

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

Anna Sowizdzał

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Surowców Energetycznych
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

KRAKÓW 2018

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):	4
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2 Spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe	4
5. Komentarz autorski do osiągnięcia badawczego.....	5
5.1 Wprowadzenie.....	5
5.2 Analiza parametrów termicznych skał osadowych budujących zbiorniki petrogeotermalne [P1] 9	
5.3 Analiza parametrów petrofizycznych skał osadowych budujących zbiorniki petrogeotermalne [P2]	10
5.4 Ocena zasobów petrogeotermalnych [P3]	11
5.5 Modelowanie pracy systemu EGS [P4].....	12
5.6 Potencjał geotermalny zapadliska przedkarpackiego [P5]	13
5.7 Zasoby hydrogeotermalne skał osadowych [P6]	14
5.8 Zasoby geotermalne w Polsce [P7]	15
5.9 Podsumowanie.....	16
5.10 Literatura uzupełniająca do autoreferatu	17
6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.....	19
6.1 Osiągnięcia naukowe uzyskane po doktoracie	19
6.2 Osiągnięcia naukowe uzyskane przed doktoratem.....	22
7. Działalność dydaktyczna	23
8. Osiągnięcia w zakresie działalności organizacyjnej i popularyzatorskiej.....	24
9. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego – Tabela 1	26

1. Imię i nazwisko

Anna Sowizdzał

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

1997 r. Świadectwo Dojrzałości - Liceum Ekonomiczne przy Zespole Szkół Ekonomiczno-Chemicznych w Trzebini, specjalność: finanse i rachunkowość;

2002 r. Magister inżynier - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Kierunek: Górnictwo i Geologia; specjalność: Geologia naftowa i Geotermia;

Praca magisterska *Zysk ekologiczny płynący z zastosowania geotermii na przykładzie Ciepłowni Geotermalnej dla miasta Zakopane* obroniona na ocenę celującą. Studia ukończone z wynikiem bardzo dobrym;

Promotor: dr inż. Mirosław Janowski;

2009 r. Doktor Nauk o Ziemi, dyscyplina: Geologia - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska.

Rozprawa doktorska: *Analiza geologiczna i ocena zasobów wód i energii geotermalnej formacji mezozoicznej niecki szczecińskiej*;

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Wojciech Górecki;

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2009-2010 Asystent

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (WGGiOŚ)
Katedra Surowców Energetycznych (KSE)

2010-obecnie Adiunkt

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (WGGiOŚ)
Katedra Surowców Energetycznych (KSE)

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Ocena potencjału petrogeotermalnego formacji osadowych Polski

4.2 Spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Pełne teksty publikacji oraz oświadczenia współautorów o indywidualnym wkładzie w powstanie prac przedstawiono odpowiednio w zał. 5 i 6. Kolejność przedstawionych publikacji wynika z chronologii realizacji badań, natomiast roczniki ich wydawania są efektem zróżnicowanej długości trwania procesów wydawniczych.

[P1] Sowizdzał A., Kaczmarczyk M., 2016 - Analysis of thermal parameters of Triassic, Permian and Carboniferous sedimentary rocks in central Poland, Geological Journal, 51, 1, 65-76.

Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016): 30

IF - 2,978; IF₅ - 2,260;

[P2] Sowizdzał A., Semyrka R., 2016 - Analyses of permeability and porosity of sedimentary rocks in terms of unconventional geothermal resource explorations in Poland, Geologos, 22, 2, 149–163.

Punktacja (lista B czasopism MNiSW, 2016): 14

[P3] Sowizdzał A., 2016 - Possibilities of petrogeothermal energy resources utilization in central part of Poland, Applied Ecology and Environmental Research, vol. 14 nr 2, 555–574.

Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2016): 15

IF - 0,681; IF₅ - 0,727;

[P4] Bujakowski W., Barbacki A., Miecznik M., Pająk L., Skrzypczak R., Sowizdzał A., 2015 - Modelling geothermal and operating parameters of EGS installations in the Lower Triassic sedimentary formations of the central Poland area, Renewable Energy vol. 80, 441–453.

Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 35

IF - 3,476; IF₅ - 3,982;

[P5] Sowizdzał A., 2015 - Characterization of geothermal reservoirs parameters in Polish part of Carpathian Foredeep. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences vol. 10 no. 2, 237–246.

Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 15

IF - 0,73; IF₅ - 0,835;

[P6] Górecki W., **Sowizdzał A.**, Hajto M., Wachowicz-Pyzik A., 2015 - Atlases of geothermal waters and energy resources in Poland; Environmental Earth Sciences, vol. 74 iss. 12, p.7487–7495.

Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2015): 25

IF - 1,765; IF₅ - 2,013;

[P7] **Sowizdzał A.**, 2018 - Geothermal energy resources in Poland – Overview of the current state of knowledge, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.82, p.3, p. 4020-4027.

Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2017): 45

IF - 8,050; IF₅ - 9,122;

5. Komentarz autorski do osiągnięcia badawczego

Głównym osiągnięciem naukowym jest wieloaspektowa ocena możliwości wykorzystania potencjału geotermalnego słabo zawodnionych struktur osadowych Polski poprzez wykorzystanie technologii EGS (ang. Enhanced Geothermal Systems). Potencjał petrogeotermalny utożsamiany jest z zasobami energii zakumulowanej w skałach charakteryzujących się niskimi wartościami porowatości i przepuszczalności, przy jednoczesnym występowaniu wysokich wartości temperatur wglębnych.

5.1 Wprowadzenie

Moja działalność naukowa od początku związana jest z energetyką geotermalną. W kręgu moich zainteresowań naukowych jest rozpoznanie potencjału geotermalnego różnych rejonów Polski, poprzez charakterystykę parametrów zbiornikowych, określenie zasobów geotermalnych i wskazywanie miejsc szczególnie predysponowanych do efektywnego zagospodarowania wód i energii geotermalnej.

Energia geotermalna jest jednym z lokalnych, odnawialnych źródeł energii, dostępnych i perspektywicznych do praktycznego zagospodarowania w wielu rejonach Polski. Zasoby geotermalne nie są jednak rozmieszczone równomiernie na obszarze naszego kraju. Ich efektywne wykorzystanie wymaga odpowiedniego rozpoznania i zaprojektowania inwestycji - kluczowe znaczenie dla jej powodzenia będzie miał wybór właściwej lokalizacji.

Energia geotermalna stanowi naturalne ciepło wnętrza Ziemi zgromadzone w skałach oraz wypełniających je płynach, przy czym znacznie większe jej ilości zgromadzone są w skałach niż w wodach czy parach. Płyyny są nośnikiem ciepła Ziemi z jej wnętrza na powierzchnię. Wypełniają one szczeliny i pory skalne, tworząc na różnych głębokościach złoża wód i par geotermalnych (Barbier, 1997). Celem prac poszukiwawczych jest uzyskanie wód o największej temperaturze złożowej i eksploatacyjnej, maksymalnej wydajności, najlepiej w warunkach artezyjskich i o najniższej mineralizacji. Warunki hydrogeotermalne są podstawowym czynnikiem decydującym o możliwości efektywnego wykorzystania zasobów hydrogeotermalnych. Warunkiem koniecznym dla akumulacji wód podziemnych jest istnienie skał zbiornikowych o korzystnych parametrach. Wody wypełniające przestrzenie skalne powinny się charakteryzować odpowiednimi parametrami (temperatura, wydajność, mineralizacja/skład chemiczny) wskazującymi na możliwość ich wykorzystania do różnych celów (ciepłowniczych, balneologicznych, rekreacyjnych, konsumpcyjnych i innych). Istotnym aspektem wpływającym na opłacalność eksploatacji geotermalnej jest także głębokość

zalegania warstwy wodonośnej. Z jednej strony w głębiej zalegających zbiornikach należy się spodziewać występowania odpowiednio wyższych temperatur złożowych. Z drugiej strony w głęboko pograżonych strefach basenu występują skały wodonośne poddane zmianom diagenetycznym i posiadające słabsze własności zbiornikowe, co ogranicza wydajności i możliwości zatłaczania wody w warstwę chłonną. Parametry takie jak temperatura i mineralizacja wód oraz wydajność ujęć będą determinować sposoby wykorzystania energii wnętrza Ziemi.

Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce rozwija się bardzo powoli. Pomimo istnienia w wielu rejonach Polski odpowiednich zasobów geotermalnych, ze względu na szereg innych czynników, wykorzystanie tej energii stanowi obecnie ułamek procenta w całkowitym bilansie energetycznym Polski (0,25%, wg GUS, 2017).

Wykorzystywane dotychczas w Polsce zasoby energii hydrogeotermalnej są stosunkowo dobrze rozpoznane i udokumentowane. Od początku swojej pracy naukowej zajmowałam się analizą geologicznych uwarunkowań występowania zasobów geotermalnych w Polsce i brałam udział w realizacji serii *Atlasów geotermalnych* (Górecki (red.) i in, 2006a, 2006b, 2011, 2012, 2013) przedstawiających szereg aspektów występowania wód geotermalnych w formacjach osadowych Niziu Polskiego, zapadliska przedkarpackiego i Karpat. Efektywne zagospodarowanie zasobów geotermalnych zawsze powinno być poprzedzone analizą budowy geologicznej i parametrów geotermalnych w danym rejonie, decydujących o opłacalnej eksploatacji.

Podstawowym sektorem wykorzystania energii geotermalnej w Polsce jest ciepłownictwo. Oprócz wykorzystywania wód geotermalnych do celów grzewczych, wody te znajdują obecnie zastosowanie w coraz prężniej rozwijających się w Polsce ośrodkach rekreacyjnych, zakładach balneoterapeutycznych i w celach leczniczo-rekreacyjnych. Inne zastosowania mają marginalne znaczenie (np. hodowla ryb). Obecnie nie wykorzystuje się też komercyjnie polskich zasobów geotermalnych do produkcji energii elektrycznej, chociaż prowadzone były badania w tym zakresie, w których brałam udział w latach 2011-2014 realizując *Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce* (Bujakowski, Tomaszewska (red.) i in., 2014).

Od roku 2010 jestem zaangażowana w badania nad możliwościami wykorzystania w Polsce energii petrogeotermalnej. Jest to energia zakumulowana w skałach charakteryzujących się niskimi wartościami porowatości i przepuszczalności, przy jednoczesnym występowaniu wysokich wartości temperatur w głębinach. Zbiorniki petrogeotermalne tworzą tzw. gorące suche skały (nazewnictwo przyjęte z nomenklatury anglojęzycznej HDR - Hot Dry Rocks). Ze względu na specyfikę skał osadowych, pomimo występowania w nich niskich parametrów zbiornikowych (porowatość, przepuszczalność), zawierają one niewielkie ilości wody powodując, że nie są całkowicie suche. Pomimo tego w odniesieniu do skał będących zbiornikami energii petrogeotermalnej przyjęło się stosować określenie „HDR”. Energia jest transportowana na powierzchnię za pomocą mediów (najczęściej wody, ale prowadzone są także prace eksperymentalne z wykorzystaniem innych substancji np. CO₂ – obecnie jestem zaangażowana w realizację takiego projektu) wprowadzonych do zbiornika z powierzchni przy zastosowaniu szczelinowania hydraulicznego. Systemy takie nazywane są EGS – Enhanced Geothermal System - w tłumaczeniu na język polski wspomagane lub wzbudzone systemy geotermalne. Są to

systemy niekonwencjonalne, w odróżnieniu od klasycznych systemów, w których nośnikiem energii jest woda podziemna zakumulowana w zbiorniku geotermalnym. Badania nad możliwościami wykorzystania zasobów ciepłych zgromadzonych w skałach są jednymi z pierwszych tego typu badań w Polsce.

W przypadku zasobów geotermalnych znana jest i powszechnie dostępna technologia zagospodarowania zasobów konwencjonalnych (zarówno nisko jak i wysokotemperaturowych). Technologia zagospodarowania głębiej zalegających zasobów niekonwencjonalnych przy wykorzystaniu Enhanced Geothermal Systems (EGS) jest rozwijana na świecie od lat 70-tych XX wieku (pierwszy projekt zrealizowano w Los Alamos National Laboratory, USA). Powstała wówczas idea systemów HDR (z czasem terminologia ewaluowała i obecnie mówi się częściej o systemach EGS) wykorzystujących ciepło ziemi w zamkniętych systemach geotermicznych poprzez sztuczne zwiększanie hydraulicznej wydajności zbiornika geotermalnego (Tester i in., 2006). Systemy EGS stwarzają możliwość wykorzystania energii geotermalnej, w sytuacji gdy warunki hydrogeotermalne danej lokalizacji (słabe parametry zbiornikowe skał) uniemożliwiają uzyskanie odpowiednio wysokiej wydajności otworów wiertniczych. Koncepcja ta znacznie zwiększa potencjał zasobowy, ponieważ umożliwia wytwarzanie energii na znacznie większych obszarach niż było to dotychczas możliwe, zarówno na świecie jak i w Polsce.

W wielu rejonach naszego kraju problemem efektywnego zagospodarowania zasobów geotermalnych jest niska wydajność otworów wiertniczych wynikająca ze słabych parametrów petrofizycznych skał zbiornikowych (niskie wartości przepuszczalności i porowatości), co dotychczas eliminowało takie obszary jako potencjalnie perspektywiczne dla wykorzystania energii geotermalnej. Rozwój technologii EGS powoduje, że to właśnie skały charakteryzujące się niskimi wartościami porowatości i przepuszczalności, przy odpowiednich warunkach termicznych i podatności na szczelinowanie, są celem poszukiwań petrogeotermalnych.

Pomimo ciągle wysokich kosztów tej technologii prognozy rynku światowego wskazują, że istnieją realne szanse, aby technologia ta stała się konkurencyjna w najbliższej przyszłości. Pokazują one, że energia petrogeotermalna ze względu na jej szerokie występowanie, stanowi energię przyszłości i w nadchodzących latach należy spodziewać się rozwoju tego sektora energetycznego (za EGEC, 2013).

Wyniki badań uwzględnione w publikacjach [P1-P7]

W celu oceny potencjału petrogeotermalnego skał osadowych Polski, wspólnie z naukowcami z Akademii Górniczo-Hutniczej (WGGiOŚ), Polskiej Akademii Nauk (IGSMiE) oraz Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, prowadziłam badania, których wyniki przedstawiono w publikacjach [P1-P4]. W rezultacie prowadzonych badań określono najbardziej perspektywiczny obszar dla lokalizacji systemów EGS w skałach osadowych w Polsce. Analizowane poziomy zbiornikowe ze względu na głębokie pograżenie nie były wcześniej rozpatrywane jako perspektywiczne zbiorniki energii hydrogeotermalnej. Kluczowym elementem było określenie krytycznych wymagań dotyczących lokalizacji instalacji EGS. Na podstawie doświadczeń międzynarodowych (Brown et al, 2012; Tester et al, 2006; Tenzer, 2001; Sausse et al, 2007; Antkowiak et al, 2010) określono wartości progowe dla parametrów termicznych skał (temperatury >150°C) oraz parametrów petrofizycznych (jak najniższe wartości porowatości i przepuszczalności skał zbiornikowych), jak również minimalną miąższość zbiornika (300 m). W celu określenia

parametrów zbiornikowych potencjalnych utworów perspektywicznych przeprowadzono badania na pobranych próbach skalnych. Właściwe rozpoznanie potencjału geotermalnego każdego obszaru związane jest m.in. z analizą parametrów petrofizycznych oraz termicznych skał zbiornikowych. Jest to kluczowe z punktu widzenia określenia możliwości zagospodarowania energii, zarówno zgromadzonej w wodach, jak i skałach.

Badania termiczne, przedstawione w publikacji [P1], przeprowadziłam i opracowałam przy wsparciu dra inż. Michała Kaczmarczyka (WGGiOŚ AGH). Analizę parametrów petrofizycznych skał osadowych budujących zbiorniki petrogeotermalne wykonałam przy wykorzystaniu wyników badań wykonanych na Akademii Górniczo-Hutniczej przez dra inż. Romana Semyrkę [P2]. Wszystkie wykonane i przedstawione w publikacjach [P1-P2] badania były niezbędne do oszacowania zasobów energii petrogeotermalnej zakumulowanej w zbiornikach karbonu dolnego, permu dolnego, triasu dolnego i środkowego w rejonie Polski centralnej. Wyniki wykonanych przeze mnie obliczeń oraz opracowane mapy zasobowe zamieściłam w artykule [P3] opublikowanym w *Applied Ecology and Environmental Research*. Od wielu lat współpracuje z pracownikami Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Rezultaty tej współpracy widoczne są w publikacji [P4] zamieszczonej w *Renewable Energy*, w której na podstawie opracowanego przeze mnie modelu koncepcyjnego w rejonie Polski centralnej, zespół naukowców pod kierownictwem dra hab. inż. Wiesława Bujakowskiego (IGSMiE PAN) wykonał modelowanie pracy potencjalnego systemu geotermalnego w tym rejonie.

Od początku pracy naukowej prowadziłam badania zmierzające do określenia perspektyw wykorzystania zasobów geotermalnych zlokalizowanych w różnych rejonach Polski. Brałam udział w pracach obejmujących wybór optymalnych stref dla budowy instalacji geotermalnych, charakterystykę parametrów zbiorników hydrogeotermalnych, ocenę zasobów geotermalnych i określenie potencjału geotermalnego na obszarze obejmującym łącznie ok. 80% powierzchni kraju – w zakresie występowania geotermalnych zbiorników formacji osadowych w Polsce.

Szczególną uwagę poświęciłam badaniom geotermalnym w rejonie zapadliska przedkarpackiego, które prowadzę od roku 2009, od kiedy zostałam koordynatorem merytorycznym, a także jednym z głównych wykonawców prac związanych z realizacją *Atlasu geotermalnego zapadliska przedkarpackiego* (kierownik projektu prof. dr hab. inż. Wojciech Górecki). W kolejnych latach w tym rejonie prowadziłam także badania pod kątem możliwości wykorzystania energii zgromadzonej w gorących skałach (m.in. przy współpracy z dr Ewą Kurowską z Uniwersytetu Śląskiego). Rezultaty tych prac przedstawiłam w *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* w publikacji [P5].

Brałam udział w badaniach geotermalnych, w których efekcie została wydana seria *Atlasów geotermalnych* (Górecki (red) i in, 2006a, 2006b, 2011, 2012, 2013), stanowiąca wszechstronne i wyczerpujące źródło informacji o występowaniu oraz możliwościach eksploatacji wód geotermalnych na obszarze Niżu Polskiego, Karpat zachodnich, Karpat wschodnich oraz zapadliska przedkarpackiego. Rezultaty prowadzonych badań zostały przedstawione w publikacji [P6].

Uczestniczyłam w realizacji wszystkich Atlasów wchodzących w skład serii, jednak za największe swoje osiągnięcie uważam mój wkład w realizację i koordynację merytoryczną oraz organizacyjną *Atlasu geotermalnego zapadliska przedkarpackiego* (2011).

Od roku 2011 brałam udział w pracach badawczych związanych z analizą możliwości wykorzystania wód geotermalnych w Polsce do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych. W wyniku ścisłej interdyscyplinarnej współpracy kilku wiodących ośrodków naukowych – IGSMiE PAN, AGH, PIG-PIB – powstał *Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce*, którego redaktorami naukowymi byli dr hab. inż. Wiesław Bujakowski oraz dr hab. inż. Barbara Tomaszewska. Celem tej współpracy była analiza polskich warunków hydrogeotermalnych w kontekście konwersji energii wód geotermalnych na energię elektryczną i ciepłą oraz wskazanie sposobu efektywnego wdrożenia technologii binarnych, uwzględniającego istniejący potencjał geotermalny. Wyniki tych badań mają charakter wdrożeniowy, a wykonana praca jest innowacyjna w skali kraju. W projekcie koordynowałam pracę zespołu AGH i zajmowałam się wytypowaniem oraz charakterystyką głównych struktur hydrogeotermalnych interesujących dla technologii binarnych w rejonie Niziu Polskiego, Karpat i Sudetów. W efekcie analiz wskazano najbardziej perspektywiczne struktury Niziu Polskiego – utwory jury dolnej w obrębie niecki mogileńsko-lódzkiej oraz niecki szczecińskiej, struktury geotermalne niecki podhalańskiej oraz wybrany obszar Sudetów. Prace analityczne w rejonie Sudetów prowadziłam wspólnie z prof. dr hab. inż. Wojciechem Ciężkowskim z Politechniki Wrocławskiej. Z kolei prace w rejonie Podhala realizowane były wspólnie z dr hab. inż. Beatą Kępińską z IGSMiE Polskiej Akademii Nauk. Analizy w rejonie Niziu Polskiego wykonywałam przy wsparciu kolegów z Katedry Surowców Energetycznych WGGiOŚ AGH.

Podsumowanie wszystkich moich badań zmierzających do rozpoznania potencjału geotermalnego skał osadowych w Polsce stanowi ostatnia, najnowsza (2018) publikacja [P7], która została wydana w *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Publikacja jest pewnym rodzajem kompendium dotychczasowej wiedzy na temat możliwości wykorzystania istniejących zasobów energii geotermalnej w Polsce, zarówno w aspekcie produkcji energii elektrycznej jak i ciepłej.

Wszystkim współpracownikom – naukowcom, dzięki którym mogłam się rozwijać i realizować prace badawcze, składam serdeczne podziękowania.

Szczególne podziękowania składam na ręce Pana Profesora Wojciecha Góreckiego, którego jestem wychowanką. Od początku mojej drogi naukowej pracuje w zespole Profesora, realizuje projekty naukowe pod jego kierownictwem, uczę się i rozwijam. Mam nadzieję, że będę godnie kontynuować zapoczątkowane przez niego badania poszukiwawcze w Polsce, zmierzające do szerszego zagospodarowania zasobów geotermalnych.

Poniżej przedstawiam krótką charakterystykę publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

5.2 Analiza parametrów termicznych skał osadowych budujących zbiorniki petrogeotermalne [P1]

Kluczowym aspektem wszystkich badań geotermalnych są badania parametrów termicznych, których wyniki przedstawiono w publikacji [P1]. W celu określenia parametrów termicznych skał osadowych przeprowadzono pomiar i analizę wartości współczynnika przewodności ciepłej skał osadowych budujących zbiorniki petrogeotermalne centralnej części Niziu Polskiego, jak również przeanalizowano wyniki badań ciepła właściwego

wykonane na próbkach skalnych z obszaru badań. Parametry te determinują możliwość efektywnego odbioru ciepła od gorących formacji skalnych i skutecznego przekazania go na powierzchnię terenu. Przewodność cieplna jest jednym z podstawowych parametrów termicznych skał, który charakteryzuje intensywność wymiany ciepła na drodze przewodzenia w danym ośrodku skalnym. Przewodność cieplna ośrodka skalnego zależy od: składu mineralnego, uziarnienia, porowatości, wielkości i kształtu porów, stosunków objętościowych fazy stałej, ciekłej i gazowej oraz wilgotności badanej struktury. Decydujący wpływ na wartość współczynnika przewodności cieplnej ma jednak szkielet skalny (Plewa, 1994). Z punktu widzenia poszukiwania osadowych skał zbiornikowych dla systemów EGS istotne jest występowanie skał o jak najniższej porowatości i jak najwyższej przewodności cieplnej skały.

Pomiary zostały wykonane dla próbek suchych. Przebadano skały węglanowe (T2, T1), terygeniczne (T1, P, C) oraz mułowce (T3, T2, C). Współczynnik przewodności cieplnej skał zbadano w dwóch kierunkach: prostopadłym i równoległym (jeżeli tylko pozwolił na to rozmiar próbki). Dla każdej próby badanie wykonywano kilkakrotnie zmieniając standard pomiaru i analizując uzyskane wyniki pod kątem ich poprawności.

Wyniki przeprowadzonych badań termicznych na próbkach skał osadowych pobranych z utworów wytypowanych jako potencjalnie perspektywiczne dla lokalizacji systemów EGS, wskazują na duże zróżnicowanie zarówno przewodności cieplnej jak i ciepła właściwego analizowanych próbek skalnych. Wśród skał osadowych jako zbiorniki petrogeotermalne rozpatrywane są przede wszystkim piaskowce oraz wapienie o korzystnych parametrach zbiornikowych dla tego typu systemów. Wśród tych typów skał wyższymi wartościami parametrów termicznych charakteryzują się piaskowce, jakkolwiek zauważalna jest duża ich zmienność nawet w profilu tego samego otworu. Zarówno średnia przewodność cieplna jak i ciepło właściwe pomierzone dla próbek skał węglanowych charakteryzują się niższymi średnimi wartościami od wartości pomierzonych dla próbek skał terygenicznych, co nie oznacza, że lokalnie nie mogą one być rozpatrywane jako perspektywiczne zbiorniki energii petrogeotermalnej. Jednoznacznie natomiast zauważalny jest związek pomiędzy parametrami termicznymi skały a jej porowatością - im skała bardziej zwięzła tym lepsze parametry termiczne są rejestrowane.

5.3 Analiza parametrów petrofizycznych skał osadowych budujących zbiorniki petrogeotermalne [P2]

Badania petrofizyczne stanowią istotny element w rozpoznaniu potencjału geotermalnego danego regionu. Porowatość i przepuszczalność skał bezpośrednio wpływa na wydajność otworów wiertniczych co z kolei, w połączeniu z innymi elementami systemu, warunkuje opłacalność projektów geotermalnych. W celu rozpoznania potencjału petrogeotermalnego skał osadowych Polski centralnej pobrano ponad 300 prób skał osadowych z głęboko pograżonych zbiorników geotermalnych, dla których wykonano badania petrofizyczne - 300 analiz porozymetrycznych oraz 65 oznaczeń parametru przepuszczalności. Przedmiotem badań były skały osadowe budujące zbiorniki permu, karbonu i triasu.

W efekcie przeprowadzonych badań laboratoryjnych na próbkach skał otrzymano wartości ich parametrów petrofizycznych w zakresie oceny ilościowej: gęstości objętościowej, szkieletowej, porowatości efektywnej, średnicy por, powierzchni właściwej i przepuszczalności, oraz oceny jakościowej, charakteryzującej ich typ przestrzeni porowej. Wyniki przedstawiono w publikacji [P2].

Wyniki tych badań wskazują, że na dużych głębokościach (przeważnie powyżej 3000 m ppt) występują skały osadowe charakteryzujące się niskimi wartościami porowatości (w większości poniżej 5%) i przepuszczalności (sporadycznie powyżej 1 mD). Te parametry uniemożliwiają akumulacje w tych skałach wód geotermalnych, mogą natomiast wskazywać na istnienie potencjalnych zbiorników energii petrogeotermalnej, co przy uwzględnieniu warunków termicznych danego regionu pozwala je uznać za perspektywiczne dla potencjalnego zagospodarowania energii petrogeotermalnej.

Wysokie wartości parametrów zbiornikowych skał (zarówno porowatość efektywna jak i przepuszczalność) związane są z piaskowcami permu, podczas gdy stosunkowo niskie wartości analizowanych parametrów (korzystne dla systemów EGS) związane są z piaskowcami karbonu i triasu dolnego. Średnia porowatość skał węglanowych jest zróżnicowana w zakresie od ułamka procenta do ponad 5% dla wszystkich rozpatrywanych poziomów stratygraficznych, przy czym wapienie karbonu cechują się najniższymi wartościami.

Korzystne dla systemów EGS parametry zbiornikowe związane są z piaskowcami karbonu oraz triasu dolnego zlokalizowanymi w rejonie Polski centralnej (w obrębie niecki mogileńsko-łódzkiej oraz fragmentarycznie w obrębie wału kujawskiego). Natomiast wśród skał węglanowych potencjalnie perspektywiczne są wapienie karbońskie występujące w tym rejonie. We wszystkich badanych otworach występujące tam odmiany litologiczne charakteryzują się głównie bardzo niską i niską porowatością, o dominującym, porowoszczelinowym i szczelinowym typie przestrzeni porowej. Podwyższone wartości porowatości o porowym typie przestrzeni związane są jedynie z utworami permu.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że skały osadowe w centralnej części Polski na dużych głębokościach (próbki pobrano z głębokości pomiędzy 2 200 a 5 000 m ppt) charakteryzują się niskimi wartościami porowatości i przepuszczalności, co przy uwzględnieniu warunków termicznych danego regionu pozwala je uznać za perspektywiczne dla potencjalnego zagospodarowania energii petrogeotermalnej.

5.4 Ocena zasobów petrogeotermalnych [P3]

Zagadnienie oceny zasobów geotermalnych jest tematem, którym zajmowałam się od początku swojej pracy naukowej.

Publikacja [P3] przedstawia wyniki szacowania zasobów energii petrogeotermalnej zakumulowanej w skałach osadowych Polski centralnej. Wytypowane poziomy zbiornikowe - karbonu dolnego, permu dolnego, triasu dolnego i środkowego – zlokalizowane w centralnej części Niżu Polskiego, zostały szczegółowo scharakteryzowane pod kątem parametrów zbiornikowych. Przeprowadzona analiza parametrów petrofizycznych, w tym termicznych, na pobranych próbkach skalnych [P1, P2] pozwoliła na określenie istotnych z punktu widzenia modelowania pojemności cieplnej cech gorących suchych skał osadowych (piaskowców, wapieni, dolomitów), niezbędnych do przeprowadzenia oceny zasobów petrogeotermalnych.

W celu oszacowania statycznych zasobów geotermalnych określających całkowitą ilość ciepła zgromadzonego w wolnej wodzie i matrycy skalnej w odniesieniu do średniej rocznej temperatury na powierzchni terenu wykorzystano metodykę opracowaną i udoskonalaną w Katedrze Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej od lat 90-tych XX wieku pod przewodnictwem prof. Góreckiego (Górecki i in., 1993, 1995). Jest to metodyka oparta na

zasadach oceny zasobów geologicznych stosowanych w krajach Unii Europejskiej (Haenel, Staroste, 1988; Hurter, Haenel, 2002) oraz obliczeniach zasobów energii geotermalnej w oparciu o objętościowy model kalkulacji (Muffler, Cataldi, 1979) i dotychczas miała zastosowanie do oceny zasobów hydrogeotermalnych. Zmodyfikowałam i dostosowałam tę metodykę na potrzeby oceny zasobów petrogeotermalnych. Zasoby petrogeotermalne związane są przede wszystkim z energią zakumulowaną w skałach, a parametry występujących w nich w niewielkich ilościach wód mają mniejsze znaczenie. Nośnikiem ciepła w systemach wykorzystujących ten typ energii są media (zwykle woda) wprowadzane otworami wiertniczymi do nagranych formacji skalnych (HDR - Hot Dry Rocks). Zatem ocena zasobów dotyczy tylko energii zgromadzonej w skałach.

W efekcie przeprowadzonych obliczeń określiłam jednostkowe i całkowite zasoby energii petrogeotermalnej na wytypowanym obszarze badawczym dla zbiorników karbonu dolnego, permu dolnego, triasu dolnego i środkowego. Zasoby geotermalne zostały obliczone z uwzględnieniem kryterium minimalnej miąższości skał zbiornikowych oraz głębokości ich zalegania (maksymalna głębokość zalegania stropu poziomu zbiornikowego została określona jako 6000 m p.p.m). Głębokie zaleganie utworów zbiornikowych ma istotny wpływ na wielkość szacowanych zasobów, jednocześnie powodując ograniczenia techniczno-ekonomiczne późniejszej eksploatacji energii Ze względu na konieczność wykonywania szczelinowania w systemach EGS przyjęto minimalną miąższość zbiornika na poziomie 300 m. Z tego względu w różnym stopniu zmniejszyła się powierzchnia analizowanych zbiorników geotermalnych.

Szczegółowe wyniki szacowania zasobów przedstawia publikacja [P3]. Rozpatrując jednostkowe zasoby geotermalne wskazano trzy najbardziej perspektywiczne lokalizacje dla niekonwencjonalnych systemów geotermicznych w skałach osadowych. Znajdują się one:

- w rejonie Pleszewa, gdzie skałą zbiornikową są terygeniczne utwory karbonu dolnego - jednostkowe zasoby statyczne-wydobywalne wynoszą w tym rejonie około 20-30 GJ/m², a zasoby statyczne sięgają nawet 100 GJ/m².

- w rejonie Konina, gdzie skałą zbiornikową są terygeniczne utwory górnego czerwonego spągowca - jednostkowe zasoby statyczne-wydobywalne są rzędu kilkunastu GJ/m², a zasoby statyczne 30-40 GJ/m².

- w rejonie Krośniewic-Kutna, gdzie skałą zbiornikową są terygeniczne utwory triasu dolnego - jednostkowe zasoby statyczne przekraczają 70 GJ/m², a statyczne-wydobywalne są rzędu 15-20 GJ/m².

Ostatecznie zdecydowano, że najbardziej perspektywnym poziomem zbiornikowym będzie miąższy poziom pstrego piaskowca zalegający płycej niż pozostałe perspektywiczne poziomy zbiornikowe, co jest niezwykle atutem ze względu na koszty i techniczne możliwości udostępnienia zbiornika.

5.5 Modelowanie pracy systemu EGS [P4]

Uzyskane wyniki prac przedstawionych w publikacjach [P1-P3] zostały wykorzystane do modelowania pracy potencjalnego systemu geotermalnego oraz szacowania potencjału produkcji energii elektrycznej i ciepłej z wykorzystaniem wytypowanych zbiorników perspektywicznych. Modelowanie to zostało wykonane przy współpracy z pracownikami Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Rezultaty

przeprowadzonego modelowania przedstawia praca [P4], w której typowałam lokalizację dla budowy systemu EGS w skałach osadowych w Polsce oraz przygotowywałam geologiczny model koncepcyjny. Na podstawie analizy wyników szeregu prowadzonych badań stwierdzono, że taka optymalna lokalizacja, spełniająca założone na podstawie doświadczeń światowych kryteria, występuje we wschodniej części obszaru badań w rejonie Krośniewic. Zbiornik petrogeotermalny budują utwory pstręgo piaskowca dolnego i środkowego, których strop zalega na głębokości ok. 5500 m p.p.m. Skały zbiornikowe charakteryzują się średnią porowatością wynoszącą 3%, niską przepuszczalnością (0,02- 0,1 mD) i średnią gęstością objętościową ok. 2,7 g/cm³. W miejscu lokalizacji potencjalnej instalacji EGS temperatura w stropie zbiornika wynosi ok. 170°C.

Modelowanie numeryczne zostało wykonane z zastosowaniem kodu obliczeniowego TOUGH2 i służyło do określenia potencjału geotermalnego analizowanego rejonu, a następnie do oceny parametrów energetycznych potencjalnego systemu EGS w przypadku zróżnicowanych warunków geotermicznych i eksploatacyjnych. Przeprowadzone analizy, koncentrujące się na zagadnieniach energetycznych oraz termodynamicznych, bazują na obszernym zbiorze danych geologicznych. Wyniki modelowania wskazują na silną zależność parametrów energetycznych systemu EGS od objętości i przepuszczalności strefy sztucznie zeszczelinowanej oraz na zależność mocy netto od mocy pomp obiegowych stymulujących cyrkulację. Występuje również silna zależność pomiędzy długością okresu stabilnej mocy systemu a objętością strefy zeszczelinowanej i wydajnością. Dla założonych warunków geologicznych modelowana moc netto systemu EGS w tym rejonie, przy cyrkulacji 200 m³/h, wyniosła 2-3 MW, a przy cyrkulacji 100 m³/h wyniosła 1.3-1.6 MW.

5.6 Potencjał geotermalny zapadliska przedkarpackiego [P5]

Kolejna praca [P5] przedstawiona w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe związana jest z rozpoznaniem potencjału geotermalnego zapadliska przedkarpackiego (zarówno hydro jak i petrogeotermalnego). Rejon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), zlokalizowany w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego, uznano za perspektywiczny pod względem występowania energii petrogeotermalnej i możliwości budowy systemów EGS. Perspektywiczne w tym obszarze wydają się być zbiorniki karbonu (lokalnie dewonu), charakteryzujące się w rejonie GZW dużą miąższością (nawet ponad 3 km), wysoką temperaturą (rzędu 150°C) oraz niskimi wartościami porowatości i przepuszczalności skał przekładającymi się na niskie wartości wydajności wód, a także skały podłoża mezozoicznego. Pomimo, że stwierdzono występowanie warunków potencjalnie perspektywicznych do rozwoju systemów EGS to jednak ze względu na słabe rozpoznanie geologiczne głębokich zbiorników geotermalnych, w najbliższej przyszłości bardziej realne wydaje się wykorzystanie zasobów hydrogeotermalnych zgromadzonych na różnych głębokościach w zbiornikach geotermalnych zapadliska przedkarpackiego. Dlatego podstawowym elementem badań prowadzonych w rejonie zapadliska przedkarpackiego było określenie obszarów perspektywicznych do zagospodarowania wód geotermalnych do różnorodnych celów. Określenie możliwości zagospodarowania wód geotermalnych do celów ciepłowniczych umożliwiła interpretacja parametrów hydrogeologicznych oraz termicznych w profilu geologicznym zapadliska przedkarpackiego. Interpretacji poddano jedenaście zbiorników hydrogeotermalnych znajdujących się na obszarze zapadliska. Były to zbiorniki: miocenu, kredy górnej (bez cenomanu), cenomanu, kredy dolnej, jury górnej, jury środkowej, triasu górnego, triasu środkowego, triasu dolnego, w klastycznych utworach karbonu, a także w węglanowych

utworach dewonu i karbonu. Ze względu na znaczne miąższości miocenu przekraczające lokalnie 3000 m, a także dużą zmienność wykształcenia poszczególnych wydziałów stratygraficznych w jego profilu, w celu określenia parametrów hydrogeotermalnych zbiornika mioceńskiego wydzielono interwały głębokościowe, w obrębie których przeprowadzono prace analityczne (500-1000 m ppm; 1000-1500 m ppm; 1500-2000 m ppm; 2000-2500 m ppm; 2500-3500 m ppm).

Podstawowym problemem w rejonie zapadliska przedkarpackiego są niskie wydajności wód z otworów wiertniczych prawie we wszystkich analizowanych zbiornikach hydrogeotermalnych. Wyjątek stanowi zbiornik cenomanu, gdzie prawie na całym obszarze jego występowania należy spodziewać się wysokich wydajności. Strefy o podwyższonych potencjalnych wydajnościach otworów wiertniczych występują sporadycznie w zbiorniku środkowej i górnej jury oraz miocenu. Są to zatem zbiorniki, z którymi należy łączyć największe perspektywy wykorzystania wód geotermalnych. Wody zakumulowane w klastycznych utworach karbonu oraz w węglanowych utworach karbonu i dewonu lokalnie mogą charakteryzować się korzystnymi parametrami. Parametry hydrogeotermalne zbiorników triasowych oraz kredowych (z wyłączeniem cenomanu) nie wskazują na możliwości efektywnego zagospodarowania zasobów geotermalnych.

5.7 Zasoby hydrogeotermalne skał osadowych [P6]

Artykuł [P6] zawiera najistotniejsze wyniki z realizowanych prac badawczych w celu charakterystyki parametrów zbiornikowych oraz oceny i porównania potencjału geotermalnego zbiorników hydrogeotermalnych Nizżu Polskiego, zapadliska przedkarpackiego i Karpat. Największy potencjał energetyczny związany jest w Polsce z rejonami Nizżu Polskiego oraz Podhala. Rejon Nizżu Polskiego jest największym obszarem rejonem geotermalnym, a zasoby geotermalne na tym obszarze związane z formacjami mezozoicznymi. Regionalna analiza zbiorników wód geotermalnych na Nizżu Polskim wskazuje, że wykorzystanie energii do celów ciepłowniczych, technologicznych, balneologicznych i rekreacyjnych powinno opierać się na zasobach dolnojurajskiego i dolnokredowego zbiornika hydrogeotermalnego. Warstwy wodonośne w utworach jury dolnej i kredy dolnej stanowią kompleksy piaskowcowe o korzystnych parametrach zbiornikowych. Potwierdzają to parametry obecnie pracujących w Polsce ciepłowni geotermalnych wykorzystujących do celów energetycznych wody geotermalne poziomu dolnojurajskiego (Pyrzyce, Stargard) lub dolnokredowego (Uniejów, Mszczonów, Poddębice). Zasoby energii geotermalnej na Nizżu Polskim są także lokalnie zgromadzone w formacjach jury górnej, jury środkowej, triasu górnego oraz triasu dolnego.

Wody geotermalne na obszarze Karpat zostały stwierdzone w rejonie Karpat wewnętrznych (niecka podhalańska) oraz punktowo w utworach fliszowych i skałach podłoża Karpat zewnętrznych. Szczególne znaczenie dla wykorzystania zasobów geotermalnych Karpat ma system geotermalny Podhala. Jest on niewątpliwie najbardziej perspektywnym obszarem w Karpatach. To właśnie tam od lat 90-tych WW wieku pracuje najstarsza i największa ciepłownia geotermalna w Polsce. Główny poziom geotermalny systemu podhalańskiego jest związany z wapieniami i dolomitami triasu środkowego, miejscami z piaskowcami jury, a w jego stropowej partii znajdują się węglanowe utwory eocenu środkowego.

Perspektywiczne rejony występowania wód geotermalnych na obszarze zapadliska przedkarpackiego związane są głównie z brzeżną strefą nasunięcia karpackiego i obejmują swym zasięgiem takie miasta jak Bochnia, Brzesko i Tarnów. Podstawowym problemem

w rejonie zapadliska przedkarpackiego są niskie wydajności wód z otworów wiertniczych zarówno w zbiornikach miocenu jak i podłoża mezozoiczno-paleozoicznego. Wyjątek stanowi zbiornik cenomanu, gdzie prawie na całym obszarze jego występowania należy spodziewać się wysokich wydajności. Zbiornik cenomański prezentuje się bardzo korzystnie. Charakteryzują go znaczne wydajności wód, niska mineralizacja, bardzo korzystne parametry zbiornikowe w skali regionalnej, występujące warunki artezyjskie i powierzchniowy rozmiar zbiornika umożliwiające wykorzystanie energii na dużym obszarze. Niekorzystną cechą wód zbiornika cenomańskiego są niskie temperatury związane z niedużą głębokością zalegania skał zbiornikowych, co jednak jednocześnie obniża koszty udostępnienia złoża. Strefy o podwyższonych potencjalnych wydajnościach otworów wiertniczych występują sporadycznie w zbiorniku środkowej i górnej jury oraz miocenu.

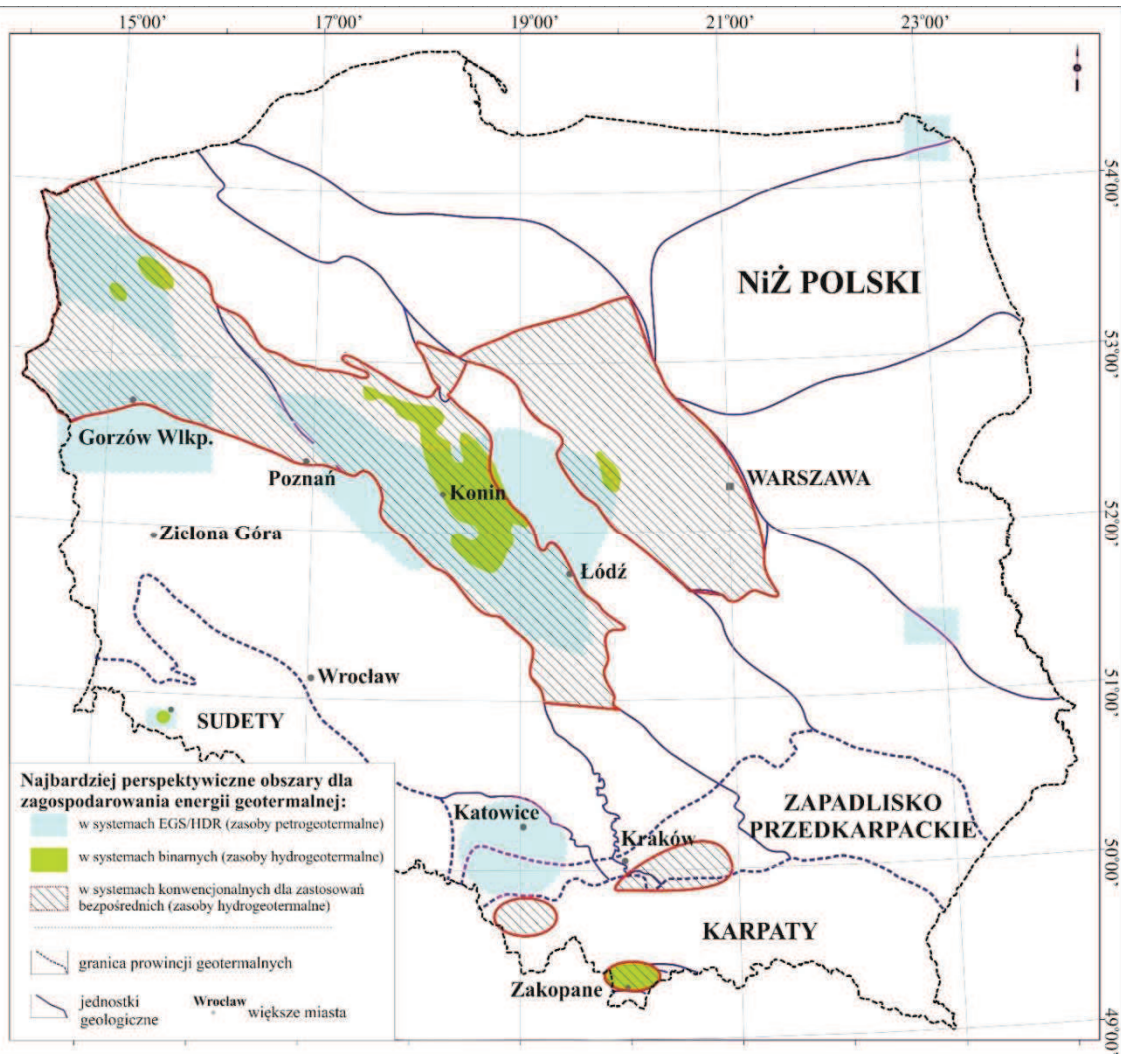
5.8 Zasoby geotermalne w Polsce [P7]

Publikacja [P7] stanowi podsumowanie wszystkich moich badań zmierzających do rozpoznania potencjału geotermalnego skał osadowych w Polsce. Jej celem jest zwrócenie uwagi na potencjał zasobów geotermalnych Polski pod kątem ich utylitarnego wykorzystania.

Niniejsza publikacja zawiera charakterystykę polskich zasobów hydro- i petrogeotermalnych w świetle aktualnego stanu ich zagospodarowania w istniejących ciepłowniach geotermalnych oraz prowadzonych prac badawczo-rozwojowych. Istotnym elementem jest mapa najbardziej perspektywicznych lokalizacji w Polsce dla efektywnego zagospodarowania zarówno zasobów hydrogeotermalnych (systemy konwencjonalne, systemy binarne) jak również zasobów petrogeotermalnych (systemy EGS) będącą rezultatem prac badawczych realizowanych od początku mojej drogi naukowej (rys.1). Prace te związane były z określeniem potencjału geotermalnego różnych rejonów Polski pod kątem możliwości utylitarnego zagospodarowania zasobów wód i energii geotermalnej, do produkcji energii cieplnej i/lub elektrycznej.

Produkcja energii elektrycznej przy wykorzystaniu niskotemperaturowych zasobów geotermalnych jest technicznie możliwa dzięki zastosowaniu technologii binarnych. Wymagania dla instalacji binarnych są zdecydowanie wyższe niż dla instalacji ciepłowniczych. Kluczowe znaczenie mają temperatura i wydajność, od których będzie zależała efektywność całego systemu. Wykorzystywana woda geotermalna powinna się także charakteryzować niską mineralizacją. Im niższa wydajność danego ujęcia tym spadek temperatury wody podczas eksploatacji będzie wyższy.

Artykuł pokazuje rozwój sektora geotermii w Polsce na tle innych krajów Europy Środkowej i Centralnej wraz ze wskazaniem dynamiki zagospodarowywania potencjału geotermalnego różnych regionów Polski w odniesieniu do uzyskiwanych efektów prac badawczych. Są to informacje, przeglądowe, rzetelne, potwierdzone wynikami prac badawczych, które rozpowszechniam podczas różnego rodzaju seminariów, warsztatów i konferencji na arenie krajowej oraz międzynarodowej w celu promowania wykorzystania tego rodzaju odnawialnego i ekologicznego źródła energii jakim jest energia geotermalna.



Rys. 1. Mapa najbardziej perspektywicznych obszarów dla zagospodarowania zasobów geotermalnych w Polsce [P7]

5.9 Podsumowanie

W szczególności, za najważniejsze osiągnięcia przedstawionego dorobku habilitacyjnego uważam:

- Kompleksową charakterystykę głęboko zalegających zbiorników energii petrogeotermalnej w rejonie Polski centralnej – w obrębie niecki mogileńsko-łódzkiej oraz fragmentarycznie w obrębie wału kujawskiego;
- Rozpoznanie potencjału petro- oraz hydrogeotermalnego skał osadowych w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem rejonu zapadliska przedkarpacciego oraz niecki mogileńsko-łódzkiej;
- Zwrócenie uwagi na problematykę wykorzystywania energii zgromadzonej w skałach (HDR) do celów użytkowych;
- Dostosowanie metodyki oceny potencjału geotermalnego do specyfiki wykorzystania zasobów petrogeotermalnych w warunkach polskich;

5.10 Literatura uzupełniająca do autoreferatu

- Antkowiak M, Snyder NK, Lowry TS, 2010 - A high level geothermal system scoping model: a first step toward Enhanced Geothermal System Engineering. Proceedings, Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 1-3, 2010: 1-8. <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/SGW/2010/antkowiak.pdf>
- Barbier E., 1997 - Nature and technology of geothermal energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 1 Elsevier Science Ltd.
- Brown DW, Duchane D., Heiken G, Hrisco VT, 2012 - Mining the Earth's Heat: Hot Dry Rock Geothermal Energy, Springer
- Bujakowski W., Tomaszewska B., (red.), Barbacki A., Bielec B., Borsukiewicz-Gozdur A., Ciężkowski W., Chowaniec J., Czerwińska B., Franus W., Freiwald P., Górecki W., Hajto M., Hołojuch G., Kaczmarek R., Kasztelewicz A., Kępińska B., Kujawa T., Leśniak G., Mazurek R., Miecznik M., Nowak W., Operacz T., Pajak L., Papiernik B., Przelaskowska A., Skrzypczak R., Sowizdzał A., Stachel A., Wiśniewski S., 2014 - Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce: monografia - Atlas of the possible use of geothermal waters for combined production of electricity and heat using binary systems in Poland: monograph; Ministerstwo Środowiska, [et al.]. Kraków: Ministerstwo Środowiska, 2014. 305, [2] s..
- EGEC. Financing Geothermal Energy. EGEN Policy Paper; 2013.
- Górecki W. (red.) i in., 1995 - Atlas zasobów energii geotermalnej na Niziu Polskim. ZSE AGH, Wyd. Towarzystwa Geosynoptyków GEOS. Kraków.
- Górecki W. i in., 1993 - Metodyka oceny zasobów energii wód geotermalnych w Polsce. Ekspertyza 12/93 MOŚZNIŁ. ZSE AGH. Kraków. Maszynopis.
- Górecki W., (red.), Hajto M., Augustyńska J., Jasnos J., Kuśmierk J., Kuźniak T., Machowski G., Machowski W., Nosal J., Michna M., Papiernik B., Sowizdzał A., Stefaniuk M., Szczygieł M., Wachowicz-Pyzik A., Ząbek G., Rajchel L., Lemberger M., Czop M., Haładus A., Kania J., Szczepański A., Golonka J., Banaś J., Mazurkiewicz, B., Solarski W., Capik M., Porowski A., Oszczytko N., Ostrowski, C., Targosz, P., Wojdyła M., Barbacki, A., Bielec, B., Bujakowski, W., Hołojuch, G., Kasztelewicz, A., Kępińska B., Miecznik M., Pajak L., Skrzypczak R., Tomaszewska B., Budzisz P., Zastrzeżyńska J., Herman Z., Harasimiuk M., Czerwińska B., Kubik B., Pasek P., Paliychuk U., Chowaniec J., Szewczyk J., Baran U., Kudrewicz R., Borsukiewicz-Gozdur A., Nowak W., Wiśniewski, S., Kurzydłowski K. J., Kalandyk K., 2013 - Atlas geotermalny Karpat wschodnich, Geothermal Atlas of the Eastern Carpathians. AGH KSE, Kraków, 791.
- Górecki W., (red.), Sowizdzał A., Jasnos J., Papiernik B., Hajto M., Machowski G., Kępińska B., Czopek B., Kuźniak T., Kotyza J., Luboń W, Pełka G., Zając A., Szczepański A., Haładus A., Kania, J., Banaś, J., Solarski, W., Mazurkiewicz, B., Zubrzycki A., Luboń K., Peryt T, Barbacki A., Pajak L., Tomaszewska B., Harasimiuk M., Kurzydłowski, K., Nowak, J., Latour, T., Czerwińska, B., Kudrewicz R., Szewczyk J., 2012 - Atlas

-
- geotermalny zapadliska przedkarpackiego - Geothermal Atlas of the Carpathian Foredeep. AGH KSE, Kraków, 381.
- Górecki W., (red.), Hajto M., Szczepański A., Oszczytko N., Oszczytko – Clowes M., Papiernik B., Kępińska B., Czopek B., Haładus A., Kania J., Banaś J., Kurzydłowski K., Roźniatowski K., SolarSKI W., Mazurkiewicz B., Kuźniak T., Machowski G., Michna M., Soboń J., Luboń W., Pełka G., Rajchel L., Sowiżdżał A., Kotyza J., Capik M., Hałaj E., Harasimuk M., Bujakowski W., Barbacki A., Hołojuch G., Kasztelewicz A., Pająk L., Tomaszewska B., Chowaniec J., Zuber A., Malata T., Augustyńska J., Operacz T., Freiwald P., Patorski R., Witek K., Czerwińska B., Gąsiorek E., Ślimak C., Wartak W., Skupień M., Goryl M., Cichoń K., Kudrewicz R., Budzisz P., Zastrzeżyńska, J., Dowgiałło J., 2011 - Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich, Atlas of geothermal waters and energy resources in the Western Carpathians. AGH KSE, Kraków, 772.
- Górecki W., (red.), Hajto M., Szczepański A., Sadurski A., Papiernik B., Kuźniak T., Kozdra T., Soboń J., Szewczyk J., Sokołowski A., Strzetelski W., Haładus A., Kania J., Kurzydłowski K., Gonet A., Capik M., Śliwa T., Ney R., Kępińska B., Bujakowski W., Banaś J., SolarSKI W., Mazurkiewicz B., Pawlikowski M., Nagy S., Rajchel L., Feldman-Olszewska A., Szamałek K., Wagner R., Kozłowski T., Malenta Z., Sapińska – Śliwa A., Sowiżdżał A., Kotyza J., Leszczyński K. P., Gancarz M., 2006a - Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niziu Polskim; Atlas of geothermal resources of Mesozoic formations in the Polish Lowlands. Ministerstwo Środowiska; wykonawca: Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie. Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Zakład Surowców Energetycznych. Kraków, AGH, s.485.
- Górecki W., (red.), Hajto M., Szczepański A., Sadurski A., Papiernik B., Szewczyk J., Sokołowski A., Strzetelski W., Haładus A., Kania J., Rajchel L., Feldman-Olszewska A., Wagner R., Leszczyński K., P., Sowiżdżał A., 2006b - Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niziu Polskim Atlas of geothermal resources of Paleozoic formations in the Polish Lowlands. Ministerstwo Środowiska; wykonawca: Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie. Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Zakład Surowców Energetycznych; Kraków. AGH, 240 s.
- GUS, 2017 – Energia 2017, Warszawa, Główny Urząd Statystyczny
- Haenel R., Staroste E., 1988 - Atlas of geothermal resources in the European Community, Austria, Switzerland and Germany.
- Hurter S, Haenel R (eds.), 2002 - Atlas of Geothermal Resources in European Communities, Brüssel, Luxemburg.
- Muffler LJP, Cataldi R., 1979 - Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources. Geothermics, 7.
- Plewa S., 1994 - Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski. Wyd. CPPGSMiE PAN. Kraków.

Sausse J, Dezayes C, Genter A., 2007 - From geological interpretation and 3D modelling to the characterization of the deep seated EGS reservoir of Soultz (France). Proceedings European Geothermal Congress 2007,

Tenzer H., 2001 - Development of Hot Dry Rock Technology, GHC Bulletin, December: 1-9.

Tester JW, Anderson BJ, Batchelor AS, Blackwell DD, Dippio R, Drake EM, Garnish J, Livesay B, Moore MC, Nichols K, Petty S, Toksoz MN, Veatch RW, 2006 - The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. Massachusetts Institute of Technology, <http://geothermal.inel.gov>.

6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

6.1 Osiągnięcia naukowe uzyskane po doktoracie

Tematyka mojego zainteresowania naukowego od początku mojej pracy naukowej skupia się przede wszystkim wokół **różnych aspektów wykorzystania energii geotermalnej**, które zgłębiam realizując krajowe i międzynarodowe projekty w tym zakresie (Załącznik 4).

W latach 2016-2017 brałam udział w projekcie pn. *Potencjał dla wykorzystania energii geotermalnej w Polsce – miasto Poddębice* dofinansowanym ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2009–2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej. Głównym celem Projektu była promocja rozwoju ciepłownictwa geotermalnego, budowanie potencjału oraz nawiązanie współpracy, przyczynianie się do wzrostu akceptacji i przekonania co do zasadności wykorzystania zasobów geotermalnych na szerszą skalę dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, zwiększenia efektywności energetycznej oraz poprawy jakości życia w Polsce. Prace realizowano głównie dla wybranej miejscowości – miasta Poddębice - we współpracy z Urzędem Miasta Poddębice oraz Geotermią Poddębice oraz przy wsparciu ekspertów z National Energy Authority z Islandii. Projekt umożliwił transfer wiedzy i dobrych praktyk stosowania w budynkach geotermalnych systemów ciepłowniczych z Islandii – kraju, który jest europejskim i światowym liderem geotermii do Polski – gdzie wykorzystanie tej energii w ciepłownictwie jest na wstępnym etapie. Zadania zespołu AGH były związane z realizacją studium możliwości wykorzystania energii geotermalnej w mieście Poddębice, oceną zasobów geotermalnych w Poddębicach oraz analizą możliwości dalszego rozwoju geotermii w tym mieście. Ja w szczególności zajmowałam się analizą parametrów fizyko-chemicznych wody geotermalnej rejonu badań. Efektem realizacji tego projektu był udział w 2017 roku w kolejnym projekcie Europejskiego Obszaru Gospodarczego pn: *Energia geotermalna: podstawa niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju – wstępne studia dla wybranych obszarów w Polsce*. Projekt miał na celu rozwój geociepłownictwa w Polsce, wzmacniając podejmowane przez rząd RP inicjatywy w tym zakresie. Kraje Darczyńców EOG przodują na świecie w zagospodarowaniu ciepła Ziemi: Islandia dzięki wodom i parom geotermalnym, a Norwegia dzięki pompom ciepła. W ramach Projektu odbyto wizyty studyjne w Polsce i Norwegii, w których brałam aktywny udział. Wsparcie ze strony partnerów zagranicznych dotyczyło obszarów, w których państwa te posiadają wiodące pozycje: Islandia – wykorzystanie energii geotermalnej, Norwegia – wykorzystanie geotermalnego ciepła niskotemperaturowego, Belgia (EGEC) – wsparcie i promocja działań z zakresu energii

geotermalnej. Moje działania w projekcie dotyczyły analizy parametrów geologicznych i hydrogeotermalnych oraz oceny zasobów geotermalnych zbiornika dolnokredowego i dolnojurańskiego niecki mogileńsko-łódzkiej dla określenia lokalizacji nowej instalacji ciepłowniczej. Obecnie (2018) jestem zaangażowana w działania związane z opracowaniem zasad planowania, strategii wykorzystania oraz metod oceny i wykonywania map potencjału płytkiej geotermii w Europie Środkowej w ramach projektu europejskiego GeoPLASMA-CE.

W latach 2009-2016 brałam udział w opracowaniu ekspertyz dotyczących analizy możliwości pozyskania i wykorzystania wód geotermalnych w rejonie Pilzna (2009), Gorlic (2009), Przylasku Rusieckiego (2013), Wiśniowej (2015) oraz Zatora (2016).

Oprócz projektów geotermalnych biorę udział w realizacji projektów dotyczących **problematyki naftowej** (Załącznik 4). Szczególnie istotny dla mnie jest obecnie realizowany projekt (2018) dotyczący analizy uwarunkowań geologicznych i rozpoznania występowania niekonwencjonalnych akumulacji gazu ziemnego w ilastej formacji miocenu autochtonicznego na obszarze zapadliska przedkarpackiego (*ShaleFore BLUE GAS II*), którego jestem koordynatorem merytorycznym. Oprócz prac związanych z modelowaniem geologicznym jestem zaangażowana we wszystkie badania prowadzone w ramach projektu, obejmujące zagadnienia petrofizyczne, sejsmiczne, geochemiczne i technologiczne, mające na celu ocenę możliwości efektywnego udostępnienia i eksploatacji gazu ziemnego z serii mułowcowo-ilastych miocenu autochtonicznego zapadliska przedkarpackiego.

Jednym z tematów będących w kręgu mojego zainteresowania jest **modelowanie geologiczne** stanowiące istotny element dla przestrzennego zobrazowania parametrów zbiornikowych skał. Tematem tym zajmowałam się zarówno w realizowanych projektach geotermalnych jak i projektach naftowych oraz projekcie dotyczącym sekwestracji CO₂, w których brałam udział. Początkowo prace realizowałam przy wykorzystaniu systemu Landmark Graphics Corporation stanowiący integralny pakiet systemu interpretacyjnego złożony z kilku modułów. Do analizy parametrów geologicznych oraz geotermalnych, a także obliczeń ilościowych wykorzystywałam najczęściej program Z-MAP Plus, który pozwala na interpretację danych w trójwymiarowej siatce przestrzennej. Sporadycznie wykorzystywałam też program PetroWorks, umożliwiający interpretacje krzywych geofizyki wiertniczej oraz StratWorks służący do wykonywania korelacji międzyotworowych. Od roku 2011 pracuję głównie wykorzystując program Petrel firmy Schlumberger. Realizuje prace związane z kartowaniem powierzchni strukturalnych i miąższości wydzielen, co stanowi etap procedury modelowania strukturalnego, umożliwiającego opracowanie osnowy geometrycznej modelu 3D na potrzeby geotermii i geologii naftowej. Jestem autorem lub współautorem licznych map, w tym m.in. map opracowywanych w rejonie:

- **platformy prekambryjskiej** - mapy miąższości utworów pridolu, ludlowu, wenloku, landoweru, aszgilu, karadoku, landeilu-lanwirnu, arenigu, tremadoku, kambru górnego, kambru środkowego, kambru dolnego, mapy miąższości kompleksów litostratygraficznych utworów starszego paleozoiku
- **strefy Radom-Kraśnik** - mapy strukturalne stropu paleozoiku, dewonu i wydzielen starszych, dewonu środkowego, syluru, ordowiku, kambru, prekambru, mapy miąższości utworów paleozoiku, dewonu, dewonu środkowego, syluru, ordowiku, kambru
- **basenu podlaskiego** – mapy miąższości utworów tremadoku, arenigu, lanwirnu/landeilu, karadoku, aszgilu, mapy strukturalne stropu utworów syluru, wenloku,

landoweru, ordowiku, karadoku, lanwirnu-landeilu, arenigu, tremadoku, kambru górnego, kambu środkowego, kambu dolnego

- **Lubelszczyzny** - mapy miąższości wydziałów chronostratygraficznych syluru i ordowiku, mapy miąższości i strukturalne mapy spągu kredy, jury, triasu, permu, dewonu i karbonu

- **Niżu Polskiego** – m.in. mapy hydrochemiczne jury dolnej i kredy dolnej,

- **zapadliska przedkarpackiego** – m.in. mapy potencjalnych wydajności otworów wiertniczych

Od roku 2011 moja praca naukowa, dydaktyczna oraz organizacyjna jest silnie związana z **Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH** w Miękinii. Jestem członkiem zespołu Centrum, które jest sukcesywnie rozwijane i rozbudowywane. Moi dyplomanci realizują tam prace dyplomowe, jest to też baza do realizacji krajowych oraz międzynarodowych projektów naukowo-badawczych, miejsce konferencji i spotkań branżowych. Byłam koordynatorem organizacyjnym projektu budowy Małopolskiego Centrum Odnawialnych Źródeł i Poszanowania Energii w Miękinii realizowanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą, a obecnie działam na rzecz rozwoju Centrum. Nasz zespół aktywnie uczestniczy w projektach mających na celu promowanie odnawialnych źródeł energii oraz zwiększanie efektywności ich wykorzystania. Zespół podejmuje działania o charakterze informacyjno – promocyjnym, nakierowane na rozpowszechnianie, aktualizowanie oraz utrwalanie informacji o pozytywnych efektach stosowania **odnawialnych źródeł energii** w gospodarce.

W latach 2011-2014 brałam udział w miękkim projekcie dotyczącym wypracowania nowego modelu współpracy, polegającej na transferze informacji oraz wiedzy teoretycznej i praktycznej w zakresie wdrażania i monitorowania efektywności odnawialnych źródeł energii (projekt **BUS OZE**, MRPO.08.02.00-12-431/10). Spotkania robocze, szkolenia i wizyty studyjne pozwoliły na stworzenie koncepcji wyposażenia samochodu wystawowego BUS OZE, stanowiącego obecnie mobilną ekspozycję urządzeń i technologii OZE. Ekspozycja ta jest wykorzystywana do promowania technologii i urządzeń OZE podczas konferencji, targów, promocji, a także podczas spotkań informacyjnych organizowanych przez samorządy. Ekspozycja została doposażona o elementy dydaktyczne w zakresie ograniczania niskiej emisji w postaci dwóch kotłów na węgiel oraz układu analizującego skład spalin i jakość powietrza w okolicy w ramach projektu. Mobilne Laboratorium „POLoNEs” (Przyczyny – Ograniczenie – Likwidacja Niskiej Emisji).

Równocześnie realizowany był projekt międzynarodowy 3CE359P3 - **VIS NOVA**. Projekt ten promował rozwiązania w dziedzinie zrównoważonej i odnawialnej energii ze źródeł wytwarzanych lokalnie w Europie Środkowej, łączył działania miękkie i inwestycyjne z zakresu wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz efektywnego wykorzystania i zarządzania energią. Jego głównym celem było wzmocnienie spójności terytorialnej, promowanie wewnętrznej integracji oraz poprawa konkurencyjności obszaru Europy Środkowej, a ponadto integracja instrumentów promujących efektywność energetyczną. Nasz zespół brał udział w realizacji projektu jako partner merytoryczny. Moim zadaniem było nawiązanie komunikacji między pozostałymi partnerami i wymiana spostrzeżeń naukowych oraz kontrola i koordynacja merytoryczna nad tworzonymi przez poszczególne regiony strategiami energetycznymi.

Rezultaty prac badawczych przedstawiam na arenie krajowej oraz międzynarodowej podczas seminariów, warsztatów i konferencji związanych tematycznie z energetyką geotermalną. Najistotniejszymi wydarzeniami w branży geotermalnej są odbywające się cyklicznie światowe, europejskie i ogólnopolskie kongresy geotermalne, w których aktywnie uczestniczę.

6.2 Osiągnięcia naukowe uzyskane przed doktoratem

W okresie studiów doktoranckich brałam udział w realizacji prac badawczych wykonywanych na zlecenie: Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Ministerstwa Środowiska, Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju dotyczących energii geotermalnej, a także geologii naftowej (Załącznik 4).

W latach 2003-2005 uczestniczyłam w rozwijaniu polsko-chińskiej współpracy naukowej pomiędzy chińskim Beijing Geological and Mining Bureau a Akademią Górniczo-Hutniczą.

W latach 2005-2006 moja praca naukowa związana była z realizacją Atlasów zasobów geotermalnych na Niziu Polskim (formacji mezozoicznej oraz paleozoicznej) wydanych pod redakcją prof. Góreckiego w 2006 r. Byłam współautorem dwóch Atlasów oraz części zawartych w nich map, redaktorem tekstu oraz redaktorem technicznym obu tomów Atlasów. W 2007 roku za realizację Atlasów otrzymaliśmy zespołowe wyróżnienie Rektora I stopnia za osiągnięcia naukowe oraz Nagrodę GEOLOGIA 2007 w konkursie Ministra Środowiska.

W latach 2005-2008 uczestniczyłam w realizacji przedsięwzięcia z dziedziny geologii realizowanego na zamówienie Ministra Środowiska pn: „Atlas polskiej części południowego Basenu Permskiego”. Praca ta weszła w skład Atlasu południowego basenu permskiego — międzynarodowego projektu realizowanego przez służby geologiczne Wielkiej Brytanii, Holandii, Belgii, Danii, Niemiec i Polski. Jako wynik prac badawczych powstała obszerna monografia Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area (eds. Hans Doornenbal, Alan Stevenson, 2010). Moje uczestnictwo w realizacji tego projektu związane było z kartowaniem geologicznym utworów paleozoicznych w polskiej części południowego Basenu Permskiego (wyniki zawarte w rozdziale Chapter 1 Introduction, stratigraphic framework and mapping). Jestem współautorem map paleomiąższości kredy górnej (wraz z górnym albem), kredy dolnej (bez dolnego beriasu i górnego albu), jury górnej (wraz z dolnym beriasem), jury środkowej, jury dolnej, kajpru środkowego i górnego oraz retyku, górnego pstrego piaskowca, wapienia muszlowego i dolnego kajpru, dolnego i środkowego pstrego piaskowca oraz cechsztynu, jak również map strukturalnych stropu i spągu wymienionych formacji.

W roku 2005 brałam udział w projekcie realizowanym przez Akademię Górniczo-Hutniczą wspólnie ze Stowarzyszeniem Gmin Polska Sieć "Energie Cites" oraz Polskim Związkiem Pracodawców Sektora Energetyki Odnawialnej i Ochrony Środowiska pod nazwą „Energia odnawialna - transfer wiedzy i technologii dla regionalnych strategii innowacyjnych” (2005). Działania w projekcie objęły przede wszystkim przygotowanie i przeprowadzenie szkoleń z zakresu odnawialnych źródeł energii w powiatach Małopolski. Moje działania w tym projekcie związane były z przygotowaniem szkoleń z zakresu energii geotermalnej i wiatrowej.

Od początku swojej pracy naukowej interesowałam się zagadnieniem modelowania geologicznego (kartowania oraz modelowania statycznego i dynamicznego), wykorzystując w swojej pracy specjalistyczne oprogramowanie takie jak zintegrowane systemy modelowania geologicznego Petrel, GeoGraphics, Landmark Graphics Corporation (w tym programy ZMAPPlus, StratWorks, PetroWorks, OpenWorks), a także programy Visual ModFlow Surfer, RockWorks oraz Didger,. Modelowanie geologiczne wykonywałam dla potrzeb geotermii, ale także dla potrzeb geologii naftowej.

W latach 2007-2009 realizowałam projekt badawczy promotorski pt.: Analiza geologiczna i ocena zasobów wód i energii geotermalnej formacji mezozoicznej niecki szczecińskiej”, którego kierownikiem był promotor rozprawy doktorskiej prof. dr. hab. inż. Wojciech Górecki, a ja byłam głównym wykonawcą. Projekt ten zakończył się w roku 2009 obroną doktoratu (21.09.2009) o analogicznym tytule.

7. Działalność dydaktyczna

Działalność dydaktyczną prowadzę od czasu podjęcia w roku 2003 studiów doktoranckich na **Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej**. Moja praca dydaktyczna związana jest od początku z tą jednostką naukową. Od roku 2003 prowadziłam na WGGiOŚ AGH zajęcia dydaktyczne dla studentów studiów stacjonarnych oraz niestacjonarnych z przedmiotów dotyczących energetyki odnawialnej (Załącznik 4).

W roku 2003 na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH uruchomiona została jako pierwsza w Polsce specjalność *Odnawialne Źródła Energii* dla studentów kierunku *Inżynieria Środowiska*. Moja praca dydaktyczna od początku związana była z rozwijaniem tej specjalności w tym: opracowywaniem programów nowych przedmiotów i prowadzeniem zajęć dydaktycznych z zakresu odnawialnych źródeł energii, a później także opieką naukową nad pracami dyplomowymi. W ramach działalności dydaktycznej organizowałam i prowadziłam zajęcia terenowe z odnawialnych źródeł energii oraz energetyki konwencjonalnej dla studentów studiów stacjonarnych i niestacjonarnych w miejscach związanych tematycznie z problematyką wykorzystania źródeł odnawialnych zarówno w Polsce jak i zagranicą. Organizowałam wyprawy naukowe dla studentów do Danii, Rumunii i Słowacji.

Jestem współautorem dokumentacji dla uruchomienia kierunku *Ekologiczne Źródła Energii* na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. W 2012 roku WGGiOŚ AGH uruchomił studia inżynierskie I stopnia na kierunku *Ekologiczne Źródła Energii*, a w 2016 r. studia magisterskie II stopnia. Jestem autorem programu studiów oraz programów przedmiotów realizowanych na tym kierunku. Przygotowywałam program kształcenia, plan i opis studiów, koordynowałam przygotowywanie sylabusów do przedmiotów oraz matryce kierunkowych efektów kształcenia, tabele odniesień oraz zgodności kierunkowych efektów kształcenia (EKK) do obszarowych efektów kształcenia (EKO). Jestem zaliczona do minimum kadrowego tego kierunku. Studia I stopnia na kierunku *Ekologiczne Źródła Energii* uzyskały w roku 2017 Certyfikat i Znak Jakości „Studia z Przyszłością” oraz „Laur Innowacji” przyznawany za wdrożenie najbardziej nowatorskich i unikalnych rozwiązań w zakresie bazy materiałowej i technologii wspierających proces dydaktyczny. W roku 2018 certyfikat „Studia z Przyszłością” oraz Certyfikat nadzwyczajny „Lider Jakości Kształcenia” został przyznany dla studiów II stopnia kierunku *Ekologiczne Źródła Energii*. Byłam współautorem i osobą odpowiedzialną za przygotowanie obu wniosków.

Jestem opiekunem I roku studiów stacjonarnych na kierunku *Ekologiczne Źródła Energii*, promotorem lub opiekunem naukowym ponad 100 prac dyplomowych, w tym inżynierskich na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych oraz magisterskich, pisanych w języku polskim lub angielskim, z zakresu odnawialnych źródeł energii, przede wszystkim energii geotermalnej oraz energii wiatru. Praca magisterska napisana pod moim pt. „Analiza możliwości realizacji morskich projektów wiatrowych w polskiej części Morza Bałtyckiego” zdobyła w 2017 r.

nagrodę specjalną Ministra Rozwoju i Finansów w XI edycji Konkursu „Teraz Polska Promocja i Rozwój” na najlepszą pracę magisterską dotyczącą konkurencyjności Polski. Ta sama praca została wyróżniona w XIX Edycji Konkursu Diamenty AGH. Jestem promotorem pomocniczym dwóch rozpraw doktorskich dotyczących tematyki geotermalnej (Załącznik 4).

Jestem członkiem Wydziałowego Zespołu ds. Jakości Kształcenia odpowiedzialnym za kierunek Ekologiczne Źródła Energii.

W latach 2013-2016 byłam koordynatorem programu wymiany studenckiej i pracowniczej FSS (Fundusz Stypendialny i Szkoleniowy - Scholarship and Training Fund Mobility Projects in Higher Education). W ramach programu czterech studentów specjalności *Odnawialne Źródła Energii* uczestniczyło w wymianie studenckiej z Keilir Institute of Technology (Reykjavik, Islandia) – w roku akademickim 2013/2014 oraz 2015/2016.

Jestem wydziałowym koordynatorem polsko-islandzkich wymian studenckich w zakresie energetyki geotermalnej w ramach programu Erasmus+ - zgodnie z umową międzynarodową z dn. 07.12.2016 r. zawartą pomiędzy AGH a University of Iceland na lata 2016-2021. W roku akademickim 2017/2018 trzech studentów wyjechało na wymianę studencką, której efektem będzie m.in. napisanie pod moją opieką naukową anglojęzycznych prac magisterskich oraz udział w pracach badawczych realizowanych na Islandii.

Jestem także koordynatorem programu Erasmus+ wymiany studenckiej z Bochum University of Applied Science, Germany, na podstawie umowy zawartej w styczniu 2017 r. pomiędzy AGH a ww uczelnią.

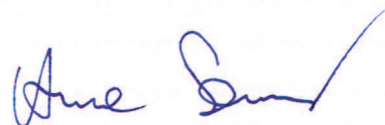
8. Osiągnięcia w zakresie działalności organizacyjnej i popularyzatorskiej

Dotychczas brałam aktywny udział w 48 konferencjach, w tym 26 konferencjach o zasięgu międzynarodowym oraz 22 o zasięgu krajowym (Załącznik 4). Byłam zapraszana do wygłaszania referatów na konferencjach, w tym m.in. na Wojewódzkiej Konferencji Ekologicznej w Bieruniu, Międzynarodowej Konferencji Naukowej w Tarnowie, konferencji *Energetyka przygraniczna Polski i Niemiec – doświadczenia i perspektywy* w Sulechowie, konferencji *Wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych na terenach wiejskich*, polsko-islandzkiej konferencji geotermalnej – seminarium eksperckiego zorganizowanego przez Ministerstwo Środowiska, jak również do udziału w panelach dyskusyjnych m.in. podczas Targów Poleko czy Gminnego Forum Przedsiębiorczości. Jestem zapraszana do udziału w regionalnych konferencjach konsultacyjnych z cyklu ogólnopolskich spotkań dotyczących Polityki Surowcowej Państwa. Udzielałam wywiadu dotyczącego potencjału geotermalnego w Polsce dla miesięcznika Pracodawca, Nr 5 (149), 2010.

Brałam udział w pracach Komitetów Organizacyjnych i Naukowych Ogólnopolskich Kongresów Geotermalnych oraz Europejskiego Kongresu Geotermalnego, jak również Międzynarodowej Konferencji Naukowej „ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII technika, technologia, innowacje”. Znalazłam się w gronie recenzentów na Światowym Kongresie Geotermalnym w roku 2015, recenzując artykuły w sekcji 16. Resource Assesment oraz w zespole recenzentów Europejskiego Kongresu Geotermalnego EGC2013.

Od 2017 r. jestem redaktorem czasopisma *Geology, Geophysics and Environmental Protection* wydawanego przez AGH.

Aktywnie działam w środowisku geotermalnym, będąc członkiem założycielem Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego, a obecnie członkiem Zarządu tej wiodącej organizacji geotermalnej w Polsce. W kadencjach 2010-2013 oraz 2013-2016 pełniłam funkcję sekretarza tej organizacji. W latach 2010-2013 byłam członkiem Zarządu Europejskiej Gałęzi Międzynarodowej Asocjacji Geotermalnej (IGA ERB), reprezentując krajowe środowisko geotermalne na szczeblu europejskim. Jestem wiceprezesem Towarzystwa Geosynoptyków GEOS - stowarzyszenia o charakterze twórczo-naukowym, skupiającym naukowców związanych zawodowo z zagadnieniami poszukiwania, pozyskania i racjonalnego wykorzystania surowców energetycznych i odnawialnych źródeł energii. Od 2014 roku jestem członkiem Global Geothermal Alliance reprezentując Akademię Górniczo-Hutniczą jako partnera GGA, który powstał z inicjatywy International Renewable Energy Agency (IRENA) i stanowi platformę dialogu, współpracy i skoordynowanych działań między przemysłem geotermalnym, decydentami i zainteresowanymi stronami na całym świecie. Decyzją Dziekana WGGiOŚ z dnia 18.12.2014 r. zostałam oddelegowana jako osoba uprawniona do reprezentowania Wydziału na zewnątrz w ramach Rady Naukowej Bezpieczna Energia. Fundacja ta została powołana z myślą o przekazywaniu wiedzy, inspiracji i wsparcia w zakresie przedsięwzięć ekologicznych i energetycznych.



9. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego – Tabela 1

Dorobek naukowo-badawczy	Przed doktoratem	Po doktoracie	SUMA
Sumaryczna liczba publikacji	17	87	104
Publikacje w czasopismach z listy JCR		7	7
Materiały konferencyjne zamieszczone na Web of Science	-	3	3
Publikacje w czasopismach z bazy Scopus (poza wymienionymi z listy JCR)	-	6	6
Monografie autorstwo i współautorstwo	5	9	14
Autorstwo i współautorstwo rozdziałów w monografiach	6	25	31
Artykuły w innych czasopismach	2	15	17
Materiały konferencyjne krajowe	2	8	10
Materiały konferencyjne międzynarodowe	2	14	16
Sumaryczny Impact Factor	-	18,473	18,473
Sumaryczna punktacja publikacji wg MNiSW	-	619	619
Sumaryczna liczba punktów za autorstwo lub współautorstwo publikacji wg MNiSW (uwzględniając udział procentowy autorów)	-	263,41	263,41
Indeks Hirscha wg bazy Web of Science	-	4	4
Indeks Hirscha wg bazy Scopus	-	4	4
Indeks Hirscha wg bazy Google Scholar	-	10	10
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań wg Web of Science Core Collection (stan na dzień 16.02.2018)		142	142
w tym bez autocytań	-	62	62
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań wg Scopus (stan na dzień 16.02.2018)		197	197
w tym bez autocytań	-	98	98
Sumaryczna liczba wszystkich cytowań wg Google Scholar	22	331	353
Udział w międzynarodowych i krajowych projektach badawczych - wykonawca	7	17	24
Udział w konferencjach o zasięgu międzynarodowym	3	23	26
Udział w konferencjach o zasięgu krajowym	4	18	22
Recenzje artykułów w czasopismach zagranicznych	-	7	7
Recenzje artykułów w czasopismach krajowych	-	5	5
Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji	-	9	9
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	2	3	5
Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim	-	2	2
Promotor prac dyplomowych	-	111	111

