

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej

Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Jagustyn pt.

„Ocena potencjalnie leczniczego charakteru wód termalnych w Bańskiej Niżnej”

wykonanej w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej

Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

pod promotorstwem prof. dr hab. Ewy Kmiecik

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną przedmiotowej recenzji stanowi pismo nr WGGIOŚ-dz.0154-71/20212 z dnia 09.03.2022 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo-Hutniczej prof. dra hab. inż. Jacka Matyszkiewicza.

Podstawę prawną wykonania recenzji stanowi Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r. poz. 1668 ze zm. – tekst jednolity Dz.U. 2022 poz. 574).

2. Celowość podjęcia tematyki oraz tezy badawcze

Korzystanie z wód termalnych stanowi szerokie zagadnienie, zarówno w aspekcie ich poszukiwania, jak i szczególnie w aspekcie możliwie najbardziej efektywnego ich wykorzystania. Możliwości znane z literatury oraz dotychczas zrealizowanych inwestycji opierają się głównie na podstawowym parametrze wód termalnych tj. na ich temperaturze w aspekcie ich statusu odnawialnego źródła energii. Autorka rozprawy doktorskiej przedstawionej do recenzji postanowiła rozszerzyć powszechnie stosowaną analizę o aspekt potencjalnie leczniczych właściwości wód termalnych. Jest to działanie stosunkowo rzadko spotykane w literaturze i zasługuje na podkreślenie. W mojej opinii korzystanie z szeroko pojętych zasobów naturalnych (w tym zasobów wód termalnych) powinno każdorazowo

obejmować ich maksymalne i optymalne zagospodarowanie, co niejako uzasadnia wprowadzanie zmian w środowisku, które choć w różnym zakresie ale jednak są nieuniknione.

Przedstawiona praca doktorska doskonale wpisuje się w ideę kompleksowej oceny możliwości wykorzystania wód termalnych, rozszerzając powszechne podejście ze względu na ich temperaturę o potencjalnie lecznicze właściwości zwiększające zakres możliwości korzystania z wód termalnych.

Indywidualne podejście badawcze Autorka określiła stawiając podstawową tezę badawczą w brzmieniu: „Wody termalne w Bańskiej Niżnej zawierają składniki swoiste nadające im potencjalnie leczniczy charakter”. Rozwinęła tę myśl formułując tezy szczegółowe mówiące, że „badane wody charakteryzują się stabilnym składem chemicznym, w zakresie składników głównych, swoistych i form ich występowania w roztworze, niezależnie od parametrów eksploatacji ujęć” oraz, że „wykształcenie litologiczne skał zbiornikowych determinuje występowanie składników swoistych w wodach termalnych”. Tak postawiony cel pracy doktorskiej stanowił wyzwanie naukowe, wymagał dobrego warsztatu badawczego oraz umiejętności analizy i poprawnej interpretacji wyników badań.

Biorąc pod uwagę problem nakreślony w przedstawionej rozprawie doktorskiej, uważam podjętą tematykę za aktualną oraz celową o wysokim potencjalnie aplikacyjnym w obszarze kompleksowych możliwości korzystania z wód termalnych.

3. Ogólna charakterystyka pracy oraz ocena formalna

Do oceny przedstawiona została praca doktorska mgr inż. Anny Jagustyn pt. „Ocena potencjalnie leczniczego charakteru wód termalnych w Bańskiej Niżnej” przygotowana w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica pod promotorstwem prof. dr hab. Ewy Kmiecik. Przedłożona praca doktorska przygotowana została z zachowaniem typowego układu dla opracowań na stopień naukowy doktora. Stanowi ona monografię w języku polskim obejmującą 240 stron maszynopisu. Praca wzbogacona została aż o 166 rysunków, 73 tabele i 3 załączniki. Spis wykorzystanej bibliografii obejmuje 237 pozycji literaturowych, w tym zarówno stron internetowych, monografii, jak i artykułów naukowych, głównie najnowszych, zarówno krajowych, jak i światowych. Tak szeroka baza zapewniła solidne podstawy naukowe dla realizacji celu pracy.

Struktura pracy doktorskiej jest poprawna i typowa dla rozpraw doktorskich. Obejmuje 7 rozdziałów głównych zakończonych osobnym nienumerowanym „Podsumowaniem”. Rozdział pierwszy zawiera opis oraz krótką dyskusję w zakresie polskich oraz europejskich

przepisów prawnych w odniesieniu do klasyfikacji wód termalnych i leczniczych. Rozdział drugi zawiera opis obszaru badań oraz uzasadnienie jego wyboru jako poligonu doświadczalnego. W rozdziale trzecim Autorka przedstawiła dotychczasowe wykorzystanie wód termalnych w Bańskiej Niżnej na potrzeby energetyczne i rekreacyjne oraz innowacyjne możliwości korzystania z nich np. do spożycia. Rozdział czwarty obejmuje obszerny opis zastosowanej metodyki opróbowania oraz badań laboratoryjnych wykonanych w ramach badań własnych Autorki. W rozdziale tym Doktorantka wytypowała i scharakteryzowała składniki nadające analizowanym wodom termalnym potencjalny status wód leczniczych. W rozdziale piątym wykonała zasadniczą ocenę stabilności stężeń składników głównych, potencjalnie swoistych oraz dodatkowo składników niepożądanych w badanych wodach. W rozdziale szóstym przedstawiła wyniki przeprowadzonego modelowania hydrogeochemicznego wykonanego w celu weryfikacji tezy szczegółowej, że wykształcenie litologiczne skał zbiornikowych determinuje występowanie składników swoistych w wodach termalnych. Rozdział siódmy stanowiący zasadniczą część pracy obejmuje ocenę potencjalnie leczniczego charakteru wód termalnych w Bańskiej Niżnej, co jest zbieżne z główną tezą badawczą. Pracę kończy podsumowanie przeprowadzonych badań wyodrębnione jako osobny nienumerowany rozdział. Dodatkowo Autorka zamieściła spis literatury, spis rysunków, tabel oraz załączników.

Rozprawa napisana jest starannie i jasno. Zaprezentowany układ rozdziałów stanowi logiczną ciągłość. Układ pracy jest przejrzysty i zrozumiały dla czytelnika. Brak jest błędów ortograficznych, nieliczne literówki są w mojej opinii nie do uniknięcia przy tak obszernym manuskrypcie. Na podkreślenie zasługuje warsztat językowy Autorki, pracę czyta się z przyjemnością. Jest napisana dobrym językiem oraz istnieje wyraźna logiczna kontynuacja prowadzenia głównej myśli. Rysunki wykonane zostały z dużą starannością i podkreślają doskonale przygotowanie Autorki w zakresie posługiwania się programami specjalistycznymi, jak m.in. GWSDAT, Excel, PHREEQC.

Drobne uwagi w zakresie edycyjnej oceny pracy obejmują poniższe pozycje:

1. w mojej opinii odniesienia literaturowe do informacji ogólnych nie stanowiących wyników badań cytowanych autorów są niewłaściwe, jak np. na stronie 20 przy zdaniu „Największym ciekim powierzchniowym (...) jest Biały Dunajec, który w Nowym Targu łączy się z Czarnym Dunajcem, tworząc Dunajec (Józefko & Kukuła 2013)”;
2. brak jest powszechnie stosowanej w pracach naukowych numeracji równań matematycznych. Wprowadzenie takiej numeracji ułatwiłoby odwołania do nich w tekście;

3. sporadycznie w pracy występują skróty myślowe jak np. „obliczenia korelacji”, podczas gdy korelacje rozumiane są jako związek/zależność, a ich liczbową miarą jest dopiero współczynnik korelacji (który Autorka poprawnie przedstawiła w pracy);
4. dla przejrzystości niektórych wykresów (np. rys. 5.119 pokazującego stężenia antymonu) właściwsza wydawałaby się logarytmiczna skala pionowa;
5. w tabeli 7.9 brak jest dwóch wierszy dla wariantu „średnia i niepewność pomiaru” w odniesieniu do mineralizacji i temperatury.

4. Ocena merytoryczna pracy i uwagi krytyczne

Wody termalne, w szerokim aspekcie rozpoznawania ich zasobów i warunków eksploatacji, a także możliwości korzystania z tych wód oraz postępowania ze zużyтыми wodami termalnymi, stanowią ważny temat badawczy, który w ostatnich latach przeżywa istotny rozkwit. Pośród szeregu aspektów tematyki związanej z wodami termalnymi, niezwykle istotne jest ich optymalne wykorzystanie w oparciu o wszystkie, potencjalnie użyteczne dla człowieka, cechy, parametry i własności. W badaniach światowych i krajowych korzystanie z wód termalnych determinowane jest zazwyczaj ich temperaturą na ujęciu, a sposób wykorzystania opisany tzw. diagramem Lindala obejmuje hodowlę ryb przy stosunkowo niskich wartościach temperatury, aż do produkcji energii elektrycznej przy wodach o temperaturach najwyższych. Tego typu podejście stanowi najczęstszy temat publikacji naukowych z zakresu możliwości korzystania z wód termalnych. Mgr inż. Anna Jagustyn w swojej pracy zaproponowała nieco odmienne podejście i odeszła od głównego parametru, jaki stanowi temperatura wód, a skupiła się na ich własnościach fizyko-chemicznych w aspekcie potencjalnego charakteru leczniczego. W mojej ocenie działanie takie świadczy o wysokich kompetencjach Doktorantki do oceny dotychczasowego stanu wiedzy, umiejętności stawiania nowych wyzwań badawczych i konsekwentnej, a przede wszystkim poprawnej ich realizacji. Potwierdza to zakres merytoryczny przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej. Przedstawione poniżej uwagi krytyczne stanowić powinny w moim zamierzeniu raczej sugestie lub też prowokować do dyskusji w dalszej pracy naukowej mgr inż. Anny Jagustyn. W mojej ocenie uwzględnienie sugestii może poprawić odbiór pracy, przy czym nie umniejszają one jej wartości jako rzetelnego opracowania naukowego.

Jako obiekt badawczy mgr inż. Anna Jagustyn wybrała rejon miejscowości Bańska Niżna, gdzie funkcjonują na dzień dzisiejszy trzy geotermalne otwory eksploatacyjne o nazwach Bańska PGP-1, Bańska PGP-3 oraz Bańska IG-1. Bogata baza literaturowa w zakresie rozpoznania rejonu niecki podhalańskiej, baza danych archiwalnych dla w/w

otworów oraz badania własne prowadzone w wieloleciu 2015-2018 obejmujące 300 próbek, uzasadniają wybór tego obszaru jako poligonu badań. W pracy Autorka rzetelnie przedstawiła szczegółowy opis obiektów badawczych oraz wykonała analizę w odniesieniu do rejonu badań obejmującego Bańską Niżną. W mojej ocenie szersze spojrzenie obejmujące również otwory geotermalne z innych rejonów niecki podhalańskiej wyraźnie wzbogaciłoby opracowanie, a przede wszystkim pozwoliłoby na przeprowadzenie dyskusji wyników, czego w pracy brakuje. Jako najważniejszą sugestię podniesienia jakości pracy uważam rozszerzenie pracy o dyskusję i konfrontację wyników własnych badań z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy. W przedstawionej monografii inne istniejące otwory geotermalne, zarówno z niecki podhalańskiej, jak i inne tego typu obiekty w kraju i na świecie, zostały właściwie pominięte. Być może szersze spojrzenie w oparciu o dyskusję z podobnymi obiektami pozwoliłoby sformułować wniosek o zaletach oraz ryzyku ewentualnego korzystania z wód termalnych w innych obiektach w aspekcie ich leczniczego charakteru. W dalszej pracy naukowej mgr inż. Anny Jagustyn warto także zastanowić się nad próbą konfrontacji dotychczasowych wyników z wodami leczniczymi o podobnym chemizmie (siarczanowo-chlorkowo-sodowo-wapniowymi) ale niestanowiącymi wód termalnych. W mojej ocenie prowadzić by to mogło do istotnych wniosków.

W odniesieniu do głównej tezy pracy stanowiącej, że wody termalne w Bańskiej Niżnej zawierają składniki swoiste nadające im potencjalnie leczniczy, Autorka wykonała wyczerpujący przegląd uwarunkowań prawnych, zarówno krajowych, jak i unijnych. W oparciu przede wszystkim o zapisy art. 5.2 punkt 1 Prawa geologicznego i górniczego (Dz. U. 2011 Nr 163 poz. 981 z późn. zm.) wytypowała parametry oraz składniki swoiste, które nadawać mogą wodom podziemnym status wód leczniczych. W dalszej części pracy przeanalizowała wszystkie z nich z wyjątkiem zawartości naturalnego dwutlenku węgla. Taki wybór analizowanych parametrów i składników swoistych w świetle celu pracy jest uzasadniony i prawidłowy ale brak jest w pracy jego jasnego uzasadnienia.

Metodyka poboru próbek oraz wykonania analiz laboratoryjnych, a także weryfikacji poprawności uzyskanych wyników jest dobrana właściwie oraz wyczerpująco opisana w pracy. Autorka dołożyła wiele starań aby zminimalizować wpływ poboru i oznaczenia na wynik końcowy. Wprowadziła próbki dublowane, zerowe oraz znaczone, wykorzystała nowoczesny sprzęt do oznaczeń terenowych lub laboratoryjnych, a oznaczenia wykonała zgodnie ze wskazanymi w pracy normami, głównie w Laboratorium Hydrogeochemicznym Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH. Tym samym Autorka spełniła wymóg opisu metodyki badań w sposób umożliwiający innym badaczom ewentualne powtórzenie

eksperymentu i porównanie uzyskanych rezultatów. Zapewniła wysoką jakość uzyskanych wyników stanowiących podstawę dalszej analizy przedstawionej w pracy. Mam natomiast uwagę, czy nazewnictwo np. mineralizacji (domyślnie zawartości rozpuszczonych składników mineralnych stałych), czy też temperatury jako „składników potencjalnie swoistych” jest właściwe. Są to raczej parametry i tak też zostały poprawnie określone w tabeli 1.1. W dalszej części pracy, w tym m.in. w tytułach rozdziałów 5.3, czy też 7.3, uznanie temperatury i mineralizacji składnikami swoistymi wydaje się błędne. Praca zyskałaby w mojej ocenie na stosowaniu konsekwentnie nazewnictwa wynikającego z Prawa geologicznego i górniczego.

Podkreślić natomiast należy, że zarówno w zakresie metodyki opomiarowania, jak i metod analitycznych oraz interpretacji wyników/wykresów, Autorka zamieszcza każdorazowo pełny i wyczerpujący opis (zawierający nawet dobór kolorystyki linii na rysunkach) co zapewnia czytelnikowi komfort podążania za ciągiem logicznym pracy.

Ocena stabilności składu chemicznego analizowanych wód termalnych wykonana została dla składników głównych zgodnie z typem hydrochemicznym ujmowanej wody (siarczany, chlorki, sól i wapń), składników i parametrów nadających potencjalnie charakter leczniczy (nazwanych w pracy jako kwas metakrzemowy, fluorki, jodki, związki siarki (II), radon, żelazo, temperatura i mineralizacja) oraz dodatkowo dla składników niepożądanych (glin, arsen, bor, bar, nikiel i antymon). Dla każdego składnika/parametru Autorka zastosowała metodę kart kontrolnych oraz analizę trendów z wykorzystaniem programu GWSDAT. Szukając ewentualnych przyczyn zmian stężeń badanych parametrów przeprowadziła analizę ich korelacji z wydajnością poszczególnych ujęć uzasadniając to „obserwowanym w dużej części ujęć faktem pogarszania się jakości wód podczas eksploatacji” oraz aby „sprawdzić czy ilość pobieranej wody wpływa na zmiany zawartości badanych substancji”. W mojej ocenie uzasadnienie to jest trochę zbyt lakoniczne. Czy jako pogarszanie się jakości wód Autorka rozumie przekraczanie wartości dopuszczalnych np. w zakresie spożycia wód, czy też odwrotnie – w odniesieniu do statusu wód leczniczych obniżenie poniżej progów ustalonych w Prawie geologicznym i górniczym? Sytuacja druga wydaje się adekwatna do zakresu rozprawy doktorskiej ale nie jest jasne, czy Autorka tak właśnie dokonała wyboru zmiennych do przeprowadzenia korelacji. W mojej ocenie dalsze prace nad omawianym zagadnieniem powinny zostać wzbogacone o analizę korelacji pomiędzy wszystkimi zmiennymi, co może potencjalnie doprowadzić do ważnych wniosków w odniesieniu do składu fizykochemicznego ujmowanych wód niezależnie od wielkości eksploatacji. Przedstawiona praca zyskałaby również na rozwinięciu przypadku, gdy Autorka stwierdziła korelację, a związek ten opisała równaniem regresji liniowej. Szerszy opis charakteryzujący stwierdzony związek informujący

w jakim zakresie wartości zmienna zależna wzrośnie lub zmaleje przy jednostkowym wzroście zmiennej niezależnej pozwoliłby na lepszy odbiór tej części analizy. Przedstawiony w rozprawie komentarz jak np. na stronie 80: „Dodatnia wartość współczynnika korelacji oznacza, że wysokie wartości stężeń badanego składnika współwystępują z dużymi wydajnościami otworów” nie jest wyczerpujące.

Ciekawe i innowacyjne podejście zastosowała Autorka wykorzystując modelowanie hydrogeochemiczne w programie PHREEQC dla trzech wybranych wariantów obejmujących odpowiednio intensywną eksploatację trzema otworami w sezonie jesienno-zimowym, niską eksploatację trzema otworami w okresie wiosennym oraz eksploatację dwoma otworami w sezonie letnim. Celem modelowania była weryfikacja tezy szczegółowej mówiącej o tym, iż wykształcenie litologiczne skał zbiornikowych determinuje występowanie składników swoistych w wodach termalnych. Autorka na podstawie modelowania specjacji jonów głównych oraz składników potencjalnie swoistych wykazała, że niezależnie od wielkości eksploatacji, we wszystkich badanych wodach dominują te same formy omawianych pierwiastków. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do form przyswajalnych przez człowieka w aspekcie leczniczego charakteru wód. W dalszej pracy naukowej rekomenduję interdyscyplinarne spojrzenie na uzyskane wyniki w aspekcie wpływu na organizm człowieka jako kuracje pitne lub też w zakresie oddziaływania zdrowotnego w postaci kuracji kąpielowych.

Zasadnicza oceny stabilności stężeń składników głównych, potencjalnie swoistych oraz składników niepożądanych w badanych wodach wykonana została poprawnie i wyczerpująco w rozdziale 7, a uzyskane wyniki zostały poprawnie zinterpretowane. Autorka wykorzystowała dwie niezależne metody: deterministyczną i probabilistyczną (dla 5 wariantów). W mojej ocenie ta część pracy jest najważniejsza, a jej zawartość podkreśla wysokie umiejętności badawcze Autorki. Zarówno w aspekcie wytypowania różnych wariantów analizy, ich opisu, jak i przeprowadzenia analizy wraz z graficznym przedstawieniem, Doktorantka udowodniła swój dobry warsztat badawczy. Trafnie wyciągnęła wnioski i zinterpretowała wyniki. Podsumowanie tej części pracy pozwoliło na zebranie wszystkich wyników w tabeli 7.9, która stanowi istotną wartość pracy. Tabela ta kończy w manuskrypcie część analityczną wykonaną przez Autorkę, a rozpoczyna część podsumowującą zawierającą najważniejsze wnioski oraz odniesienie do tez postawionych na wstępie pracy. Tym samym mgr inż. Anna Jagustyn udowodniła, że potrafi konstruować wnioski oraz weryfikować wyniki badań. Wartość dodaną przedstawioną w tym rozdziale stanowi opis badań na obecność bakterii z grupy *Legionella*, co wynikało ze stażu międzynarodowego Doktorantki w Monachium. Fakt ten należy podkreślić w aspekcie dalszego rozwoju naukowego mgr inż. Anny Jagustyn w oparciu zarówno

o współpracę krajową, jak i niezwykle ważną współpracę międzynarodową. Wydaje mi się natomiast, że umieszczenie opisu badań z zakresu bakteriologii mogłoby stanowić osobny podrozdział, a nie zostać umieszczone w Podsumowaniu.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując mgr inż. Anna Jagustyn wykonała innowacyjne kompleksowe badania, które objęły nie tylko analizę składu chemicznego omawianych wód, ale także ocenę stabilności ich składu chemicznego zarówno w zakresie jonów głównych, jak i składników potencjalnie swoistych oraz składników niepożądanych. Reasumując przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr inż. Anny Jagustyn doskonale wpisuje się w kryteria ustawowe i prezentuje wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie (zarówno podstawową, jak i specjalistyczną), a także dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Doktorantka posiada warsztat badawczy, zdolność do kreowania wyzwań naukowych oraz potrafi konsekwentnie i logicznie je realizować wraz z formułowaniem poprawnych wniosków. Tym samym przedkładam wniosek Panu Przewodniczącemu oraz Wysokiej Radzie Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo-Hutniczej o dopuszczenie Pani mgr inż. Anny Jagustyn do dalszego etapu przewodu doktorskiego.

Kraków, 04.05.2022.



dr hab. inż. Agnieszka Operacz, prof. URK