

**WNIOSEK  
O WSZCZĘCIE POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO**

**Załącznik 2a**

**AUTOREFERAT**

*Leszek Pajók*

**AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska  
al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków**

**Kraków, 2016**

Spis treści	
Życiorys.....	2
Wskazanie osiągnięcia naukowego.....	4
Tytuł osiągnięcia naukowego.....	4
Spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.....	4
Komentarz autorski do osiągnięcia naukowego.....	6
Przebieg pracy naukowej i osiągnięć naukowo-badawczych.....	13
Działalność dydaktyczna.....	16
Osiągnięcia w zakresie działalności organizacyjnej i popularyzatorskiej.....	17
Tabela 1. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego.....	18

## PRZEBIEG PRACY ZAWODOWEJ

2010 – aktualnie

stanowisko: adiunkt

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska

2008 - aktualnie

stanowisko: starszy specjalista

Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Zakład Energii Odnawialnej

1999 – 2008

stanowisko: adiunkt

Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Zakład Energii Odnawialnej

1996 - 1999

stanowisko: asystent

Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Zakład Energii Odnawialnej

1995 – 1999

stanowisko: doktorant

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej

Zakład Techniki Ciepłej, Budowy Pieców Przemysłowych i Ochrony Środowiska

1995 czerwiec – wrzesień

stanowiska: asystent projektanta

Przedsiębiorstwo Projektowania i Dostawy Urządzeń Ochrony Środowiska „EcoProduct” Sp. z o.o.

ul. Braterska 12, 30-802 Kraków

## WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

(Osiągnięcie wynikające 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. nr 65, poz. 595 ze zm.)

## TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

*Ocena efektywności wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce*

## SPIS JEDNOTEMATYCZNYCH PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

1. **Pajak L.**, Bujakowski W., 2013. Energia geotermalna w systemach binarnych. Przegląd Geologiczny nr 11/2 2013 tom 61, strony 699-705. ISSN-00330-2151 (MNiSW - 7)
2. **Pajak L.**, Bujakowski W., 2014 a. Ocena wpływu zmian parametrów eksploatacyjnych oraz efektów ekonomicznych, strony 132-137 [w Bujakowski W. (red.), Tomaszewska B. (red.), 2014. Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej w układach binarnych w Polsce (Atlas of the possible use of geothermal waters for combiner production of electricity and heat using binary systems in Poland). Wydawnictwo "Jak", Kraków 2014, ISBN 978-83-62922-33-8, stron 305]  
(MNiSW – 5 współautorstwo rozdziału w monografii polskojęzycznej)
3. Bujakowski W., **Pajak L.**, Barbacki A., Skrzypczak R., Miecznik M., Tomaszewska B., Borsukiewicz-Gozdur A., Nowak W., Operacz T., Freiwald P., Kujawa T., Stachel A. A., 2014 b. Strefy perspektywiczne dla skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce, strony 139-283 [w Bujakowski W. (red.), Tomaszewska B. (red.), 2014. Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej w układach binarnych w Polsce (Atlas of the possible use of geothermal waters for combiner production of electricity and heat using binary systems in Poland). Wydawnictwo "Jak", Kraków 2014, ISBN 978-83-62922-33-8, stron 305]  
(MNiSW – 5 współautorstwo rozdziału w monografii polskojęzycznej)
4. Bujakowski W., Barbacki A., Miecznik M., **Pajak L.**, Skrzypczak R., Sowizdzał, A. 2015 a. Modelling geothermal and operating parameters of EGS installations in the lower triassic sedimentary formations of the central Poland area. Renewable Energy Volume 80, August 01, 2015, ISSN: 0960-1481, pages: 441-453  
(IF – 3,476, IF5 – 3,982, MNiSW - 35)
5. Bujakowski W., Barbacki A., Bielec B., Hołojuch G., Kasztelewicz A., Kępińska B., Miecznik M., **Pajak L.**, Skrzypczak R., Tomaszewska B., 2013. Modelowania dla skał krystalicznych, strony 210-224 [w Wójcicki A., Sowizdzał A., Bujakowski W (redakcja), 2013 a. Ocena potencjału, bilansu ciepłego i perspektywicznych struktur geologicznych dla potrzeb zamkniętych systemów geotermicznych (Hot Dry Rocks) w Polsce. 2M s.c., Warszawa stron 246. ISBN 978-83-7863-263-4]  
(MNiSW – 4 współautorstwo rozdziału w monografii polskojęzycznej)



6. **Pająk L.**, Bujakowski W., 2000. Efektywność wykorzystania istniejących głębokich odwiertów wiertniczych jako wymienników ciepła wykorzystujących energię geotermiczną, strony 5-62. [w: Bujakowski W. (red.), 2000. Wybrane problemy wykorzystania geotermii – I. Studia Rozprawy Monografie nr 76. PAN IGSMiE, Kraków, ISSN 0860-74-19. stron 107] *(MNiSW – 3 współautorstwo rozdziału w monografii polskojęzycznej)*
7. Gonet A., Śliwa T., Stryczek S., Sapińska-Śliwa A., Jaszczur M., **Pająk L.**, Złotkowski A., 2011. Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011, ISBN 978-83-7464-347-4. stron 439  
*(MNiSW – 12 współautorstwo monografii polskojęzycznej)*
8. **Pająk L.**, Kotyza J., 2012. Analiza możliwości wykorzystania wód geotermalnych w zapadlisku przedkarpackim przy zastosowaniu pomp ciepła, strony 348-352 [w: Górecki W. (red) Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego. Wykonawca AGH, Kraków, ISBN 978-83-88927-27-0, stron 418  
*(MNiSW – 4 współautorstwo rozdziału w monografii polskojęzycznej)*
9. **Pająk L.**, Kotyza J., 2011. Zastosowanie pomp ciepła w systemach geotermalnych, strony 688-691 [w: Górecki W. (red. nauk.), 2011. Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich. AGH, Kraków, ISBN 838892721-3, stron 772]  
*(MNiSW – 4 współautorstwo rozdziału w monografii polskojęzycznej)*
10. **Pająk L.**, 2009. Optymalizacja kompozycji i harmonogramu pracy hybrydowych źródeł energii, część I. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 4/2009. strony 13-17, ISSN 0137-36-76  
*(MNiSW – 4)*
11. **Pająk L.**, 2009. Optymalizacja kompozycji i harmonogramu pracy hybrydowych źródeł energii, część II. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja nr 5/2009. strony 14-18, ISSN 0137-36-76  
*(MNiSW - 4)*
12. Tomaszewska B., **Pająk L.**, 2012 a. Dynamics of clogging processes in injection wells used to pump highly mineralized thermal waters into the sandstone structures lying under the Polish Lowlands. Archives of Environmental Protection vol. 38, no. 3 2012, pp 105-117, PL ISSN 2083-4772  
*(IF – 0,506, IF5 – 0,619, MNiSW - 15)*
13. Tomaszewska B., **Pająk L.**, 2012 b. Geothermal water resources management - economic aspects of their treatment. Gospodarka Surowcami Mineralnymi tom 28 zeszyt 4/2012, pp. 59-70, ISSN 0860-0953  
*(IF - 0,342, IF5 - , MNiSW - 15)*
14. Tomaszewska B., **Pająk L.**, 2013. Using Treated Geothermal Water to Replenish Network Water Losses in a District Heating System. Polish Journal of Environmental Studies vol. 22, no. 1 (2013), pp. 249-256, ISSN 1230-1485  
*(IF – 0,6, IF5 – 0,762, MNiSW - 15)*
15. Tomaszewska B., **Pająk L.**, Bodzek M., 2014. Application of hybrid UF-RO process to geothermal water desalination. Concentrate disposal and costs analysis. Archives of Environmental Protection vol. 40 issue 3, pp 137-151  
*(IF – 0,855, IF5 – 0,61, MNiSW - 15)*

*\*(IF – impact factor zgodny z rokiem R, IF5 – aktualny pięcioletni impact factor, MNiSW – punktacja wg listy czasopism MNiSW obowiązującej na koniec roku kalendarzowego, w którym ukazała się publikacja)*

## KOMENTARZ AUTORSKI DO OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Moja działalność naukowa związana jest głównie z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, w szczególności energii geotermalnej. Zrównoważone wykorzystanie zasobów energii geotermalnej sprzyja zachowaniu naturalnego stanu środowiska przyrodniczego, podnosząc komfort życia społeczeństwa. Udostępnienie i eksploatacja zasobów geotermalnych jest przedsięwzięciem multidyscyplinarnym, obejmującym swym zakresem (wymieniając kolejno, w hierarchii zagadnień najbliższych moim naukowym zainteresowaniom): ciepłownictwo, energetykę, klimatyzację, ochronę powietrza i wód (powierzchniowych i podziemnych), inżynierię złożową, ekonomię, wiertnictwo, hydrogeologię, geologię, geofizykę oraz inne dziedziny nauki – pośrednio związane z geotermią i ujmujące nieenergetyczne wykorzystanie wód termalnych (np. balneologia, rekreacja). Z powyższego wynika, że zagadnienia związane z wykorzystaniem zasobów geotermalnych zdecydowanie wpisują się w obszar nauk technicznych w dziedzinie inżynieria środowiska. Wykorzystanie źródeł energii, prawie zawsze ostatecznie związane jest z zagadnieniami ekonomicznymi. W przypadku niektórych źródeł zagadnienia ekonomiczne stają się szczególnie ważne. Ma to miejsce właśnie w przypadku źródeł odnawialnych, które z reguły wymagają zaangażowania znacznych nakładów inwestycyjnych. Kwestia możliwości zwrotu nakładów w racjonalnym czasie wydaje się kluczowa. Dlatego znaczna część moich publikacji powiązana jest, pośrednio lub bezpośrednio, z zagadnieniami ekonomicznymi. Moje osiągnięcia naukowe ukierunkowane są jednak na aspekty techniczne, osadzone w realiach ekonomicznych.

Swój dorobek naukowy przedstawiłem dokonując tematycznego podziału - wpisując go w odpowiednie grupy (zakresy), omówione poniżej. Największa ilość moich publikacji, prac niepublikowanych i wystąpień publicznych wiąże się z wykorzystaniem geotermii. Zgodnie z przyjętym sposobem podziału kategorii wykorzystania energii geotermalnej moje zainteresowania naukowe obejmują pełne spektrum wykorzystania energii geotermalnej, czyli wykorzystanie pośrednie (wytworzenie energii elektrycznej) i bezpośrednie (zagospodarowanie energii cieplnej).

### ▪ Pośrednie wykorzystanie energii geotermalnej

Do chwili obecnej możliwość wytwarzania energii elektrycznej z polskich zasobów geotermalnych znajduje się w sferze studiów i analiz. Poza jedną laboratoryjną siłownią binarną (której opis można znaleźć w literaturze: Nowak W., Borsukiewicz-Gozdur A., Klonowicz P., Stachel A., Hanausek P., Klonowicz W. Wstępne wyniki badań prototypowego układu minisiłowni z ORC zasilanej wodą o temperaturze 100°C. Przegląd Geologiczny vol. 58/2010, strony 622–625) nie uruchomiono jeszcze żadnej przemysłowej instalacji. Wynika to głównie z dość niskiej temperatury aktualnie wykorzystywanych zasobów energii geotermalnej. W pracy (Pająk i Bujakowski 2013) dokonano przeglądu wybranych światowych doświadczeń praktycznych w zakresie wytwarzania energii elektrycznej z niskotemperaturowych zasobów geotermalnych (poniżej 150°C – klasyfikacja ze względu na temperaturę złożową, wg Nicholson K., 1993. Geothermal Fluids. Springer Verlag, Berlin, XVIII - 264



pp.). Wykazano, że wykorzystując technologię siłowni binarnych i dostępne w Polsce, aktualnie eksploatowane, zasoby energii geotermalnej można wytwarzać energię elektryczną. W ww. publikacji, obok aspektów poznawczych, przedstawiono zależności pozwalające szacunkowo ocenić poziom wymaganych nakładów inwestycyjnych związanych z implementacją technologii binarnych (ORC i Kalina). W publikacji **(Pająk i Bujakowski 2014 a)** zwrócono uwagę na to, że ze względu na niezbyt wysoką temperaturę zasobów krajowych, niska będzie sprawność konwersji geotermalnej energii cieplnej w energię elektryczną. Sprawność ta została oszacowana na ok. 6-9% dla dostępnych temperatur zasobów geotermalnych w przedziale od 90 do 120°C. Mając na uwadze, że sprawność dostaw energii cieplnej jest nieporównywalnie wyższa (szacowana na 85-95%, uwzględniając straty związane z przesyłem) **(Pająk i Bujakowski 2014 a)**, ekonomicznie bardziej uzasadnione jest dostarczanie energii cieplnej (jeżeli istnieje na nią zapotrzebowanie). W warunkach zapewnionego zbytu na energię ciepłą, produkcji energii elektrycznej nie uzasadniają nawet możliwe wyższe jednostkowe przychody z tego tytułu **(Pająk i Bujakowski 2014 a)**. W cytowanej publikacji oszacowano, że aby bardziej opłacalne było wytwarzanie energii elektrycznej stosunek jednostkowych przychodów z tytułu sprzedaży energii elektrycznej do jednostkowych przychodów z tytułu sprzedaży energii cieplnej musiałby wynosić od 9,4 do 15,8. W rzeczywistości zakres zmienności tego stosunku zawiera się, w krajowych warunkach, w przedziale znacznie niższych wartości, od 1,7 **(Pająk i Bujakowski 2014 a)** do maksimum 3,4 (uwzględniając dodatkowo przychody z tzw. certyfikatów pochodzenia energii, kwalifikujących energię z geotermii jako energię odnawialną). W publikacji **(Bujakowski i inni 2014 b)** wykorzystano omówiony w **(Pająk i Bujakowski 2014 a)** model matematyczny określający: energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne efekty pracy systemu wytwarzającego równolegle energię ciepłą i elektryczną dla wybranych, zdaniem Autorów, najbardziej atrakcyjnych pod względem parametrów złożowych krajowych lokalizacji. Oprócz parametrów złożowych, przy wyborze lokalizacji, brano pod uwagę możliwość współpracy instalacji źródła energii z istniejącą siecią ciepłowniczą. Znacząco redukuje to poziom wymaganych nakładów inwestycyjnych, wymaga jednak dostosowania źródła do parametrów projektowych sieci ciepłowniczej. Analizowano dziesięć lokalizacji, dla których modelowałem warunki i oceniałem efekty pracy instalacji powierzchniowych. Dla czterech stref wykonałem analizy poszerzone o modelowanie numeryczne parametrów złożowych. Lokalizacje, dla których model numeryczny pracy złoża został wykonany przy aktywnym moim udziale to: Koło, Turek, Łowicz, Cieplice Śląskie-Zdrój. Celem modelowania numerycznego pracy złoża było określenie istotnych parametrów eksploatacyjnych, mających wpływ na długoterminowe bezpieczeństwo pracy instalacji oraz osiągnięte parametry: energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne. Wspomniane bezpieczeństwo dotyczyło przede wszystkim prognozowania tzw. przebicia frontu chłodnego oraz spadku ciśnienia w otworze produkcyjnym. Przebicie frontu chłodnego oznacza sukcesywny spadek temperatury wydobywanej wody termalnej, na skutek dopływu do otworu produkcyjnego wody chłodnej pochodzącej z otworu chłonnego. Konsekwencją tego zjawiska jest możliwość przekroczenia bariery temperatury, poniżej której wytwarzanie energii elektrycznej przestanie być technicznie możliwe. W przypadku energii cieplnej produkcja i sprzedaż ciepła będą sukcesywnie maleć. W skrajnym przypadku, jeżeli temperatura powrotu czynnika roboczego od odbiorców będzie wyższa od temperatury wody termalnej, współpraca źródła z systemem energetycznym będzie również niemożliwa. Wartość ciśnienia złożowego - poza oczywistym efektem związanym ze wzrostem kosztów (energetycznych, ekologicznych i ekonomicznych) wydobywania wody – ma wpływ na techniczną możliwość pompowania wody. Jeżeli poziom zwierciadła wody spadnie poniżej dopuszczalnego poziomu, zapewniającego odpowiednie ciśnienie gwarantujące pracę pomp bez zjawiska kawitacji,



konieczne będzie ograniczenie strumienia wydobywanej wody. Konieczność ograniczenia strumienia eksploatacyjnego będzie skutkować spadkiem temperatury wody na głowicy otworu produkcyjnego, a dodatkowo w sposób oczywisty redukuje dostępną moc ujęcia (moc zależy wprost proporcjonalnie od strumienia). Model matematyczny instalacji powierzchniowej uwzględniał wpływ strumienia na wartość temperatury wody na głowicy. Innym parametrem istotnym z punktu widzenia eksploatacji złoża jest wartość wymaganego ciśnienia represji. Ciśnienie to musi być pokonane aby wodę, po schłodzeniu i odebraniu energii, zatłoczyć powrotnie do złoża. Jego wartość ma zatem wpływ na efekty pracy instalacji.

**Moim osiągnięciem naukowym, w zakresie pośredniego wykorzystania energii geotermalnej, jest:**

- 1. Określenie kryterium ekonomicznej celowości wytwarzania energii elektrycznej z polskich zasobów energii geotermalnej – przy uwzględnieniu charakterystycznych, dla polskich warunków, zakresów zmienności parametrów: złożowych, technicznych i ekonomicznych,**
- 2. Opracowanie narzędzi obliczeniowych pozwalających określać efekty wykorzystania technologii binarnych w zakresie efektywności: energetycznej, ekonomicznej i ekologicznej.**

#### ▪ **Bezpośrednie wykorzystanie energii geotermalnej**

W publikacji (**Bujakowski i inni 2014 b**) określiłem warunki i efekty bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej w celu ogrzewania i przygotowania wody użytkowej. Opracowany przeze mnie autorski model matematyczny uwzględnia wpływ poszczególnych komponentów systemu energetycznego na ostateczne efekty jego pracy. Na podstawie danych z typowych lat meteorologicznych i statystycznych danych klimatycznych dla obszaru Polski (dane publikowane przez Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju), przy uwzględnieniu charakterystyki systemu energetycznego (wymagana temperatura zasilania i powrotu czynnika roboczego w zależności od zewnętrznych warunkach obliczeniowych), model określa w sposób dynamiczny: zapotrzebowanie na strumień czynnika roboczego, zapotrzebowanie na temperaturę zasilania oraz osiąganą temperaturę powrotu. Dla charakterystyki odbiorcy, przy uwzględnieniu strat ciepła na przesyle (zależnych od średnicy rurociągów, warunków atmosferycznych, strumienia czynnika i parametrów gruntu) określane są wymagane parametry czynnika opuszczającego instalację źródła energii. Źródło energii pracuje przy założeniu priorytetowego wykorzystania energii geotermalnej. Niedobór mocy uzupełniany jest źródłem szczytowym. Analizowane źródło energii cieplnej jest zatem źródłem hybrydowym. Sam algorytm, od momentu publikacji opisu jego możliwości i sposobu działania, został wzbogacony o dodatkowe komponenty uzupełniające część geotermalną (sprężarkowe i absorpcyjne pompy ciepła) i przetestowany na obliczeniach dla systemu ciepłowniczego MPEC Sp. z o.o. w Koninie [1]<sup>1</sup>.

**Moim osiągnięciem naukowym, w zakresie bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej, jest opracowanie modeli matematycznych systemów energetycznych uwzględniających charakterystykę: źródła energii, systemu przesyłu i dystrybucji energii oraz odbiorcy na efekty pracy systemu. Na podstawie modelowania ocenie podlegają parametry: energetyczne, ekologiczne i ekonomiczne. Wykorzystanie ww. modeli umożliwia ocenę efektywności proponowanych rozwiązań i wybór rozwiązania optymalnego.**

<sup>1</sup> Numer podany w nawiasie kwadratowym odpowiada kolejnym pozycjom zestawionym w literaturze uzupełniającej do Autoreferatu. Literatura uzupełniająca zamieszczona jest na końcu niniejszego rozdziału.



▪ **Niestandardowe, alternatywne metody pozyskania energii geotermalnej**

Kolejnym przedmiotem moich zainteresowań naukowych są niestandardowe sposoby pozyskania energii geotermalnej i geotermicznej. Stosuje się je w celu umożliwienia wykorzystania energii lub celem poprawy efektywności pracy systemu geotermalnego. W publikacji **(Bujakowski i inni 2015 a)** dokonano oceny możliwości wytwarzania energii elektrycznej z formacji geologicznych zalegających na znacznych głębokościach (ok. -5400 ÷ -5600 m n.p.t., horyzont triasu dolnego). Duża głębokość gwarantuje wysoką temperaturę zasobów energii (w omawianym przypadku od 124 do 169°C). Analizowano wykorzystanie technologii wspomaganych systemów geotermalnych EGS (ang. Enhanced Geothermal System). Wspomaganie polega na poprawie warunków złożowych, przez zabieg szczelinowania – np. hydraulicznego. Dzięki szczelinowaniu uzyskuje się wzrost przepuszczalności, co ułatwia przetłaczanie płynu roboczego (wody). Płyn ten jest nośnikiem pośredniczącym w wymianie ciepła między złożem, a instalacją powierzchniową. Systemy EGS mogą nie posiadać stref zasilania i wymagać wtłaczania ochłodzonej wody w złożę – dzięki temu mogą poprawnie funkcjonować w długim okresie czasu. Znaczna część wytwarzanej energii elektrycznej konsumowana jest właśnie w celu wytworzenia ciśnienia pozwalającego przetłaczać wodę przez warstwy skalne w złożu. Oceniałem efekty energetyczne związane z wytwarzaniem energii cieplnej z głębokich struktur geologicznych, przy uwzględnieniu konsumpcji energii na własne cele. Rozważania takie prowadzone są w kilku moich publikacjach, między innymi **(Bujakowski i inni 2015 a)**. Mój wkład dotyczył obliczeń związanych z oceną energetyczną efektów pracy siłowni binarnej i współpracy w opracowaniu modelu numerycznego pracy złoża. W publikacji **(Bujakowski i inni 2013 a)** współpracowałem przy ocenie możliwości pozyskania energii geotermalnej przy wykorzystaniu technologii ciepła suchych gorących skał HDR (ang. Hot Dry Rock). Mój wkład w publikację polegał na opracowaniu numerycznego modelu stanu aktualnego wybranej strefy w masywie skał krystalicznych (Karkonosze, okolice Cieplic Śląskich), a następnie modelowaniu efektów eksploatacji energii cieplnej. W publikacjach **(Pająk i Bujakowski 2000)** oraz **(Gonet i inni 2011 a)** przedstawiona została metodyka oceny efektów stosowania pionowych wymienników ciepła, wykorzystywanych w celu pozyskania energii geotermicznej bez konieczności pozyskania płynu mającego hydrauliczny kontakt z górotworem. W **(Pająk i Bujakowski 2000)** opisałem autorski model numeryczny otworowego centrycznego wymiennika ciepła typu Fielda (metoda elementów skończonych). Wymiennik pozwalał pozyskiwać energię geotermiczną ze znacznych głębokości. W publikacji obok modelu numerycznego, wraz ze współautorem - Panem Wiesławem Bujakowskim, analizowaliśmy możliwość wykorzystania tego typu wymiennika jako alternatywy dla zagospodarowania wykonanych otworów geotermalnych, które nie osiągnęły zakładanych parametrów eksploatacyjnych. Najczęściej otwory takie są likwidowane, a poniesione nakłady traczone. Efektem naszych doświadczeń w tym zakresie było opracowanie koncepcji wykorzystania [2] oraz wytycznych projektowych dla wymiennika, wykonane dla Kolej Gondolowa Jaworzyna Krynicka S.A. – lokalizacja Czarny Potok dla otworu Czarny Potok GT-1 [3] oraz zgłoszenie patentowe pn.: „Otworowy wymiennik ciepła” [4]. Decyzją Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej z 4 listopada 2015 zgłoszenie patentowe, o którym mowa, otrzymało status patentu na wynalazek o nazwie „Otworowy wymiennik ciepła”.

Opisane powyżej metody niestandardowe stosowane są w celu umożliwienia i/lub poprawy efektywności wykorzystania energii geotermalnej. Zazwyczaj są one kosztowne (dotyczy to zwłaszcza EGS i HDR) lub otrzymywana moc cieplna rozwiązania nie jest duża (otworowe wymienniki ciepła). Za każdym razem celowość proponowanych rozwiązań powinna być przeanalizowana przy



uwzględnieniu aspektów technicznych i ekonomicznych. Powołane powyżej pozycje literaturowe, opisujące efekty moich prac, dotyczą tych właśnie zagadnień.

**Moim osiągnięciem naukowym, w zakresie wykorzystania energii geotermalnej, jest:**

- 1. Opracowanie narzędzi pozwalających, przy wykorzystaniu metod numerycznych, ocenić efekty wykorzystania alternatywnych i niestandardowych metod pozyskania energii geotermalnej,**
- 2. Ocena przydatności wykorzystania alternatywnych metod pozyskania energii przy użyciu wspomaganych systemów geotermalnych (EGS), wykorzystaniu ciepła suchych gorących skał (HDR) oraz pionowych głębokich wymienników ciepła pozyskujących energię geotermiczną.**

#### ▪ **Pompy ciepła**

W publikacjach (**Pająk i Kotyza 2011**) i (**Gonet i inni 2011**) zdefiniowałem warunki: energetycznej, ekologicznej i ekonomicznej opłacalności stosowania pomp ciepła w polskich warunkach. Specyfika krajowych warunków ujmuje strukturę wytwarzania energii elektrycznej, która jest najpowszechniej stosowaną formą energii napędowej dla sprężarkowych pomp ciepła. W sytuacji gdy napędowa energia elektryczna wytwarzana jest przede wszystkim z węgla (kamiennego i brunatnego), przy niskich sprawnościach (ok. 32-33% wliczając w to straty na przesyle). Osiągnięcie pozytywnych efektów energetycznych i ekologicznych wymaga uzyskania odpowiednio wysokich wartości współczynnika efektywności grzejnej pomp ciepła. Przytoczone publikacje formułują wymagane kryteria. W publikacji (**Pająk i Kotyza 2011**) zwrócono uwagę na znaczenie charakterystyki odbiorcy energii dla efektywności wykorzystania pomp ciepła w geotermii – szczególnie jeżeli chodzi o wymaganą temperaturę zasilania instalacji grzewczej. Moje doświadczenia w zakresie prognozowania efektów pracy pomp ciepła dotyczą również aplikacji praktycznych. Byłem wykonawcą projektu celowego dotyczącego wykorzystania pomp ciepła dla niskotemperaturowych zasobów geotermalnych w miejscowości Słomniki [5]. W projekcie uczestniczyłem zarówno na etapie jego przygotowania jak i realizacji. W ramach projektu udostępniono i uruchomiono źródło energii wykorzystujące w celach grzewczych otwór geotermalny Słomniki GT-1, udostępniający wody pitne o temperaturze ok. 17°C (wydajność do 50 m<sup>3</sup>/h). Były one dolnym źródłem dla sprężarkowych pomp ciepła. W roku 2014 prowadziłem badania nad rozbudowę podhalańskiego systemu ciepłowniczego o pompy ciepła [6], zadanie to obecnie znajduje się na etapie projektu technicznego.

**Moim osiągnięciem naukowym, w zakresie ciepłownictwa, jest określenie kryteriów warunkujących energetyczną, ekologiczną i ekonomiczną opłacalność stosowania pomp ciepła w odniesieniu do wybranych - alternatywnych źródła energii.**

#### ▪ **Hybrydowe źródła energii**

W artykule (**Pająk 2009 a**) opisałem problematykę optymalizacji kompozycji oraz harmonogramu pracy hybrydowych źródeł energii oraz wyjaśniłem celowość stosowania hybrydowych źródeł energii. Przez kompozycję źródła rozumie się udział poszczególnych urządzeń w mocy zainstalowanej w źródle. Harmonogram pracy oznacza sposób wykorzystania zainstalowanych źródeł w czasie. Optymalizacji źródła dokonałem przyjmując, że optymalizowaną funkcją celu są wybrane wskaźniki ekonomiczne (NPV lub minimalizacja całkowitych kosztów jednostkowych wytwarzania energii). Zastosowana

i opisana metodyka pozwala ująć główne koszty związane z eksploatacją źródła: amortyzacja środków trwałych, koszty remontów i konserwacji, koszty etatów, opłaty za gospodarcze korzystanie ze środowiska. Bardzo istotnym parametrem, uwzględnianym przez opisany w artykule algorytm, jest ujęcie wpływu na nakłady inwestycyjne tzw. „efektu skali” oraz dowolność w deklaracji zmian w czasie cen nośników energii. Wspomniany „efekt skali” ujmuje obserwowaną zależność pomiędzy mocą urządzeń a jednostkową ceną ich zakupu, w przeliczeniu na moc jednostkową (najczęściej 1 kW mocy zainstalowanej). Obserwuje się tendencję spadku poziomu wymaganych jednostkowych nakładów inwestycyjnych z mocą zainstalowaną. Publikacja (Pająk 2009 b) prezentuje możliwości i efekty działania opisanego w poprzednim artykule (Pająk 2009 a) algorytmu.

**Moim osiągnięciem naukowym, w zakresie ciepłownictwa, jest opracowanie algorytmu służącego do optymalizacji hybrydowych źródeł energii. Optymalizowaną funkcją celu są wybrane parametry ekonomiczne. Opracowany algorytm daje możliwość uwzględnienia istotnych parametrów technicznych i ekonomicznych.**

#### ▪ Wykorzystanie i utylizacja ochłodzonych wód termalnych

Bardzo istotnym problemem związanym z wykorzystaniem wód geotermalnych jest utylizacja schłodzonej wody, po odzysku energii. Zazwyczaj mamy do czynienia z solankami o różnej, często znaczącej, mineralizacji. Dalsze wykorzystanie ochłodzonych wód, bez gruntownego procesu uzdatniania jest unikatowe – choć możliwe. Przykładem jest instalacja geotermalna w Mszczonowie eksploatowana przez Geotermię Mazowiecką. Woda po napowietrzaniu, odgazowaniu i filtracji jest wykorzystywana jako woda pitna. Jest to możliwe dzięki jej naturalnie niskiej mineralizacji. Światowe trendy w zrównoważonym wykorzystaniu energii geotermalnej sugerują zatłaczanie ochłodzonych wód termalnych do złoża – do tej samej warstwy wodonośnej, z której były pobrane. Dzięki temu utrzymać można niezmienny w czasie bilans zasobów. Zapewnia to stabilność ciśnienia złożowego. Proces zatłaczania wód jest jednak kłopotliwy i kosztowny, głównie ze względu na kolmatację strefy filtra otworu chłonnego oraz strefy złoża bezpośrednio sąsiadującej z filtrem. Produkty korozji także mają swój wpływ na omawiany proces. Efekt ten kumuluje się w czasie i w niektórych przypadkach wymaga okresowego wykonania zabiegów technologicznych poprawiających chłonność otworu. Dzięki temu uzyskuje się wzrost chłonności, a co za tym idzie spadek wymaganego ciśnienia zatłaczania. W publikacji (Tomaszewska i Pająk 2012 a) zaprezentowano opracowany model matematyczny procesów zachodzących w trakcie zatłaczania. W modelu uwzględniono: wpływ kolmatacji, tzw. skin-efekt termiczny oraz opory przepływu płynu geotermalnego przez otwór chłonny. Celem modelowania jest określenie wymaganej mocy napędowej dla pomp zatłaczających, przy uwzględnieniu głównych – zdaniem autorów publikacji – najbardziej istotnych parametrów. Omawiany model uwzględnia dynamikę opisywanych procesów, opisując ich zmiany w czasie. Pompy współpracujące z otworem chłonnym i wytwarzające stosowne ciśnienie są jednym z głównych konsumentów energii elektrycznej w instalacjach geotermalnych. Moc napędowa pomp jest wprost proporcjonalna do wymaganego nadciśnienia i strumienia zatłaczanego płynu. W pewnych sytuacjach, korzystne efekty energetyczne i ekonomiczne można uzyskać poprzez zmniejszenie strumienia płynu wtłaczanego w złożo. W publikacji (Tomaszewska i Pająk 2012 b) zaprezentowano prognozowane efekty działań polegających

na pobraniu części strumienia ochłodzonego płynu geotermalnego. Pobrana część strumienia poddana jest procesowi uzdatnienia, do jakości umożliwiającej sprzedaż otrzymanej wody (permeate) – np. jako



wody pitnej lub technologicznej. Zagęszczony koncentrat mieszany jest z wodą termalną i wtłaczany do złoża. Strumień zatłaczanego płynu jest zatem pomniejszony o strumień permeatu. Przekłada się to na efekty w postaci redukcji ciśnienia zatłaczania, a dalej zapotrzebowania na moc napędową pomp zatłaczających. W publikacji omówiono ekonomiczne efekty zastosowania omawianego rozwiązania. Otrzymane wyniki świadczą o tym, że możliwe jest otrzymanie korzyści pozwalających spłacić poniesione na instalację uzdatniania nakłady inwestycyjne. Rozwiązanie takie może być szczególnie atrakcyjne w obszarach charakteryzujących się deficytem zasobów wody pitnej. W publikacji **(Tomaszewska i Pająk 2013)** wskazano na możliwość wykorzystania uzdatnionych wód w celu uzupełnienia ubytków wody w sieci ciepłowniczej Podhalańskiego systemu geotermalnego. Dodatkowym atutem omówionego w tej publikacji rozwiązania jest możliwość wykorzystania artezyjskiego nadciśnienia złożowego, które charakteryzuje podhalański system geotermalny. W standardowych rozwiązaniach uzdatniona woda, uzupełniająca straty sieci ciepłowniczej, musi zostać ogrzana do temperatury, która panuje w sieci. Wykorzystanie wód termalnych, które nawet po schłodzeniu i uzdatnianiu mają anomalnie wysoką temperaturę (30-50°C), pozwala zredukować zapotrzebowanie na moc cieplną zużywaną do podgrzania wody. Wykorzystanie ciśnienia złożowego i podwyższonej temperatury wód termalnych skutkuje obniżeniem konsumpcji energii napędowej (elektrycznej i cieplnej) i przyczynia się do poprawy efektów ekonomicznych, ekologicznych i energetycznych. W publikacji **(Tomaszewska i inni 2014)** wskazaliśmy, wraz ze współautorami, jeszcze jeden potencjalny sposób zagospodarowania otrzymywanego koncentratu. Można z powodzeniem rozważać jego wykorzystanie w celach balneologicznych i balneo-terapeutycznych. W publikacji omówiono również aspekty techniczne wynikające z korzyści związanych z wykorzystaniem hybrydowego membranowego systemu oczyszczania wód. System wykorzystuje proces ultrafiltracji i odwróconej osmozy. Mój wkład w jej przygotowanie polegał na ocenie osiąganych efektów energetycznych i ekonomicznych.

**Moim osiągnięciem naukowym, w zakresie oczyszczania ochłodzonych wód termalnych, jest:**

1. Wskazanie możliwości oczyszczania oraz jakościowa i ilościowa ocena efektów wykorzystania anomalnych parametrów wód termalnych (podwyższone ciśnienie i temperatura) w procesie ich uzdatniania,
2. Określenie ilościowe i jakościowe warunków i efektów zatłaczania wód, bądź ich wykorzystania po uzdatnieniu w innym celu.

#### Literatura uzupełniająca do Autoreferatu

1. Bujakowski W., Barbacki A., Bielec B., Hołojuch G., Kasztelewicz A., Kępińska B., Lankof L., Miecznik M., **Pająk L.**, Skrzypczak R., Tomaszewska B., 2015 – *Wariantowa ekspertyza optymalnego wykorzystania źródła geotermalnego w Koninie do celów energetycznych*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk w Krakowie IGSMiE PAN. Zamawiający: MPEC Konin Sp. z o.o. – Kraków 22(C-2)15 – materiał niepublikowany, archiwum IGSMiE PAN
2. Bujakowski W., Barbacki A., Bielec B., Hołojuch G., Kasztelewicz A., Kępińska B., Miecznik M., **Pająk L.**, Skrzypczak R., Tomaszewska B., 2013 – *Opracowanie modelu technologicznego wykorzystania energii geotermalnej ujętej otworowym wymiennikiem ciepła w otworze Czarny Potok GT-1*. IGSMiE PAN. Zamawiający: Kolej Gondolowa Jaworzyna Krynicka S.A. – Jaworzyna Krynicka. 55(C-2)13 – materiał niepublikowany, archiwum IGSMiE PAN



3. Bujakowski W., **Pająk L.**, Tomaszewska B., Bielec B., Hołojuch G., Graczyk S., Kępińska B., 2011 – *Opracowanie wytycznych projektowych otworowego wymiennika ciepła w otworze Czarny Potok GT-1 wraz z oceną możliwości zagospodarowania ciepła do celów rekreacyjnych*. IGSMiE PAN. Zamawiający: Kolej Gondolowa, Jaworzyna Krynicka S.A. – Krynica Zdrój. 21(C-2)11 – materiał niepublikowany, archiwum IGSMiE PAN
4. Bujakowski W., **Pająk L.**, Tomaszewska B., Hołojuch G., Łuszczewski J. *Zgłoszenie patentowe pn.: „Otworowy wymiennik ciepła”*. Wniosek złożony w dniu 22.11.2012 r. w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej. Wnioskowany zakres terytorialny ochrony patentowej – Rzeczpospolita Polska, nr zgłoszenia P.401721
5. Projekt celowy Nr 9T12B023C99/4451 : *Kaskadowy system wykorzystania niskotemperaturowej wody geotermalnej dla celów ciepłowniczych i konsumpcyjnych w rejonie Słomnik*. Realizacja w latach 1999-2003. **Pająk L.**- wykonawca projektu
6. Bujakowski W., Barbacki A., Bielec B., Hołojuch G., Kasztelewicz A., Kępińska B., Miecznik M., **Pająk L.**, Skrzypczak R., Tomaszewska B., 2014 – *Rozbudowa systemu ciepłowniczego o montaż pomp ciepła*. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk w Krakowie IGSMiE PAN. Zamawiający: PEC Geotermia Podhalańska – Zakopane 8(C-2)14 – materiał niepublikowany, archiwum IGSMiE PAN

Literatura uzupełniająca, w celu jej jednoznacznego odróżnienia od publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, cytowana jest przez powołanie odpowiedniego numeru podanego w nawiasie kwadratowym.

## PRZEBIEG PRACY NAUKOWEJ I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Studia magisterskie rozpocząłem w roku 1990 na Wydziale Metalurgii i Inżynierii Materiałowej (WMIIM) Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (AGH) na kierunku Metalurgia. W trakcie studiów zdecydowałem się na wybór specjalności Technika Ciepła, Budowa Pieców Przemysłowych i Ochrona Środowiska. Na czwartym roku studiów zdecydowałem się na wybór specjalizacji Technika Ciepła w Zakładzie Techniki Ciepłej i Ochrony Środowiska Wydziału Metalurgii i Inżynierii Materiałowej AGH. Swoją pracę magisterską realizowałem pod opieką dr inż. Bogumiła Kołaczewskiego. Tematem pracy magisterskiej był: „Model rekuperatora”, praca obejmowała opracowanie algorytmu obliczeniowego i wykonanie programu komputerowego pomocnego przy projektowaniu (określanie wymiarów charakterystycznych, spełniających ustalone założenia) i modelowaniu warunków pracy (określanie parametrów mediów na wyjściu przy ustalonej geometrii) cylindrycznego rekuperatora radiacyjnego typu Schacka. Za prezentację algorytmu i możliwości obliczeniowych programu w roku 1995 otrzymałem pierwszą nagrodę na sesji Studenckiego Koła Naukowego w sekcji Technika Ciepła, Budowa Pieców Przemysłowych i Ochrony środowiska na Wydziale Metalurgii i Inżynierii Materiałowej AGH.

Tuż po skończeniu studiów magisterskich, w okresie od czerwca do września 1995 roku zatrudniłem się na stanowisku asystenta projektanta w Biurze Projektów Przedsiębiorstwa Projektowania i Dostaw Urządzeń Ochrony Środowiska „EcoProduct” w Krakowie. W trakcie pracy w tym przedsiębiorstwie zdobyłem cenną praktyczną wiedzę na temat działania przemysłowych urządzeń odpylających,

w szczególności elektrofiltrów. Było to doskonałe uzupełnienie podstaw teoretycznych, zdobytych w trakcie studiów. Brałem aktywny udział, na miarę swoich ówczesnych możliwości i wiedzy, w projektach realizowanych przez EcoProduct dla: EC Bielsko-Biała, EC Rzeszów. Ze względu na umiarkowanie doświadczenie praktyczne, celem zdobycia praktycznej wiedzy, uczestniczyłem w modernizacji elektrofiltrów w EC Rzeszów. W EC Bielsko-Biała uruchamiana była instalacja kondycjonowania spalin. Od strony praktycznej przyjrzałem się zagadnieniom związanym z kondycjonowaniem spalin i ich ochładzaniem i nawilżaniem (przez odparowanie wody) celem poprawy ich parametrów przed odpylaniem i redukcją strumienia objętości. Uczestniczyłem aktywnie w pomiarach (poprzez osobiste wykonywanie pomiarów i ich interpretację w warunkach przemysłowych) testowych realizowanych w elektrofiltrach EC Rzeszów. Zadanie projektowe dotyczyło modernizacji i regulacji nastaw kierownic spalin przed i za elektrofiltrem, celem równomiernego rozkładu strumienia spalin w objętości elektrofiltra. Mimo, że okres współpracy z firmą EcoProduct był krótki uważam go za bardzo cenny dla mojej dalszej pracy zawodowej.

We wrześniu 1995 roku zdałem pozytywnie egzamin na studia doktoranckie na WMiIM AGH. W trakcie studiów doktoranckich zainteresowania swoje wiązałem coraz bardziej z ciepłownictwem i klimatyzacją obiektów komunalnych. W naturalny sposób zainteresowania te ukierunkowały się na pompy ciepła i możliwość ich wykorzystania w instalacjach grzewczych i klimatyzacyjnych. W tym czasie na Wydziale Metalurgii i Inżynierii Materiałowej AGH zainstalowano pompę ciepła z bezpośrednim parowaniem czynnika grzewczego w spiralnym wymienniku gruntowym. Zainteresowała mnie tematyka wymiany ciepła w gruncie eksploatowanym cieplnie przez pompę. W szczególności zająłem się modelowaniem matematycznym wymiany ciepła w gruntach – zarówno w stanie naturalnym jak i w stanie eksploatacji energii cieplnej. Opis matematyczny tego procesu, nawet w warunkach naturalnych, wymaga stosowania teorii nieustalonej wymiany ciepła. Matematyczny opis procesów jest bardzo skomplikowany, między innymi ze względu na zmienne w czasie warunki brzegowe. Wykonywałem pomiary zmian temperatury gruntu w strefie wymiennika spiralnego współpracującego z pompą, zarówno w warunkach naturalnych, jak i zaburzonych pracą wymiennika. Moje zainteresowania, związane z chęcią matematycznego opisu wymiany ciepła w gruncie, ukierunkowały moją dalszą pracę na współpracę z dr hab. inż. Zbigniewem Malinowskim, który zgodził się być promotorem mojej pracy doktorskiej. Dzięki dużej pomocy Pana Profesora (wówczas dr hab. inż.) opracowałem model numeryczny wymiany ciepła w gruncie przy wykorzystaniu Metody Elementów Skończonych. Model ten posłużył do sformułowania tezy i zakresu mojej pracy doktorskiej. Ostatecznie w roku 1999, na WMiIM AGH obroniłem pracę doktorską pod tytułem: „*Rozwój strefy przemarzania gruntu w obszarze kolektora gruntowego pompy ciepła*”. Promotorem pracy był dr hab. inż. Zbigniew Malinowski, a recenzentami: Prof. dr hab. inż. Maciej Pietrzyk (WMiIM AGH) i dr hab. inż. Andrzej Nowak (Politechnika Śląska). Po uzyskaniu stopnia doktora moja współpraca z WMiIM AGH nadal trwała. W latach 1999/2000, przy współpracy z Prof. Malinowskim, opracowałem model numeryczny otworowego, centrycznego wymiennika ciepła pozwalającego wykorzystać otwory geotermalne do pozyskania energii bez konieczności eksploatacji płynów złożowych. Model ten był elementem pierwszego projektu badawczego, którego byłem wykonawcą (Projekt badawczy na zamówienie MNiSW i finansowany przez Komitet Badań Naukowych Nr 9T12B04114: Efektywność wykorzystania istniejących odwiertów wiertniczych jako wymienników ciepła geotermalnego. Realizacja w latach 1999– 2000, wykonawca).

W trakcie studiów doktoranckich na AGH, w styczniu roku 1996, rozpocząłem współpracę z Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk



w Krakowie (obecna nazwa Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk – IGSMiE PAN). Początkowo byłem zatrudniony na część etatu. Rozpocząłem pracę w Laboratorium Geotermalnym kierowanym przez Pana dr inż. Wiesława Bujakowskiego. Zainteresowania naukowe zespołu kierowanego przez Pana Bujakowskiego związane były z wykorzystaniem zasobów geotermalnych. Ukierunkowanie moich zainteresowań na wymianę ciepła w gruntach i ogólniej ośrodkach geologicznych wiązało się również z pracą w Laboratorium Geotermalnym IGSMiE PAN.

Od tego czasu jestem nieprzerwanie pracownikiem IGSMiE PAN i bardzo cenię sobie pracę w tej jednostce naukowo-badawczej. Laboratorium Geotermalne z czasem zmieniło swoją nazwę i dziś jego pracownicy wchodzi w skład Pracowni Odnawialnych Źródeł Energii IGSMiE PAN. Instytut uruchomił w roku 1992 pierwszą w Polsce ciepłownię geotermalną na Podhalu. Elementy tej instalacji pracują do dziś, wchodząc w skład instalacji administrowanej przez Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Geotermia Podhalańska S.A. Dzięki profilowi działalności i charakterze pracy w IGSMiE PAN miałem możliwość zdobyć dość obszerne, moim zdaniem, doświadczenie w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii - a geotermii w szczególności. Uczestniczyłem w końcowym etapie prac związanych z dokumentacją efektów wykorzystania energii geotermalnej w pierwszej polskiej instalacji geotermalnej. Konkretnie aktywnie brałem udział w opracowaniu zagadnień związanych z projektem demonstracyjnym wykorzystania: kaskadowego systemu odbioru energii od wody geotermalnej, wykorzystania energii geotermalnej do intensyfikacji hodowli warzyw w warunkach Podhala i chowu ryb ciepłolubnych. W roku 1999 aplikowałem o możliwość odbycia półrocznego szkolenia na Uniwersytecie Narodów Zjednoczonych w Reykjavíku (UNU GP), w zakresie wykorzystania energii geotermalnej i moja aplikacja została pozytywnie opiniowana. W roku 2000, dzięki uprzejmości moich przełożonych zostałem oddelegowany na odbycie ww. szkolenia w zakresie wykorzystania energii geotermalnej (specialization: Geothermal Utilization). Przez pół roku (od kwietnia do października 2000) zajmowałem się na UNU GP problematyką bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej w systemach ciepłowniczych. Miałem możliwość praktycznego poznania rozwiązań wykorzystywanych na Islandii i nawiązania współpracy z naukowcami i inżynierami posiadającymi bardzo duże międzynarodowe doświadczenie w tym zakresie. Ze względu na moje zainteresowania i moją prośbę, w ramach szkolenia UNU GP, otrzymałem możliwość poszerzenia standardowego zakresu kursu wykorzystania energii geotermalnej o elementy inżynierii złożowej (specialization: Reservoir Engineering). Uczestniczyłem, w miarę możliwości - jeżeli nie kolidowało to z moimi zajęciami na podstawowej specjalności, w zajęciach i wyjazdach terenowych typowych dla kursu w zakresie inżynierii złożowej. Zakres projektu wykonywanego w ramach UNU GP dobrałem tak, by wykorzystać i poszerzyć stan mojej wiedzy o wiadomości z zakresu obu specjalności. Temat realizowanego w ramach stażu projektu brzmiał: „Simultaneous production and injection of two water bearing layers in the same well”. W trakcie realizacji pracy poznałem możliwości i sposób pracy symulatora TOUGH2. Narzędzie wykorzystywanego powszechnie do modelowania zagadnień związanych z inżynierią złożową w geotermii. Od tego czasu używam tego symulatora do modelowania skojarzonych procesów wymiany ciepła i masy w ośrodkach geologicznych. Ilość zrealizowanych prac: naukowych, badawczych i ekspertyz świadczy o tym, że potrafię wykorzystać to narzędzie w sposób uniwersalny – zgodny z jego przeznaczeniem.

W ramach pracy w IGSMiE PAN uczestniczyłem w wielu pracach o charakterze naukowo-badawczym i aplikacyjnym (wdrożeńowym). Współpracowałem z zagranicznym i krajowymi ośrodkami naukowymi i badawczymi. Głównymi beneficjentami prac realizowanych w Instytucie były przedsiębiorstwa oraz



jednostki samorządowe różnego szczebla. Dzięki takiemu charakterowi pracy zdobyłem szerokie doświadczenie praktyczne związane z współpracą podmiotami gospodarczymi i naukowymi.

W roku 2008 rozpocząłem współpracę w ramach prac zleconych, a w roku 2010 pracę na etacie adiunkta na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska w Katedrze Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH. Początkowo prowadziłem ćwiczenia audytoryjne z Termodynamiki Technicznej w zakresie stechiometrii procesów spalania. Równocześnie przygotowałem program nowych przedmiotów i rozpocząłem ich nauczanie (wykłady i ćwiczenia projektowe). Pierwszymi przedmiotami, dla których programy opracowałem i zająłem się ich realizacją były: Ogrzewnictwo Wentylacja i Klimatyzacja i Zintegrowane Systemy Energetyczne. Następnie współpracowałem przy opracowaniu i uruchomieniu przedmiotu Energetyka Komunalna i Audyt Energetyczny. Zajęcia z tego przedmiotu prowadzę z dr inż. Robertem Oleniaczem (pracownikiem WGGiŚ AGH). W roku 2014 zainteresowanie Studentów zwrócił wcześniej przygotowany przeze mnie przedmiot Optymalizacja Systemów Grzewczych i Wentylacyjnych. Od tego roku prowadzę również zajęcia z tego przedmiotu (wykłady i ćwiczenia projektowe).

Mam nadzieję, że dzięki doświadczeniu zdobytemu przez wieloletnią pracę w IGSMiE PAN moje zajęcia znajdują uznanie Studentów. Może świadczyć o tym fakt, że mimo dość trudnego zakresu materiału i egzekwowaniu przyswojenia materiału, zajęcia moje znajdują odbiorców. Niektóre z przedmiotów początkowo zgłaszane były jako przedmioty fakultatywne, obieralne dowolnie przez studentów. Z czasem zainteresowanie nimi pozwoliło na włącznie ich do grona przedmiotów obowiązkowych (dotyczy to np. Ogrzewnictwa Wentylacji i Klimatyzacji).

Jestem autorem lub współautorem 107 publikacji naukowo-technicznych, z tego 104 opublikowałem po doktoracie. Osiem z tych publikacji to publikacje z listy JCR, w tym jeden patent (dotyczy otworowych wymienników ciepła). Sumaryczna ilość cytowań moich publikacji wg bazy danych Web of Science wynosi 29, z czego 13 to autocytyowania. Sumaryczny Impact Factor dla mojego dorobku to 7,493.

Szczegółowe ilościowe zestawienie mojego dorobku naukowo-badawczego przedstawiłem w tabeli 1, która znajduje się na końcu Autoreferatu. Prezentuje ona stan mojego dorobku na styczeń 2016 roku. W tabeli dokonano wyraźnego podziału na dorobek osiągnięty przed i po doktoracie.

## DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA

Moja działalność dydaktyczna związana jest z zaangażowaniem w kształcenie studentów na pierwszym i drugim stopniu studiów stacjonarnych i niestacjonarnych. Uczestniczę również w prezentacjach, konferencjach i seminariach, których celem jest propagacja wiedzy w zakresie moich zainteresowań naukowych.

Moja działalność dydaktyczna w zakresie kształcenia studentów polega na przygotowaniu i prowadzeniu zajęć dydaktycznych (wykładów i ćwiczeń projektowych) na kierunku Inżynieria Środowiska Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH. Przedmioty, których zajęcia dotyczą obejmują zagadnienia związane z: ciepłownictwem, energetyką, termodynamiką, wentylacją i klimatyzacją. Dotychczas byłem opiekunem siedmiu prac magisterskich i 21 projektów inżynierskich.

Do osiągnięć dydaktycznych w zakresie prezentacji wyników mojej pracy na konferencjach i seminariach mogę zaliczyć aktywny udział w 12 konferencjach o zasięgu międzynarodowym i 19



o zasięgu ogólnopolskim. Biorę również udział w szkoleniach i seminariach wygłaszając wykłady zamawiane (do grudnia 2015 wygłosiłem ich około dziesięciu).

### OSIĄGNIĘCIA W ZAKRESIE DZIAŁALNOŚCI ORGANIZACYJNEJ I POPULARYZATORSKIEJ

W ramach mojej działalności organizacyjnej zajmuję się współpracą w wydawaniu czasopisma Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój / Geological Exploration Technology Geothermics, Sustainable Development - jako redaktor działowy: ciepłownictwo, energetyka, ekonomia oraz inżynieria złożowa.

Jestem członkiem czterech organizacji naukowo-technicznych, w tym trzech o zasięgu międzynarodowym (European Geothermal Energy Council, International Geothermal Association, European Regional Branch International Geothermal) i jednej o zasięgu ogólnopolskim (Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego).

W ramach swej działalności, na zaproszenie Organizatora, uczestniczyłem w Komitecie Naukowym IV Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego, który odbył się w Zakopanem w październiku 2013 roku.

Za swoją działalność naukowo-techniczną otrzymałem w roku 2011 odznakę „Zasłużony dla energetyki” (wydawaną przez Ministerstwo Gospodarki RP) oraz stopień Inżyniera Górniczego I-szego stopnia.

W ramach realizacji międzynarodowych projektów naukowo-badawczych współpracowałem, między innymi z:

- Slovak Energy Agency, Macedonian Geothermal Association, University of Szeged – projekt pod nazwą *Geothermal Communities (GeoCom)*;
- European Geothermal Energy Council, Magyar Állami Földtani Intézet, Agency for geothermal power engineering, Union of Bulgarian black sea local authorities, Slovensko društvo za daljinsko energetiko, Consorzio per lo Sviluppo delle Aree Geotermiche, Association Française des professionnels de la géothermie - projekt pod nazwą: *Geothermal District Heating (GeoDH)*,
- German Research Center for Geosciences GFZ-Potsdam – projekt pod nazwą: *Integrated Geophysical Exploration Technologies (I-GET)*.

Wśród polskich ośrodków naukowych i badawczych współpracowałem lub współpracuję aktualnie z: Wydziałem Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Wydziałem Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH, Państwowym Instytutem Geologicznym, Głównym Instytutem Górnictwa, Politechniką Wrocławską, Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym.

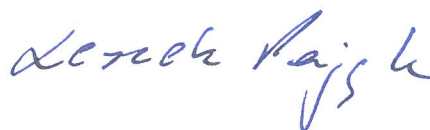


Tabela 1. ZESTAWIENIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO, stan na styczeń 2016

Dorobek naukowo-badawczy	Przed doktoratem	Po doktoracie	Suma
Sumaryczna liczba publikacji	3	104	107
Czasopisma z listy JRC	-	8	8
Publikacje w bazie Scopus	-	13	13
Monografie autorstwo/współautorstwo	1	12	13
Autorstwo i współautorstwo rozdziałów w monografiach	-	28	28
Artykuły w innych czasopismach niż z listy JRC	2	44	46
Materiały konferencyjne krajowe i zagraniczne	3	18	21
Materiały konferencyjne o zasięgu międzynarodowym	-	9	9
Materiały konferencyjne o zasięgu krajowym	3	9	12
Sumaryczny Impact Factor	-	7,493	7,493
Sumaryczna punktacja publikacji wg MNiSW	34	688,5	722,5
Sumaryczna liczba punktów za autorstwo lub współautorstwo publikacji wg MNiSW (uwzględniając udział procentowy i afiliację autorów)	31,6	233,1	264,7
Indeks Hirscha wg bazy Web of Science	-	3	3
Indeks Hirscha wg bazy Scopus	-	4	4
Indeks Hirscha wg bazy Google Scholar	-	7	7
Liczba cytowań wg bazy Web of Science bez autocytowań	-	29 16	29 16
Liczba cytowań wg bazy Scopus	-	45	45
Liczba cytowań wg bazy Google Scholar	-	168	168
Wykonawca projektów badawczych międzynarodowych	-	4	4
Wykonawca projektów badawczych krajowych	1	14	15
Udział w konferencjach o zasięgu międzynarodowym	-	12	12
Udział w konferencjach o zasięgu krajowym	3	20	23
Liczba wygłoszonych referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych	3	16	19
Recenzje artykułów w czasopismach zagranicznych (z listy JRC)	-	1	1
Recenzje artykułów w czasopismach krajowych	-	11	11
Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji	-	1	1
Opracowania zbiorowe, ekspertyzy	1	60	61
Dokumentacja prac badawczych	8	26	34
Aplikacje przemysłowe	1	8	9
Patenty	0	1	1

*Leszek Nejga*