

Marek Hajto

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Potencjał geotermalny Polski oraz możliwości adaptacji międzynarodowej klasyfikacji zasobów geotermalnych UNFC-2009

Artykuł przedstawia aktualny stan wiedzy na temat potencjału geotermalnego w Polsce, który oparty jest na wynikach systematycznych prac badawczych prowadzonych na przestrzeni ostatnich trzydziestu lat w Katedrze Surowców Energetycznych (wcześniej Instytucie Surowców Energetycznych) Akademii Górniczo-Hutniczej. W artykule opisano zasady klasyfikacji oraz metodykę regionalnej oceny zasobów geotermalnych, stosowanej w Polsce, na podstawie diagramu McKelveya. Dotychczas wykorzystywana w Polsce klasyfikacja zasobów, która opiera się na diagramie McKelveya, uwzględnia dwa zasadnicze czynniki: stopień rozpoznania geologicznego oraz uwarunkowania: środowiskowe, techniczne i ekonomiczne udostępnienia i eksploatacji wód geotermalnych – łącznie. Przedstawiono także wyniki oszacowań zasobów geotermalnych z uwzględnieniem poszczególnych klas zasobów: dostępnych, statycznych, statycznych-wydobywalnych oraz dyspozycyjnych i eksploatacyjnych, warunkujących sposób wykorzystania wód geotermalnych do różnych celów: ciepłownictwa, rekreacji balneoterapii i innych. W artykule przedstawiono koncepcję nowej klasyfikacji zasobów geotermalnych oraz metodyki raportowania zasobów, opracowanej w 2016 roku w ramach działalności Europejskiej Komisji Gospodarczej (UNECE) przy współudziale specjalistów Międzynarodowej Asocjacji Geotermalnej (IGA). Powyższa klasyfikacja opiera się na trójwymiarowym modelu podziału zasobów, w którym dodatkowo, poza kryterium opłacalności ekonomicznej oraz rozpoznania geologicznego, wyróżnia się kryterium związane ze stopniem zagospodarowania złoża. Wprowadzenie spójnych zasad w ramach klasyfikacji UNFC-2009 oraz ujednoczenie sposobu raportowania, z uwzględnieniem kryteriów rynkowych i ekonomicznych, usprawni przepływ informacji oraz może ułatwić współpracę międzynarodową w zakresie oceny zasobów energii geotermalnej, w tym również w skali globalnej. Wytyczne dotyczące stosowania UNFC-2009 zatwierdzone zostały przez Komisję Europejską na 22. sesji w listopadzie 2013 roku i są dostępne jako publikacja Europejskiej Komisji Gospodarczej (UNECE) (ECE Energy nr 42). W artykule wskazano trzy reprezentatywne, funkcjonujące instalacje geotermalne w Polsce, tj. na Podhalu, w Stargardzie oraz w Poddębicach, dla których można by wykorzystać zasady klasyfikacji UNFC-2009 i opracować studium przypadku dla tych wybranych złóż.

Słowa kluczowe: zasoby, geotermia, klasyfikacja, UNFC-2009, Polska.

Geothermal potential of Poland and the possibility of adapting the UNFC-2009 international classification of geothermal resources

The paper presents the state of knowledge on geothermal resources in Poland, which is as the result of systematic research work carried out for over the last 30 years, at the Department of Fossil Fuels (formerly the Institute of Fossil Fuels) of the AGH University of Science and Technology. The paper describes the principles of classification and methodology of regional geothermal resources assessment used in Poland, which is based on the McKelvey's diagram. The classification of geothermal resources used so far in Poland takes into account two basic factors: the degree of geological recognition and environmental, technical and economic issues concerning exploitation of geothermal water – together. The results of geothermal resources estimation are presented, taking into account particular classes of the resources: accessible, static, static-recoverable, disposable and exploitable, determining the use of geothermal waters for different purposes: heating, recreation, balneotherapy etc. The paper also presents a description of the concept of a new classification of geothermal resources (UNFC-2009), developed in 2016, within the framework of joint activity of the specialists of the European Economic Commission (UNECE) and the International Geothermal Association (IGA). The above classification is based on a three-dimensional resource classification model, where in addition to the criterion of economic viability and geological recognition, the criterion related to the project

feasibility and its development is also considered. The introduction of consistent rules within the UNFC-2009 classification and the unification of the reporting method, taking into account market and economic criteria, will improve the exchange of information and may facilitate international cooperation in the field of global geothermal energy resources assessment. Guidelines for the use of UNFC-2009 were approved by the European Commission during its 22nd session in November 2013 and are available as a publication of the European Economic Commission (UNECE) (ECE Energy No. 42). The article presents three representative, operating geothermal installations in Poland, in: Podhale, Stargard and Poddębice, for which the principles of UNFC-2009 classification could be used and a case study for these selected geothermal fields could be developed.

Key words: resources, geothermal energy, classification, UNFC-2009, Poland.

Wstęp

Dotychczas nie opracowano w skali globalnej jednolitych międzynarodowych standardów klasyfikacji i raportowania zasobów i rezerw geotermalnych. Różnice dotyczą zarówno stosowanego nazewnictwa, jak i definicji potencjału geotermalnego oraz zasad oceny i zasobów geotermalnych. Powyższe różnice wynikają głównie z tego, do jakich celów wykorzystywana jest energia geotermalna (balneoterapia/rekreacja, ogrzewanie, produkcja prądu), kto jest właścicielem zasobów geotermalnych (państwo, własność prywatna) oraz jakie ustawodawstwo reguluje aspekty związane z wykorzystaniem zasobów geotermalnych. W związku z powyższym definicje zasobów geotermalnych można podzielić na trzy kategorie [22]:

- 1) zasoby mineralne, regulowane przez prawo geologiczne i/lub górnicze,
- 2) zasoby wodne, regulowane przepisami prawa wodnego, geologicznego i/lub górniczego,
- 3) zasoby unikalne same w sobie.

Wychodząc naprzeciw środowisku geotermalnemu, Europejska Komisja Gospodarcza (UNECE¹) oraz Międzynarodowa Asocjacja Geotermalna (IGA²) podjęły wspólne działania zmierzające do opracowania jednolitych kryteriów klasyfikacji i oceny zasobów geotermalnych oraz zasad przejrzystego raportowania zasobów i rezerw energetycznych, z uwzględnieniem kryteriów rynkowych i ekonomicznych. Eksperti podkreślają, że działania te usprawnią przepływ informacji oraz ułatwią współpracę międzynarodową w zakresie oceny globalnych zasobów surowców energetycznych i mineralnych, w tym zasobów energii geotermalnej [32].

Większość pojęć i definicji dotyczących klasyfikacji i oceny zasobów geotermalnych odnosi się do specyfiki przemysłu wydobywczego, w tym głównie surowców mineralnych, energetycznych i kopalin (np. węgiel, ropa naftowa), i opiera się one na diagramie McKelveya (1972) [25]. Opisują one zazwyczaj ilość (objętość) surowca, która może być wydo-

byta z uwzględnieniem interesu gospodarczego. Klasyfikacja McKelveya stanowiła podstawę oszacowania zasobów geotermalnych w Polsce, które było wykonywane sukcesywnie, począwszy od pozycji [10] (1995 r.), poprzez [17–21], a skończywszy na [16]. Powyższe regionalne opracowania stanowiły podstawę określenia potencjału technicznego oraz możliwości wykorzystania wód i energii geotermalnej do celów ciepłowniczych oraz balneoterapeutycznych i/lub rekreacyjnych na obszarze stanowiącym 95% powierzchni Polski, bez regionu sudeckiego.

Klasyfikacja UNFC-2009 wychodzi naprzeciw oczekiwaniom branży geotermalnej, w tym naukowców, banków, firm ubezpieczeniowych oraz innych podmiotów działających w otoczeniu projektów geotermalnych. Stosowanie powyższej klasyfikacji zostało zalecone przez Europejski Komitet Ekonomiczno-Społeczny (ECOSOC³) na 42. posiedzeniu (decyzja 2004/233⁴ z 16.07.2004 r.). Międzynarodowa ramowa klasyfikacja zasobów surowców energetycznych oraz zasobów i rezerw surowców mineralnych UNFC-2009 [5] została zatwierdzona przez Komitet na rzecz Zrównoważonej Energetyki Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych w listopadzie 2009 roku (decyzja ECE/Energia/80§21 (g)). Wytyczne dotyczące stosowania UNFC-2009 zostały zatwierdzone przez Komisję Europejską na 22. sesji, w listopadzie 2013 roku, i są dostępne jako publikacja Europejskiej Komisji Gospodarczej (UNECE) – ECE Energy no. 42 [33].

W 2014 roku z inicjatywy UNECE powołano Grupę Roboczą⁵ ds. Geotermii, składającą się z 12 osób, ekspertów UNECE oraz IGA (IGA Resources & Reserves Committee). Głównym celem zespołu było przygotowanie zasad adaptacji

³United Nations Economic and Social Council (ECOSOC).

⁴ESOC Decision 2004/233, United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Resources, <http://www.un.org/en/ecosoc/docs/2004/decision%202004-233.pdf> (dostęp: październik 2018 r.).

⁵*Geothermal Energy Sun-group Membership*, strona internetowa UNECE, <https://www.unece.org/energy/welcome/areas-of-work/httpswww.unece.org/energy/reserves/html/applications/energyseunfc-re/unfc-and-geothermal-energy/geothermal-energy-sub-group-membership.html>

¹Europejska Komisja Gospodarcza (United Nations Economic Commission for Europe).

²Międzynarodowa Asocjacja Geotermalna (International Geothermal Association).

UNFC-2009 oraz opracowanie specyfikacji geotermalnej w formie „instrukcji” – połączenie reguł stosowania i przykładów aplikacji wytycznych klasyfikacji w konkretnych przykładach. Efektem prac było opracowanie i opublikowanie wersji roboczej specyfikacji (30.05.2016 r.) pn.: *Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources* [32]. W ramach prac nad konstrukcją międzynarodowej klasyfikacji geotermalnej (UNFC-2009) uwzględniono inne funkcjonujące klasyfikacje zasobów, w tym pierwszą, zunifikowaną klasyfikację zasobów i reguły raportowania zasobów geotermalnych (za pomocą systemu kodów) opracowane przez Australijski Komitet Kodów Geotermalnych⁶ [1, 2] oraz: kanadyjskie zasady klasyfikacji i raportowania zasobów i rezerw geotermalnych [5], protokół do oceny

potencjału EGS [3], a także wytyczne Asocjacji Geotermalnej [8] i zasady szacowania zasobów geotermalnych do celów produkcji energii elektrycznej – GEOELEC [34]. Końcowy dokument pn.: *Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources*, uwzględniający poprawki zgłoszone w ramach konsultacji społecznych, opublikowano 30 września 2016 roku [32].

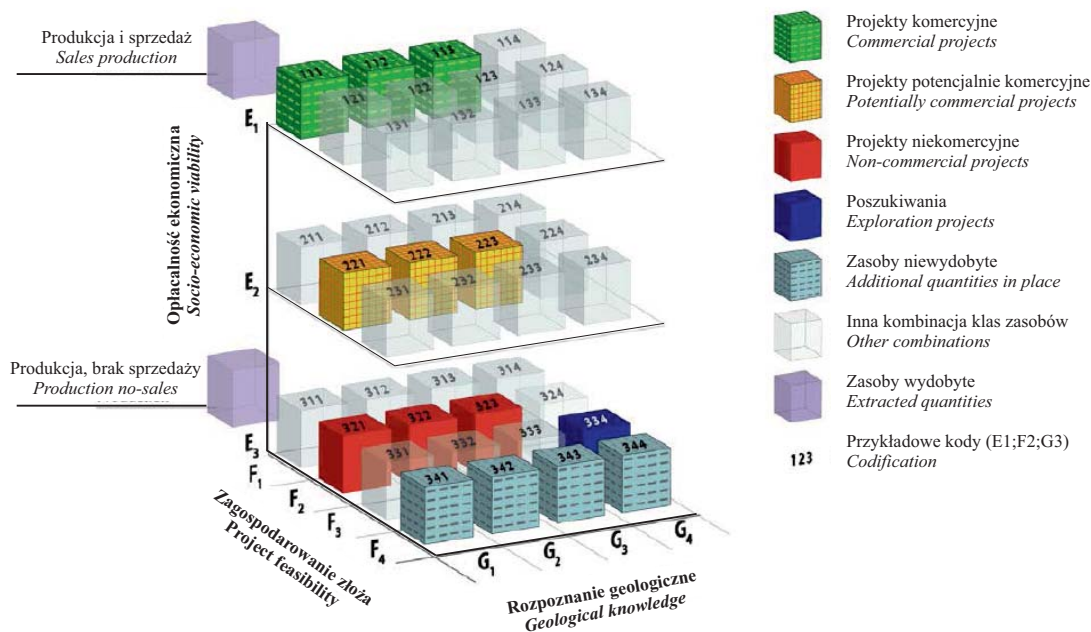
Opracowano także przewodnik obejmujący 14 przykładów praktycznych zastosowań reguł klasyfikacji oraz raportowania zasobów geotermalnych UNFC-2009 dla projektów zlokalizowanych w Australii, Niemczech, na Węgrzech, w Islandii, na Filipinach, we Włoszech, w Holandii, w Nowej Zelandii oraz w Rosji. Przewodnik (w formie *case study*) opublikowano w 2017 roku [31].

Klasyfikacja zasobów geotermalnych UNFC-2009 vs polska klasyfikacja oceny zasobów geotermalnych

Klasyfikacja UNFC-2009 wyróżnia trzy zasadnicze kategorie zasobów na podstawie trzech kryteriów: oceny gospodarczej (E – *economic*), wykonalności projektu/ stopnia zawnosowania zagospodarowania złoża (F – *feasibility*) oraz stopnia geologicznego rozpoznania złoża (G – *geological*). Dodatkowo zasoby E, F, G, w zależności od stopnia rozpoznania, dzieli się na klasy i subklasy oznaczone trójcyfrowymi symbolami (np. 3,4,1) [6]. Szczegółowy opis oraz definicje wyróżnionych kategorii i podkategorii w międzynarodowej ramowej klasyfikacji zasobów (UNFC-2009) przedstawiono w następujących artykułach: Falcone [6, 7], Nieć [28] i inni. Schemat klasyfikacji UNFC-2009 zaprezentowano na rysunku 1.

W Polsce nie ma uregulowań prawnych dotyczących klasyfikacji oraz metodologii oceny zasobów wód geotermalnych i energii zawartej w tych wodach. W zakresie metodyki oce-

ny zasobów geotermalnych funkcjonują poradniki metodyczne [9, 23]. Poza poradnikami informacje z zakresu metodyki oceny zasobów możemy znaleźć w monografiach [10–14, 35]



Rys. 1. Międzynarodowa ramowa klasyfikacja zasobów surowców energetycznych oraz zasobów i rezerw surowców mineralnych 2009 [6]

oraz publikacjach z zakresu hydrogeologii ogólnej. Materiały te jednakże nie ujmują w sposób syntetyczny całości zagadnień związanych z problematyką oceny zasobów wód i energii geotermalnej w skali regionalnej.

Klasyfikacja zasobów geotermalnych stosowana w Polsce w opracowaniach regionalnych opiera się na diagramie McKelveya [25] i uwzględnia dwa zasadnicze czynniki,

⁶Australian Geothermal Reporting Code Committee.

a mianowicie: stopień rozpoznania geologicznego oraz uwarunkowania środowiskowe, techniczne i ekonomiczne udostępnienia i eksploatacji wód geotermalnych.

Zasoby geotermalne w Polsce związane są głównie z występowaniem wód podziemnych (zasoby hydrotermalne), w związku z powyższym do oceny zasobów wykorzystuje się metodę „objętościową”. Opiera się ona na założeniach opracowanych przez Nathensona i Mufflera [27], Gringartena i Sauty'ego [15] oraz Mufflera i Cataldiego [26] i wywodzi się z klasyfikacji zasobów stosowanej w przemyśle naftowym i dla surowców mineralnych.

W polskim ustawodawstwie, w tym w obowiązującym Prawie geologicznym i górniczym⁷, nie ma uregulowań dotyczących klasyfikacji ani też wytycznych odnoszących się do sposobów szacowania i raportowania zasobów energii geotermalnej. Pojęcia zasobów: statycznych, dyspozycyjnych⁸, eksploatacyjnych są uregulowane, ale dotyczą wyłącznie zasobów wód, a nie energii geotermalnej zawartej w tych wodach.

W oficjalnych dokumentach raportujących zasoby złóż kopalin w Polsce, przygotowywanych cyklicznie przez Państwową Służbę Geologiczną, w tym w obecnym *Bilansie...* [29], we wstępie, czytamy: „W przypadku wód podziemnych najnowszy *Bilans...* zawiera dane o zasobach eksploatacyjnych i dyspozycyjnych oraz o wielkości poboru jedynie wód podziemnych zaliczonych do kopalin (solanek, wód leczniczych i termalnych). Wiele z tych złóż należy do grupy wód leczniczych termalnych. Klasyfikowano je jako wody lecznicze, a do termalnych zaliczono jedynie te złoża,

które są wykorzystywane w celach grzewczych, przyjmując nadrzędność klasyfikacji kopalin dla potrzeb *Bilansu...*, czyli wg zastosowania”. Podstawowe informacje zawarte w *Bilansie...* w zakresie wód termalnych dotyczą zasobów eksploatacyjnych ujęć (w m³/h) oraz wartości skumulowanego poboru wód termalnych w roku bilansowym. Sporadycznie dostępne są informacje dotyczące zasobów dyspozycyjnych – brak natomiast oszacowań i informacji odnoszących się do zasobów energii geotermalnej, uwzględniających chociażby temperaturę tych wód. Niestety regionalne oszacowania zasobów geotermalnych, wykonane na zlecenie m.in. Ministerstwa Środowiska, nie są uwzględniane w powyższych raportach, a przynajmniej niektóre, wybrane elementy mogłyby wzbogacić informacje o krajowych zasobach energii geotermalnej.

Ten sam dokument w zakresie raportowania zasobów mówi: „Wzorem lat ubiegłych udokumentowane złoża poszczególnych kopalin przedstawiono w *Bilansie...* według klasyfikacji opartej na ich zastosowaniu, określonym na podstawie zakresu badań jakościowych dla poszczególnych grup kopalin. Przyjęty podział na grupy surowcowe umożliwia tylko wskazanie głównego przeznaczenia danej kopaliny ustalonego w dokumentacji geologicznej złoża kopaliny, ale nie decyduje o jej zastosowaniu”. W kontekście udokumentowania złóż wód termalnych (odkrytych i zagospodarowanych) powyższa metoda raportowania potencjału energetycznego złóż wód termalnych ma bardzo ograniczone zastosowanie i niewielką wartość informacyjną.

Zasoby geotermalne w Polsce

Zasoby geotermalne w Polsce są głównie związane z występowaniem wód podziemnych w utworach mezozoiku na Niżu Polskim, w Karpatach wewnętrznych (na Podhalu) i w zapadlisku przedkarpackim oraz podrzędnie w utworach paleozoicznych, w niektórych lokalizacjach w Karpatach zewnętrznych i w Sudetach. Przeprowadzone dotychczas badania wskazują, że w polskich warunkach wody termalne występują na głębokościach od ok. 1 km do 4 km i mają zróżnicowane temperatury od około 20°C do 80÷100°C. Są one odpowiednie do zastosowań w ciepłownictwie, rolnictwie, rekreacji, a niekiedy w balneoterapii. Lokalnie w głę-

bszych strukturach geologicznych stwierdzono wody o wyższych temperaturach (do stu kilkudziesięciu stopni Celsjusza). Syntezę informacji na temat warunków występowania, parametrów, możliwości wykorzystania zawarto w serii atlasów dotyczących Niżu Polskiego, Karpat i zapadliska przedkarpackiego [11–14]. W niektórych rejonach istnieją także warunki do produkcji energii elektrycznej w układach binarnych, zwykle w kogeneracji z produkcją ciepła [4, 35]. Lokalizację perspektywicznych obszarów dla różnorodnego wykorzystania zasobów geotermalnych na tle rozmieszczenia głównych jednostek tektonicznych Polski przedstawiono na rysunku 2.

Według stanu na 31 grudnia 2017 roku wody termalne były wykorzystywane w 6 ciepłowniach geotermalnych, 10 uzdrowiskach, a także w 14 kąpieliskach i ośrodkach rekreacyjnych. Sprzedaż ciepła w 2017 roku realizowana przez ciepłownie geotermalne osiągnęła poziom około 868 TJ/rok [24].

Oszacowania zasobów energii geotermalnej w skali regionalnej wskazują, że sumaryczne zasoby dostępne energii

⁷Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981, tekst jednolity: Dz.U. z 2015 r. poz. 196).

⁸Pojęcie zasobów dyspozycyjnych, z wyłączeniem zasobów solanek, wód leczniczych i termalnych, określa: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. z 2011 r. Nr 291, poz. 1714) – obowiązujące od 1.01.2012 r.

- występowania wód termalnych w Polsce zasadne byłoby wykonanie *case studies* i adaptacja zasad UNFC-2009 do trzech rodzajów funkcjonujących instalacji, obejmujących np.: Podhale – złożo zlokalizowane w skałach szczylinowych, zbiornik wód termalnych budujący spękane skały węglanowe mezozoiczne i częściowo paleogeńskie, bardzo dobre parametry zbiornikowe, warunkujące wysokie wydajności ujęć (do 550 m³/h z jednego otworu – Bańska PGP-1), dobra odnawialność zasobów, zatłaczanie wód zużytych, relatywnie niska mineralizacja (<3 g/L), temperatura wód na wypływie do 86°C;
- 2) Stargard – złożo zlokalizowane w skałach klastycznych, zbiornik wód termalnych zlokalizowany jest w piaskowcach jury dolnej o charakterze porowym, dobre parametry zbiornikowe – wydajności ujęć (do 200 m³/h z jednego otworu – Stargard GT-1), wysoka mineralizacja (do około 150 g/L), utrudniająca zatłaczanie wód zużytych (kolmatacja), temperatura wód na wypływie około 83°C;
- 3) Poddębice – złożo zlokalizowane w skałach klastycznych, zbiornik wód termalnych zlokalizowany jest w piaskowcach kredy dolnej o charakterze porowym, dobre parametry zbiornikowe – wydajność ujęcia 252 m³/h z jednego

otworu – Poddębice GT-2, niska mineralizacja (poniżej 0,5 g/L – woda słodka), temperatura wód na wypływie około 71°C.

Opracowanie w formie studium przypadku dla wybranych projektów geotermalnych mogłoby stanowić istotne uzupełnienie wiedzy na temat możliwości adaptacji reguł międzynarodowej klasyfikacji i raportowania zasobów geotermalnych UNFC-2009 w Polsce. Opracowane przykłady dałyby asumpt do szerszego zastosowania powyższych reguł w Polsce. Mając na uwadze możliwości wprowadzenia nowych instrumentów rynkowych, w tym ubezpieczenia ryzyka wiercenia otworu geotermalnego, standaryzacja zasad raportowania zasobów geotermalnych w Polsce stanowiłaby znaczący krok w kierunku zwiększenia przejrzystości tej dynamicznie rozwijającej się dziedziny OZE.

Ocena ryzyka geologicznego dla potrzeb finansowania przedsięwzięć geotermalnych z kredytów bankowych oraz wsparcie firm ubezpieczeniowych poprzez przejrzysty, uniwersalny system oceny i raportowania zasobów mogą stanowić istotny element rozwoju inwestycji geotermalnych, uzupełniając lub zastępując obecnie funkcjonujące formy finansowania, w tym dotacje dostępne w ramach odpowiednich programów NFOŚiGW.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2018, nr 12, s. 898–904, DOI: 10.18668/NG.2018.12.04

Artykuł nadesłano do Redakcji 11.10.2018 r. Zatwierdzono do druku 30.11.2018 r.

Artykuł został przygotowany w ramach badań statutowych Katedry Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej: 11.11.140.031.

Artykuł został opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej GEOPETROL 2018 pt.: *Rozwój technik poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów*. Zakopane-Kościelisko, 17–20.09.2018 r.

Literatura

- [1] AGRCC: *The Australian Code for Reporting of Exploration Results, Geothermal Resources and Geothermal Reserves*. Second Edition, 2010, http://www.agea.org.au/media/docs/the_geothermal_reporting_code_ed_2.pdf (dostęp: 20.06.2014).
- [2] AGRCC: *The Geothermal Lexicon for Resources and Reserves Definition and Reporting*. Second Edition, 2010, http://www.agea.org.au/media/docs/geothermal_lexicon_2010.pdf (dostęp: 20.06.2014).
- [3] Beardsmore G., Rybach L., Blackwell D., Baron Ch.: *A Protocol for estimating and mapping the global EGS potential*. Geothermal Resources Council Transactions 2011, vol. 34, s. 301–312, https://www.researchgate.net/profile/Ladislav_Rybach/publication/260302635_A_Protocol_for_Estimating_and_Mapping_Global_EGS_Potential/links/5447ccc80cf2d62c30514890/A-Protocol-for-Estimating-and-Mapping-Global-EGS-Potential.pdf (dostęp: 5.11.2018).
- [4] Bujakowski W., Tomaszewska B. (red.) i in.: *Atlas możliwości wykorzystania wód geotermalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła przy zastosowaniu systemów binarnych w Polsce*. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2014.
- [5] CGPRC: *The Canadian Geothermal Code for Public Reporting*. Canadian Geothermal Energy Association, 2010, <http://www.cangea.ca/geothermal-code-for-public-reporting.html> (dostęp: 16.03.2015).
- [6] Falcone G.: *Proposal of a consistent framework to integrate geothermal potential classification with energy extraction*. Geoth. Energ. Sci. 2015, vol. 3, s. 7–11, DOI: 10.5194/gtes-3-7-2015, <http://www.geoth-energ-sci.net/3/7/2015/gtes-3-7-2015.pdf> (dostęp: 5.11.2018).
- [7] Falcone G.: *White Paper – Progress Update. IGA Working Group for the Development of Geothermal Specifications for the UNFC-2009*. Issue no. 1, 17.04.2015, <http://iea-gia.org/wp-content/uploads/2015/05/UNFC2009-geothermal-spec-IGA-WG-white-paper-progress.pdf> (dostęp: 5.11.2018).
- [8] GEA: *New Geothermal Terms and Definitions – a Guide to Reporting Resource Development Progress and Results to the Geothermal Energy Association*. Geothermal Energy Association, 2010, 17 s., http://geo-energy.org/pdf/New-GeothermalTermsandDefinitions_January2011.pdf (dostęp: 20.06.2014).
- [9] Górecki W. (red.): *Metodyka oceny zasobów energii wód geotermalnych w Polsce*. Ekspertyza 12/93 Ministerstwa Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Wydawnictwa ZSE AGH, Kraków 1993.
- [10] Górecki W. (red.) i in.: *Atlas zasobów energii geotermalnej na*

- Niżu Polskim*. Wydawnictwa ZSE AGH, Towarzystwo Geosynoptyków Geos, Kraków 1995, 37 s.
- [11] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim – formacje mezozoiku*. Ministerstwo Środowiska, ZSE AGH, Kraków 2006, 485 s.
- [12] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim – formacje paleozoiku*. Ministerstwo Środowiska, ZSE AGH, Kraków 2006, 241 s.
- [13] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich*. Wydawnictwa KSE AGH 2011, 774 s.
- [14] Górecki W. (red.), Sowizdżał A. i in.: *Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego*. Wydawnictwa KSE AGH, Kraków 2012, 418 s.
- [15] Gringarten A.C., Sauty J.P.: *A Theoretical Study of Heat Extraction from Aquifers with Uniform Regional Flow*. Journal of Geophysical Research 1975, vol. 80, nr 35, s. 4956–4962.
- [16] Hajto M.: *Ocena zasobów wód i energii geotermalnej w Karpatach wschodnich*. [W:] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Wschodnich*. KSE AGH 2013, s. 499–594.
- [17] Hajto M.: *Wyniki kalkulacji zasobów geotermalnych na Niżu Polskim*. [W:] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim*. Wydawnictwa KSE AGH, Kraków 2006, s. 183–197.
- [18] Hajto M.: *Wyniki kalkulacji zasobów geotermalnych na Niżu Polskim*. [W:] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim*. Wydawnictwa KSE AGH, Kraków 2006, s. 55–66.
- [19] Hajto M.: *Zasoby wód i energii geotermalnej w perspektywicznych zbiornikach wodonośnych podłoża Karpat fliszowych*. [W:] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich*. Wydawnictwa KSE AGH, Kraków 2011, s. 426–620.
- [20] Hajto M.: *Zasoby wód i energii geotermalnej w utworach fliszowych*. [W:] Górecki W. (red.), Hajto M. i in.: *Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich*. Wydawnictwa KSE AGH, Kraków 2011, s. 372–425.
- [21] Hajto M., Kotyza J.: *Ocena zasobów wód i energii geotermalnej w zapadlisku przedkarpackim*. [W:] Górecki W. (red.), Sowizdżał A. i in.: *Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego*. Wydawnictwa KSE AGH, Kraków 2012, s. 281–288.
- [22] Haraldsson I.G.: *Legal and regulatory framework – barrier or motivation for geothermal development? Short Course on Geothermal Development and Geothermal Wells*. UNU-GTP and LaGeo, Santa Tecla, El Salvador 11–17.03.2012.
- [23] Kapuściński J. i in.: *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 1997.
- [24] Kępińska B.: *Przeгляд stanu wykorzystania energii geotermalnej w Polsce w latach 2016–2018*. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównowazony Rozwój 2018, nr 1, s. 11–27.
- [25] McKelvey V.E.: *Mineral resource estimates and public policy*. American Scientist 1972, vol. 60, nr 1, s. 32–40.
- [26] Muffler L.J.P., Cataldi R.: *Methods for regional Assessment of Geothermal Resources*. Geothermics 1978, vol. 7, s. 53–89.
- [27] Nathenson M., Muffler L.J.P.: *Geothermal resources in hydrothermal convection systems and conduction-dominated areas*. [W:] White D.E., Williams D.L. (eds.): *Assessment of geothermal resources of the United States – 1975*. U.S. Geological Survey Circular 1975, vol. 726, s. 104–121, <http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/cir/cir726> (dostęp: 5.11.2018).
- [28] Nieć M.: *Polska i międzynarodowa ramowa klasyfikacja zasobów (UNFC) złóż kopalin stałych i węglowodorów – podobieństwa i różnice*. Górn. Odkrywk. 2009, vol. 50, nr 2–3, s. 50–57.
- [29] Szufflicki M., Malon A., Tymiński M. (red.), Bońda R., Brzeziński D., Czapowski G., Kalinowska A., Malon A., Mikulski S.Z., Miśkiewicz W., Oszczepalski S., Siekiera D., Skrzypczyk L., Sokołowski J., Stawierej J., Szamałek K., Szczygielski W., Szufflicki M., Tymiński M.: *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce, wg stanu na 31 XII 2016 r.* Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, 2017.
- [30] UNECE & IGA: *Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources*. 2016, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_GEOETH/UNFC_Geothermal.Specs.pdf (dostęp: 5.11.2018).
- [31] UNECE: *Application of UNFC to Geothermal Energy Resources – Selected Case Studies*. UNECE Energy Series No. 51, New York, Geneva 2017, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC_GEOETH/1734615_E_ECE_ENERGY_110_WEB.pdf (dostęp: 5.11.2018).
- [32] UNECE: *Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 (UNFC-2009) to Geothermal Energy Resources*. Draft document prepared by the Geothermal Working Group, 2016, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC2009_publicom.geoth.2016/Geothermal.Specs_for.public.comment.pdf (dostęp: 5.11.2018).
- [33] UNECE: *United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 incorporating Specifications for its Application*. UNECE Energy Series No. 42, United Nations Economic Commission for Europe, New York, Geneva 2013, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/pub/UNFC2009_Spec_ES42.pdf (dostęp: 5.11.2018).
- [34] van Wees J.-D., Boxem T., Calcagno P., Lacasse L., Manzella A.: *A Resource assessment protocol for GEO-ELEC. A living document produced by the GEO-ELEC Project*. 23.11.2011, 18 s., http://www.geoelec.eu/wp-content/uploads/2012/04/GEOELEC_RESOURCE-ASSESSMENTPROTOCOL_v-16-dec-2011.pdf (dostęp: 20.06.2014).
- [35] Wójcicki A., Sowizdżał A., Bujakowski W. (red.) i in.: *Ocena potencjału, bilansu cieplnego i perspektywicznych struktur geologicznych dla potrzeb zamkniętych systemów geotermicznych (Hot Dry Rocks) w Polsce*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa–Kraków 2013.
- [36] Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Oszczypko N., Ślącza A., Żaba J., Żytko K.: *Regionalizacja tektoniczna Polski*. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław 2011, ISBN 978-83-63377-01-4, s. 20–24.



Mgr inż. Marek HAJTO
Asystent na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: mhajto@agh.edu.pl