

Dr hab. inż. Wiesław Bujakowski
Prof. Instytutu Gospodarki Surowcami
Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk
31-261 Kraków
Ul. Wybickiego 7a

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Wachowicz-Pyzik

pt. „Ocena geologicznych uwarunkowań inwestycji geotermalnych przy wykorzystaniu modelowania numerycznego na przykładzie utworów jury dolnej w niecce szczecińsko-mogileńsko-lódzkiej”

Rozprawa została wykonana w Katedrze Surowców Energetycznych Wydziału Geologii,
Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

Promotorem rozprawy był Pan dr. hab. inż. Michał Stefaniuk prof. AGH
Promotorem pomocniczym była Pani dr hab. inż. Anna Sowizdzał

Ocena przedmiotu, celu i zakresu rozprawy

Przedmiotem pracy doktorskiej mgr. inż. Anny Wachowicz-Pyzik było wykorzystanie modelowania numerycznego do oceny warunków geologicznych i pracy dubletu geotermalnego w dwu lokalizacjach znajdujących się w obrębie niecki szczecińsko-mogileńsko-lódzkiej tj. w rejonie Choszczna i Malanowa.

Zasadniczy cel badawczy rozprawy ujęty został w czterech tezach odnoszących się do etapu symulacji numerycznych i następnie modelowania pracy dubletu geotermalnego.

Pierwsza i druga teza dotyczyły stwierdzenia iż prawidłowa ocena rozwoju inwestycji geotermalnej winna być oparta o możliwie wszechstronną analizę danych geologicznych i weryfikację budowy geologicznej z wykorzystaniem modelu numerycznego ośrodka geologicznego.

Dwie następne tezy, trzecia i czwarta, odnosiły się do samego procesu modelowania numerycznego, którego efektem była ocena odnawialności zasobów geotermalnych oraz wskazanie optymalnych lokalizacji i konfiguracji a także efektywności pracy otworów

eksploatacyjno-chłonnym systemu geotermalnego.

Postawione w rozprawie tezy zdaniem recenzenta są ciekawe i wnoszące ładunek oryginalności w postaci proponowanej przez doktoranta procedury badawczej począwszy od opracowania modelu koncepcyjnego, statycznego modelu strukturalnego i parametrycznego po dynamiczny model pracy systemu geotermalnego z próbą jego optymalizacji. Można powiedzieć, że praca ma charakter zmierzający do holistycznego ujęcia, w obszarze systemu geologicznego, całego zagadnienia rozpoznania, realizacji i eksploatacji systemu geotermalnego.

W szerokim ujęciu praca dotyczy zagadnienia wykorzystania ciepła wód geotermalnych utworów jury dolnej występujących w niecce szczecińsko-mogileńsko-lódzkiej. Autorka swoje prace skoncentrowała na dwu polach badawczych tj.; w rejonie miejscowości Choszczno położonej w północno-zachodniej części niecki oraz miejscowości Malanów położonym w centralnej części niecki w rejonie miast Kalisz i Turek. Potrzeba powszechnego wykorzystania „czystego” źródła energii, jakim jest energia geotermalna, jest generalnie dla wszystkich oczywista ale jednocześnie, ze względu na kosztowne inwestycje zwłaszcza na etapie udostępnienia złoża, stanowi wyzwanie dla naukowców aby zracjonalizować konfigurację otworów i zoptymalizować proces eksploatacji wód geotermalnych. W niniejszej pracy doktorskiej wskazano metody umożliwiające minimalizację ryzyka geologicznego złej lokalizacji otworów oraz dokonano próby optymalizacji inwestycji w zakresie konfiguracji dubletu otworów i jego pracy. Ten kierunek badań wpisuje się w obszar prac badawczych mających charakter przydatności użytecznej.

Doktorantka wykonując pracę wykazała się dużymi umiejętnościami i wiedzą w zakresie wykorzystania szerokiego zakresu programów umożliwiających modelowanie numeryczne a także prawidłową interpretacją danych i uzyskanych wyników.

Stwierdzam, że przedmiotowa rozprawa tematycznie mieści się w dziedzinie Nauk Ścisłych i Przyrodniczych w obszarze dyscypliny Nauk o Ziemi i Środowisku.

Treść, układ rozprawy i uwagi szczegółowe

Tematycznie rozprawa stanowi spójną, logiczną całość, gdzie postawione tezy znajdują logiczne i rzeczowe uzasadnienie, a wnioski końcowe nie budzą większych zastrzeżeń.

Doktorantka przedstawiła pracę w dwu częściach tj. w zwartym 203 stronicowym opracowaniu i w odrębnym załączniku zawierającym wyniki interpretacji krzywych geofizyki otworowej z 7 otworów zlokalizowanych w polach badawczych Choszczno i Malanów. W przypadku drugiego opracowania niejasny jest udział doktorantki w interpretacji danych geofizyki gdyż w każdym przypadku znajduje się podpis „wg interpretacji B. Czopek”.

Podstawowa praca zawiera 14 rozdziałów, z których rozdział 1 Wstęp (5 stron) zawiera podstawowe informacje i tezy rozprawy, a końcowe rozdziały 11, 12, 13 i 14 (str. 182-203) zawierają spisy rysunków (143 rysunki), tabel (15 tabel), załączników (7) i literatury (191 pozycji).

Rozdział 2 (str.9 – 15), ma charakter wprowadzający - informacyjny i przybliży nam wykorzystanie symulatorów numerycznych w geotermii oraz stosowane ogólnie metody obliczeniowe. Nieco szczegółowiej przedstawiono symulator TOUGH, którym doktorantka posłużyła się do modelowania pracy dubletu geotermalnego.

W rozdziale 3 (str. 16 – 23) przedstawiono metodykę badań z podziałem na pozyskiwanie i analizę danych, interpretację danych geofizyki otworowej, danych sejsmicznych i wprowadzenie w modelowanie. Autorka kilkakrotnie w pracy podkreśla, iż podstawowym krokiem poprzedzającym proces tworzenia modeli numerycznych jest wszechstronna analiza danych z obszaru badań. W tym kontekście ubogo wygląda informacja o danych pochodzących z próbek skał (rdzenie, próby okruczowe) z otworów obu analizowanych pól badawczych. Modele opracowane w pracy (konceptyjne, strukturalne) oparto praktycznie o dane geofizyczne.

W rozdziale 4 (str. 24 – 36) w zwarty i przystępny sposób przedstawiono charakterystykę niecki szczecińsko-łódzko-miechowskiej ze szczególnym uwzględnieniem niecki szczecińskiej, w której znajduje się pole badawcze Choszczna i niecki mogileńsko-łódzkiej z polem badawczym Malanowa.

Rozdział 5 (str. 37-44) poświęcony został charakterystyce parametrów geotermalnych skał zbiornikowych jury dolnej badanego obszaru. Rozdział mógłby być interesującym kompendium o zakładach geotermalnych eksploatujących wody geotermalne Niżu Polski zarówno z utworów jury dolnej jak i kredy dolnej, o której pisze autorka, gdyby został

dopracowany w zakresie najnowszych danych, spójnych informacji i parametrów, niezbędnych uzupełnień, stylu wypowiedzi. W przypadku publikacji rozdział ten wymaga gruntownych zmian.

Kolejny rozdział 6 (str. 45 – 49) zawiera opis metodyki wyboru lokalizacji badań. Autorka podkreśla, iż czynnikiem decydującym o wyborze lokalizacji inwestycji geotermalnej są korzystne parametry zbiornikowe i dodatkowo obecność potencjalnych odbiorców. W tym kontekście wybór rejonu Choszczna jest uzasadniony natomiast rejon Malanowa, ciekawy w aspekcie geologicznym, praktycznie nie posiada odbiorców energii gdyż są to tereny wiejskie a jedyne duże miasto Kalisz znajduje się w odległości 20 km.

Rozdział 7 (str. 47 – 113) zawiera podstawowe informacje z przeprowadzonych badań modelowych w polu badawczym Choszczna. Autorka w prawidłowy sposób zestawia dane charakteryzujące badany obszar. Uwagę budzi brak informacji o wykorzystaniu w pracy badań próbek rdzeni z 4 głębokich odwiertów Choszczno IG-1, Suliszewo 1, Pławno 1 i Radęcin 1, – Autorka wspomina o 3 próbkach (str. 84) bez podania jakichkolwiek szczegółów. Parametry petrofizyczne i termiczne wykorzystane do modelowania określone zostały na podstawie interpretacji wyników badań geofizyki otworowej. Bardzo interesująco przedstawiono kolejno; modelowania strukturalne, parametryczne ze wskazaniem perspektywicznych horyzontów a następnie modelowania dubletu geotermalnego i jego optymalizacja funkcjonowania. Prosiłbym o uzasadnienie wyboru otworu Choszczno IG-1 jako otworu eksploatacyjnego i wyjaśnienie dlaczego temperatura początkowa w otworze produkcyjnym wynosi ok. 52,6°C (rys. 7.48 i 7.50) podczas gdy po korekcie, na głębokości ok. 1360 m p.p.m. wynosi ok. 55°C (wg rys. 7.13).

Dodatkowo proszę o uzasadnienie wykonania modelowania dotarcia frontu chłodnego funkcjonującego dubletu otworów dla odległości między otworami powyżej 1 000 m co 500 m aż do odległości 3 000 m, w których to analizach uzyskano identyczny obraz. Na rys. 7.51 nieprawidłowo wrysowano przebieg przekroju, który powinien przebiegać przez odwierty dubletu.

Niejasny jest zapis, który prosiłbym rozwinąć - trudnym jest stwierdzenie czy wzrost temperatury o ok. 5°C eksploatowanej wody mógłby zaważyć na opłacalności wykonania systemu w oparciu o dwa nowe odwierty.

Rozdział 8 (str. 115 – 176) zawiera pełne dane o modelowaniach wykonanych na drugim polu badawczym Malanowa. Układ podrozdziałów jest czytelny i identyczny jak dla obszaru

Choszczna. Modele strukturalne i parametryczne oparto o dane geofizyki otworowej trzech głębokich otworów: Kalisz IG-1, Florentyna IG-1 i Zakrzyn IG-1 a model dynamiczny o odwiert Malanów 1. Podobnie jak dla pola Choszczno, bardzo mało jest informacji z badań rdzeni, na str. 153 wzmiankowano jedynie, że było wykonanych tylko 7 pomiarów w horyzoncie jury dolnej, bez zestawienia szczegółów.

Co było przesłanką założenia aby otwór Malanów 1 pełnił rolę odwiertu chłonnego.

Dlaczego, na rys. 8.51, temperatura początkowa w strefie otworu chłonnego wynosi ok. 57°C podczas gdy w strefie otworu produkcyjnego temperatura wynosi ponad 86°C.

Podobnie jak dla pola Choszczno, tu także wykonano modelowania dotarcia frontu chłodnego dla odległości między odwiertami 500, 1000 i co 500 m do 3 000 m, proszę o uzasadnienie takich analiz. Na rys. 8.54 nieprawidłowo wrysowano przebieg przekroju.

Rozdział 9 (str. 177 – 178) zawiera bardzo czytelną analizę porównawczą modelowanych rejonów badań. Wskazane zostały możliwe do zrealizowania kierunki wykorzystania wód geotermalnych. Ważne jest podkreślenie przez doktorantkę wagi istnienia potencjalnych odbiorców ciepła. W tym kontekście w tabeli porównawczej obu pól badawczych (tab. 9.1) mogłyby się znaleźć wybrane parametry energetyczne jak moc ujęcia i potencjalne ilości energii pochodzącej z geotermii a także optymalny kierunek jej wykorzystania, który ma decydujący wpływ na ilość zagospodarowanej energii.

Rozdział 10 (str. 179 – 181) zawiera wnioski końcowe z przeprowadzonych badań. Rozdział cechuje czytelny układ i logiczny styl. Wnioski przedstawiono w formie wylistowanych punktów co ułatwia merytoryczne ustosunkowanie. Wysoko oceniam jakość i celność sformułowań wynikowych. Proszę o odniesienie się do następującej kwestii. W obu strefach badawczych, jak prawidłowo wnioskuje autorka, odległość pomiędzy odwiertami 500 m jest zbyt mała by zapewnić stabilną pracę dubletu natomiast od odległości 1 000 do 3 000 m stwierdza stabilną pracę systemu. Sądzę, że ciekawym uzupełnieniem tej analizy byłyby wnioski dotyczące dotarcia frontu chłodnego w konfiguracji otworów w odległości pomiędzy 500 a 1000 m. Ten aspekt badawczy może być interesujący dla potencjalnych inwestorów z racji potrzeby połączenia odwiertów rurociągiem zrzutowym. Długość takiego rurociągu o wartości nawet kilkuset tysięcy złotych, jest elementem inwestycji zatem warto poddać go optymalizacji.

Cała rozprawa charakteryzuje się czytelnością przekazu i pomimo stwierdzonych uchybień edytorskich, błędów literowych, stylistycznych czy kilku niespójnych danych (ich ilość uniemożliwia wyspecyfikowanie w recenzji), całość zasługuje na wysoką ocenę.

Recenzent uważa, że duże fragmenty rozprawy nadają się do publikacji ale po wnikliwej korekcie rzeczowej, językowej i edytorskiej.

Także pozytywnie można ocenić oryginalność i realizację założonej metodyki badawczej zmierzającej w założeniach do wsparcia inwestycji geotermalnej a więc umożliwiającą wyciągnięcie konkretnych wniosków zwłaszcza o cechach komercyjnych. Przeprowadzone badania mają charakter analityczny wyprzedzający ewentualne wdrożenia, w tym kontekście odczuwalny jest brak ustosunkowania się doktoranta do potencjalnych kosztów wdrożenia metodyki i jej atrakcyjności energetycznej i ekonomicznej.

Niezależnie od uwag, na podkreślenie zasługuje logiczny i uporządkowany sposób prezentacji poszczególnych części i rozdziałów pracy oraz wysoki poziom merytoryczny. Tak więc, zauważone uwagi nie wpływają na ogólnie wysoką i pozytywną ocenę przedstawionej rozprawy.

Przeprowadzone prace analityczne bazują między innymi na interpretacjach danych i modelach strukturalnych wykonanych w zespole wybitnych specjalistów Katedry Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej. Doktorantka rzetelnie powołuje się na tą współpracę co również pozytywnie świadczy o umiejętności pracy w zespole naukowym.

Praca dowodzi, że doktorantka jest przygotowana do prowadzenia samodzielnych prac w zakresie modelowania ośrodka geologicznego z wykorzystaniem zaawansowanych programów komputerowych w zakresie nauk stosowanych. Umiejętności te są dodatkową wartością zwłaszcza w kontekście potencjalnej realizacji w przyszłości prac badawczych o charakterze innowacyjnym, których finansowanie wymaga współpracy przemysłu i nauki.

Doktorantka w chwili obecnej jest autorką/współautorką 3 publikacji wyszczególnionych w bazie Web of Science i 4 w bazie Scopus z IH 1 w obu tych bazach. Jest to dobry wynik, jak na młodego naukowca, świadczący o dużych możliwościach rozwoju naukowego.

Wniosek końcowy

Mgr inż. Anna Wachowicz-Pyzik stanęła wobec złożonego zadania wymagającego nie tylko szerokiej wiedzy, ale również doświadczenia badawczego. Wykazała się wysoką

umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań i oryginalnych analiz naukowych. Przedstawiona rozprawa doktorska wychodzi naprzeciw ważnym problemom optymalizacji lokalizacji otworów geotermalnych związanym z podniesieniem efektywności pozyskiwania odnawialnego źródła energii tj. energii geotermalnej.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że rozprawa wnosi istotny wkład do Nauk Ścisłych i Przyrodniczych i odpowiada wymogom ustawy z 27 września 2017 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U., poz. 1789).

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie Pani mgr. inż. Anny Wachowicz-Pyzik do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy.



Dr hab. inż. Wiesław Bujakowski