem oraz, jeśli istniała taka możliwość, z termogramem dla interwału obliczeniowego i obliczeniami podstawowych parametrów geotermicznych, dla każdego zbadanego otworu przedstawione zostały w załącznikach 7.3 - 7.25. Wyraźne zakłócenia spowodowane bocznym dopływem do otworu wód podziemnych o innej temperaturze widoczne są np. dla otworów: Krzyżanów 2 (Zał. 7.4), Grzędy 3P (Zał. 7.8), Mioszów 2 (Zał. 7.9), Łupki 1 (Zał. 7.12) i Stary Waliszów 7R (Zał. 7.16). Na wykresach dla otworu Opolno-Zdrój 1 widoczny jest nagły wzrost temperatury i odpowiadająca mu zmiana wszystkich pozostałych mierzonych parametrów. Zjawisko można najprawdopodobniej wiązać z dopływem wód podziemnych o podwyższonej temperaturze z głębszych stref krążenia poprzez np. system szczelin i uskoków – analogicznie do warunków panujących w odkrywcę KWB Turów, która położona jest około 1 500 metrów na NW od otworu. Opisana zmiana temperatury i innych parametrów fizykochemicznych została potwierdzona pomiarami powykonawczymi w otworze Opolno-Zdrój 1 (Kłonowski, Kiełczawa i Biel 2014.) oraz w trakcie późniejszych obserwacji kontrolnych (Kłonowski, Russ i Zawistowski 2016). Związek występowania wód głębszego krążenia ze strefami uskokowymi i występowanie szczelinowych systemów wodonośnych opisywany jest w literaturze fachowej dotyczącej warunków występowania wód termalnych na obszarze Dolnego Śląska (Kanasiewicz i Sylwestrzak 1970, Grzegorzczak i Farbisz 2007, Krawczyk i in. 2011).

Z kolei na Zał. 7.14 widoczne są silne zakłócenia wszystkich badanych parametrów, w tym zmiany temperatury, spowodowane najprawdopodobniej zakłóceniami antropogenicznymi związanymi z lokalizacją otworu na terenie byłej kopalni KWK Julia, w bezpośrednim sąsiedztwie nieczynnego szybu. Należy nadmienić, że w przypadku tego otworu zmierzono stosunkowo wysoki wzrost temperatury, tj. z wartości minimalnej 12,28 °C na głębokości 43,46 [m p.p.t.] do wartości maksymalnej 15,44 °C na głębokości 203,31 [m p.p.t.].

Poza punktowymi wystąpieniami wód o podwyższonej temperaturze,

Pełczyn IVP (Zał. 7.13) – 17,39 °C, Wałbrzych Stara Kopalnia (Zał. 7.14) – 15,45 °C oraz Stary Waliszów 7R (Zał. 7.16) – 15,08 °C, zanotowano także wystąpienia obszarowe w spągu odkrywki KWB Turów, tj. w otworach HOp-117 (Zał. 7.20) i BH-4/36 (Zał. 7.21), dla których maksymalna zmierzona temperatura wyniosła powyżej 20 °C, jak również w obszarach przyległych, w tym w otworze Opolno-Zdrój 1. Zmiany zaobserwowane w otworze na stosunkowo niewielkiej głębokości wynoszącej około 37 [m p.p.t.] mogą świadczyć o posadowieniu w sąsiedztwie strefie tektonicznej prowadzącej wody z systemów głębszego krążenia. Zjawisko to wymaga dalszych obserwacji i badań w przyszłości.

7.3.3 Analiza obliczonych średnich wartości gradientu geotermicznego, strumienia ciepłego Ziemi oraz temperatur na danych głębokościach

Zgodnie z przyjętymi założeniami, w tym uproszczeniami i ograniczeniami, metodycznymi obliczone zostały średnie wartości gradientu geotermicznego i strumienia ciepłego Ziemi dla 9 badanych otworów (Załącznik 7.2). Obliczone wartości gradientu geotermicznego wahają się od 0,47 do 4,690 [°C/100 m], a ich średnia arytmetyczna wynosi 2,38 [°C/100 m]. Z kolei średnie wartości strumienia ciepłego Ziemi obliczone dla danych z 9 otworów wahają się od 11,67 do 88,34 [mW/m²], a ich średnia arytmetyczna wynosi 50,03 [mW/m²]. Dla obydwu parametrów wartości maksymalne obliczone została dla otworu Pełczyn IVP, natomiast minimalne dla otworu Grzędy 3P. Obliczone wartości nie odbiegają od wyników wcześniejszych prac zarówno w skali całego kraju (Majorowicz 1974, Plewa 1994, Majorowicz, Polkowski i Grad, 2019) jak też i bardziej szczegółowych obliczonych dla Dolnego Śląska (Karwasiecka i Bruszevska 1997, Bruszevska 2000).

W przypadku otworów, dla których zidentyfikowano interwał obliczeniowy dla miąższości około 150 lub więcej metrów wykonano obliczenia temperatury górotworu na wybranych głębokościach. Wyniki obliczeń zestawiono w Załącznik 7.2. Maksymalne temperatury obliczono dla otworu Pełczyn IVP (Załącznik 7.13), tj.: 31,32, 54,77, 78,23 i 101,68 °C, odpowiednio dla 500, 1 000, 1 500 i 2 000 [m p.p.t.], natomiast minimalne dla otworu Krzyżanów 2 (Załącznik 7.4), tj.: 20,12, 32,64, 45,17 i 57,7 °C, odpowiednio dla 500, 1 000, 1 500 i 2 000 [m p.p.t.]. W przypadku otworu Pełczyn IVP obliczone wartości temperatury są wyższe średnio o około 10 °C niż wartości otrzymane przez Karwasiecką i Bruszevską (1997), a w przypadku otworu Krzyżanów 2 nie zanotowano różnic z wynikami wcześniejszych badań (Karwasiecka i Bruszevska 1997, Bruszevska 2000). Wyższe wartości temperatury obliczone dla otworu Pełczyn IVP są najprawdopodobniej w dużej mierze związane z uproszczeniami metodologicznymi i przyjęciem do obliczeń średniej wartości przewodności cieplnej dla badanego odcinka analizowanego profilu litostratygraficznego. Porównanie wyników niniejszych badań z badaniami Karwasieckiej i Bruszevskiej (1997) dla trzech otworów występujących w obu badaniach przedstawiono w Tab. 7.2.

Tab. 7.2 Porównanie obliczonych wartości z wynikami wcześniejszych badań

Otwór	Gradient T [°C/100m]		Strumień ciepły Q [mW/m ²]	
	1	2	1	2
Długopole Dolne 6R	3,15	3,11	59,61	59,04
Pełczyn IVP	4,69	4,18	88,37	56,03
Stary Waliszów 7R	3,46	3,67	65,34	62,40

1 – rezultaty niniejszych badań

2 – wartości wg. Karwasieckiej i Bruszevskiej (1997)

7.3.4 Analiza warunków występowania wód podziemnych o podwyższonej temperaturze w kontekście regionalnym

Analizowane otwory zlokalizowane są bardzo nierównomiernie na terenie badań i grupują się w niektórych z jego części (Fig. 1.2.1 i Załącznik 7.2). Zjawisko to jest wynikiem lokalizacji istniejących otworów wykonanych w celu rozpoznania wybranych jednostek geologicznych, złóż surowców czy też wód podziemnych, jak również technicznymi możliwościami wykonania profilowania w otworach multimiernikiem KLL-Q2. W związku z powyższym wyniki przeprowadzonych badań

nie umożliwiają kompleksowej interpretacji i rozpoznania warunków geotermicznych dla całości badanego obszaru.

Znaczna część otworów znajduje się w polskiej części niecki śródsudeckiej i posadowiona jest w utworach mezozoiku, w tym w piaskowcach, marglach, iłowcach oraz iłowcach triasu i kredy. Niektóre z otworów przewiercają także piaskowce i mułowce w stropie permu, czy też w przypadku otworu Wałbrzych Stara Kopalnia osady karbonu górnego. Otwór Długopole Dolne 6R przewierca miąższy kompleks mułowcowo-ilasty rowu Nysy i osiąga łupki kwarcytowe podłoża paleozoicznego.

Kolejna grupa otworów, położona w rejonie niecki Turoszowa i niecki Radomierzyc, posadowiona jest stosunkowo płytko w osadach czwartorzędu i neogenu, w tym niektóre bezpośrednio w złożu węgla brunatnego. W obrębie skał osadowych posadowione są otwory: Łupki 1 – w osadach kredy, triasu i permu rowu Wlenia, Pełczyn IVP – w osadach neogenu i triasu monokliny przedsudeckiej, oraz Wrocław W-1 w utworach neogenu zalegających na monoklinie przedsudeckiej. Natomiast w utworach krystalicznych posadowione są otwory: Krzyżanów 2 – w paleozoicznych fyllitach, kwarcytach, amfibolitach i granitach południowego obrzeżenia niecki śródsudeckiej, Gierczyn G18/3 – w paleozoicznych gnejsach i łupkach kwarcytowych bloku karkonosko-izerskiego i Łądek-Zdrój L-1 – w paleozoicznych łupkach i gnejsach metamorfiku Łądko i Śnieżnika.

Występowanie wód podziemnych o podwyższonej temperaturze jest w obszarze badań uwarunkowane m.in. występowaniem szczelinowych systemów głębokiego krążenia w podłożu krystalicznym (Dowgiałło 1976, Dowgiałło 2001, Ciężkowski, Michniewicz i Przylibski 2011). Istotne znaczenie ma również obecność lub brak nadkładu skał osadowych, które charakteryzują się niższymi wartościami przewodności cieplnej niż skały magmowe czy też wulkaniczne, przez co ich serie mogą stanowić swego rodzaju izolację i pułapkę dla ciepła geogenicznego pochodzącego z np. kompleksów granitoidowych (Łuszczak 2017, Majorowicz i Minea 2013). Szczególnie korzystne warunki związane są z wystąpieniem w nadkładzie miąższych serii węgla kamiennych i brunatnych (Rawling i in. 2014).

W ramach niniejszych badań najwyższe wartości temperatury wód, w tym sięgające powyżej 20 °C, stwierdzono w odkrywce KWB Turów. Wody termalne niecki Turoszowa są wodami szczelinowymi stosunkowo głębokiego systemu krążenia występującego w podłożu krystalicznym, który budują przedwaryscyjskie granity rumburskie, stanowiące podłoże neogeńskiej asocjacji brunatnowęglowej (Liber-Makowska 2013). Warunki korzystne do występowania wód termalnych są bezpośrednio związane z regionalną strefą uskokową przebiegającą przez utwory krystaliczne (Liber-Makowska 2013, Ciężkowski i Sztuk 1985). W przypadku rejonu KWB Turów należy mieć także na względzie przemiany antropogeniczne spowodowane prowadzoną od wielu dekad eksploatacją złoża węgla brunatnego, która w sposób istotny i trwały przekształciła lokalną i regionalną budowę geologiczną oraz warunki hydrogeologiczne. Eksploatacja zasobów węgla brunatnego doprowadziła do znaczącej redukcji pokrywy kenozoicznej podłoża krystalicznego i umożliwiła wystąpienia wód o podwyższonej temperaturze na płytkich głębokościach pod powierzchnią dna odkrywki.

Podwyższone temperatury wód podziemnych, poza niecką Turoszowa, zmierzono w otworach: Pełczyn IVP – 17,39 °C, Wałbrzych Stara Kopalnia – 15,45 °C oraz Stary Waliszów 7R – 15,08 °C. Są one niewątpliwie związane ze zwiększoną wartością gradientu geotermicznego, który z kolei przyczynia się do powstania w otworze zjawiska pionowej konwekcji temperaturowej. W związku z

powyższym przyjmuje się, że najbardziej istotny wpływ na temperaturę wód podziemnych w badanych otworach ma gradient geotermiczny oraz korzystne warunki hydrogeologiczne.

7.4 Wnioski i podsumowanie

- Badania polegające na profilowaniu otworów multimiernikiem KLL-Q2 wykonano dla 23 otworów na Dolnym Śląsku, głównie w Sudetach i na bloku przedsudeckim oraz na monoklinie przedsudeckiej;
- Badania terenowe i pomiary w otworach obejmowały pomiary głębokości zalegania zwierciadła wody oraz profilowanie wybranych parametrów fizykochemicznych wody, tj. T, EC, pH i stężenia tlenu O₂;
- Wyniki pomiarów terenowych przedstawiono w postaci termogramów i krzywych profilowania dla każdego z otworów;
- Miąższość płytkiej strefy litosfery (górotworu), dla której zanotowano zmiany temperatury wywołane przez czynniki zewnętrzne, geo- i antropogeniczne, jest silnie zróżnicowana, a głębokość punktu inwersji temperatury znajduje się średnio na około 20 [m p.p.t.];
- Niektóre z wystąpień wód o podwyższonej temperaturze należy wiązać z ascensją wód z podłoża – ze szczelinowych systemów głębokiego krążenia. Istotne jest również występowanie nadkładu skał osadowych, który może stanowić swego rodzaju izolację i pułapkę dla ciepła geogenicznego;
- Otrzymane wyniki obliczeń parametrów geotermicznych, tj. gradientu i strumienia ciepłego, pomimo przyjętych uproszczeń i ograniczeń, w przypadku możliwości wyznaczenia interwału obliczeniowego dla wystraczająco dużej miąższości, np. 150 metrów, są w istotnej części zbieżne z wynikami dotychczasowych badań. Przyszłe badania przewodności cieplnej skał i metodyczna parametryzacja badanych profili, szczególnie na odcinku interwałów obliczeniowych, umożliwią dokładniejsze obliczenia przewodności cieplnej i temperatury górotworu na wybranych głębokościach;
- Ze względu na mozaikową budowę geologiczną Dolnego Śląska i złożone warunki hydrogeologiczne, przede wszystkim w Sudetach i na bloku przedsudeckim, oraz efekt koncentracji niektórych otworów w wybranych fragmentach obszaru badań, jak również liczebność populacji danych, na obecnym etapie badań nie jest możliwa kompleksowa analiza wyników przeprowadzonych badań dla całości terenu badań, w tym wykonanie interpolacji obliczonych wyników i przedstawienie ich w postaci map izolinowych;
- Otrzymane wyniki profilowań temperatury i wybranych parametrów fizykochemicznych wody w otworach oraz wykonane na tej podstawie obliczenia potwierdzają, że badania tego typu są znakomitym narzędziem do aktualizacji danych termicznych oraz uzupełnienia zbioru danych analitycznych w przypadku obszarów, pozbawionych otworów głębokich, jak również obszarów o skomplikowanej budowie geologicznej i złożonych warunkach hydrogeologicznych;
- W przyszłych badaniach należy uwzględnić wykonanie profilowań w dodatkowych otworach, np. na terenie LGOMu, na Śląsku Opolskim i, pod warunkiem uzyskania zgody właściciela, w otworach geotermalnych, np. LZT-1. Ponadto konieczne jest uzupełnienie wyników pomiarów multimiernikiem KLL-Q2 profilowaniem temperatury innym sprzętem do większych głębokości;

- W przyszłości wyniki profilowania razem z wynikami wcześniej wykonanych badań, w tym geofizyki otworowej, po ich weryfikacji, należy wykorzystać do budowy przestrzennego modelu geologicznego w celu wykonania dokładnych obliczeń parametrów geotermicznych.

Literatura

- Banks D., 2012. An Introduction to Thermogeology. Ground Source Heating and Cooling. 2nd edition, Wiley-Blackwell, Chichester
- Bruszevska, B., 2000. Warunki geotermiczne Dolnego Śląska. Przegląd Geologiczny t. 48, nr 7, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Ciężkowski, W., Michniewicz, M. i Przylibski, T.A., 2011. Wody termalne na Dolnym Śląsku, w: Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Ciężkowski W. (red.) *Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska*, WIND, Wrocław
- Ciężkowski W., Sztuk T., 1985. Wody termalne Kopalni „Turów”. Symposium Naukowo-Techniczne: Stan Rozpoznania i Perspektywy Wykorzystania Wód Termalnych. Kraków, 24–25.10.1985, P. 10–17
- Dowgiałło, J. 1976. Wody termalne Sudetów, *Acta Geologica Polonica*, vol. 26, nr 4
- Dowgiałło, J. 2001. Sudecki region geotermalny – określenie, podział, perspektywy poszukiwawcze, *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, volume 10, ss. 301–308
- Görz I., Heiermann M., Götzl, G., Steiner B., Ciapała B., Hofmann, 2019. Evaluated Guidelines on Harmonized Workflows and Methods for Urban and Non-Urban Areas. Deliverable D.T2.3.4, GeoPLASMA-CE Project (praca niepublikowana)
- Grzegorzczak K., Farbisz J., 2007. Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze bloku karkonosko-izerskiego na podstawie kompleksowych badań geofizycznych i pogłębionej analizy danych geologicznych, Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych i Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA S.A., Narodowe Archiwum Geologiczne, Warszawa
- Headon J., Banks D., Waters A., Robinson V.K., 2009. Regional distribution of ground temperature in the Chalk aquifer of London, UK, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42, 313–323
- Kapuściński J., Rodzoch A., 2010. Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie: stan aktualny i perspektywy rozwoju: uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Ministerstwo Środowiska, Warszawa
- Karwasiecka M., Bruszevska B., 1997. Gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi na obszarze Polski, Państwowy Instytut Geologiczny, Narodowe Archiwum Geologiczne Warszawa
- Kanasiewicz, J. i Sylwestrzak, H., 1970. Zależność między przebiegiem głębokich stref tektonicznych a rozmieszczeniem złóż endogenicznych w Sudetach, *Przegląd Geologiczny*, tom 18, nr 5, s. 219–221
- 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. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Warszawa
- Kłonowski M.R., Kocyla J., Rzyński G., Żeruń M., 2020, Evaluation and statistical interpretation of low-temperature geothermal energy potential for selected locations in Poland, *Geological Quarterly*, 2020, 64 (2)

- Kozdrój W., Kłonowski M., 2014. Broszura informacyjna na temat stosowania płytkiej geotermii. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Drezno
- KLL-Q2 and Checker-2. Operational manual, 2012. Seba Hydrometrie, Kaufbeuren
- Kłonowski M., Kielczawa J., Biel A., 2014. Dokumentacja geologiczna inna z wykonania hydrogeologicznego otworu obserwacyjnego (piezometru) sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych Państwowego Instytutu Geologicznego - Państwowego Instytutu Badawczego w miejscowości Opolno Zdrój, Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Narodowe Archiwum Geologiczne
- Kłonowski M., Russ D., Zawistowski K., 2016. Przestrzenna zmienność temperatury i innych właściwości fizykochemicznych wody mierzonych w otworach geologicznych, jako efekt heterogeniczności podłoża skalnego, Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1/2016, s. 213
- Krawczyk J., Aleksandrowski P., Chowaniec J., Skrzypczyk L., Farbisz J., Grzegorzczak K., Biel A., 2011. Projekt prac geologicznych dla określenia perspektywicznych rejonów i stref występowania wód termalnych na obszarze Sudetów Środkowych i Wschodnich wraz z blokiem przedsudeckim, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Narodowe Archiwum Geologiczne, Warszawa
- Liber-Makowska E., 2013. Warunki geotermiczne niecki Turowszowa, Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1/2013, ss. 135-141
- Łuszczak K., Persano C., Braun J., Stuart F.M., 2017. How local crustal thermal properties influence the amount of denudation derived from low-temperature thermochronometry, *Geology*, September 2017; v. 45; no. 9; ss. 779–782, doi:10.1130/G39036.1
- Majorowicz J., 1974. Obraz pola cieplnego Ziemi w obszarze Polski, *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, t. XLIV, Kraków
- Majorowicz J., Minea V., 2013. Geothermal Anomalies in the Gaspésie Peninsula and Madeleine Islands, Québec, *GRC Transactions*, Vol. 37, ss. 295-300
- Majorowicz J., Polkowski M., Grad M., 2019. Thermal properties of the crust and the lithosphere-atmosphere boundary in the area of Poland from the heat flow variability and seismic data, *International Journal of Earth Sciences*, 108: 649-672
- Michniewicz M., Czerski M., Kielczawa J., Wojtkowiak A., Biel A., 2006. Obszary potencjalnego występowania wód termalnych na bloku przedsudeckim na tle budowy geologicznej, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Narodowe Archiwum Geologiczne, Warszawa
- Paczyński B., Sadurski A., (red.), 2007. Hydrogeologia regionalna Polski tom II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Paczyński B., Płochniewski Z., 1996. Wody mineralne i lecznicze Polski, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- Pike D., Banks D., Waters A., Robinson V.K., 2013. Regional distribution of temperature in the Chalk of the western London Basin Syncline, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, volume 46, ss. 117-125
- Plewa, S., 1994. Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków
- Rawling T. J., Sandiford M., Beardsmore G. R., Quenette S., Goyen S. H. & Harrison B., 2014. Thermal insulation and geothermal targeting, with specific reference to coal-bearing basins.

- Software SEBAConfig. Application for setup and operating of SEBA Logger and Senso. Short user manual, 2006. Seba Hydrometrie, Kaufbeuren
- Styrkowiec E., 2017a. Opinia stanu technicznego otworu piezometrycznego 7 (203003) w miejscowości Łężyce w oparciu o uzyskane wunki inspekcji telewizyjnej. ZUWIK Łódź (niepublikowane)
- Styrkowiec E., 2017b. Opinia stanu technicznego otworu piezometrycznego B5 (201013) w miejscowości Dobromyśl w oparciu o uzyskane wunki inspekcji telewizyjnej. ZUWIK Łódź (niepublikowane)
- Styrkowiec E., 2017c. Opinia stanu technicznego otworu piezometrycznego P-1 (201003) w miejscowości Gorzeszów w oparciu o uzyskane wunki inspekcji telewizyjnej. ZUWIK Łódź (niepublikowane)
- Styrkowiec E., 2017d. Opinia stanu technicznego otworu piezometrycznego 202011 w miejscowości Wambierzyce w oparciu o uzyskane wunki inspekcji telewizyjnej. ZUWIK Łódź (niepublikowane)
- Styrkowiec E., 2017e. Opinia stanu technicznego otworu piezometrycznego 203006 w miejscowości Krzyżanów w oparciu o uzyskane wunki inspekcji telewizyjnej. ZUWIK Łódź (niepublikowane)
- Szewczyk J., 2005. Wpływ zmian klimatycznych na temperature podpowierzchniową Ziemi, Przegląd Geologiczny, volume 53, nr 1, ss. 77-86
- Szewczyk J., Gientka D., 2009. Terrestrial heat flow density in Poland – a new approach, Geological Quarterly, vol. 53, nr 1, ss. 125-140
- Tissen C., Benz S.A., Menberg K., Bayer P., Blum P., 2019. Groundwater Temperature anomalies in Central Europe, Environmental Research Letters volume 14, ss. 1-10
- Waterquality probes. MPS-D3/D8/K16, Qualilog 8/16, Dipper-TEC, 2012. Seba Hydrometrie, Kaufbeuren