

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Doktorantki mgr inż. Elżbiety Domin

pt.:

Potencjalnie lecznicze wody radonowe bloku przedsudeckiego

1. PODSTAWA RECENZJI

Recenzję opracowano na podstawie pisma Dziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, prof. dr hab. inż. Moniki Hardygóry z dnia 13 listopada 2018 r. znak W6/1891/2018, informującego o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Elżbiety Domin pod tytułem Potencjalnie lecznicze wody radonowe bloku przedsudeckiego. Promotorem rozprawy jest dr hab. Tadeusz Andrzej Przylibski, profesor uczelni. Wraz z dokumentem przekazany został egzemplarz rozprawy doktorskiej.

2. CHARAKTERYSTYKA PRACY ORAZ UWAGI OGÓLNE

Recenzowany maszynopis składa się ze spisu treści, 7 rozdziałów zawierających treści merytoryczne, zestawienia literatury i źródeł danych, wykazu aktów prawnych, stron internetowych i innych źródeł, z których korzystała doktorantka, spisu rysunków i tabel oraz załączników. Załączniki stanowią: mapa geologiczna odkryta bloku przedsudeckiego, Rozmieszczenie punktów opróbowania wód podziemnych na mapie administracyjnej Polski wraz z zaznaczoną granicą bloku przedsudeckiego i jego podziałem na mniejsze jednostki geologiczne. W tekście pracy zamieszczono 21 tabel i 42 rysunki. Zestawienie literatury, na którą powołuje się w swojej pracy Doktorantka jest imponujące, bo zawiera aż 362 pozycje. Należy podkreślić, że wykorzystana w pracy literatura to zarówno pozycje historyczne, dla badaczy uchodzące za kanoniczne, jak i najnowsze publikacje prac prowadzonych w kraju i za granicą.

Ponadto wskazano 18 aktów prawnych polskich i zagranicznych dotyczących zarówno szeroko rozumianej ochrony radiologicznej, jak i szczegółowo odnoszących się do wód

przeznaczonych do spożycia i wód leczniczych. Praca liczy łącznie 162 strony. Dzięki bogatemu materiałowi graficznemu (rysunki, wykresy, zdjęcia) oraz bardzo starannie przygotowanym załącznikom pracę dobrze się czyta i analizuje bogaty i rozległy materiał badawczy i dyskusję uzyskanych wyników.

Zastrzeżeń nie budzi także dobrze przemyślana struktura pracy. Zaczyna się od wstępu, w którym doktorantka przedstawia informacje ogólne dotyczące promieniotwórczości, a szczególnie promieniotwórczego gazu szlachetnego radonu. Na tym tle krótko uzasadnia podjęcie pracy, przedstawia główne założenia i sposób realizacji dysertacji. W rozdziale 2 doktorantka prezentuje złożoną budowę geologiczną bloku przedsudeckiego (BPS). Litostratygrafię obszaru zainteresowania omawia szczegółowo dla 21 mniejszych jednostek litologiczno-strukturalnych. Następnie w sposób bardziej syntetyczny przedstawia tektonikę i hydrogeologię (piętra wodonośne i charakterystykę fizyko-chemiczną wód podziemnych) obszaru BPS. Trzeci rozdział doktorantka poświęcała w całości przedmiotowi swoich zainteresowań badawczych, czyli radonowi – składnikowi wód podziemnych. Bardzo dobrze się czyta część rozdziału poświęconą historii badań nad radonem. Doktorantka przedstawia zarówno ważne i przełomowe fakty naukowe, jak i ciekawą informację pokazującą zmieniającą się w czasie rozumienie oddziaływania promieniotwórczości na zdrowie: od entuzjastycznego stosowania w celach leczniczych i kosmetyczno-higienicznych, poprzez odkrycie prawidłowości między ekspozycją na radon, a zachorowalnością na raka płuc i górnych dróg oddechowych, do narodzin teorii hormezy radiacyjnej. W oparciu o tę teorię, zgodnie z którą małe dawki promieniowania mogą być korzystne dla zdrowia, funkcjonują w Polsce i w innych krajach uzdrowiska wykorzystujące wody radonowe w balneoterapii. Polskie prawo (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006) określa limit aktywności promieniotwórczej radonu, powyżej którego woda nabiera charakteru wody leczniczej. Kolejne podrozdziały dotyczą geochemii radonu i obecności radonu w wodach podziemnych. Bardzo istotna dla zrozumienia zarówno celu pracy, jak i sposobu przedstawiania wyników jest prezentacja klasyfikacji wód radonowych obowiązujących w różnych okresach czasu w różnych krajach, w tym w Polsce.

W związku z rosnącym zainteresowaniem leczniczymi właściwościami radonu, zarówno w powietrzu (inhalatoria), jak i w wodach, uzasadnione jest podjęcie prac nad rozpoznaniem potencjału wód podziemnych obszaru sąsiadującego z obfitującymi w wody radonowe Sudetami.

Zarówno w rozdziale 2, jak i 3, doktorantka dokonuje bardzo gruntownego, zasługującego na uznanie przeglądu literatury, opisującej stan wiedzy o promieniotwórczości, a radonu w szczególności.

W rozdziale 4 doktorantka przedstawia tezę, zgodnie z którą możliwe jest wyznaczenie w granicach bloku przedsudeckiego obszarów, w których występują potencjalnie lecznicze wody radonowe.

Dla udowodnienia tezy autorka dysertacji wyznaczyła 6 celów szczegółowych. Realizacja celów pozwoliła doktorantce nie tylko udowodnić postawioną tezę, ale również nadać całości pracy walor użyteczny.

Kolejne rozdziały można już zaliczyć do badań własnych. Otwierający je rozdział piąty jest opisem badań terenowych i zastosowanych metod badawczych. W podrozdziale 5.1.1. doktorantka przedstawia, w jaki sposób dokonała wyboru punktów opróbowania. Jak wynika z treści, doktorantka bardzo dobrze zaplanowała tę część prac: przestudiowała dostępne mapy geologiczne, analizując grubość pokrywy kenozoiku, typ litologiczny skał podłoża krystalicznego, zaangażowanie tektoniczne jednostek, oraz ich powierzchnię. Co istotne i godne podkreślenia – doktorantka niezwykle skrupulatnie analizuje dane archiwalne dotyczące pomiarów zawartości nuklidów promieniotwórczych (a w szczególności radonu) zarówno opublikowane, jak i nieopublikowane. W toku dalszych rozważań i analiz wyraźnie wskazuje, które wyniki badań należą do jej własnych, a z których korzystała, powołując się na autorów badań. Doktorantka deklaruje, że wykonała 262 oznaczenia aktywności radonu w wodach podziemnych bloku przedsudeckiego, skorzystała ze 156 wyników archiwalnych, co procentowo wynosi: 63% do 37%. Bardzo dobre przygotowanie badań terenowych było podstawą prawidłowej realizacji całości pracy i pozwoliło na rzetelne podsumowanie i formułowanie wniosków końcowych. Doktorantka dobrze przygotowała się do pobierania próbek w terenie, świadoma, że prawidłowe pobranie próbki wody ma zasadnicze znaczenie dla wiarygodności wyniku pomiaru stężenia radonu, a więc w konsekwencji prawidłowości całego dalszego toku analizowania i wnioskowania. W terenie doktorantka mierzyła podstawowe parametry fizyko-chemiczne wody, oraz oczywiście notowała koordynaty lokalizacji ujęcia.

Podrozdział 5.2 poświęcony jest prezentacji badań laboratoryjnych. Stężenia aktywności radonu ^{222}Rn oraz izotopu macierzystego, radu ^{226}Ra mierzone były z wykorzystaniem ultraniskotłowych liczników ciekłoscyntylacyjnych Quantulus 1220. Stężenia czterech kationów rozpuszczonych w wodzie wykonywane były na fotometrze

plomieniowym. Stosowane metody pomiarowe i metodyki pomiaru są bardzo dobrze i szczegółowo opisane.

Rozdział szósty służy prezentacji i dyskusji uzyskanych wyników. W tabeli nr 7 (str. 86) doktorantka pokazuje liczbę punktów opróbowania w poszczególnych jednostkach geologicznych BPS, z rozróżnieniem na studnie i źródła oraz wskazaniem, ile punktów opróbowwała autorka, a ile pochodziło z danych archiwalnych. W celu prezentacji właściwości zbiorów danych doktorantka przeprowadziła analizę statystyczną, której zakres zależał od liczby danych w poszczególnych jednostkach geologicznych. Posługując się programem Statistica, doktorantka zilustrowała rozkłady stężenia aktywności radonu w skali dziesiętnej z dopasowanym rozkładem logarytmiczno-normalnym i w skali logarytmicznej. Stwierdziła, że rozkłady zmiennych nie charakteryzują się rozkładem normalnym, a w niektórych przypadkach również logarytmiczno-normalnym. Niezręcznie zostało napisane, że oceny rozkładu zmiennych dokonała na podstawie analizy histogramów – raczej na podstawie analizy zbiorów danych. Doktorantka sprawdzała charakter rozkładu danych wykorzystując test χ^2 , w wyniku czego na dobrym poziomie istotności potwierdziła logarytmiczno-normalny rozkład danych dla BPS i wybranych składowych jednostek geologicznych. Opis przeprowadzonych analiz jest nie całkiem jasny dla czytającego, proszę więc doktorantkę o komentarz.

Najwyższa zmierzona przez doktorantkę wartość stężenia aktywności radonu, zmierzona w gnejsach Wądroża Wielkiego to 818 Bq/dm^3 , najmniejsza to $0,2 \text{ Bq/dm}^3$, zlokalizowana w granicach depresji śląsko-opolskiej. Porównanie średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego wskazuje na szeroki zakres mierzonych wartości. Przywołane w tekście wartości stężenia radonu powinny być podane wraz z niepewnością pomiaru, mimo, że są tak przedstawione w tabeli nr 11 oraz w załączniku nr 3. Analizując podstawowe parametry statystyczne doktorantka wskazuje składowe jednostki geologiczne, w obrębie których można, a nawet należy się spodziewać potencjalnie leczniczych wód radonowych – tabela nr 9. W podrozdziale 6.2. doktorantka przedstawia podział wód BPS i poszczególnych jednostek składowych, ze względu na zawartość radonu ^{222}Rn , zgodnie z klasyfikacją Przylibskiego. Analiza dokonanego podziału wód pokazuje, że w granicach BPS przeważają wody ubogie w radon i niskoradonowe – ponad 90% wszystkich wyników. W podrozdziale 6.3. doktorantka analizuje wyniki i przedstawia obszary wstępowania potencjalnie leczniczych wód radonowych w granicach BPS, przyjmując jako wartość graniczną dla

stężenia aktywności radonu ^{222}Rn 74 Bq/dm^3 , zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze. W tabeli nr 11 zestawione zostały punkty opróbowania, w których stężenie radonu wynosi minimum 74 Bq/dm^3 oraz minimum 100 Bq/dm^3 , czyli do wartości wskazanej w Rozporządzeniu i do granicy jednej z klas podziału wg Przylibskiego. Doktorantka w jednej z kolumn tabeli przedstawiła przyjęte wartości graniczne powiększone o niepewność pomiarową. Proszę doktorantkę o przedstawienie opinii, jak wg niej powinny być kwalifikowane wody jako potencjalnie lecznicze: czy na podstawie wyniku nieuwzględniającego niepewność, czy z uwzględnieniem niepewności?

Rysunek nr 37, będący zmodyfikowaną mapą wód leczniczych i potencjalnie leczniczych Polski, z naniesionymi lokalizacjami wyznaczonymi przez doktorantkę, pokazują imponującą rozległość obszaru badań doktorantki. Doktorantka wskazała obszary występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych, tj. zachodnia część masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka, wschodnia część masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka oraz masyw granitoidowy Strzelina, dokonując równocześnie analizy sytuacji tektonicznej, budowy litologicznej oraz stanu fizycznego (zwietrzenia, spękania, szczeliny) wydzielen. Słusznie wskazuje czynniki i elementy środowiska geologicznego ułatwiające emanacje i transport radonu. W dalszej części doktorantka prezentuje te składowe jednostki geologiczne, w granicach których, w pojedynczych ujęciach, zmierzyła podwyższone stężenia radonu w wodach podziemnych, podejmuje się równocześnie próby opisu genezy tych wód, bazując na szczegółowej analizie specyficznej sytuacji geologicznej. Proponuje, w mojej ocenie bardzo rozsądnie, aby punktowe wystąpienia wód o stężeniu powyżej wartości 74 Bq/dm^3 (również z uwzględnieniem niepewności) traktować jako wskaźniki możliwych nowych obszarów potencjalnie leczniczych wód radonowych.

Kolejny podrozdział – 6.4. poświęcony jest charakterystyce fizyko-chemicznej badanych wód oraz analizie zależności między nimi, a stężeniem aktywności ^{222}Rn . Doktorantka przedstawia wyniki analiz zarówno graficznie, jak tabelarycznie. Najistotniejsza jest w tej części dysertacji tabela nr 13 (str.113), w której autorka dokonuje interpretacji zależności na podstawie wyliczonych wartości współczynnika korelacji liniowej r Pearsona. Stwierdza, że w granicach PBS występują dwa typy potencjalnie leczniczych wód radonowych – związane z wychodniami skał krystalicznych (granitoidów i ortognejsów) o podwyższonej zawartości radu ^{226}Ra oraz ze skałami krystalicznymi zalegającymi pod miąższymi osadami kenozoiku. Druga grupa różni się od wód sudeckich. Bardzo interesująca w mojej ocenie jest analiza zawartości (stężenia aktywności) izotopu macierzystego ^{226}Ra i produktu jego rozpadu, ^{222}Rn , która pozwoliła na stwierdzenie, że radon w badanych wodach

podziemnych w głównej mierze pochodzi z emanacji ze skał zbiornikowych, nie z rozpadu izotopu macierzystego. Ostatnim etapem prac doktorantki jest wyznaczenia tła hydrogeochemicznego ^{222}Rn bloku przedsudeckiego oraz wybranych składowych jednostek geologicznych BPS, poprzedzone weryfikacją danych, mającą na celu odrzucenie błędów grubych. Ta część pracy pozwoliła doktorantce stwierdzić, że tło hydrogeochemicznego ^{222}Rn bloku przedsudeckiego jest tłem lokalnym, mieści się w zakresie 2 do 47 Bq/dm³, czyli zgodnie z klasyfikacją Przylibskiego, o tle stanowią wody ubogie w radon i niskoradonowe. Tło masywu granitoidowego Strzegom- Sobótka znacznie wykracza poza górną granicę tła bloku przedsudeckiego, co wskazuje na możliwość powszechnego występowania wód radonowych potencjalnie leczniczych. Autorka słusznie zwraca uwagę na fakt, że wartość górnej granicy tła w tej jednostce (112 Bq/dm³) jest wyższa od maksymalnej wartości dopuszczalnej stężenia tego nuklidu w wodzie przeznaczonej do spożycia, co musi skutkować szczególnie skrupulatnym badaniem takich wód, by nie dopuścić do narażenia radiacyjnego ogółu ludności.

Pracę kończą wnioski w rozdziale 7.

Rozdział siódmy dysertacji zawiera szczegółowe podsumowanie. Doktorantka syntetycznie przedstawia wyniki badań i analiz wykonanych w ramach realizacji pracy. Wskazuje trzy obszary występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych, to jest wschodnia i zachodnia część masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka oraz fragment masywu granitoidowego Strzelina, czym udowadnia tezę swojej pracy doktorskiej.

Ważny wniosek odnosi się do porównania tła hydrogeochemicznego ^{222}Rn bloku przedsudeckiego i Sudetów oraz związany z tym różny typ wód radonowych potencjalnie leczniczych.

3. UWAGI DYSKUSYJNE

Poniżej przedstawiam uwagi dyskusyjne, na które oczekuję odpowiedzi w czasie publicznej obrony rozprawy doktorskiej:

- Proszę o omówienie, w jaki sposób była wyznaczana niepewność pomiaru stężenia aktywności radonu – szczególnie istotna przy klasyfikowaniu wód do potencjalnie leczniczych. Doktorantka dokonuje klasyfikacji wód do potencjalnie leczniczych wód radonowych w dwojaki sposób: poprzez weryfikację wartości zmierzonego stężenia aktywności radonu oraz sumując

wartość stężenia aktywności radonu i niepewność (tab. 11, str. 101). Okazuje się, że liczba zakwalifikowanych źródeł dla obu sposobów jest różna.

- Jak w opinii doktorantki powinny być kwalifikowane wody jako potencjalnie lecznicze: czy na podstawie wyniku nieuwzględniającego niepewność, czy z uwzględnieniem niepewności?
- Na rys. 20b -26b doktorantka przedstawiła histogramy wartości stężenia aktywności radonu ^{222}Rn w skali logarytmicznej. W przedziale 10 -100 Bq/dm³ nie jest możliwe ocenienie, w jakiej liczbie próbek przekroczona została wartości limitu 74 Bq/dm³ (Rozporządzenie Ministra Zdrowia, 2006). Czy możliwe byłoby (np. w późniejszych publikacjach) zastosować inną skalę lub pokazać liczbę próbek poniżej i powyżej wartości limitu?
- Proszę o wyjaśnienie dotyczące analizy statystycznej zbiorów danych. Doktorantka stwierdziła, że rozkłady zmiennych nie charakteryzują się rozkładem normalnym, a w niektórych przypadkach również logarytmiczno-normalnym. Niezręcznie zostało napisane, że oceny rozkładu zmiennych dokonała na podstawie analizy histogramów – raczej na podstawie analizy zbiorów danych. Doktorantka sprawdzała charakter rozkładu danych wykorzystując test χ^2 , w wyniku czego na dobrym poziomie istotności potwierdziła logarytmiczno-normalny rozkład danych dla BPS i wybranych składowych jednostek geologicznych. Opis toku prowadzonych analiz jest nie całkiem jasny dla czytającego, proszę więc doktorantkę o komentarz.
- Czy Doktorantka mogłaby skomentować dane przedstawione w tabeli 4 (Minimalna wartość stężenia aktywności radonu ^{222}Rn w wodach leczniczych w różnych krajach, za Voronov, 2004) w aspekcie właściwości farmakodynamicznych wód, a szerzej: jak Doktorantka rozumie teorię hormezy.
- Czy w przypadku stwierdzenia w studni prywatnej dużego stężenia aktywności radonu informowała o tym fakcie właścicieli? Jaką informację przekazywała?

Uwagi o charakterze edytorskim.

Doktorantka nie ustrzegła się błędów redakcyjnych, które oczywiście nie wpływają na ogólną wysoką ocenę pracy. Przed publikacją pracy sugeruję zwrócić uwagę drobne

niezręczności językowe (np. kolokwializmy) i powtórzenia, o których osobiście poinformowałam doktorantkę.

4. WARTOŚCI POZNAWCZE PRACY

Do wartości naukowych i aplikacyjnych pracy zaliczam przede wszystkim wykorzystanie właściwych i nowoczesnych metod pomiarowych i badawczych, zastosowanych do zbadania stężenia aktywności radonu ^{222}Rn w wodach podziemnych bloku przedsudeckiego. Doktorantka wykorzystała możliwości, jakie daje praca w terenie – prawidłowe opróbowanie studni i źródeł, właściwa lokalizacja punktów opróbowań, pomiary podstawowych parametrów fizyko-chemicznych *in situ*. Pobrane w terenie próbki wód poddane zostały badaniom laboratoryjnym z wykorzystaniem nowoczesnych urządzeń pomiarowych. Doktorantka poddała wszystkie uzyskane dane pomiarowe analizie statystycznej. Podjęła się oceny korelacji zawartości radonu w badanych wodach z pozostałymi mierzonymi parametrami, co dało jej podstawę do wyciągania wniosków dotyczących pochodzenia wód radonowych w obszarze bloku przedsudeckiego i poszczególnych składowych jednostek geologicznych oraz do porównań z sąsiadującym obszarem Sudetów. Natomiast wyznaczenie tła hydrogeochemicznego ^{222}Rn bloku przedsudeckiego oraz wybranych geologicznych jednostek składowych pozwoliło na wyciąganie wniosków o charakterze użytkowym, mianowicie wskazanie obszarów, w których można spodziewać się powszechnego występowania wód radonowych potencjalnie leczniczych, co daje podstawy do podejmowania decyzji o wykorzystaniu lokalnych źródeł w celach leczniczych i kuracyjnych.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana rozprawa mgr inż. Elżbiety Domin pt.: ***Potencjalnie lecznicze wody radonowe bloku przedsudeckiego*** ma charakter poznawczy i użytkowy, stanowi kompleksowy i oryginalny sposób realizacji celu rozprawy, co potwierdza, że Autorka posiada pełne umiejętności samodzielnego wykonywania pracy naukowej i spełnia wymogi stawiane dysertacjom doktorskim. Autorka w sposób prawidłowy dokonała wyboru metod badawczych i analitycznych. Świadoma była potrzeby atrakcyjnego i przystępnego przedstawienia wyników prowadzonych badań oraz możliwości wskazania obszarów, w granicach których

występują potencjalnie lecznicze wody radonowe. Jednocześnie należy podkreślić bardzo staranne opracowanie graficzne pracy – rysunki, zestawienia graficzne, mapy i załączniki

Mgr inż. Elżbieta Domin udowodniła zatem swoje kompetencje w zakresie formułowania celów badawczych, organizacji prac terenowych i badań naukowych, korzystania z nowoczesnych metod analitycznych, krytycznego wykorzystywania danych własnych i archiwalnych, oraz właściwej interpretacji i dyskusji końcowych wyników badań. **Mając to na uwadze, w mojej opinii recenzowana praca odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w art.13 ust.1 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.)* i na tej podstawie wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Elżbiety Domin do publicznej obrony przed Radą Naukową Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ryszard'.