

## Tematyka geotermalna w działalności naukowo-badawczej i dydaktycznej Katedry Surowców Energetycznych Wydziału Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w latach 2019–2021 i plany na przyszłość

Anna Sowizdzał<sup>1</sup>, Marek Hajto<sup>1</sup>, Barbara Tomaszewska<sup>1</sup>, Jarosław Kotyza<sup>1</sup>, Wojciech Górecki<sup>1</sup>



A. Sowizdzał



M. Hajto



B. Tomaszewska



J. Kotyza



W. Górecki

**Research and education activities of KSE WGGiOŚ AGH in the field of geothermal energy in 2019–2021 and further action plans.**  
Prz. Geol., 69: 633–642.

*Abstract.* For many years, geothermal issues have been one of the basic research and teaching activities of the Department of Fossil Fuels of the Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection of the AGH University of Science and Technology (KSE WGGiOŚ AGH). National and international research projects on the evaluation of the geothermal potential of Poland, innovative technologies for geothermal energy extraction, as well as effective management of water resources and geothermal energy are carried out. In recent years (2019–2021), scientific and research projects such as GeoPLASMA-CE, EnerGizerS, Geotherm, CA18219 Geothermal-DHC, Lajkonik, NiżPIG, concerning the issues of shallow and deep geothermal energy utilization, are implemented. As far as didactic activity is concerned, the AGH is developing Ecological Energy Sources, as well as petroleum geology and geothermal specialization at the Applied Geology. Doctoral theses in the field of geothermics are being carried out. Research works, including projects concerning construction of heat pump prototypes, are carried out in the Centre for Sustainable Development and Energy Conservation of the AGH University of Science and Technology in Miękinia equipped with heat pump test stands. The Centre is currently being expanded.

**Keywords:** geothermal energy, research and education, geothermal heat pump, geothermal resources

Działalność naukowo-badawcza i dydaktyczna Katedry Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej (KSE WGGiOŚ AGH) jest bezpośrednio związana z tematyką geotermalną rozwijaną na AGH od 1987 r., kiedy to na WGGiOŚ utworzono Zakład Geotermii z interdyscyplinarnym zespołem specjalistów. Ogromną zasługę w rozwoju tego tematu ma Wojciech Górecki, który przez 20 lat (1992–2012) był kierownikiem Katedry (wcześniej Zakładu) Surowców Energetycznych i do dzisiaj podejmuje działania zmierzające do rozwoju geotermii w Polsce. Uwieńczeniem tej działalności jest znana w całej Polsce i szeroko wykorzystywana seria atlasów geotermalnych wydanych pod redakcją W. Góreckiego w latach 2006–2013 i koordynowanych przez Marka Hajto (Górecki, 2006a, b, 2011, 2013) oraz Annę Sowizdzał (Górecki, 2012). Atlasy geotermalne stanowią podstawowe źródło informacji o występowaniu oraz możliwościach eksploatacji wód termalnych na obszarze Niżu Polskiego, Karpat oraz zapadliska przedkarpackiego,

a poprzez wskazanie obszarów perspektywicznych w zakresie lokalizacji nowych instalacji geotermalnych, także bodziec do podejmowania lokalnych działań inwestycyjnych, pozwalających na udostępnienie energii geotermalnej (Górecki i in., 2015).

W kolejnych latach były podejmowane prace badawcze zmierzające do rozpoznania możliwości zagospodarowania polskich zasobów geotermalnych do produkcji energii elektrycznej zarówno przy wykorzystaniu zasobów hydrogeotermalnych (Bujakowski, Tomaszewska, 2014; Miecznik i in., 2015), jak i petrogeotermalnych (Sowizdzał i in., 2013; Wójcicki i in., 2013; Bujakowski i in., 2015; Sowizdzał, 2016; Sowizdzał, Kaczmarczyk, 2016). Były to pierwsze w Polsce badania w tym zakresie realizowane przez konsorcja badawcze, w skład których wchodziły wiodące jednostki badawcze. Prace te są kontynuowane obecnie, a ich wyniki znajdują odzwierciedlenie w realizowanych działaniach (Gładysz i in., 2020a, b; Sowizdzał i in., 2021) i projektach badawczych.

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; ansow@agh.edu.pl; mhajto@agh.edu.pl; bts@agh.edu.pl; kotyza@agh.edu.pl; wgorecki@agh.edu.pl

W latach 2012–2020 kontynuowano rozpoczęte we wcześniejszych latach badania geotermalne. Kierownikiem Katedry Surowców Energetycznych był wówczas M. Stefaniuk. W ramach działalności statutowej realizowano prace dotyczące zrównoważonego zagospodarowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej w Polsce, w tym ocenę potencjału geotermalnego różnych rejonów Polski (Hajto, 2018; Sowizdżał, 2018; Sowizdżał i in., 2019a; 2020a; Hajto i in., 2020b; Wachowicz-Pyzik i in., 2020), analizę technologicznych aspektów wykorzystania energii geotermalnej, a także wykorzystanie metod geofizycznych w badaniach geotermalnych (Maćkowski i in., 2019; Sowizdżał i in., 2019b; 2020b).

Obecnie kierownictwo katedry (kierownik Henryk Sechman oraz zastępca kierownika A. Sowizdżał) planuje kontynuować zapoczątkowane badania w dziedzinie geotermii, rozwijać nowe, innowacyjne technologie umożliwiające pozyskiwanie energii geotermalnej w sposób coraz bardziej efektywny oraz podejmować działania upowszechniające stosowanie ekologicznych źródeł energii w celach energetycznych, a w przypadku geotermii także innych przynoszących wymierne korzyści środowiskowe i społeczne (rekreacja, balneoterapia, rolnictwo i in.).

Wszystkie podejmowane działania i inicjatywy geotermalne pozwoliły na dynamiczne rozwijanie tej tematyki badawczej na przestrzeni ostatnich lat (2019–2021). W 2020 r. powstały w katedrze zespoły badawcze, w ramach których są realizowane projekty naukowe mające na celu zwiększenie wykorzystania energii geotermalnej w Polsce oraz podejmowanie wspólnych inicjatyw krajowych i międzynarodowych w tym zakresie. Są to dwie współpracujące ze sobą grupy badawcze: Odnawialne źródła energii (<http://oze-kse.agh.edu.pl/>) pod kierownictwem A. Sowizdżał oraz Zrównoważone zarządzanie wodą i energią (<http://zzwe.agh.edu.pl/>) pod kierownictwem Barbary Tomaszewskiej. Specjaliści Katedry Surowców Energetycznych są zaangażowani w realizację krajowych oraz międzynarodowych projektów geotermalnych z udziałem partnerów krajowych i zagranicznych.

Obecnie realizowane są takie projekty jak: GeoPLA-SMA-CE, EnerGizerS, Geotherm, Lajkonik, NiżPIG, dotyczące zagadnień wykorzystania płytkiej i głębokiej energii geotermalnej oraz innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Mają one na celu poprawę jakości środowiska i zahamowanie zmian klimatycznych. Pracownicy są zaangażowani w badania realizowane w ramach projektu UNESCO (<https://unesco-chair-arsenic.usq.edu.au/>), a także w międzynarodowy projekt realizowany przez przedstawicieli 32 krajów Europy oraz z Kanady pn. *Sieć badawcza aplikacji technologii geotermalnych dla dekarbonizacji sieci grzewczo-chłodniczych – Geothermal-DHC* dotyczący włączenia technologii geotermalnych do systemów lokalnego ogrzewania i chłodzenia w Europie, w celu wspierania dekarbonizacji rynku ogrzewania i chłodzenia. Prace badawcze nad rozwojem technologii pomp ciepła są realizowane w Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękinii, wyposażonym w odpowiednie zaplecze badawcze. W celu zwiększenia wykorzystania energii geotermalnej podjęto działania zmierzające do utworzenia Krajowego Centrum Geotermii i Pomp Ciepła – inwestycji w zakresie strategicznej infrastruktury badawczej o charakterze rozproszonym. Ważnym wydarze-

niem było podpisanie listu intencyjnego o współpracy na rzecz utworzenia Hubu Naukowo-Technologiczno-Biznesowego w Miękinii.

Oprócz szeroko rozwiniętej działalności badawczej w zakresie geotermii, w Katedrze Surowców Energetycznych od wielu lat jest realizowana działalność dydaktyczna w tym zakresie. Istnieje możliwość podjęcia stacjonarnych studiów inżynierskich i magisterskich z zakresu ekologicznych źródeł energii (<https://kse.agh.edu.pl/oferta-dydaktyczna/>), a także realizacji pracy doktorskiej dotyczącej tematyki geotermalnej w Szkole Doktorskiej AGH (<https://www.agh.edu.pl/doktoranci/szkoly-doktorskie/>). Najbardziej zainteresowanych zapraszamy do poszerzania wiedzy w Studenckim Kole Naukowym *GRZAŁA* (<http://www.oze.agh.edu.pl/>). Jego działalność jest związana właśnie z odnawialnymi źródłami energii, do których należy geotermia.

### DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA KSE WGGiOŚ AGH

Geotermia jest przedmiotem działalności dydaktycznej w KSE WGGiOŚ od wielu lat. Pomimo że zmieniane są nazwy kierunków, w ramach których następuje edukacja w tym zakresie, niezmiennie kształcimy specjalistów przygotowanych do rozwijania zagadnienia wykorzystania tego ekologicznego i odnawialnego źródła energii, jakim jest energia geotermalna. Jesteśmy jedynym ośrodkiem w Polsce kształcącym kompleksowo przyszłych specjalistów w dziedzinie geotermii. Obecnie kształcenie studentów w tym zakresie odbywa się na kierunku ekologiczne źródła energii, gdzie od 2019 r. istnieją dwie specjalności: odnawialne źródła energii oraz ekologiczne systemy energetyczne, a także na kierunku geologia stosowana na specjalności geologia naftowa i geotermia. Funkcjonujące od 2013 r. Laboratorium Odnawialnych Źródeł i Poszanowania Energii AGH w Miękinii utworzone w ramach projektu dofinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR) w ramach Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego 2007–2013, stworzyło niepowtarzalną możliwość edukowania studentów, przekazując im wiedzę praktyczną z zakresu źródeł odnawialnych i poszanowania energii.

Cieszymy się niezmiernie z sukcesów naszych studentów i pracowników, w tym z każdego osiągniętego stopnia naukowego w temacie geotermii. W 2019 r. stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki o Ziemi i Środowisku uzyskała Joanna Jasnos, która przedstawiała rozprawę doktorską napisaną pod kierunkiem dr hab. inż. Beaty Kępińskiej pt: *Warunki geotermalne formacji mezozoicznych niecki miechowskiej*. W tym samym roku swoją rozprawę doktorską pt: *Ocena geologicznych uwarunkowań inwestycji geotermalnych przy wykorzystaniu modelowania numerycznego na przykładzie utworów jury dolnej w strefie niecki szczecińsko-mogileńsko-lódzkiej* obroniła Anna Wachowicz-Pyzik. Promotorem rozprawy był dr hab. inż. M. Stefaniuk, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. A. Sowizdżał, która w 2019 r. uzyskała tytuł doktora habilitowanego za cykl publikacji nt: *Ocena potencjału petrogeotermalnego formacji osadowych Polski*. Obecnie realizowane są kolejne prace badawcze z zakresu geotermii zmierzające do uzyskania stopnia

naukowego. Wśród nich jest praca doktorska realizowana przez Aleksandrę Szulc-Wrońską.

Projekt pt. *Badania możliwości ograniczenia niskiej emisji w Uzdrawisku Rabka Zdrój poprzez wykorzystanie lokalnych zasobów odnawialnych źródeł energii* jest finansowany przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu Diamentowy Grant. W VI edycji konkursu minister przyznał ponad 16 mln PLN na finansowanie projektów wybitnie uzdolnionych studentów, prowadzących badania naukowe na wysokim poziomie i posiadających wyróżniający się dorobek naukowy. Spośród 214 wnioskodawców wyłoniono 83 laureatów, którzy otrzymali środki na realizację swoich pierwszych samodzielnych projektów badawczych.

Aleksandra Szulc-Wrońska zrealizuje projekt, którego celem jest ocena możliwości ograniczenia niskiej emisji w Uzdrawisku Rabka Zdrój poprzez wykorzystanie lokalnych zasobów geotermii niskiej entalpii, energii wiatru oraz słońca jako przedsięwzięcie o charakterze mikroinstalacji. Wykorzystanie rozproszonych odnawialnych źródeł energii, będących alternatywą dla węglowych palenisk domowych, może stanowić kluczowe rozwiązanie pozwalające ograniczyć zjawisko niskiej emisji. Efekt prac zostanie zaprezentowany w postaci przestrzennej charakterystyki i dostępności zasobów odnawianych źródeł energii w obszarze badań z wykorzystaniem narzędzi z rodziny GIS, przy uwzględnieniu ekonomicznej, energetycznej i ekologicznej analizy uwarunkowań związanych z wykorzystaniem rozwiązań predestynowanych w rozpatrywanym rejonie. Opiekunem naukowym projektu i promotorem pracy doktorskiej jest prof. B. Tomaszewska. Wyniki prac badawczych są regularnie prezentowane na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz publikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (Szulc, Tomaszewska, 2018a, b, 2019a, b; Szulc-Wrońska, Tomaszewska, 2020a, b, 2021).

Innowacyjne prace badawcze z udziałem doktorantów są realizowane nie tylko w kontekście uwarunkowań geotermalnych w skali krajowej. Podejmują również tematy interdyscyplinarne w szeroko pojętym obszarze wykorzystania wód i energii geotermalnej, wykraczające poza granice kraju, w szczególności podejmując problematykę racjonalizacji gospodarowania zasobami wód i energii geotermalnej, jak również poszukiwania innowacyjnych rozwiązań w zakresie przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Rozwój badań nad efektywnym energetycznie, opłacalnym ekonomicznie, bezpiecznym dla środowiska i nieinwazyjnym dla społeczeństwa wykorzystaniem energii geotermalnej zarówno wysoko-, jak i niskotemperaturowej stanowi jeden z kluczowych elementów przeciwdziałania zmianom klimatu oraz budowaniu sieci powiązań woda–energia–klimat, woda–energia–żywność, woda–energia–susza.

Tej tematyce są poświęcone badania realizowane w ramach pracy doktorskiej Mentari Mukti z Indonezji, która pod opieką naukową prof. B. Tomaszewskiej realizuje pracę doktorską pt. *Water–Energy–Climate Nexus – Sustainable management of geothermal resources*. Praca jest ukierunkowana na ocenę możliwości wykorzystania odpadowych zasobów energii geotermalnej w celu przeciwdziałania skutkom suszy i zmianom klimatycznym w Indonezji.

Z kolei badania prowadzone przez Magdalенę Sobczyk mają na celu ocenę środowiskową funkcjonowania

niekonwencjonalnych systemów geotermalnych (EGS – *Enhanced Geothermal System*) i doskonale wpisują się w szerszą tematykę badawczą w zakresie możliwości wykorzystania zasobów petrogeotermalnych realizowaną od kilku lat w Katedrze Surowców Energetycznych. Opiekunem naukowym tej pracy jest dr hab. inż. A. Sowizdzał, będąca jednocześnie kierownikiem projektu badawczego EnerGizerS dotyczącego analizy funkcjonowania systemów EGS-CO<sub>2</sub> w warunkach polskich i norweskich.

Anna Chmielowska w swojej pracy doktorskiej realizowanej pod opieką dr hab. inż. A. Sowizdzał podejmuje próbę oceny potencjału energetycznego wybranych struktur geologicznych wyeksploatowanych złóż węglowodorów z utworów miocenu autochtonicznego wschodniej części Przedgórze Karpat wraz ze wskazaniem możliwości jego wykorzystania jako źródła energii geotermalnej. Złoża węglowodorów występują często w obszarach perspektywicznych pod kątem potencjalnych zasobów energii geotermalnej, a towarzysząca im woda może stanowić nośnik energii. Połączenie doświadczeń i możliwości przemysłu naftowego z sektorem geotermii jest jednym z przyszłościowych kierunków badawczych.

Bartłomiej Ciapała realizuje obecnie pod opieką dr hab. inż. B. Kępińskiej pracę doktorską mającą na celu określenie potencjału geotermalnego wód ze zbiorników mezozoicznych i kenozoicznych niecki lubelskiej w zależności od sposobu energetycznego zagospodarowania zasobów.

Oprócz wymienionych prac jest realizowanych jeszcze kilka innych rozpraw doktorskich związanych z oceną potencjału geotermalnego i możliwościami wykorzystania energii geotermalnej w Polsce. Są one na różnych etapach przygotowania i mamy nadzieję, że ich wyniki zostaną wkrótce podane do publicznej wiadomości.

## DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA KSE WGGIOŚ AGH

### Projekt GeoPLASMA-CE (2016–2019)

W latach 2016–2019 zespół KSE zrealizował międzynarodowy projekt naukowo-badawczy pn. *Opracowanie zasad planowania, strategii wykorzystania oraz metod oceny i wykonywania map potencjału płytkiej geotermii w Europie Środkowej* (oryg. *Shallow Geothermal Energy Planning, Assessment and Mapping Strategies in Central Europe – GeoPLASMA-CE*). Projekt był realizowany przez 11 partnerów z 6 krajów Europy. Instytucje współpracujące obejmowały służby geologiczne krajów partnerskich: Polski, Austrii, Słowenii, Czech, Słowacji i Niemiec (Saksonii), jednostkę administracji samorządowej (miasto Lublana – Słowenia) oraz dwie niemieckie firmy SME: geoENERGIE Konzept GmbH oraz GIGA Infosystems. Akademia Górniczo-Hutnicza była jedyną uczelnią wyższą konsorcjum realizującego projekt. Kierownikiem projektu ze strony AGH był M. Hajto. Istotną składową projektu była współpraca z interesariuszami na obszarach pilotażowych. Stanowiło to kluczowy element umożliwiający identyfikację realnych problemów technologicznych, organizacyjnych oraz formalno-prawnych i legislacyjnych utrudniających rozwój wykorzystania geotermalnych pomp ciepła w tych obszarach. W powyższym zakresie w projekcie uczestniczyło ponad 20 partnerów stowarzyszonych z 8 krajów Europy. Pro-

jekt był finansowany ze środków EU, programu współpracy międzynarodowej *INTERREG Central Europe 2014–2020*.

Zasadniczym celem projektu było zweryfikowanie i poprawa lokalnych strategii energetycznych mających wpływ na łagodzenie skutków zmian klimatycznych. W tym zakresie dla każdego z obszarów pilotażowych opracowano strategię wykorzystania płytkiej geotermii (pomp ciepła) zmierzającą do zwiększenia udziału ciepła Ziemi w ciepłownictwie i chłodnictwie, zwiększając udział OZE w skali Europy Środkowej (Hajto i in., 2019b). W związku z założonym celem, niezbędnym elementem projektu była współpraca z samorządami wybranych miast oraz regionów reprezentujących kraje partnerskie projektu.

Partnerami stowarzyszonymi z AGH była Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła – PORT PC oraz Wydział Gospodarki Komunalnej Urzędu Miasta Krakowa, odpowiedzialny za kształtowanie strategii energetycznej Miasta Krakowa. Badania w ramach projektu *GeoPLASMA-CE* zostały przeprowadzone w sześciu wybranych obszarach pilotażowych, a mianowicie w rejonie Vogtland–Zachodnie Czechy, rejonie Wałbrzych–Bromov oraz w miastach: Kraków, Wiedeń, Bratysława i Lublana.

W ramach projektu opracowano m.in. metodykę przestrzennego modelowania parametrów geologicznych, petrofizycznych, termicznych i innych w celu oszacowania zasobów płytkiej geotermii (Görz, Hoffman i in., 2017), a także katalog informacji dotyczących zagrożeń środowiskowych oraz ograniczeń formalno-prawnych związanych z wykorzystaniem ciepła Ziemi, które jest udostępniane za pomocą otworów wiertniczych (Hofmann i in., 2017). Katalog obejmuje elementy związane z wykorzystaniem systemów zarówno obiegu otwartego (solanka/woda), jak i zamkniętego (woda/woda), uwzględniającego specyficzne uwarunkowania środowiskowe, w tym: geogeniczne, hydrogeologiczne i antropogeniczne (Hajto i in., 2018). W powyższym zakresie opracowano interaktywny portal mapowy oparty na technologii GIS (<https://portal.geoplasma-ce.eu>). W obszarze pilotażowym Krakowa, po raz pierwszy w prawie 200-letniej historii badań geologicznych tego terenu, wykonano: 3D model geologiczno-tektoniczny, model rozkładu węglębnego pola termicznego oraz statyczny model hydrogeologiczny. W ramach współpracy z PORT PC oraz Wydziałem Kształtowania Środowiska UMK dokonano inwentaryzacji funkcjonujących instalacji grunto-tych pomp ciepła w Krakowie. Wykonano szereg nowych badań terenowych, w tym pomiary poziomu zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego, temperatury i mineralizacji wód podziemnych, przewodności cieplnej skał profilu geologicznego i inne.

Wymienione badania są kontynuowane w KSE (Hajto i in., 2019c, 2020b). Wykorzystanie oprogramowania *Petrel* oraz *Visual MODFLOW* pozwoliło na dokonanie oceny potencjału geotermalnego oraz możliwości wykorzystania energii zakumulowanej w skałach oraz wodach podziemnych Krakowa do głębokości 200 m p.p.t.

Jednym z rezultatów projektu było opublikowanie ogólnych zasad promocji wykorzystania płytkiej geotermii w Europie (Dilger i in., 2019; Götzl i in., 2019). Więcej informacji można znaleźć na stronie internetowej: <https://geoplasma-ce.eu> oraz <https://www.researchgate.net/project/GeoPLASMA-CE-Shallow-Geothermal-Energy-Planning-Assessment-and-Mapping-Strategies-in-Central-Europe>.

## Projekt EnerGizerS (2020–2023)

W latach 2020–2023 jest realizowany międzynarodowy projekt o akronimie EnerGizerS (NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/) – pełna nazwa projektu to *CO<sub>2</sub>-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply (Niekonwencjonalne systemy geotermalne EGS-CO<sub>2</sub> jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu)*, którego kierownikiem jest A. Sowizdzał. Jest on realizowany w ramach polsko-norweskich projektów badawczych POLNOR 2019 finansowanych z programu Norweskiego Mechanizmu Finansowego. Partnerami konsorcjalnymi AGH są podmioty z Polski i Norwegii: instytucje naukowe – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, SINTEF Energi AS i NTNU Norwegian University of Science and Technology, oraz firma Exergon Sp. z o.o. Głównym celem projektu jest analiza efektywności funkcjonowania niekonwencjonalnych systemów geotermalnych (ang. *Enhanced Geothermal Systems – EGS*) wykorzystujących dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) jako medium robocze. Proponowane działania są ukierunkowane na łagodzenie antropogenicznych zmian klimatu poprzez wykorzystanie czystej i ekologicznej energii geotermalnej przy jednoczesnym ograniczeniu emisji CO<sub>2</sub> pochodzącej ze spalania paliw kopalnych. Warto podkreślić, że niekonwencjonalne systemy geotermalne wykorzystujące dwutlenek węgla są przedmiotem stale rosnącego zainteresowania na całym świecie, głównie ze względu na możliwość sekwestracji CO<sub>2</sub> w procesie produkcji energii elektrycznej. Technologia ta nie jest obecnie powszechnie wykorzystywana, aczkolwiek posiada znaczny potencjał, aby stać się nowym, zrównoważonym źródłem energii odnawialnej.

W ramach projektu zostanie zrealizowanych 6 zadań:

- Identyfikacja kluczowych parametrów dla efektywnego wykorzystania systemów CO<sub>2</sub>-EGS i wybór odpowiednich lokalizacji,
- Charakterystyka zbiornika geotermalnego na podstawie wyników kompleksowych badań laboratoryjnych skał,
- Eksperymentalne określenie właściwości i sposobu zachowania płynów roboczych systemów CO<sub>2</sub>-EGS,
- Modelowanie matematyczne złoża geologicznego wytypowanego do eksploatacji systemu CO<sub>2</sub>-EGS,
- Modelowanie matematyczne opartych na CO<sub>2</sub> systemów napowierzchniowych do produkcji ciepła i energii elektrycznej,
- Ocena techniczno-ekonomiczna i środowiskowa.

Badania prowadzone w ramach projektu EnerGizerS mają na celu identyfikację i szczegółową charakterystykę struktur geologicznych potencjalnych dla lokalizacji systemów CO<sub>2</sub>-EGS w Polsce oraz Norwegii, łącząc wymagania technologii wspomaganych systemów geotermalnych (EGS) oraz sekwestracji dwutlenku węgla (CCS). W ramach powyższych 6 pakietów roboczych, zostaną przeprowadzone kompleksowe badania laboratoryjne na próbkach rdzeni wiertniczych pobranych z odpowiednich struktur geologicznych, ukierunkowane na ocenę cech petrofizycznych, termicznych oraz mechanicznych.

Uzyskane wyniki będą podstawą zaawansowanego modelowania matematycznego, w tym modelowania strukturalnego złoża, modelowania procesu szczelinowania ośrodka skalnego oraz modelowania 3D multiwariantowych symulacji zatłaczania i eksploatacji CO<sub>2</sub> wraz z prognozami zachowania złoża w czasie. Projekt zakłada również eksperymentalne określenie właściwości i sposo-

bu zachowania się płynów roboczych (CO<sub>2</sub>), a także modelowanie matematyczne opartych na CO<sub>2</sub> systemów powierzchniowych do produkcji ciepła i energii. Wszystkie przeprowadzone testy i analizy będą stanowić podstawę do przeprowadzenia oceny techniczno-ekonomicznej i środowiskowej proponowanej technologii. Wyniki projektu pomogą określić zasadność połączenia dwóch technologii: EGS i CCS w celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla i wytwarzania energii opłacalnego pod względem ekonomicznym.

W czerwcu ubiegłego roku zakończyła się realizacja pierwszego zadania. Przy wykorzystaniu metody strukturalnej analizy danych Cross Impact wskazano parametry kluczowe dla rozwoju technologii CO<sub>2</sub>-EGS, wykonano analizę warunków geologicznych i geotermalnych efektywnego rozwoju systemów geotermalnych i składowania CO<sub>2</sub> zarówno w Polsce, jak i w Norwegii. Przeprowadzono analizę systemu energetycznego odpowiedniego dla technologii CO<sub>2</sub>-EGS oraz analizę potencjalnych źródeł CO<sub>2</sub>. W efekcie pracy zdefiniowano scenariusze przypadków reprezentujących realistyczne i skuteczne kombinacje warunków zbiornikowych i lokalnego zapotrzebowania na energię. Ze względu na odmienne uwarunkowania geologiczne, prawne czy środowiskowe panujące w krajach partnerskich każdy z rozważanych przypadków będzie charakteryzował się odmiennymi parametrami. Wszystkie wykonane badania i analizy będą stanowić podstawę do przeprowadzenia oceny techniczno-ekonomicznej i środowiskowej proponowanej technologii do zastosowania w systemach energetycznych Polski i Norwegii. Ostateczne wyniki projektu będą znane w 2023 r. Bieżący postęp prac można śledzić na stronie [www.energizers.agh.edu.pl](http://www.energizers.agh.edu.pl) oraz [www.researchgate.net/project/EnerGizerS-CO2-Enhanced-Geothermal-Systems-for-Climat-Neutral-Energy-Supply](http://www.researchgate.net/project/EnerGizerS-CO2-Enhanced-Geothermal-Systems-for-Climat-Neutral-Energy-Supply)

### Projekt Geotherm (2017–2021)

W latach 2017–2021 w KSE WGGiOŚ AGH zrealizowano bilateralny polsko-turecki projekt Geotherm (POLTUR2/1/2017; <https://geothermproject.com/>), ukierunkowany na ocenę możliwości odzysku energii z gradientu zasolenia, bazując na potencjale zasolonych wód termalnych (Bryjak i in., 2018). U fizycznych podstaw tego rozwiązania leży potencjał chemiczny – pojęcie wprowadzone przez Gibbsa w 1875 r. (Bundschuh i in., 2021). Wyraża ono przyrost energii wewnętrznej roztworu, jaki powoduje zmiana o 1 mol masy danego składnika przy stałej entropii właściwej, objętości oraz liczbie moli pozostałych składników. Jeśli jest znany potencjał chemiczny roztworu, możliwe jest ustalenie teoretycznej ilości wolnej energii mieszania Gibbsa dla danych warunków (Tufa i in., 2017). Aby wykorzystać energię osmotyczną potrzebne są dwa roztwory o różnym zasoleniu, a od stężenia soli zależy potencjał wykorzystania danego medium, którym może być woda słodka i woda wysoko zmineralizowana.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch metod: elektrodializy odwrotnej (RED) i mieszania pojemnościowego (CAPMIX). Obie metody opierają się na transporcie jonów, który może pozwolić na odzysk 50–85% całkowitej energii z gradientu zasolenia. Pierwszy z zaproponowanych procesów (RED) został przetestowany przez partnerów projektu z Turcji – z Ege University w Izmirze. Drugie z rozwiązań, oparte na wykorzystaniu

procesu mieszania pojemnościowego zostało przeprowadzone przez polskiego partnera projektu – Politechnikę Wrocławską. Celem projektu było rozpoznanie możliwości zastosowania obu rozpatrywanych systemów pozyskiwania energii w odniesieniu do odpadowych solanek geotermalnych pozyskiwanych w polskich i tureckich systemach geotermalnych. Pod pojęciem odpadowych solanek rozumie się tutaj zagospodarowanie potencjału schłodzonych wód, wykorzystanych wcześniej w procesach odzysku ciepła geotermalnego.

Zespół AGH, kierowany przez B. Tomaszewską, rozpoznał możliwości techniczne i technologiczne wykorzystania wspomnianych rozwiązań w procesie wytwarzania energii z gradientu zasolenia oraz dokonał oceny efektów energetycznych, ekonomicznych i środowiskowych.

Warto podkreślić, że jednym z najnowszych osiągnięć w rozwoju wykorzystania energii z gradientu zasolenia jest technologia CapMix (ang. *capacitive mixing*). Polega ona na mieszanii dwóch roztworów w sposób kontrolowany, generując prąd elektryczny poprzez okresowe przełączanie między roztworem bardziej zasolonym, a roztworem o niskim zasoleniu, w których jest zanurzona para elektrod z węgla aktywnego (Siekierka i in., 2020; Smolinska-Kempisty i in., 2020). Dwie elektrody zanurzone w roztworze jonowym tworzą tak zwany super kondensator. Gdy jest on ładowany za pomocą urządzenia zewnętrznego, ładunek elektryczny jest magazynowany w tworzących się na granicy węgla i roztworu podwójnych warstwach elektrycznych (ang. *electric double layers* – EDL). Zaobserwowanie faktu, że różnica potencjałów na EDL wzrasta, gdy zasolenie roztworu jest zmniejszane przy stałym ładunku, doprowadziło do stworzenia technologii CapMix. Dzieje się tak, ponieważ jony o ładunku przeciwnym do tego na powierzchni w rozproszonej części EDL odsuwają się od elektrody wbrew polu elektrycznemu, zwiększając w ten sposób zakumulowaną energię elektrostatyczną kosztem wolnej energii roztworów. To zjawisko zostało nazwane *capacitive double layer expansion* (CDLE), czyli pojemnościowym rozszerzaniem podwójnej warstwy (Brogioli i in., 2013; Tomaszewska i in., 2021). Wykorzystanie technologii opartych na odzysku energii z gradientu zasolenia coraz częściej rozpatrywane jest nie tylko w kontekście źródeł energii, ale również systemów jej magazynowania (Jia i in., 2018; Bundschuh i in., 2021).

### Projekt Lajkonik (2019)

W 2019 r. zespół KSE zrealizował projekt pn. *Ocena możliwości wykorzystania rozproszonych źródeł energii za pomocą instalacji geotermalnych, pomp ciepła i paneli fotowoltaicznych oraz ich synergia z funkcjonującym systemem ciepłowniczym Krakowa*. Był on zrealizowany na zlecenie Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej w Krakowie SA i kierowany przez M. Stefaniuka, natomiast koordynację merytoryczną nad projektem sprawowali J. Kotyza oraz M. Hajto. Był on pokłosiem współpracy zespołu realizującego projekt GeoPLASMA-CE oraz MPEC SA. Współpraca ta polegała na wymianie doświadczeń oraz wstępnej ocenie możliwości wykorzystania technologii pomp ciepła, w tym głównie geotermalnych pomp ciepła dużej mocy (ponad 100 kW) w celu wyeliminowania pozostałych w strukturze MPEC kotłowni gazowych i olejowych. Projekt Lajkonik był także odpowiedzią na zapotrzebowanie MPEC SA. W zakresie dostosowania się do

nowych trendów w ogrzewnictwie, szczególnie w zakresie rozwiązań opartych na technologii pomp ciepła, które mogą rozszerzyć zakres działalności spółki poprzez zaopatrzenie w energię obiektów zlokalizowanych poza zasięgiem sieci ciepłowniczej, obejmującej obecnie ok. 50% powierzchni miasta.

Sieć ciepłownicza MPEC SA będzie dalej modernizowana i rozbudowywana. W ramach zapoznania się z technologią pomp ciepła oraz poznania praktycznych zastosowań i możliwości adaptacji technologii w warunkach funkcjonowania sieci ciepłowniczej w mieście zorganizowano wizytę studyjną do Austrii. W wizycie tej wzięli udział członkowie zarządu MPEC SA z zespołem kluczowych pracowników oraz przedstawiciele zespołu Katedry Surowców w Energetycznych WGGiOŚ AGH. W ostatnim dokumencie strategicznym spółki pn. *Plan rozwoju MPEC w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na ciepło. Wieloletni plan rzeczowo-finansowy Spółki na lata 2018–2024* (MPEC, 2019) MPEC określił potencjalne obszary rozwojowe, obejmujące swym zasięgiem Kraków i Skawinę. W sumie zdefiniowano 30 takich obszarów. Brak sieci ciepłowniczej w powyższych lokalizacjach stwarza szanse i potencjalne możliwości dla rozwoju geotermalnych pomp ciepła.

W ramach realizacji projektu wskazano również możliwości wykorzystania potencjału głębokiej geotermii w rejonie Krakowa. Potencjalne występowanie wód wgłębnych w rejonie Krakowa wskazano w szeregu archiwalnych opracowaniach. Wszystkie z nich wskazywały, że najbardziej korzystne warunki geotermiczne dla wykorzystania wód geotermalnych panują we wschodniej części Krakowa, w rejonie Nowej Huty – Przulasku Rusieckiego. Poza wykorzystaniem ciepła Ziemi i energii geotermalnej przeanalizowano możliwości wykorzystania systemów fotowoltaicznych do zasilania instalacji grzewczych pomp ciepła oraz do innych zastosowań wspomagających na przykład systemy automatyki elementów infrastruktury przesyłowej MPEC SA. Poza szczegółowymi aspektami technicznymi i technologicznymi przedstawiono zagadnienia związane z uwarunkowaniami środowiskowymi wpływającymi na możliwości wykorzystania zasobów głębokiej geotermii i/lub ciepła Ziemi, wynikającymi np. z: Miejsowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego (MPZP), Prawa geologicznego i górniczego (PGG), Prawa wodnego (PW) i innych.

### Projekt NiżPIG (2019–2020)

W latach 2019–2020 zespół KSE kierowany przez M. Hajto zrealizował kolejny projekt poświęcony możliwości wykorzystania energii geotermalnej na Niżu Polskim pn. *Ocena potencjału energetycznego i surowcowego wód termalnych i leczniczych termalnych w wybranych obszarach zurbanizowanych wraz z analizą geośrodowiskowych oraz ekonomicznych uwarunkowań ich zagospodarowania* (Hajto i in., 2019a, 2020b). Realizacja projektu była zlecona przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) w trybie zamówienia publicznego, na podstawie wyników przetargu nieograniczonego.

Nadrzędnym celem projektu było opracowanie narzędzi pozwalających zobiektywizować ocenę zasadności eksploatacji wód termalnych na Niżu Polskim i w konsekwencji umożliwić wskazanie optymalnych lokalizacji, gdzie budowa ciepłowni geotermalnych powinna przynieść wymierne efekty ekonomiczne i środowiskowe. Dotyczy to lokalizacji, w których prawdopodobieństwo uzyskania spodziewanych parametrów ujęć geotermalnych jest relatywnie duże, tj. gdzie istnieje niskie ryzyko geologiczne. Uzyskane wyniki projektu oraz opracowana lista optymalnych lokalizacji może posłużyć w podejmowaniu decyzji o udzieleniu wsparcia publicznego. Wykorzystanie wyników opracowania może znacząco zwiększyć prawdopodobieństwo zasadnego i efektywnego wydatkowania środków publicznych przez instytucje dystrybuujące środki na poziomie zarówno krajowym, regionalnym, jak i lokalnym.

W ramach projektu dokonano analizy potencjału geotermalnego dla prawie 100 gmin i miast zlokalizowanych w rejonie Niżu Polskiego. W analizie uwzględniono uwarunkowania demograficzne, skupiając się na miejscowościach średniej wielkości, gdzie likwidacja niskiej emisji jest szczególnie trudna. W celu realizacji zadania zmierzającego do oceny potencjału geotermalnego wykonano nowy 3D model geologiczny obszaru Niżu Polskiego z wykorzystaniem oprogramowania *Petrel*. Poza elementami dotyczącymi energetycznego wykorzystania wód termalnych wskazano także możliwości i kierunki zagospodarowania wód w celach balneoterapeutycznych i rekreacyjnych. Uwzględniono również elementy ryzyka geologicznego, mającego szczególnie istotne znaczenie w początkowej fazie inwestycji związanej z poszukiwaniem złóż wód termalnych. Przy analizie uwarunkowań środowiskowych uszczegółowiono informacje dotyczące stanu jakości powietrza, a analizę porównawczą zanieczyszczenia w miastach i gminach objętych niniejszym projektem wykonano z wykorzystaniem tzw. wskaźnika emisji równoważnej<sup>2</sup>, w odniesieniu do SO<sub>2</sub>. W zakresie możliwości wykorzystania zasobów geotermalnych do celów ciepłowniczych zidentyfikowano i scharakteryzowano lokalnych wytwórców energii cieplnej. Uwzględniono przy tym obecność sieci ciepłowniczej, sieci gazowniczej, które to składniki mogą w sposób znaczący wpływać na wybór optymalnej koncepcji wykorzystania, a niekiedy warunkować techniczną i/lub ekonomiczną zasadność budowy źródła geotermalnego w danej lokalizacji. Szczegółowe analizy wykonano dla 11 wytypowanych lokalizacji/miast. W odniesieniu do koncepcji dotyczącej budowy ciepłowni geotermalnej w poszczególnych lokalizacjach wykonano analizy konkurencyjności wykorzystania energii wód termalnych, w odniesieniu do paliwa referencyjnego – węgla kamiennego, odpowiadające wariantowi „nowe źródło”. Powyższą analizę wykonano w oparciu o metodykę współczynnika mocy (F) (Gosk, 1982; Kuźniak, Hajto, 2006; Górecki i in., 2011; Hajto i in., 2013a; Hajto, 2014). Ponadto w przypadku koncepcji dotyczącej budowy ciepłowni geotermalnej wykonano ocenę inwestycji w warunkach ryzyka geologicznego metodami NPV (*Net Present Value*), IRR (*Internal Rate of Return*) oraz EMV (*Expected Monetary Value*).

<sup>2</sup> Emisja równoważna – wielkość ogólna emisji zanieczyszczeń pochodzących z określonego (ocenianego) źródła zanieczyszczeń, która wynika ze zsumowania wielkości rzeczywistych emisji poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń pochodzących z tego źródła pomnożonych przez ich indeksy toksyczności.

Dokonano inwentaryzacji i określenia stanu formalno-prawnego oraz technicznego wybranych otworów wiertniczych pod względem przydatności do eksploatacji wód termalnych. Dla wytypowanych lokalizacji wykonano modelowanie geochemiczne w celu wstępnej oceny możliwości scalingu instalacji powierzchniowej i wgłębnej. Przeprowadzone badania i analizy pozwoliły na określenie wstępnych zagrożeń związanych z utylizacją schłodzonych wód i wskazanie optymalnego sposobu ich zagospodarowania po odzysku ciepła.

Podsumowanie pracy stanowią propozycje projektów pilotażowych wskazujących najlepsze lokalizacje dla inwestycji geotermalnych. W powyższym zakresie komplet niezbędnych informacji zestawiono w formie zunifikowanych prospektów, oddzielnie dla każdej z 11 lokalizacji, a mianowicie: Kutno, Lesznowola, Mogilno, Murowana Goślina, Oborniki, Piaseczno, Police, Strzelno, Ślesin, Września oraz Zgierz (<https://www.pgi.gov.pl/dokumenty-przegladarka/aktualnosci-2020/geotermia-srednotemperaturowa/>). Projekt został bardzo dobrze przyjęty przez ekspertów PIG-PIB oraz Ministerstwo Klimatu i Środowiska, otrzymał należyłą oprawę medialną w postaci licznych konferencji prasowych (<https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/wm-aktualnosci/12561-geologia-w-mediach-wywiad-prasowy-o-nowych-perspektywach-geotermii.html>) oraz wywiadów z ekspertami w dziedzinie geotermii w Polsce (<https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/wm-aktualnosci/12536-posluchaj-ekspertow-stan-rozwoju-geotermii-w-polsce.html>).

### Projekt COST Geothermal-DHC (CA18219)

W latach 2019–2023 jest realizowany międzynarodowy projekt pn. *Sieć badawcza aplikacji technologii geotermalnych dla dekarbonizacji sieci grzewczo-chłodniczych – Geothermal-DHC* (ang. *Research Network for Including Geothermal Technologies into Decarbonized Heating and Cooling Grids – Geothermal-DHC*). Jest on realizowany przez przedstawicieli 32 krajów Europy oraz z Kanady. Przedstawicielami Polski w Komitecie Zarządzającym projektu są: Monika Koniecznyńska (PIG-PIB) oraz M. Hajto (KSE WGGiOŚ AGH). Akcja COST (*European Cooperation in Science and Technology*) dotyczy włączenia technologii geotermalnych do systemów lokalnego ogrzewania i chłodzenia w Europie, w celu wspierania dekarbonizacji rynku ogrzewania i chłodzenia. CA18219 obejmuje tworzenie sieci współpracy, wymiany i transferu wiedzy, szkolenia i działania w zakresie interakcji z zainteresowanymi stronami oparte na studiach przypadków.

Celem projektu jest promowanie rozwiązań zmierzających do zwiększenia udziału OZE w sieciach grzewczych i chłodniczych w Europie do co najmniej 30% w 2030 r. i co najmniej 50% w 2050 r. Z technologicznego punktu widzenia, Geothermal-DHC obejmuje następujące zagadnienia: płytka geotermia, termoaktywne konstrukcje budowlane, energia geotermalna niskiej entalpii (w tym np. zagospodarowanie otworów naftowych), głęboka energia geotermalna w systemach hydrogeotermalnych i petrotermalnych, niekonwencjonalne systemy geotermalne, podziemne magazynowanie energii cieplnej, konwencjonalne sieci grzewcze wysokotemperaturowe (2G do 3G), niskotemperaturowe sieci grzewcze i/lub chłodnicze (4G do 5G), geotermalna produkcja ciepła i energii w skojarzeniu.

Należy podkreślić, że projekt Geothermal-DHC nie zajmuje się rozwiązaniami technicznymi i technologicznymi dotyczącymi ogrzewania indywidualnego budynków, produkcji energii elektrycznej oraz wykorzystania wód termalnych do celów balneoterapeutycznych, rekreacyjnych itp.

Sieć CA18219 bazuje na elastycznej strukturze opartej o cztery główne grupy robocze (Stałe Grupy Robocze – ang. *Permanent Working Group* – PWG), które organizują kluczowe zagadnienia poruszane przez Geothermal-DHC, a mianowicie: PWG 1 Technologia, PWG 2 Komunikacja zewnętrzna, PWG 3 Promowanie karier młodych naukowców, PWG 4 Kapitalizacja i wzrosty. Stałe grupy robocze są wspierane przez elastyczne grupy robocze *ad hoc*, które zajmują się określonymi tematami wewnątrz sieci i łączą PWG w przekrojowych aspektach, takich jak np. tworzenie platformy wiedzy lub wspieranie ukierunkowanej komunikacji z interesariuszami.

Więcej informacji dostępnych jest na stronie CA18219 pod adresem: <https://www.geothermal-dhc.eu/>

### Projekty realizowane w Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękinii

Doświadczenie w badaniu pomp ciepła zespół pracowników KSE zdobył dzięki ciągłemu rozwojowi centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękinii, gdzie członkowie grupy badawczej realizują badania pomp ciepła na stanowiskach badawczych do badania gruntowych i powietrznych pomp ciepła o mocy grzewczej do 50 kW.

Na przestrzeni ostatnich 5 lat zespół Centrum zrealizował łącznie 4 projekty badawczo-rozwojowe, dotyczące budowy prototypów pomp ciepła dla firm wdrażających te urządzenia do sprzedaży oraz 4 projekty badawczo-rozwojowe dotyczące tematyki odnawialnych źródeł i poszanowania energii. Projekty badawczo-rozwojowe realizowano w ramach tzw. Bonów na innowację finansowanych ze środków unijnych, w tym w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014–2020 oraz Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój:

- *Opracowanie projektu wykonawczego interaktywnego stanowiska dydaktycznego z powietrzną pompą ciepła, opracowania prototypu stanowiska oraz jego walidacji i przetestowania w warunkach rzeczywistego funkcjonowania (2016–2017).*

- *Opracowanie dokumentacji technicznej prototypowych pomp ciepła, stanowiących podstawę działania hybrydowego systemu grzewczego, wykonanie fizycznego prototypu pompy ciepła, jego walidacja i przetestowanie w warunkach rzeczywistego funkcjonowania oraz opracowanie algorytmu sterowania dla całego hybrydowego systemu grzewczego (2017).*

- *Opracowanie prototypu innowacyjnej pompy ciepła z modulowaną wydajnością grzewczą, pracującej na ekologicznym czynniku R290 (2019).*

- *Opracowanie innowacyjnej pompy ciepła o modulowanej mocy grzewczej od 3 kW do 8 kW przy parametrach A2W55 z ekologicznym czynnikiem chłodniczym R290 z funkcją chłodzenia (2020–2021).*

W przyszłości po przeprowadzeniu procesu akredytacji stanowisk badawczych pomp ciepła Centrum Miękinia bę-

dzie prowadzić badania certyfikacyjne dla nowo powstających modeli pomp ciepła. Ponadto są planowane badania nad rozwojem pomp ciepła dużej mocy do zastosowań w ciepłownictwie.

W 2019 r. w Miękini rozpoczął się projekt pn. *Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii Miękinia*, którego celem jest rozbudowa infrastruktury badawczej uczelni służącej komercjalizacji działalności naukowej i badawczo-rozwojowej. Jest on współfinansowany z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014–2020. Kwota dofinansowania projektu z Unii Europejskiej to 7 614 476,77 PLN. W ramach projektu przewidziano budowę nowego budynku AGH w Miękini w technologii pasywnej z maksymalnym wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii z odpowiednim zapleczem laboratoryjnym i badawczym. Powstaną laboratoria WGGiOŚ: Laboratorium Odnawialnych Źródeł, Poszanowania Energii i Środowiska, Laboratorium Sorbentów Mineralnych i Organicznych, Laboratorium Radioizotopowych Analiz Środowiskowych, Akredytowane Laboratorium Hydrogeochemiczne Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej oraz Wirtualne Laboratorium badawcze – iLab.

### Krajowe Centrum Geotermii i Pomp Ciepła

W celu zwiększenia potencjału naukowo-badawczego dwóch istniejących, wiodących w kraju ośrodków laboratoryjnych prowadzących badania nad wykorzystaniem ciepła Ziemi: Laboratorium Geotermalnego IGSMiE PAN oraz Laboratorium Odnawialnych Źródeł i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH utworzono Krajowe Centrum Geotermii i Pomp Ciepła. Rozbudowa obydwu istniejących laboratoriów ma umożliwić rozwój badań stosowanych oraz prac rozwojowych nad efektywnym energetycznie, opłacalnym ekonomicznie, bezpiecznym dla środowiska i nieinwazyjnym dla społeczeństwa wykorzystaniem energii geotermalnej zarówno wysokotemperaturowej, jak i niskotemperaturowej. Krajowe Centrum Geotermii i Pomp Ciepła, jako wspólna inicjatywa dwóch wiodących ośrodków naukowych zostało umieszczone na Polskiej Mapie Infrastruktury Badawczej, co stanowi wyraz uznania jej badawczego potencjału.

Powstanie Krajowego Centrum Geotermii i Pomp Ciepła ma na celu zwiększenie zainteresowania samorządów oraz firm ciepłowniczych w zakresie rozwoju i optymalizacji wykorzystania wód termalnych jako bezemisyjnego i konkurencyjnego cenowo źródła ciepła, rozwoju i optymalizacji wykorzystania pomp ciepła dla dostarczania ciepła w konkurencyjnej cenie, oraz w kontekście promocji gminy jako ośrodka turystycznego i poprawiającego jakość życia okolicznych mieszkańców. Powiększenie istniejącego potencjału badawczego centrum stanie się także asumptem do dalszego rozwoju prac naukowo-badawczych realizowanych w ramach projektów międzynarodowych i krajowych oraz prac wdrożeniowych prowadzonych na tym obszarze dla podmiotów gospodarczych i samorządów.

### Hub Naukowo-Technologiczno-Biznesowy w Miękini

12 kwietnia 2021 r. podpisano list intencyjny o współpracy na rzecz utworzenia Hubu Naukowo-Technologiczno-Biznesowego w Miękini. Sygnatariuszami listu intencyjnego są: Minister Klimatu i Środowiska, Pełnomocnik

Rządu do spraw Odnawialnych Źródeł Energii, Główny Geolog Kraju i Pełnomocnik Rządu ds. Polityki Surowcowej Państwa, Zarząd Województwa Małopolskiego, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Akademia Górniczo-Hutnicza, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie oraz Burmistrz Gminy Krzeszowice. Hub będzie stanowił przestrzeń do realizacji zadań z zakresu badań, promocji, rozwoju i wykorzystania odnawialnych źródeł energii, ze szczególnym uwzględnieniem pomp ciepła. Wsparciem dla powołanego hubu będzie Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii należące do WGGiOŚ AGH.

### Działania realizowane w ramach Unesco Chair On Groundwater Arsenic Within The 2030 Agenda For Sustainable Development

Zespół pracowników KSE pod kierownictwem B. Tomaszewskiej jest zaangażowany również w działania realizowane w ramach *Unesco Chair On Groundwater Arsenic Within The 2030 Agenda For Sustainable Development* (<https://unesco-chair-arsenic.usq.edu.au/>), niezależnego zespołu ekspertów i doradców realizujących wspólne badania, poszukujących innowacyjnych rozwiązań i dobrych praktyk dla rozwiązania globalnego problemu wody w ramach Agendy UNESCO dla Zrównoważonego Rozwoju 2030. Międzynarodowy zespół badaczy tworzy rodzaj globalnej sieci i parasola dla skoordynowanego, transdyscyplinarnego budowania repozytorium wiedzy i jej transferu oraz podejmowania skutecznych działań w celu rozwiązania problemu powiązania występowania arsenu geogenicznego, skażenia głównie wód gruntowych i powierzchniowych, gleby, roślin i powietrza z ich wpływem na ludzi. W badaniach są wykorzystywane bezpośrednie rozwiązania o znaczącej perspektywie technologicznej oraz podejmowane problemy społeczno-ekonomiczne i środowiskowe. W ramach prac z udziałem pracowników KSE zaprezentowano między innymi modelowe rozwiązania dla konkretnych instalacji związanych z pozyskaniem wody przeznaczonych do spożycia w krajach rozwijających się (Meksyk, Nikaragua i Boliwia). Wskazano potencjał geotermalny i metody odzysku energii geotermalnej z wykorzystaniem technologii opartych na procesach destylacji membranowej (Tomaszewska i in., 2021). Ta interdyscyplinarna praca ma przełożenie na wdrożenie rozwiązań w ramach przedsięwzięć podejmowanych przez UNESCO (Tomaszewska i in., 2020).

### PODSUMOWANIE

Podejmowana od wielu lat w KSE WGGiOŚ AGH tematyka badawcza jest związana z projektami geotermalnymi o charakterze podstawowym, rozwojowym, a także wdrożeniowym. Są to projekty interdyscyplinarne realizowane we współpracy ze specjalistycznymi ośrodkami badawczymi zarówno w Polsce, jak i za granicą. Pracownicy KSE uczestniczą w projektach badawczych wspólnie z naukowcami z Polski, Norwegii, Austrii, Słowenii, Czech, Słowacji, Niemiec i innych krajów. Podejmowane obecnie zagadnienia badawcze dotyczą opracowywania zasad pla-



nowania, strategii wykorzystania oraz metod oceny i wykonywania map potencjału płytkiej geotermii w Europie Środkowej (GeoPLASMA-CE), analizy funkcjonowania niekonwencjonalnych systemów geotermalnych CO<sub>2</sub>-EGS (EnerGizerS), oceny możliwości odzysku energii z gradientu zasolenia, bazując na potencjale zasolonych wód geotermalnych (Geotherm), oceny możliwości wykorzystania rozproszonych źródeł energii za pomocą instalacji geotermalnych, pomp ciepła i paneli fotowoltaicznych oraz ich synergii z funkcjonującym systemem ciepłowniczym Krakowa (Lajkonik), a także oceny potencjału energetycznego i surowcowego wód termalnych i leczniczych termalnych w wybranych obszarach zurbanizowanych wraz z analizą geośrodowiskowych oraz ekonomicznych uwarunkowań ich zagospodarowania (NiżPIG).

Wspólnie z przedstawicielami 32 krajów Europy oraz z Kanady jest realizowany międzynarodowy projekt pn. *Sieć badawcza aplikacji technologii geotermalnych dla dekarbonizacji sieci grzewczo-chłodniczych – Geothermal-DHC*. Podejmowane są także działania w ramach *Unesco Chair On Groundwater Arsenic Within The 2030 Agenda For Sustainable Development* zmierzające do wdrażania innowacyjnych rozwiązań i dobrych praktyk w celu rozwiązania globalnego problemu deficytu wody.

Projekty w zakresie pomp ciepła są realizowane w Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękinii będącego doskonałym zapleczem badawczym dla prac rozwojowych i wdrożeniowych, a także nieodzownym wsparciem działalności dydaktycznej KSE. Centrum to jest obecnie rozbudowywane w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014–2020.

Podejmowane działania mają na celu zwiększenie wykorzystania energii geotermalnej, czego wyrazem jest utworzenie Hubu Naukowo-Technologiczno-Biznesowego, jak również Krajowego Centrum Geotermii i Pomp Ciepła.

W celu zapewnienia wykwalifikowanej kadry w sektorze geotermii w KSE WGGiOŚ AGH jest prowadzona działalność dydaktyczna na różnych poziomach kształcenia na kierunkach ekologiczne źródła energii oraz geologia stosowana, a także w szkole doktorskiej AGH.

Artykuł przygotowano w ramach pracy statutowej AGH nr 16.16.140.315/05. Autorzy składają serdeczne podziękowania Recenzentowi za cenne uwagi.

## LITERATURA

BROGIOLI D., ZIANO R., RICA R.A., SALERNO D., MANTEGAZZA F. 2013 – Capacitive mixing for the extraction of energy from salinity differences: survey of experimental results and electrochemical models. *J. Colloid Interface Sci.*, 407: 457–466.

BRYJAK M., KABAY N., GULER E., TOMASZEWSKA B. 2018 – Concept for energy harvesting from the salinity gradient on the basis of geothermal water. *Weentech Proc. Energy*, 4: 88–96.

BUJAKOWSKI W., TOMASZEWSKA B. (red.) 2014 – Atlas of the possible use of geothermal waters for combined production of electricity and heat using binary system in Poland. MEERI PAS, Kraków: 305.

BUJAKOWSKI W., BARBACKI A., MIECZNIK M., PAJĄK L., SKRZYPCZAK R., SOWIŹDŻAŁ A. 2015 – Modelling geothermal and operating parameters of EGS installations in the Lower Triassic sedimentary formations of the central Poland area. *Renewable Energy*, 80: 441–453.

BUNDSCHUH J., KACZMARCZYK M., GHAFFOUR G., TOMASZEWSKA B. 2021 – State-of-the-art of renewable energy sources used in water desalination: Present and future prospects. *Desalination*, 508, 115035.

DILGER G., KAUFHOLD J., GRIMM R., BUKOVSKA Z., HOLEČEK J., ČERNÁK R., JANŽA M., RYŽYŇSKI G., KOZDRÓJ W., HAJTO M., CIAPAŁA B. (red.) 2019 – GeoPLASMA-CE: vademezum wspieranie rozwoju płytkiej geotermii. Freiberg, Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology, Department of Geology, e-ISBN: 978-83-66423-64-0: 1–28; dostęp online: <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/GeoPLASMA-CE/GeoPLASMA-CE-Handbook--1-EN.pdf>; dostęp: 17.06.2021 r.

GLADYSZ P., SOWIŹDŻAŁ 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. Manag.*, 220: 1–17.

GLADYSZ P., SOWIŹDŻAŁ 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: 1–34.

GOSK E. 1982 – Geothermal resources assessment. [W:] Čermak V., Hanel R. (red.), *Geothermics and geothermal energy*: 299. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

GÓRECKI W. (red.) 2006a – Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim – formacje mezozoiczne. AGH, Kraków.

GÓRECKI W. (red.) 2006b – Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim – formacje paleozoiczne. AGH, Kraków.

GÓRECKI W. (red.) 2011 – Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat zachodnich. AGH, Kraków.

GÓRECKI W. (red.) 2012 – Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego. AGH, Kraków.

GÓRECKI W. (red.) 2013 – Atlas geotermalny Karpat wschodnich. AGH, Kraków.

GÓRECKI W., HAJTO M., KUŹNIAK T. 2011 – Klasyfikacje i metodyka oceny zasobów energii geotermalnej. [W:] Górecki W. (red.), *Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat zachodnich*. AGH, Kraków.

GÓRECKI W., SOWIŹDŻAŁ A., HAJTO M., WACHOWICZ-PYZIK A., 2015 – Atlases of geothermal waters and energy resources in Poland. *Environ. Earth Sc.*, 74 (12): 7487–7495.

GÖRZ I., HOFMANN K., (red.), GÖTZL G., STEINER C., KOZDRÓJ W., HAJTO M., JANŽA M., FRANĚK J. 2017 – GeoPLASMA-CE: Assessment of methods for 3D-modelling. Deliverable D.T2.2.1: Synopsis of geological 3D-modelling methods; <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/GeoPLASMA-CE/CE177-GeoPLASMA-CE-D.T2.2.1-Synopsis-3D-modelling-methods-03.pdf>; dostęp 17.06.2021 r.

GÖTZL G., KAUFHOLD J., DEINHARDT A., GRIMM R., ZSCHOKE K., HEIERMANN M., BUKOVSKA Z., ČERNÁK R., JANŽA M., KLONOWSKI M., KOZDRÓJ W., HAJTO M., GREGORIN Š. 2019 – Get warm with shallow geothermal energy: the GeoPLASMA-CE position paper to foster the use of shallow geothermal in Central Europe. Freiberg, Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology, Department of Geology, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy: 25; <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/GeoPLASMA-CE/GeoPLASMA-CE-Handbook-2-ENG.pdf>; dostęp: 17.06.2021 r.

HAJTO M. 2014 – Modelowanie parametrów hydrogeologicznych i geotermicznych oraz automatyzacja obliczeń zasobów geotermalnych w skali regionalnej na przykładzie konstrukcji współczynnika mocy. *Prz. Geol.*, 62 (12): 852–855.

HAJTO M. 2018 – Potencjał geotermalny Polski oraz możliwości adaptacji międzynarodowej klasyfikacji zasobów geotermalnych UNFC-2009. *Nafta Gaz.*, 74 (12): 898–904.

HAJTO M., GÓRECKI W., KUŹNIAK T. 2013a – Klasyfikacja i metodyka oceny zasobów energii geotermalnej. [W:] Górecki (red.), *Atlas geotermalny Karpat wschodnich*. AGH, Kraków: 484–499.

HAJTO M., GÓRECKI W., SOWIŹDŻAŁ A., KUBIK B. 2013b – Ocena, na podstawie dostępnych danych, możliwości pozyskania i wykorzystania wód termalnych w rejonie Przylasku Rusieckiego w Krakowie. *Arch. Towarzystwa Geosynoptyków GEOS*, Kraków.

HAJTO M., KOZDRÓJ W., WYRWALSKA U. 2018 – Identyfikacja konfliktowości i wrażliwości środowiskowych związana z wykorzystaniem ciepła ziemi na przykładzie Krakowa i regionu Wałbrzycha: międzynarodowy projekt GeoPLASMA-CE (Interreg-CE). *Tech. Posz. Geol., Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 2: 39–53.

HAJTO M. (red.), CIAPAŁA B., DUDA R., KACZMARCZYK M., KMIECİK E., KROBICKI M., LUBOŃ W., MICHNA M., PAJĄK L., PAPIERNIK B., PEŁKA G., SOWIŹDŻAŁ A., SZCZYGIEL M., TOMASZEWSKA B., ZĄBEK G. 2019a – Wykonanie elementów oceny potencjału energetycznego i surowcowego wód termalnych i termalnych leczniczych w wybranych obszarach zurbanizowanych wraz z analizą geośrodowiskowych oraz ekonomicznych uwarunkowań ich zagospodarowania. Cz. 1. Zamawiający PIG-PIB, wykonawca AGH, umowa CRZP-240/1607/2018. *Arch. KSE WGGiOŚ AGH*, Kraków.

- HAJTO M. (red.), CIAPAŁA B., ZĄBEK G., MICHNA M., PAPIERNIK B. 2019b – Reviewed Strategies for the Use of Shallow Geothermal Energy in the Investigated Pilot Areas–Kraków. GeoPLASMA-CE Project Deliverable D.T4.2.3; Interreg CENTRAL EUROPE Programme Joint Secretariat Kir, Kraków: 70.
- HAJTO M., CIAPAŁA B., ZĄBEK G., PAPIERNIK B. 2019c – Variability of thermal conductivity – preliminary study of Kraków area (GeoPLASMA-CE). [W:] Jarzyna J., Krakowska-Madejska P., Sowizdżał A. (red.), CAGG-AGH-2019: “Challenges in Applied Geology and Geophysics: 100th anniversary of applied geology at AGH University of Science and Technology”: international scientific conference, 10–13 September 2019, Kraków, Book of abstracts. AGH, Kraków.
- HAJTO M., PRZELASKOWSKA A., MACHOWSKI G., DRABIK K., ZĄBEK G. 2020a – Indirect methods for validating shallow geothermal potential using advanced laboratory measurements from a regional to local scale – a case study from Poland. *Energies*, 13 (5515); <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/20/5515/pdf>; dostęp: 17.06.2021 r.
- HAJTO M. (red.), CIAPAŁA B., KACZMARCZYK M., PAJĄK L., SOWIZDŻAŁ A., SZCZYGIEL M., TOMASZEWSKA B. 2020b – Wykonanie elementów oceny potencjału energetycznego i surowcowego wód termalnych i termalnych leczniczych w wybranych obszarach zurbanizowanych wraz z analizą georodowiskowych oraz ekonomicznych uwarunkowań ich zagospodarowania. Cz. 2. Zamawiający PIG-PIB, wykonawca AGH, umowa CRZP-240/1607/2018. Arch. KSE WGGiOŚ AGH. Kraków.
- HOFMANN K., RIEDEL P., GÖRZ I. (eds.), GÖTZL G., STEINER C. 2017 – GeoPLASMA-CE: Assessment of methods for conflict mapping. Deliverable D.T2.2.3: Synopsis of mapping methods of land-use conflicts and environmental impact assessment; <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/GeoPLASMA-CE/CE177-GeoPLASMA-CE-D.T2.2.3-Synopsis-conflict-mapping-V1-080.pdf>; dostęp: 17.06.2021 r.
- <http://oze-kse.agh.edu.pl/>
- <http://www.energizers.agh.edu.pl>
- <http://www.oze.agh.edu.pl/>
- <http://zzwe.agh.edu.pl/>
- <https://geoplasma-ce.eu>
- <https://geothermproject.com/>
- <https://kse.agh.edu.pl/oferta-dydaktyczna/>
- <https://portal.geoplasma-ce.eu>
- <https://unesco-chair-arsenic.usq.edu.au/>
- <https://www.agh.edu.pl/doktoranci/szkoly-doktorskie/>
- <https://www.geothermal-dhc.eu/>
- <https://www.pgi.gov.pl/dokumenty-przegladarka/aktualnosci-2020/geotermia-srednotemperaturowa/>
- <https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/wm-aktualnosci/12536-posluchaj-ekspertow-stan-rozwoju-geotermii-w-polsce.html>
- <https://www.pgi.gov.pl/wody-mineralne/wm-aktualnosci/12561-geologia-w-mediach-wywiad-prasowy-o-nowych-perspektywach-geotermii.html>
- <https://www.researchgate.net/project/EnerGizerS-CO2-Enhanced-Geothermal-Systems-for-Climature-Neutral-Energy-Supply>
- <https://www.researchgate.net/project/GeoPLASMA-CE-Shallow-Geothermal-Energy-Planning-Assessment-and-Mapping-Strategies-in-Central-Europe>
- JIA Z., WANG B., SONG S., FAN Y. 2018 – Blue energy: current technologies for sustainable power generation from water salinity gradient. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 31: 91–100.
- KUŹNIAK T., HAJTO M. 2006 – Metodyka oceny ekonomicznej dokumentowanego zbiornika hydrogeotermalnego oraz szacowanie jego zasobów dyspozycyjnych. [W:] Górecki W. (red.), Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków: 163–166.
- MAĆKOWSKI T., SOWIZDŻAŁ A., WACHOWICZ-PYZIK A. 2019 – Seismic methods in geothermal water resource exploration: case study from Łódź Trough, central part of Poland. *Geofluids*, 3052806: 1–11.
- MIECZNIK M., SOWIZDŻAŁ A., TOMASZEWSKA B., PAJĄK L. 2015 – Modelling geothermal conditions in part of the Szczecin Trough – the Chociwel area. *Geologos*, 21 (3): 187–196.
- MPEC, 2019 – Plan rozwoju MPEC w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na ciepło. Wieloletni plan rzeczowo-finansowy Spółki na lata 2018–2024.
- SIEKIERKA A., SMOLIŃSKA-KEMPISTY K., BRYJAK M. 2020 – Charge-doped electrodes for power production using the salinity gradient in CapMix. *Desalination*, 495, 114670.
- SMOLIŃSKA-KEMPISTY K., SIEKIERKA A., BRYJAK M. 2020 – Interpolymer ion exchange membranes for CapMix proces. *Desalination*, 482, 114384.
- SOWIZDŻAŁ A. 2016 – Possibilities of petrogeothermal energy resources utilization in central part of Poland. *App. Ecol. Environ. Res.*, 14 (2): 555–574.
- SOWIZDŻAŁ A. 2018 – Geothermal energy resources in Poland – Overview of the current state of knowledge. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 82 (2): 4020–4027.
- SOWIZDŻAŁ A., KACZMARCZYK M. 2016 – Analysis of thermal parameters of Triassic, Permian and Carboniferous sedimentary rocks in central Poland. *Geol. J.*, 51 (1): 65–76.
- SOWIZDŻAŁ A., PAPIERNIK B., MACHOWSKI G., HAJTO M. 2013 – Characterization of petrophysical parameters of the Lower Triassic deposits in prospective location for Enhanced Geothermal System (central Poland). *Geol. Quart.*, 57 (4): 729–744.
- SOWIZDŻAŁ A., CHMIEŁOWSKA A., TOMASZEWSKA B., OPERACZ A., CHOWANIEC J. 2019a – Could geothermal water and energy use improve living conditions?: environmental effects from Poland. *Arch. Environ. Prot.*, 45 (3): 109–118.
- SOWIZDŻAŁ A., MAĆKOWSKI T., WACHOWICZ-PYZIK A. 2019b – Recognition of Lower Cretaceous geothermal potential of Central Poland with the application of geophysical methods. *Sustain. Water Resour. Manag.*, 5 (4): 1469–1478.
- SOWIZDŻAŁ A., HAJTO M., HAŁAJ E. 2020a – Thermal waters of central Poland: a case study from Mogilno-Łódź Trough, Poland. *Environ. Earth Sci.*, 79 (5): 1–11.
- SOWIZDŻAŁ A., MAĆKOWSKI T., WACHOWICZ-PYZIK A. 2020b – Variability of lithofacial parameters of Lower Jurassic geothermal aquifer in the Malanów region revealed by interpretation of geophysical well logs and seismic data. *Environ. Earth Sci.*, 79 (1): 1–11.
- SOWIZDŻAŁ A., GŁADYSZ P., PAJĄK L. 2021 – Sustainable Use of Petrothermal Resources – a Review of the Geological Conditions in Poland. *Resources*, 10 (1): 81–18.
- SZULC A., TOMASZEWSKA B. 2018a – Implementation of the Air Quality Plan guidelines for the Malopolska Region based on the example of the health resort Rabka Zdrój. *E3S Web of Conferences*, 0017644: 1–8.
- SZULC A., TOMASZEWSKA B. 2018b – Koncepcja wykorzystania lokalnych zasobów odnawialnych źródeł energii jako możliwość ograniczenia niskiej emisji w uzdrowisku Rabka-Zdrój – założenia do projektu. *Tech. Posz. Geol., Geotermia, Zrównoważony Rozwój*; 57 (2): 185–195.
- SZULC A., TOMASZEWSKA B. 2019a – Perspectives on the use of geothermal heat pump systems to reduce low emitted air pollutants in the health resort areas. *E3S Web of Conferences*, 00087, 116: 1–9.
- SZULC A., TOMASZEWSKA B. 2019b – Preliminary assessment of the wind conditions as a potential for using wind micro-installation to improve air quality in Poland. *E3S Web of Conferences*, 00031, 86: 1–6.
- SZULC -WRÓŃSKA A., TOMASZEWSKA B. 2020a – Investigation of use small wind turbines under local wind conditions in Rabka-Zdrój. *E3S Web of Conferences*, 06005154: 1–6.
- SZULC-WRÓŃSKA A., TOMASZEWSKA B. 2020b – Low enthalpy geothermal resources for local sustainable development: a case study in Poland. *Energies*, 13 (19): 1–20.
- SZULC -WRÓŃSKA A., TOMASZEWSKA B. 2021 – Main aspect of the use shallow groundwater as a heat source in households. *WGC 2020+1 World Geothermal Congress 2020+1: proceedings: Reykjavik, Iceland, March-October 2021/International Geothermal Association*: 1–7.
- TOMASZEWSKA B., BUNDSCHUH J., PAJĄK L., DENDYS M., DELGADO QUEZADA V., BODZEK M., AURORA ARMIENTA M., ORMACHEA MUÑOZ M., 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., 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, 115151.
- TUFA R.A., CURCIO E., FONTANANOVA E., DI PROFIO G. 2017 – Membrane-based processes for sustainable power generation using water: pressure-retarded osmosis (PRO), reverse electro dialysis (RED), and capacitive mixing (CAPMIX). [W:] *Comprehensive Membrane Science and Engineering (Second Edition)*, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, 3: 206–248.
- WACHOWICZ-PYZIK A., SOWIZDŻAŁ A., PAJĄK L., ZIÓŁKOWSKI P., BADUR J. 2020 – Assessment of the effective variants leading to higher efficiency for the geothermal doublet, using numerical analysis-case study from Poland (Szczecin Trough). *Energies*, 13: 1–20.
- WÓJCICKI A., SOWIZDŻAŁ A., BUJAKOWSKI W. (red.) 2013 – Ocena potencjału, bilansu cieplnego i perspektywicznych struktur geologicznych dla potrzeb zamkniętych systemów geotermicznych (HDR) w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji: 11.06.2021 r.

Akceptowano do druku: 15.07.2021 r.