

Metody elektromagnetyczne w geotermii

Michał Stefaniuk^{1,2}, Marek Wojdyła²

Metody elektromagnetyczne jest to grupa metod geofizycznych wykorzystujących pole elektromagnetyczne w rozpoznawaniu budowy ośrodka geologicznego. W ogólnym ujęciu analiza parametrów pola elektromagnetycznego, pomierzonego na powierzchni Ziemi lub w otworach wiertniczych, pozwala na oszacowanie rozkładu parametrów elektromagnetycznych ośrodka geologicznego, tj. oporności elektrycznej, przenikalności elektrycznej i przenikalności magnetycznej. Fundamentalne znaczenie w badaniach elektromagnetycznych ma związek ww. parametrów z budową geologiczną ośrodka, określoną przez

zróznicowanie cech litologicznych i parametrów fizyczno-chemicznych roztworów filtrujących w ośrodku skalnym oraz z obecnością granic tektonicznych. Metody elektromagnetyczne wykorzystują zmienne pole źródłowe quasi-harmoniczne lub impulsowe, chociaż funkcjonują też asymptotyczne rozwiązania dla prądu stałego.

Do oceny parametrów systemu geotermalnego istotne jest rozpoznanie horyzontów wodonośnych i dróg filtracji mediów złożowych oraz określenie zróznicowania temperatury wód oraz skał otaczających. W dominującej w Polsce problematyce geotermii niskotemperaturowej duże znaczenie ma określenie geometrii poziomów wodonośnych, dróg migracji płynów oraz prognozowanie ich mineralizacji i temperatury. Podstawowy parametr charakteryzujący własności elektromagnetyczne ośrodka, tj. oporność, odzwierciedla głównie jego zróznicowanie litologiczne; jest jednak modyfikowany także przez porowatość i prze-

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al.Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; stefan@geolog.geol.agh.edu.pl

²Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie sp. z o.o., ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa

puszczalność ośrodka skalnego, rodzaj i skład chemiczny nasycających mediów, a także przez ich temperaturę. W obrębie formacji osadowych głównymi czynnikami określającymi oporność ośrodka będą: zailenie, porowatość otwarta i szczelinowatość oraz mineralizacja roztworów złożowych. W tej sytuacji metody elektromagnetyczne okazują się szczególnie predestynowane do rozpoznawania problemów geotermii.

W zagadnieniach płytkich skuteczne jest stosowanie metod wykorzystujących sztuczne źródło fali elektromagnetycznej, tj. metody magnetotellurycznej z kontrolowanym źródłem (CSAMT — *Controlled Source Audiofrequency Magnetotellurics*), metody polaryzacji wzbudzonej, metody procesów przejściowych i innych. Dobre rezultaty otrzymuje się także stosując metodę audiomagnetotelluryczną (AMT), wykorzystującą naturalne pole elektromagnetyczne Ziemi w zakresie wysokich częstotliwości. Przykłady rozpoznania stref zeszcelinowanych, zafiltrowanych przez zmineralizowane wody o podwyższonej temperaturze z wykorzystaniem metody magnetotellurycznej, pochodzą z obszaru Sudetów z rejonu Cieplic Zdroju i Polanicy Zdroju.

W obszarze Polski centralnej i północnej interesujące dla geotermii horyzonty wodonośne pogrążone są z reguły na głębokości rzędu kilku kilometrów i znajdują się poza skutecznym zasięgiem metod kontrolowanego źródła. W tej sytuacji interesujące staje się wykorzystanie metody magnetotellurycznej bazującej na naturalnych wariacjach pola elektromagnetycznego Ziemi, wzbudzanych przez drgania rezonansowe jonosfery lub też przez odległe wyładowania atmosferyczne. Dzięki tensorowemu charakterowi wyników metoda magnetotelluryczna pozwala na rozpoznanie rozkładu oporności w ośrodku geologicznym

oraz jego geoelektrycznej anizotropii. W konsekwencji wyniki badań z wykorzystaniem tej metody zawierają informacje odnoszące się do horyzontów wypełnionych zmineralizowanymi i podgrzanyymi wodami oraz do stref zeszcelinowania, towarzyszących uskokom tektonicznym wykorzystywanym jako drogi migracji płynów. Przykładem wykorzystania metody magnetotellurycznej w rozpoznawaniu głęboko pogrążonych obiektów geotermalnych są wyniki badań wykonane w latach 2007–2008 w rejonie Kompiny k. Łowicza.

Należy podkreślić, że dobre rezultaty uzyskuje się na ogół stosując kompleks metod elektromagnetycznych, w szczególności, gdy rozpoznawany obiekt położony jest na znacznych głębokościach. Dokładne rozpoznanie strefy przypowierzchniowej za pomocą metod źródła sztucznego poprawia rozdzielczość i jakość interpretacji głębokich badań magnetotellurycznych. Optymalnym rozwiązaniem jest oczywiście kompleksowa interpretacja danych sejsmicznych i elektromagnetycznych dowiązanych do otworów wiertniczych, dobrze opróbowanych za pomocą profilowań geofizyki wiertniczej. W specyficznych warunkach dobre rezultaty daje także kompleksowa interpretacja danych elektromagnetycznych, grawimetrycznych, magnetometrycznych i termicznych. Badania kompleksowe wiążą się wprawdzie ze znaczącym wzrostem kosztów, są one jednak ciągle niskie względem kosztu odwiercenia negatywnego otworu.

Prace realizowano w ramach zadania geologicznego zamówionego przez ministra środowiska i finansowanego przez NFOŚiGW oraz projektu UE *Integrated Geophysical Exploration Technologies for deep fractured geothermal systems, I-GET*.