Tematyka geotermalna w aktualnej działalności naukowo-badawczej IGSMiE PAN w latach 2019–2021 i plany na przyszłość

Wiesław Bujakowski[1], Barbara Tomaszewska[1], Beata Kępińska[1], Leszek Pająk[1], Bogusław Bielec[1], Maciej Miecznik[1], Aleksandra Kasztelewicz[1]

W. Bujakowski

B. Tomaszewska

B. Kępińska

L. Pająk

B. Bielec

M. Miecznik

A. Kasztelewicz

Geothermal topics in the current research activities of MEERI PAS in 2019–2021 and plans for the future. Prz. Geol., 69: 624–632.

A b s t r a c t. The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences (MEERI PAS) is celebrating its 35th anniversary this year. The Institute was established in 1986 on the initiative of Prof. Dr Eng. Roman Ney, who was its first Director. Inspired by Professors Roman Ney and Julian Sokołowski, research on the recognition and use of geothermal energy in Poland was launched at the Institute. A measurable achievement of the research team established in 1993 was the launch of the first geothermal installation in the country, under the name of the Experimental Geothermal Plant Bańska – Biały Dunajec, located in the Podhale region. This prototype installation prompted the establishment of PEC Geotermia Podhalańska S.A. and the inspiration for the construction of further geothermal plants in Poland. Through the period of over 30 years, the team of scientists associated with the current Division of Renewable Energy Sources of MEERI PAS has developed several hundred works on geothermal issues. These were, among others, documentations of new and reconstructed geothermal wells, resource documentations, pre-investment expert reports, articles, monographs, atlases and various scientific presentations, as well as information popularizing geothermal topics. In recent years, 42 research tasks of utilitarian nature, 55 articles and scientific reports of national and international scope, and 9 research projects have been carried out in the Division of Renewable Energy Sources.

Keywords: *geothermal energy, research projects, geothermal water, social environment, economy*

Tematyka geotermalna jest jedną z kilku kierunkowych dziedzin realizowanych w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE PAN) od momentu jego powstania w 1986 r. Pierwszym kierownikiem zespołu badaczy geotermalnych był prof. Julian Sokołowski, którego osiągnięcia i dorobek naukowy były podłożem rozwoju działań nastawionych na komercjalizację i wykorzystanie energii geotermalnej. Sztandarowym osiągnięciem zespołu badawczego było uruchomienie w 1993 r. pierwszej w kraju instalacji geotermalnej pod nazwą Doświadczalny Zakład Geotermalny Bańska – Biały Dunajec, na Podhalu. Ta prototypowa instalacja była asumptem do utworzenia spółki PEC Geotermia Podhalańska S.A., powołania jej pierwszego zarządu pod kierownictwem Piotra Długosza (ówczesnego pracownika PAN) i uruchomienia wytwarzania ciepła w 1994 r. (http://geotermia.pl/historia/). Ponadto była inspiracją budowy zakładów geotermalnych w Polsce. W kolejnych latach powstawały spółki i instalacje geotermalne:

– w Pyrzycach – od 1997 r. (geotermia.inet.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=27&strona=1&sub=26),

– w Mszczonowie – od 1997 r. (geotermia.com.pl/aktualnosci/historia-firmy/),

– w Uniejowie – od 1999 r. (geotermia-uniejow.pl/geotermia-uniejow/geotermia-uniejow),

– w Stargardzie – od 2005r. i po naprawie odwiertu od 2012 r. (energia-geotermalna.org.pl/g-term-energy-sp-z-o-o-geotermia-stargard/)

– w Poddębicach – od 2012 r. (geotermia.poddebice.pl).

Dzisiaj IGSMiE PAN w liczbach to:

– 35 lat działalności,

– wysoka pozycja naukowa – kategoria „A” w ocenie parametrycznej jednostek naukowych,

– uprawnienia do nadawania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka,

– ponad 110 pracowników, w tym ponad 60 osób na stanowiskach naukowych,

– pion naukowy złożony z 4 zakładów, w obrębie których jest skupionych kilkanaście pracowni specjalistycznych,

– ok. 150 publikacji naukowych rocznie, w tym znacząca liczba w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej,

– ok. 90 prac naukowo-badawczych realizowanych każdego roku, w tym 515 projektów międzynarodowych,

– współpraca z kilkunastoma jednostkami zagranicznymi oraz ponad 30 krajowymi,

[1] Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków; wieslaw.bujakowski@min-pan.krakow.pl

– realizacja prac badawczych, zamawianych i wdrożeniowych dla ponad 100 podmiotów gospodarczych w kraju i zagranicą.

Od 1994 r. kierownictwo zespołem geotermalnym IGSMiE PAN zostało powierzone Wiesławowi Bujakowskiemu – dotychczasowemu zastępcy kierownika. Zespół funkcjonuje do dziś w dwu lokalizacjach: w Krakowie i w Bańskiej Niżej, gdzie znajdują się obiekty i urządzenia tzw. Laboratorium Geotermalnego.

Na przestrzeni ponad 30 lat zespół naukowców nabył doświadczenia i wiedzy, co zostało wyrażone w kilkuset pracach o tematyce geotermalnej. Były to m.in. dokumentacje projektowe nowych i rekonstruowanych odwiertów geotermalnych, dokumentacje zasobowe, ekspertyzy przed planowanymi inwestycyjami, artykuły, monografie, atlasy i różnorodne wystąpienia naukowe oraz informacje popularyzujące tematykę geotermalną. Z czasem zespół się rozwijał i ulegał zmianom. Na początku roku 2020, Pracownia Odnawialnych Źródeł Energii osiągnęła liczbę 14 pracowników, w tym: 1 profesor tytularny, 4 doktorów habilitowanych – profesorów Instytutu, 4 doktorów, 4 magistrów i 1 pracownik gospodarczy (https://min-pan.krakow.pl/zaklady-i-pracownie/zaklady/zaklad-odnawialnych-zrodel-energii-i-badan-srodowiskowych/pracownia-odnawialnych-zrodel-energii/).

Specjalizacje badawcze poszczególnych osób umożliwiały realizację interdyscyplinarnych zadań obejmujących cały wachlarz zagadnień – od problemów rozpoznania warunków złożowych (geologii, geofizyki i hydrogeologii), poprzez prace wiertnicze z udostępnieniem horyzontów wodonośnych i dokumentowanie zasobów wód (wiertnictwo, projekty robót geologicznych, dokumentacje zasobowe), aż po analizy energetyczne w zakresie potencjału cieplnego, sposobów jego zagospodarowania i wykorzystania u odbiorcy, włącznie z ocenami ekonomicznymi i ekologicznymi.

W Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii są realizowane projekty o różnym stopniu zaawansowania – od podstawowych prac naukowych i projektów badawczo-rozwojowych, poprzez koncepcje (studia celowości), po projekty techniczne na poziomie studium wykonalności. Nasi pracownicy prowadzą także nadzór merytoryczny i inwestorski, szczególnie w zakresie prac poszukiwawczych i wiertniczych związanych z pozyskaniem zasobów wód termalnych. Jednym z kluczowych projektów zrealizowanym przez pracownię było, jak wcześniej zasygnalizowano, uruchomienie pierwszej w Polsce instalacji geotermalnej na Podhalu oraz przeprowadzenie pierwszej w Polsce rekonstrukcji głębokiego otworu geotermalnego Mszczonów IG-1 w Zakładzie Geotermalnym w Mszczonowie. Pracownia ma także osiągnięcia w pozyskiwaniu funduszy strukturalnych oraz programów badawczych Unii Europejskiej. W latach 2002–2019 zrealizowano kilkanaście projektów międzynarodowych w ramach 5PR, 6PR, 7PR, IEE oraz grantów EOG. W pracowni wykonano także kilkanaście projektów naukowo-badawczych i aplikacji wdrożeniowych. W ramach edukacji ekologicznej realizowane są projekty międzynarodowe w ramach programu Erasmus+, organizowane spotkania z przedstawicielami samorządów terytorialnych i grupami studentów szkół wyższych oraz prowadzone zajęcia dydaktyczne na wyższych uczelniach.

Warto dodać, że od wielu lat współpracujemy z organizacjami branżowymi i instytutami naukowo-badawczymi z Belgi, Islandii, Słowacji, Macedonii, Francji, Węgier, Turcji i Niemiec oraz wiodącymi krajowymi uczelniami technicznymi i instytutami (Akademia Górniczo-Hutnicza, Politechnika Śląska, Politechnika Wrocławska, Politechnika Krakowska, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy). Grono naszych partnerów przemysłowych tworzą m.in. KGHM Polska Miedź S.A., PEC Geotermia Podhalańska S.A., Geotermia Mazowiecka S.A., Geotermia Uniejów Sp. z o.o., Geotermia Pyrzyce Sp. z o.o., G-Term Energy Sp. z o.o., CEZ Skawina S.A., Zakład Komunalny *Kleszczów* Sp. z o.o., Park Wodny Bania S.A., czy EGM S.A. Realizowaliśmy i realizujemy prace dla jednostek administracji państwowej (Ministerstwa Środowiska, Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Gospodarki, a obecnie Ministerstw: Klimatu i Środowiska, Nauki i Edukacji, Aktywów Państwowych) oraz samorządowej szczebla wojewódzkiego, powiatowego i gminnego.

W ostatnich latach w Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii zrealizowano 42 zadania badawcze o charakterze utylitarnym, opublikowano 55 artykułów i doniesień naukowych oraz przeprowadzono 9 projektów badawczych. Poniżej przedstawiono skrótowo osiągnięcia z trzech ostatnich lat, z rozszerzeniem informacji o kluczowych, wcześniejszych projektach, których realizacja przyczyniła się do kontynuacji różnych prac badawczych w rozpatrywanym okresie.

PRACE UTYLITARNE

W ostatnich latach w Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii zrealizowano 42 prace badawcze i wdrożeniowe na zamówienie przedsiębiorstw komercyjnych oraz samorządowych. Były to głównie raporty dotyczące wstępnej oceny występowania i możliwości oraz celowości zagospodarowania wód i energii geotermalnej w gminach (Zawoja, Skierniewice, Tuszyn, Czarnocin, Wołomin, Dźwirzyno, Zgierz, Mszczonów), projekty oceny stanu i rekonstrukcji otworów (Kleszczów, Mszczonów, Sochaczew), projekty robót geologicznych (Chochołów, Wręcza, Mszczonów, Jeleśnia, Łódź, Konstantynów Łódzki, Błonie), wykorzystania odnawialnych źródeł energii (Kraków, Tuszyn, Czarnocin, Gadka Stara). Dokonano również oceny warunków wtłaczania wód do górotworu (Mszczonów, Skierniewice), inne dokumentacje geologiczne oraz energetyczne (Dźwirzyno, Łowicz, Sękowa, Wołomin, Bukowno, Tarnowskie Góry i Miasteczko Śląskie, Mysłowice).

PUBLIKACJE

W latach 2019–2021 w Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii opublikowano ogółem 55 pozycji naukowych. Podkreślenia wymagają artykuły zamieszczone w wysoko punktowanych czasopismach naukowych. Poczynając od najwyżej cenionych w środowisku międzynarodowym, cechujących się najwyższym współczynnikiem wpływu były to prace opublikowane w:

– *Energy Conversion and Management* (Impact Factor 8,208, MEiN 200 pkt) – praca prezentująca analizę energetyczno-ekonomiczną możliwości wykorzystania nadkrytycznego dwutlenku węgla we wspomaganych systemach geotermalnych (technologia CO_2-EGS) do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Praca objęła swoim studium lokalizację w centralnej Polsce i dotyczyła zarówno części podziemnej, jak i instalacji powierzchniowej (Gładysz i in., 2020a);

– *Desalination* (Impact Factor 7,098, MEiN 200 pkt) – seria prac prezentujących doświadczenia badawcze z licz-

nych eksperymentów poświęconych wykorzystaniu technik membranowych w odsalaniu wód termalnych, modelowym rozwiązaniom technologicznym do implementacji systemu odsalania wód termalnych w konkretnych uwarunkowaniach krajowych wraz z oceną efektów energetycznych i ekonomicznych oraz rozważaniom wskazującym efektywność wykorzystania odnawialnych źródeł energii w odsalaniu wód termalnych na potrzeby rolnictwa (Tomaszewska i in., 2021);

– *Science of the Total Environment* (Impact Factor 6,551, MEiN 200 pkt) – praca prezentująca wyniki badań modelowych do oceny możliwości wykorzystania zasobów energii geotermalnej niskiej entalpii i energii odpadowej celem zasilania procesu destylacji membranowej, jednej z technik umożliwiających usuwanie arsenu z wód przeznaczonych do spożycia. Badaniami objęto wybrane poligony badawcze w krajach Ameryki Łacińskiej – Meksyku, Nikaragui i Boliwii (Tomaszewska i in., 2020);

– *Energies* (Impact Factor 2,702, MEiN 140 pkt) – seria artykułów poświęconych energetycznym i środowiskowym aspektom wykorzystania energii geotermalnej w tym, przeglądowi zasobów niskiej entalpii dolnej kredy w Polsce, jako zasobu przyjaznego środowiskowo dla systemów dystrybucji ciepła w terenach zurbanizowanych (Pająk i in., 2020); ocenie dolnokarbońsko-dewońskiego poziomu wodonośnego jako źródła energii geotermalnej w regionie śląsko-krakowskim (Barbacki i in., 2020); kluczowym uwarunkowaniom wynikającym z współgospodarowania zasobami wód geotermalnych i wód przeznaczonych do spożycia na Niżu Polskim (Tyszer i in., 2020a); technicznym aspektom związanym ze zmiennością właściwości fizykochemicznych wody wskutek zmian hydraulicznych w otworach geotermalnych (Operacz i in., 2020); wychwytu CO_2 pochodzącego z elektrowni biomasowej i następnie wykorzystaniu jako płynu roboczego do odbioru ciepła z górotworu w systemach EGS (Gładysz i in., 2020b);

– *Geothermal Energy* (Impact Factor 2,204, MEiN 100 pkt) – praca poświęcona bogatym doświadczeniom IGSMiE PAN w rekonstrukcji otworów geotermalnych w Polsce (Bujakowski i in., 2020);

– *Desalination and Water Treatment* (Impact Factor 1,631, MEiN 100 pkt) – seria prac poświęconych szczegółowym, technicznym aspektom przebiegu procesu odsalania wód geotermalnych, w szczególności dążeniu do bezodpadowego przebiegu odsalania, mając na względzie pozyskanie wody przeznaczonej do spożycia oraz surowców o znaczeniu leczniczym, efektywności w wykorzystaniu antyskalantów w procesie odsalania, badaniom z zastosowaniem membran nanofiltracyjnych i odwróconej osmozy (Tyszer, Tomaszewska, 2021), efektywności usuwania mikrozanieczyszczeń z wód (Tyszer i in., 2020b);

– *Mineral Resources Management* (Impact Factor 0,558, MEiN 70 pkt) – prace o znaczeniu zasobowym, w tym doświadczenia z zatłaczaniem schłodzonych wód termalnych do płytkich horyzontów wodonośnych (Bujakowski i in., 2020);

– *Sustainable Water Resources Management* (MEiN 20 pkt) – publikacja poświęcona wykorzystaniu wód geotermalnych z formacji dolnej kredy niecki mogileńsko-łódzkiej (Hałaj, Kępińska, 2019).

PROJEKTY BADAWCZE

W obszarze badań geotermalnych w Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii zostało wykonanych kilkadziesiąt projektów badawczych: krajowych i w zespołach międzynarodowych. W ciągu ostatnich trzech lat realizowanych jest bezpośrednio 9 projektów badawczych. Warto zwrócić uwagę, iż część z nich, pomimo formalnego zakończenia, jest na etapie implementacji lub w okresie trwałości.

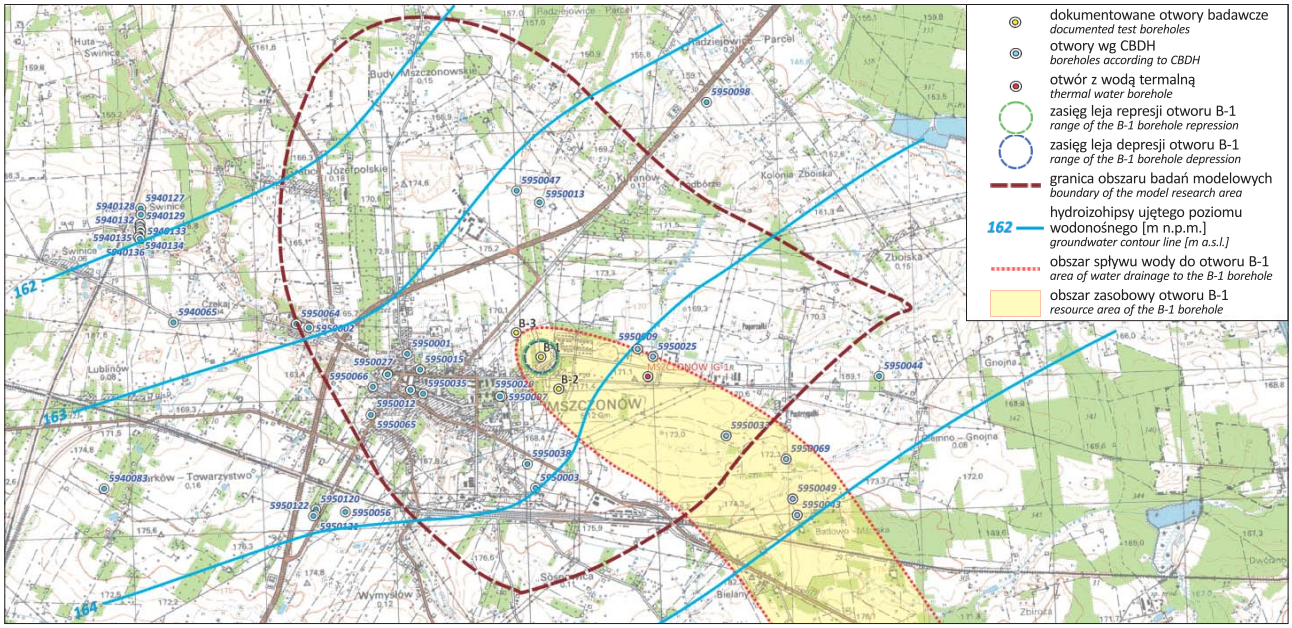
Projekt pn. *Opracowanie metody zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych do wytypowanych struktur geologicznych*

Projekt został zakończony w 2018 r., a był realizowany w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014–2020 (Oś Priorytetowa: Działalność badawczo-rozwojowa przedsiębiorstw) przez Geotermię Mazowiecką S.A. (lider) we współpracy z Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie oraz Politechniką Warszawską. Jego celem było opracowanie innowacyjnej, co najmniej w skali kraju, metody magazynowania wykorzystanych energetycznie wód termalnych (ryc. 1). Wyniki prac zestawiono w dokumentacji charakteryzującej warunki hydrogeologiczne w rejonie Mszczonowa, w kontekście możliwości magazynowania wykorzystanych energetycznie wód termalnych poprzez ich zatłaczanie w strukturach geologicznych, z przeznaczeniem do ewentualnego późniejszego wykorzystania jako woda przeznaczona do spożycia. Projekt miał istotne znaczenie w aspekcie poprawy gospodarowania wodami oraz przeciwdziałania skutkom suszy.

W ramach dokumentowanych robót zostały przeprowadzone badania i obserwacje zmierzające do ustalenia optymalnych parametrów procesu zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód termalnych z uwzględnieniem własności zbiornikowych poziomu czwartorzędowego, który ma dla nich stanowić kolektor, z uwzględnieniem potencjalnego zasięgu oddziaływania procesu. W ramach prac i badań opracowano prototyp platformy badawczej, wraz z systemem doprowadzającym wykorzystane energetycznie wody termalne, której częścią są otwory badawcze B-1, B-2 i B-3. Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie wstępnych informacji na temat działania sytemu retencjonowania wykorzystanych energetycznie wód termalnych poprzez ich magazynowanie w poziomie czwartorzędowym. Na podstawie przeprowadzonych prac został opracowany i złożony wniosek patentowy pn. *Studnia do zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych do wytypowanych struktur geologicznych* (Zgłoszenie patentowe P.427547). Opracowano również kilka artykułów naukowych, wśród których warto wymienić publikację Bujakowskiego i in. (2020).

Projekt badawczo-rozwojowy pn. *Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania schłodzonych wód termalnych*

Projekt był finansowany z Programu Badań Stosowanych NCBiR, zrealizowany w latach 2014–2017. Konsorcjum naukowe w ramach projektu tworzyło 6 partnerów: 1) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (lider); 2) Politechnika Śląska w Gliwicach, 3) Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, 4) Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, 5) Geotermia Mazowiecka S.A., 6) Geotermia Uniejów Sp. z o.o.



Ryc. 1. Mapa obszaru badań projektu *Opracowanie metody zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych do wytypowanych struktur geologicznych* (Bujakowski i in., 2018)
Fig. 1. Map of the research area of the project *Development of a method of injection of energetically used geothermal waters into selected geological structures* (Bujakowski et al., 2018)

Głównym celem projektu było wskazanie optymalnych rozwiązań technologicznych i ekonomicznych dla zagospodarowania potencjału odpadowych wód termalnych w dwóch obszarach: 1) pozyskania wód pitnych i gospodarczych oraz 2) przygotowania na bazie wytworzonego koncentratu cieczy i substancji balneologicznych. Prace badawcze zrealizowano poprzez podjęcie kompleksowych i interdyscyplinarnych badań w zakresie geotermii, hydrogeologii, wykorzystania technologii uzdatniania wód, inżynierii i ochrony środowiska, a także gospodarki wodnej, balneologii, modelowania w hydrogeologii i geotermii. Badania polegały na kompleksowym rozpoznaniu najbardziej optymalnych procesów dla ograniczenia kosztów oraz efektywnego usuwania z wód składników niepożądanych. Wykonane zostały szczegółowe testy jakości uzyskiwanego permeatu i koncentratu, celem dopełnienia wymagań jakościowych oraz prawnych dla wskazań i kierunków zagospodarowania wytworzonych produktów. Kompleksowość i multidyscyplinarne podejście do całości zagadnienia dopełniły rozważania dotyczące zasobów wód (ilości), jakie mogą zostać poddane procesom uzdatniania w danych uwarunkowaniach geologiczno-złożowych. W tym celu wykonano modelowania hydrodynamiczne pracy systemu geotermalnego w długiej perspektywie czasowej (50 lat). W wyniku przeprowadzonych badań potwierdzono możliwość zastosowania uzdatnionej wody termalnej do spożycia przez ludzi, jak również w celach gospodarczych, np. wykorzystania jako wody w ciepłowniczych systemach sieciowych. Z kolei koncentraty wód termalnych mogą być rozpatrywane jako surowce o znaczeniu balneologicznym i kosmetologicznym, w tym m.in. w produktach do nawilżania śluzówki, rozluźniania wydzieliny, zapobiegania próchnicy, w kremach, płynach micelarnych oraz produkcji soli i roztworów do kąpieli w wannach (Tomaszewska, 2018). Wyniki prac badawczych były prezentowane na licznych konferencjach oraz opublikowane w wielu pracach o zasięgu międzynarodowym, w tym m.in. Tomaszewska i in. (2017a, b, c, 2018a), Tomaszewska, Dendys (2018), Tyszer i in. (2020b); Tyszer, Tomaszewska (2021) oraz podsumowane w monografii opracowanej pod redakcją naukową Tomaszewskiej (Tomaszewska i in., 2018b). Wyniki badań podlegają implementacji.

Projekt Geo4Food

Projekt *Woda–Energia–Żywność: Wody geotermalne dla rolnictwa* (Geo4Food) jest realizowany w ramach polsko-tureckiej umowy bilateralnej POLTUR3/Geo4Food/4/2019, finansowany ze środków NCBiR oraz TÜBİTAK. Termin realizacji, lata: 2019–2022. Partnerami w projekcie są: 1) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk (lider); 2) Politechnika Wrocławska, 3) Izmir Institute of Technology oraz 4) Ege University w Izmirze.

Cel projektu to wykorzystanie zasobów wód i energii geotermalnej w sektorze spożywczym. Zarówno Turcja, jak i Polska posiadają potencjał do szerokiego i efektywnego wykorzystania nie tylko zasobów energii geotermalnej, ale również wody, czyli nośnika tej energii. Woda ta, po procesie schłodzenia, jest często traktowana jako ściek/odpad. W projekcie rozpatrzono zastosowanie dwóch nowatorskich koncepcji. Pierwszy cel stanowi ocena możliwości wykorzystania zasobów energii geotermalnej do ogrzewania obiektów, w których prowadzona jest działalność rolno-spożywcza. Drugi cel jest ukierunkowany na pozyskanie wody o właściwościach fizykochemicznych odpowiednich dla kluczowej produkcji rolnej w obu krajach. Istnieje możliwość przygotowania, na bazie schłodzonej wody geotermalnej, roztworów wodnych do nawadniania, pozbawionych toksycznych pierwiastków i zawierających naturalne składniki, łatwo przyswajanych przez rośliny. Wydajność produkcji rolnej zależy w dużym stopniu od zabezpieczenia zasobów wody, energii i ziemi. Uprawy rolne, w zależności od gatunków roślin, wymagają odpowiedniego przygotowania wody, której skład fizykochemiczny powinien spełniać określone wymagania. Warto zaznaczyć również, że produkcja żywności jest coraz bardziej energochłonnym sektorem, a zapotrzebowanie na

Ryc. 2. System odsalania wód termalnych w IGSMiE PAN
Fig. 2. Thermal water treatment system in PAS MEERI

energię jest wymagane na wszystkich etapach łańcucha rolno-spożywczego. W wielu przypadkach koszty energii mogą stanowić znaczną część całkowitego kosztu produkcji w rolnictwie, uwzględniając również koszty nawadniania.

Projekt dotyczy zintegrowanego wykorzystania energii geotermalnej i wody w łańcuchu rolno-spożywczym. Zastosowanie technik uzdatniania wód w połączeniu z kaskadowym zagospodarowaniem energii stanowi innowacyjne rozwiązanie, które może przyczynić się do poprawy bilansu wodnego i wzrostu udziału odnawialnych źródeł energii w sektorze rolno-spożywczym. Badania są realizowane w oparciu o zaplecze Laboratorium Geotermalnego IGSMiE PAN, wyposażone w kaskadowy system odzysku energii geotermalnej (również z wykorzystaniem szklarni parapetowych) oraz modułową, półtechniczną instalację odsalania wód geotermalnych (ryc. 2). Wstępne wyniki badań zostały zaprezentowane w pracy Tomaszewskiej i in. (2021), są one bardzo obiecujące, co zaprezentowano na rycinie 3.

Projekt MOOC-2-PRAC-4-UNAKLIM

Projekt pn. *Od masywnego otwartego kursu online do praktyki. Tworzenie kursów w zakresie ochrony środowiska oraz klimatu w 4 krajach konsorcjum przy użyciu metody Blended Learning* (MOOC-2-PRAC-4-UNAKLIM) jest realizowany w ramach projektu Erasmus+, w latach 2019–2022 na podstawie kontraktu nr 2016-1-DE01-KA103- 002393. Jego partnerami są: 1) Anhalt University of Applied Sciences, Koethen, Niemcy, 2) Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 3) Umweltbüro Berlin-Brandenburg UBB e.V., Berlin, Niemcy, 4) Uniwersytet w Oradei, Rumunia, 5) Polip, Szekszard, Węgry.

Celem projektu jest stworzenie międzynarodowego, masowego otwartego kursu online (MOOC) przeznaczonego dla osób dorosłych w zakresie „zielonych" zagadnień środowiskowych (OZE i in.). Jego koncepcja opiera się na następujących działaniach:

– wprowadzaniu tematów „zielonych",
– zastosowaniu innowacyjnych metod szkolenia (koncepcja cyfrowego uczenia się – MOOC),
– użycie koncepcji Train-the-Trainer (TTT), podręczników, zestawów narzędzi, testów na kursie TTT,
– wyorzystanie metody mieszanego uczenia się, podręczników, zestawów narzędzi.

Oczekiwane rezultaty projektu to:

– stworzenie serwera MOOC z kursami, mo- dułami, rekomendacjami testów oraz modułów,
– innowacyjny podręcznik szkoleniowy,

Ryc. 3. Uprawy szklarniowe z wykorzystaniem wód i energii geotermalnej w laboratorium IGSMiE PAN (Preojekt Geo4Food)
Fig. 3. Greenhouse cultivation using geothermal water and energy at the PAS MEERI Laboratory (Geo4Food Project)

– podręcznik TTT,
– podręcznik do Blended Learning.

Rezultaty projektu mają się przyczynić do zwiększenia wiedzy specjalistycznej, wzajemnego uczenia się oraz transferu wiedzy w środowisku międzynarodowym. Wydarzenia i konferencje organizowane w jego ramach pozwolą na upowszechnienie i przyciągnięcie uwagi lokalnej/regionalnej/krajowej opinii publicznej.

Oczekuje się, że projekt przyniesie pozytywne korzyści długoterminowe w krajach Europy i poza jej granicami poprzez współpracę międzynarodową, wzrost wiedzy transgranicznej i mobilności ludzi, zmniejszenie niedoboru europejskich ekspertów, wzrost „zielonych" miejsc pracy i zmniejszenie bezrobocia. Tym samym wpisze się w Strategię Mobilności 2020 dla Europejskiego Obszaru Szkolnictwa Wyższego, strategię EPALE, Europejską Strategię Kształcenia i Szkolenia 2020 oraz Strategię Europa 2020 w zakresie klimatu i energii. Wyniki projektu były prezentowane podczas obrad Światowego Kongresu Geotermalnego w 2021 r. w Reykjaviku, (Kasztelewicz i in., 2021a) i międzynarodowej konferencji naukowej dotyczącej wykorzystania OZE (Kasztelewicz i in., 2021b).

Projekt EUBILD-UNAKLIM

Projekt pn. *European educational concept in environmental-nature- and climate protection to safeguard a cross--border sustainable development* (EUBILD-UNAKLIM; *Europejska koncepcja szkolenia w zakresie ochrony środowiska, przyrody i klimatu, aby zapewnić zrównoważony rozwój transgraniczny)* był realizowany w ramach Międzynarodowego Projektu ERASMUS+ (*Programme of the European Union*) – Współpraca na rzecz innowacji i wymiany dobrych praktyk: nr projektu 2016-1-DE02-KA204-003254. Jego realizacja miała miejsce w latach 2016–2018.

Partnerami w projekcie byli: Umweltbüro Berlin-Brandenburg UBB e.V. Berlin, Niemcy; IGSMiE PAN; Uniwersytet w Oradei, Rumunia; Polip, Szekszard, Węgry; SRH Hochschule Berlin, Niemcy.

Celem projektu było opracowanie europejskiej koncepcji edukacyjnej, która winna się opierać na następujących działaniach: 1) stworzeniu koncepcji programowej z udziałem państw uczestniczących w obszarze profesjonalnej edukacji z dziedziny ochrony środowiska oraz klimatu; 2) badaniach istniejących programów edukacyjnych, doświadczeń, potrzeb i oczekiwań państw uczestniczących w projekcie; 3) zaprojektowaniu innowacyjnych metod kształcenia, łączących wiedzę teoretyczną z praktycznymi umiejętnościami; 4) przygotowaniu pierwszego, testowego kursu poprzez wymianę szkoleniowców i stażystów pomiędzy krajami uczestniczącymi w projekcie. Postępowania te zmierzają do: upowszechnienia opracowanej koncepcji nauczania w instytucjach krajów uczestniczących w projekcie, opracowania wytycznych dla programu nauczania w krajowych strukturach edukacyjnych, stworzenia kryteriów tworzenia nowych miejsc pracy dla bezrobotnych absolwentów wyższych uczelni oraz osób realizujących studia podyplomowe. Prace związane z opracowaniem programów kształcenia i sylabusów w ramach Erasmus+, w odniesieniu do kwestii racjonalnej gospodarki zasobami wód geotermalnych i efektywności energetycznej były koordynowane przez zespół z IGSMiE PAN. Wyniki prac były prezentowane na konferencjach międzynarodowych i przedstawione w publikacjach (np. Rahner i in., 2018; Tomaszewska i in., 2018c). Stanowił on podstawę podjęcia prac nad kwestią „zielonej" edukacji, która jest kontynuowana, w przytoczonym w pkt. 4, projekcie *Od masywnego otwartego kursu online do praktyki. Tworzenie kursów w zakresie ochrony środowiska oraz klimatu w 4 krajach konsorcjum przy użyciu metody Blended Learning.*

Projekt GeoRisk

Projekt pn. *Rozwijanie projektów z zakresu geotermii i innych OZE poprzez ograniczanie ich ryzyka* (akronim GeoRisk) jest realizowany w latach 2018–2021, z Programu Horizon 2020, w filarze Societal Challenges, w ramach tematu LC-SC3-RES-28-2018-2019-2020 pt. *Market uptake support* na podstawie kontraktu nr 818232.

W projekcie uczestniczy 14 partnerów z 8 krajów:
– European Geothermal Energy Council (EGEC), Belgia – koordynator,
– Association Francaise Des Professionnels De La Geothermie (AFPG), Francja,
– Bureau De Recherches Geologiques Et Minieres (BRMG), Francja,
– Turkiye Bilimsel Ve Teknolojik Arastirma Kurumu (TUBITAK), Turcja,
– Jeotermal Elektrik Santral Yatirimcilari Dernegi (JESDER), Turcja,
– Geotermia Expressz Mernoki Tanacsado Iroda Korlatolt Felelossegu Tarsasag (GEOEX), Węgry,
– Mining And Geological Survey Of Hungary (MBFSZ), Węgry,
– Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Polska,
– Centre For Renewable Energy Sources And Saving Foundation (CRES), Grecja,
– Anonimi Etairia Diaxeirisis Ananeosimon Pigon Energeias (PPC RENEWABLES), Grecja,
– Federal Department For Environment Transports Energy and Communication (SFOE), Szwajcaria,
– Gec-Co Global Engineering & Consulting – Company Gmbh (GECCO), Niemcy,
– Bundesverband Geothermie Ev (BVG), Niemcy,
– Turkiye Kalkinma Bankasi Anonim Sirketi (TKB), Turcja,
– Geothermie-Schweiz (GEOTHERMIE-CH), Szwajcaria.

Projekt GeoRISK służy opracowaniu propozycji programów finansowych łagodzących ryzyko związane z uzyskaniem zasobów geotermalnych o zakładanych parametrach. Powinno ono być rozłożone sprawiedliwie, aby interesariusze zaangażowani w realizację projektu geotermalnego akceptowali jego podział. Łagodzenie ryzyka za pomocą instrumentów finansowych pozwala obniżyć narażenie na koszty i straty finansowe realizatorów projektu w przypadku, gdy nie uda się udostępnić zbiornika geotermalnego, którego parametry umożliwią jego wykorzystanie zgodnie z zaprojektowanymi założeniami.

Działania te obejmują m.in.:
– wsparcie etapu przejściowego na rynku geotermalnym w przypadku już istniejących programów ubezpieczeniowych (we Francji, w Niemczech, Turcji),
– przedstawienie propozycji programów ubezpieczania od ryzyka w projektach geotermalnych dla Szwajcarii i Holandii – w zależności od dojrzałości rynku energii geotermalnej w tych krajach,
– wykorzystanie przykładów dobrych praktyk i zaproponowanie odpowiednich założeń dla ustanowienia fundu-

szu ubezpieczenia od ryzyka w projektach geotermalnych w krajach docelowych projektu w Europie, w tym w Polsce, a także w Grecji i na Węgrzech. Stosowne propozycje zostaną przedstawione również dla Belgii, Chorwacji, Danii, Serbii i Słowenii,

– dostosowanie istniejących programów ograniczania ryzyka w projektach geotermalnych i przedstawienie propozycji w tym zakresie dla krajów Ameryki Środkowej i Północnej (Chile, Meksyku, Kanady) oraz Afryki (Kenii).

Dotychczasowe wyniki projektu przedstawiono m.in. w publikacjach Dumasa i in. (2019) oraz Kujbusa i in. (2021).

Projekt KeyGeothermal

Projekt pn. *Budowanie zdolności kluczowych interesariuszy w obszarze energii geotermalnej* (akronim KeyGeothermal) jest jedenym z trzech zadań predefiniowanych w Polsce, zaplanowanych oraz uzgodnionych na etapie negocjacji Programu *Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu* w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego (MF EOG) na lata 2014–2021, obszar *Energia Odnawialna, Efektywność Energetyczna i Bezpieczeństwo Energetyczne*. Partnerami są IGSMIE PAN (lider) oraz Krajowa Agencja Energii Islandii (www.keygeothermal.pl).

Realizacja projektu obejmuje lata 2020–2024. Jest on elementem działań ukierunkowanych na rozwój wykorzystania energii geotermalnej w Polsce, adresowanym do kluczowych interesariuszy w tym zakresie – od sektora publicznego do prywatnego w zakresie geotermii. Jego celem jest budowanie wiedzy w grupie kluczowych podmiotów w Polsce w zakresie sposobów optymalnego wykorzystania energii geotermalnej i zarządzania jej zasobami, zwłaszcza na potrzeby niskoemisyjnego ciepłownictwa. Projekt umożliwi zapoznanie polskich inwestorów i przedsiębiorców z profesjonalną wiedzą, dobrymi praktykami oraz doświadczeniami islandzkimi w zakresie wykorzystywania geotermii w ciepłownictwie poprzez optymalne metody i technologie, wspierane poprzez stosowne inicjatywy rządowe, mechanizmy finansowe i strategie zarządzania. Przekazane zostaną także informacje i doświadczenia ze strony polskich specjalistów.

Działania przewidziane do realizacji w projekcie obejmują m.in. organizację warsztatów szkoleniowych w Polsce, wizyty studyjne na Islandii, eksperckie wizyty studyjne w wybranych miejscowościach w Polsce perspektywicznych dla wykorzystania energii geotermalnej oraz raporty z tych wizyt, działania informacyjne i komunikacyjne dotyczące KeyGeothermal i MF EOG.

Projekt wpisuje się w działania na rzecz wzrostu bezpieczeństwa energetycznego, niskoemisyjnego ciepłownictwa, zwiększania równości społecznej i gospodarczej dzięki dostarczaniu czystej energii i obniżaniu kosztów ogrzewania.

Projekt User4GeoEnergy

Projekt pn. *Poprawa efektywności wykorzystania energii geotermalnej poprzez dopasowanie charakterystyki odbiorcy* (akronim User4GeoEnergy) jest realizowany w latach 2020–2023 w ramach Funduszu Współpracy Regionalnej Europejskiego Obszaru Gospodarczego i Funduszy Norweskich (EEA and Norway Grants Fund for Regional Cooperation 2014–2021), Program *Środowisko, energia, zmiany klimatyczne i gospodarka niskoemisyjna* na podstawie kontraktu nr 2018-1-0502.

Partnerami Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (lidera) są – z krajów darczyńców: National Energy Authority (Orkustofnun), Reykjavik, Islandia i NORCE Norwegian Research Centre AS, Bergen, Norwegia, oraz po stronie beneficjentów: SLOVGEOTERM A.S., Bratysława, Słowacja i InnoGeo Research and Service Nonprofit Publicbenefit Ltd, Szeged, Węgry (http://user4geoenergy.net/).

Celem projektu jest analiza możliwości ograniczenia zużycia konwencjonalnych nośników energii w instalacjach geotermalnych, dzięki zmianom wprowadzanym po stronie użytkowników energii. Większość instalacji geotermalnych współpracuje z konwencjonalnymi nośnikami energii w instalacjach hybrydowych. Współpraca ta jest najczęściej podyktowana niewystarczającą temperaturą zasobów geotermalnych lub strumieniem nośnika energii, co limitowane jest warunkami złożowymi. Wymusza to stosowanie wspomagających źródeł energii, najczęściej wykorzystujących paliwa konwencjonalne. Temperatura zasilania instalacji grzewczych dla źródeł konwencjonalnych nie jest limitowana tak znacząco, jak ma to miejsce w przypadku źródeł odnawialnych, a zwłaszcza geotermii. Warto zaznaczyć, że obecnie wykorzystuje się instalacje grzewcze będące w stanie sprostać wymogom odbiorcy, korzystając ze znacznie niższych temperatur zasilania. Ich stosowanie w przypadku instalacji geotermalnych nie jest powszechne. Instalacja grzewcza należy najczęściej do końcowego odbiorcy energii, a nie do przedsiębiorstwa dostarczające energię. Ingerencja w ten element systemu jest zatem utrudniona, z drugiej strony podjęcie takiego wyzwania przynosi korzyści zarówno operatorowi systemu, jak i odbiorcy. Obniżenie wymagań względem temperatury, stosowanie kaskadowego wykorzystania energii itp. byłyby często w stanie całkowicie wyeliminować konieczność stosowania urządzeń wspomagania szczytowego. To redukuje nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacji systemu po stronie dostawcy energii. Jest on zatem w stanie zaoferować tańszą energię odbiorcy, eliminując lub ograniczając emisję zanieczyszczeń i przyczyniając się do ograniczenia zużycia konwencjonalnych zasobów nośników energii. Celem projektu jest określenie powyższych zależności w sposób ilościowy, na konkretnych przykładach instalacji geotermalnych. W ramach projektu przewidziana jest ścisła współpraca pomiędzy krajami posiadającymi bogate doświadczenia w wykorzystaniu zasobów geotermalnych (nie tylko energii, lecz również własności wód geotermalnych, które można traktować jak surowiec, a nie jedynie nośnik energii) (Islandia), oraz krajami, w których mocno rozwija się rynek technologii proekologicznych i duże znaczenie przykłada się do efektywności energetycznej (Norwegia). Wiedza ta ma być upowszechniania w krajach europejskich, które rozwijają swój sektor geotermalny (Polska, Słowacja, Węgry i in.) (http://user4geoenergy.net/).

Projekt EnerGizerS

Projekt pn. *Niekonwencjonalne systemy geotermalne EGS-CO_2 jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu* (akronim EnerGizerS) jest realizowany w okresie 2020–

2023 w ramach badań stosowanych Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014–2021 / POLNOR 2019. Ścieżka / obszar: Energy, transport and climate.

Partnerami projektu są: Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie (lider konsorcjum); Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk; SINTEF Energi AS, Norwegia; Norwegian University of Science and Technology, Norwegia; EXERGON Spółka z o. o. (Polska).

Celem projektu jest wieloaspektowa analiza możliwości wykorzystania technologii CO_2-EGS w Polsce oraz w Norwegii. *Enhanced Geothermal Systems* (EGS), czyli tzw. wspomagane systemy geotermalne, są to systemy zalegające na głębokościach rzędu 4–6 km (w Polsce), charakteryzują się temperaturą min. 150°C, które zostały poddane szczelinowaniu hydraulicznemu, dzięki czemu niska lub bardzo niska naturalna przepuszczalność skał zostaje wielokrotnie zwiększona, co w efekcie umożliwia krążenie czynnika roboczego w skałach i odbiór zakumulowanego w nich ciepła. Systemy EGS, ze względu na brak konieczności istnienia naturalnego zbiornika zasobnego w wody termalne, mogą być stosowane w wielu miejscach na świecie, gdzie występuje odpowiednio wysoki gradient geotermalny oraz skały podatne na szczelinowanie. Technologia EGS jest obecnie na etapie przejściowym w rozwoju technologicznym, pomiędzy trwającymi od ponad 40 lat badaniami w skali pilotażowej, a nielicznymi projektami komercyjnymi w Europie, Australii i innych krajach na świecie. Innowacją w projekcie EnerGizerS jest zastosowanie jako medium roboczego dwutlenku węgla, co niesie ze sobą istotną korzyść dla środowiska, jaką jest możliwość częściowego podziemnego zmagazynowania gazu. Dotychczas wykorzystanie CO_2 jako płynu roboczego w systemach EGS jest rozpatrywane głównie w badaniach teoretycznych, koncentrując się na symulacjach złożowych. W projekcie EnerGizerS badania zostaną przeprowadzone w znacznie szerszym ujęciu, ponieważ obejmą zarówno prace analityczne, badania laboratoryjne i modelowania złożowe, jak również rozbudowane obliczenia termiczno-ekonomiczne naziemnych instalacji energetycznych w różnych wariantach. W toku prac badawczych oraz po zidentyfikowaniu głównych przemysłowych źródeł CO_2 w Polsce i Norwegii zostaną wskazane lokalizacje dla szczegółowych badań laboratoryjnych, geomechanicznych i termofizycznych skał oraz zostaną opracowane modele numeryczne i koncepcje technologiczne wykorzystania odzyskanego ciepła złożowego. Dla każdego wariantu instalacji naziemnej zostanie wykonana analiza obejmująca zagadnienia termodynamiczne, ekonomiczne i ekologiczne. IGSMiE PAN jest liderem pakietu zadań, którego celem jest kompleksowe modelowanie złożowe wskazanego systemu geotermalnego w Polsce oraz w Norwegii. Działania obejmują opracowanie modeli koncepcyjnych oraz budowę i analizę modeli numerycznych dla systemów CO_2-EGS w lokalizacjach wytypowanych w obu krajach.

Projekty w ramach mechanizmu finansowego europejskiego obszaru gospodarczego i norweskiego mechanizmu finansowego

W ostatnich latach IGSMiE POZE był liderem dwóch spośród trzech pierwszych predefiniowanych projektów o tematyce geotermalnej w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego (MF EOG) dla Polski, które zakończono w 2017 r. Były to projekty:

– *Potencjał dla rozwoju geotermii w Polsce – miasto Poddębice*, zrealizowany w 2016–2017 r. w partnerstwie z Katedrą Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Krajową Agencją Energii Islandii, we współpracy z Gminą Poddębice i Geotermią Poddębice Sp. z o.o. (www.eeagrants.agh.edu.pl);

– *Energia geotermalna: podstawa niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju – wstępne studia możliwości dla wybranych obszarów w Polsce* – duży projekt zrealizowany w 2017 r. z Katedrą Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Katedrą Wiertnictwa i Inżynierii Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Politechniką Wrocławską, Krajową Agencją Energii Islandii, Instytutem Christiana Michelsena z Norwegii, Europejską Radą Energii Geotermalnej, we współpracy z Gminami Lądek-Zdrój, Konstantynów Łódzki, Poddębice, Sochaczew oraz z udziałem ekspertów (www.eeagrants.agh.edu.pl).

Udana realizacja tych projektów, dzięki dużemu zaangażowaniu i dobrej współpracy wszystkich partnerów oraz operatorów – Ministerstwa Środowiska i NFOŚiGW, była podstawą decyzji o wprowadzeniu tematyki geotermalnej w obszar dofinansowania MF EOG i Norweskiego Mechanizmu Finansowego (NMF) 2014–2021 dla Polski i w wymiarze regionalnym. W ślad za nią w 2020 r. rozpoczęto realizację kilku projektów, których liderami lub partnerami są zespoły z Polski, w tym IGSMiE PAN, a także Katedra Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Katedra Wiertnictwa i Inżynierii Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, we współpracy z podmiotami z państw – darczyńców (Islandii, Norwegii) oraz z innych krajów. Projekty obecnie realizowane od 2020 r. w ramach MF EOG i NMF z udziałem zespołu IGSMiE PAN (KeyGeothermal, Usr4GeoEnergy, EnerGiserS) opisano bardziej szczegółowo we wcześniejszej części tego rozdziału.

PODSUMOWANIE

W 1986 r. powstał Zakład Podstaw Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk, przekształcony następnie w Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, a w roku 1998 – w Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Obecnie jest on istotnym podmiotem, który współkształtuje postęp naukowy i badawczy w obszarze gospodarki surowcami mineralnymi i energią w kraju i za granicą.

Zaprezentowane doświadczenie naukowo-badawcze i wdrożeniowe dowodzi istotnej roli IGSMiE PAN w rozwoju geotermii w Polsce. Zakres prac merytorycznych podejmowanych przez zespół Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii IGSMiE PAN ma często charakter interdyscyplinarny, łączy takie dziedziny jak: geotermia, hydrogeologia, inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka, wiertnictwo, geofizyka i inne. Za istotną należy uznać aktywność zespołu w realizacji projektów o zasięgu międzynarodowym, co odgrywa ważną rolę w ocenie oddziaływania na otoczenie gospodarcze i społeczne nie tylko w skali krajowej, ale również międzynarodowej. Efektem realizowanych prac badawczych są liczne publikacje, z których znacząca ilość została zamieszczona w czasopismach o wy-

sokim współczynniku wpływu, w topowych w skali globalnej tematach badawczych. Nie bez znaczenia jest również aktywność poszczególnych pracowników na konferencjach i spotkaniach z przedsiębiorstwami oraz samorządowcami, pozwalająca na czynne popragowanie geotermii w Polsce oraz realizacje konkretnych przedsięwzięć wdrożeniowych.

Autorzy składają podziękowania recenzentom za ich konstruktywne uwagi, które przyczyniły się do podniesienia wartości pracy.

LITERATURA

BARBACKI A., MIECZNIK M., TOMASZEWSKA B., SKRZYPCZAK R. 2020 – Assessment of the Lower Carboniferous-Devonian Aquifer as a Source of Geothermal Energy in the Silesian-Kraków Region (Poland). Energies, 13, 6694.

BUJAKOWSKI W., BARBACKI A., BIELEC B., DENDYS M., HOŁOJUCH G., KASZTELEWICZ A., KĘPIŃSKA B., LANKOF L., MIECZNIK M., PAJĄK L., SKRZYPCZAK R., TOMASZEWSKA B. 2018 – Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem instalacji do zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych. Arch. IGSMiE PAN Kraków.

BUJAKOWSKI W., BIELEC B., BALCER M. 2020 – Rational management of geothermal waters after their energetic use – preliminary results of the project Geotermia Mazowiecka S.A. Gosp. Sur. Miner., 36 (1): 123–134.

BUJAKOWSKI W., BIELEC B., MIECZNIK M., PAJĄK L., 2020 – Reconstruction of geothermal boreholes in Poland. Geotherm. Energy, 8 (10); https://doi.org/10.1186/s40517-020-00164-x

DUMAS P., GARABETIAN T., LE GUÉNAN T., KĘPIŃSKA B., KASZTELEWICZ A., KARYTSAS S., LUPI N., SEYIDOV F., NADOR A., KAUFHOLD J., BOISSAVY CH., YILDIRIM C., BOZKURT C., KUJBUS A., SPYRIDONOS E., OZTEKIN R., LINK K. 2019 – Risk Mitigation and Insurance Schemes Adapted to Market Maturity: The Right Scheme for my Market. Proceedings, European Geothermal Congress 2019, The Hague, The Netherlands. https://www.researchgate.net/publication/333977809_Risk_Mitigation_and_Insurance_Schemes_Adapted_to_Geothermal_Market_Maturity_The_Right_Scheme_for_my_Market

energia-geotermalna.org.pl/g-term-energy-sp-z-o-o-geotermia-stargard/

geotermia.inet.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=27&strona=1&sub=26

geotermia.poddebice.pl/

geotermia-uniejow.pl/geotermia-uniejow/geotermia-uniejow

GŁADYSZ P. SOWIŻDŻAŁ A., MIECZNIK M., HACAGA M., PAJĄK L. 2020b – Techno-Economic Assessment of a Combined Heat and Power Plant Integrated with Carbon Dioxide Removal Technology: A Case Study for Central Poland. Energies, 13, 2841.

GŁADYSZ P. SOWIŻDŻAŁ A., MIECZNIK M., PAJĄK L. 2020a – Carbon dioxide-enhanced geothermal systems for heat and electricity production: Energy and economic analyses for central Poland. Energy Convers. Managem., 220, 113142.

HAŁAJ E., KĘPIŃSKA B. 2019 – Conjunctive uses of the geothermal water resources from lower cretaceous formations in the Mogilno-Lodz trough, Poland. Sustainabl. Water Res. Managem., 5 (4): 1479–1494.

http://geotermia.pl/historia/

https://min-pan.krakow.pl/zaklady-i-pracownie/zaklady/zaklad-odnawialnych-zrodel-energii-i-badan-srodowiskowych/pracownia-odnawialnych-zrodel-energii/

http://user4geoenergy.net/

KASZTELEWICZ A., TOMASZEWSKA B., DENDYS M. 2021a – European Educational Concept in Environmental-, Nature- and Climate Protection to Safeguard a Cross Border Sustainable Development. Geothermal Education in the Course of the Erasmus+ Project. Proceedings World Geothermal Congress 2020+1, Reykjavik, Iceland, April-October 2021, paper no. 09022.

KASZTELEWICZ A., TYSZER M., CZUBERNAT M. 2021b – MOOC education as a key tool in gaining sustainable development. The Erasmus+. Project experience. VII International Conference Young Researchers' Innovative Ideas: Science, Start-Ups, Industry 27–28 Maj 2021.

KUJBUS A., KĘPIŃSKA B., KARYTSAS S., BOISSAVY CH., MENDRINOS D., KARYTSAS C., MIECZNIK M. 2021– GEORISK Project: 10 Years' Operation and Financial Simulation of New Geothermal Risk Mitigation Schemes in Three Target Countries. Proceedings, World Geothermal Congress 2020+1, Reykjavik, Iceland.

OPERACZ A., BIELEC B., TOMASZEWSKA B., KACZMARCZYK M. 2020 – Physicochemical Composition Variability and Hydraulic Conditions in a Geothermal Borehole-The Latest Study in Podhale Basin, Poland. Energies, 13 (15): 3882

PAJĄK L., TOMASZEWSKA B., BUJAKOWSKI W., BIELEC B., DENDYS M. 2020 – Review of the Low-Enthalpy Lower Cretaceous Geothermal Energy Resources in Poland as an Environmentally Friendly Source of Heat for Urban District Heating Systems. Energies, 13, 1302.

RAHNER S., WINTER I., HARMTANN M., WITTIG F., KASZTELEWICZ A., TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., DENDYS M., OPERACZ A., MRAZ M., NISTOR S. 2018 – Study on national activities and funding opportunities of furthering education programs for unemployed academics. E3S Web Conferences vol. 66, 03005, AG 2018 – 4th International Conference on Applied Geophysics.

TOMASZEWSKA B. 2018 – New approach to the utilisation of concentrates obtained during geothermal water desalination. Desalination And Water Treatment, 128: 407–413.

TOMASZEWSKA B. (red.), BUJAKOWSKI W., KĘPIŃSKA B., BODZEK M., RAJCA M., PAJĄK L., TYSZER M., DENDYS M., KASZTELEWICZ A., MIECZNIK M. 2018b – Pozyskanie wód pitnych oraz cieczy i substancji balneologicznych w procesie uzdatniania wód geotermalnych. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

TOMASZEWSKA B., BUNDSCHUH J. PAJĄK L., DENDYS M., QUEZDA D.V., BODZEK M., ARMIENTA M.A., MUNOZ M.O., KASZTELEWICZ A. 2020 – Use of low-enthalpy and waste geothermal energy sources to solve arsenic problems in freshwater production in selected regions of Latin America using a process membrane distillation – Research into model solutions. Sci. Tot. Environ., 714, 136853.

TOMASZEWSKA B., DENDYS M. 2018 – Zero-waste initiatives – waste geothermal water as a source of medicinal raw material and drinking water. Desalination And Water Treatment, 112: 12–18.

TOMASZEWSKA B., GOKCEN AKKURT G., KACZMARCZYK M., BUJAKOWSKI W., KELES N., JARMA Y. A., BABA A., BRYJAK M., KABAY N. 2021 – Utilization of renewable energy sources in desalination of geothermal water for agriculture. Desalination, 513 (4); doi:10.1016/-j.desal.2021.115151

TOMASZEWSKA B., KASZTELEWICZ A., DENDYS M., BUJAKOWSKI W., RAHNER S., HARMTANN M., WEINRICH J. 2018c – European educational concept in environmental nature- and climate protection to safeguard a cross border sustainable development. E3S Web Conferences vol. 66, 03005, AG 2018 – 4th International Conference on Applied Geophysics.

TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., BUNDSCHUH J., BUJAKOWSKI W. 2018a – Low-enthalpy geothermal energy as a source of energy and integrated freshwater production in inland areas: Technological and economic feasibility. Desalination, 435: 35–44.

TOMASZEWSKA B., PAJĄK L., HOŁOJUCH G. 2017c – Energy and environmental analysis of disposing of concentrate by injecting it back into the deep geological formation. Desalination And Water Treatment, 69: 316–321.

TOMASZEWSKA B., RAJCA M., KMIECIK E., BODZEK M., BUJAKOWSKI W., TYSZER M., WĄTOR K. 2017b – Process of geothermal water treatment by reverse osmosis. The research with antiscalants. Desalination and Water Treatment, 73: 1–10.

TOMASZEWSKA B., RAJCA M., KMIECIK E., BODZEK M., BUJAKOWSKI W., WĄTOR K., TYSZER M. 2017a – The influence of selected factors on the effectiveness of pre-treatment of geothermal water during the nanofiltration process. Desalination, 406: 74–82.

TYSZER M., BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B., BIELEC B. 2020a – Geothermal Water Management Using the Example of the Polish Lowland (Poland)-Key Aspects Related to Co-Management of Drinking and Geothermal Water. Energies, 13 (10): 2412.

TYSZER M., TOMASZEWSKA B. 2021 – A detailed analysis of the influence of selected process parameters on the desalination of geothermal water using nanofiltration/reverse osmosis membranes. Desalination and Water Treatment, 214: 321–337.

TYSZER M., TOMASZEWSKA B., BODZEK M. 2020b – Comparison of the efficiency of micro-pollutant removal from geothermal water on a laboratory and a semi-industrial scale. Desalination and Water Treatment, 186: 155–164.

www.eeagrants.agh.edu.pl

www.keygeothermal.pl

ZGŁOSZENIE PATENTOWE P.427547 – Studnia do zatłaczania wykorzystanych energetycznie wód geotermalnych do wytypowanych struktur geologicznych. Twórcy wynalazku: Bujakowski W., Tomaszewska B., Pająk L., Bielec B., Skrzypczak R., Balcer M., Sinicyn G., 2018. Uprawnieni: IGSMiE PAN, Geotermia Mazowiecka S.A., Politechnika Warszawska. Wniosek zarejestrowany w Urzędzie Patentowym RP pod nr P.427 547.

Praca wpłynęła do redakcji 14.05.2021 r.
Akceptowano do druku 26.07.2021 r.