

Poznań, dnia 11.02.2018 r.

Prof. zw. dr hab. inż. Marek Marciniak

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego

## **Recenzja**

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Dendys pt.:**

**„Hydrodynamiczne uwarunkowania**

**krążenia wód termalnych i leczniczych w utworach cenomamu  
niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego”**

### **1. Wstęp**

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Dendys powierzyła mi Rada Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na podstawie uchwały z dnia 11.12.2017 roku. Pismo w tej sprawie skierował do mnie w dniu 18.12.2017 r. Dziekan Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, prof. dr hab. inż. Jacek Matyszkiewicz.

### **2. Charakterystyka formalna pracy**

Praca doktorska mgr inż. Marty Dendys liczy 178 stron tekstu w tym 24 strony spisu literatury, który zawiera 227 pozycji, w tym 48 pozycji anglojęzycznych. W tekście zamieszczono 41 rycin oraz 44 tabele. Praca została napisana w języku polskim i podzielona na 6 rozdziałów.

Promotorem dysertacji doktorskiej mgr inż. Marty Dendys jest dr hab. inż. Barbara Tomaszewska z Katedry Surowców Energetycznych, natomiast promotorem pomocniczym jest dr inż. Robert Zdechlik z Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie.

### **3. Merytoryczna ocena pracy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Marty Dendys stanowi przykład wykorzystania studiów literaturowych dotyczących rozpoznania budowy geologicznej i warunków

hydrogeologicznych do modelowania hydrodynamiki wód podziemnych skomplikowanego systemu wodonośnego. Układ pracy jest przemyślany i logiczny, a trzystopniowa struktura rozdziałów i podrozdziałów odpowiada założonym celom badawczym.

**W rozdziale pierwszym** (4 strony) Autorka definiuje obszar swoich badań jako znajdujący się w niecce miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Jako cel przeprowadzonych badań podaje szczegółowe rozpoznanie hydrodynamicznych uwarunkowań krążenia wód podziemnych w poziomie cenomańskim. W nawiązaniu do celów pracy Autorka wymienia trzy tezy, spośród których najważniejsza dotyczy „nieudokumentowanej hydrodynamicznie roli uskoków”. Pozostałe tezy sformułowano dość ogólnikowo.

**Rozdział drugi** (52 strony) zawiera charakterystykę obszaru badań. Granice północną i południową obszaru badań przyjęto na rzekach: Mierzawie, Nidzie i Wiśle, natomiast granice wschodnią i zachodnią wyznaczył zasięg występowania utworów kredy i jury niecki miechowskiej. Omawiając warunki hydrologiczne i klimatyczne Autorka przedstawia równocześnie system monitorowania obiegu wody: posterunki opadowe oraz wodowskazy, z których dane zostały wykorzystane w dalszych częściach pracy. Omówiona została budowa geologiczna obszaru badań: zarówno utwory powierzchniowe jak i podczwartorzędowe. Wiele uwagi poświęcono tektonice, a zwłaszcza systemowi uskoków występujących w obszarze badań. Szczegółowo przedstawiono warunki hydrogeologiczne poczynając od regionalizacji, poprzez charakterystykę kolejnych pięter wodonośnych, omówienie zakresu zmienności współczynnika filtracji, wpływ litologii i tektoniki oraz warunki zasilania i drenażu wód podziemnych. Zestawienie zakresu zmienności parametrów hydrogeologicznych zamieszczone w tabeli 5 obejmuje zarówno porowatość [%] jak i przepuszczalność [mD]. Ponieważ jednak w dalszych częściach pracy pomija się lepkość zmineralizowanych i termalnych wód podziemnych to zdolność ośrodka skalnego do filtracji wody lepiej byłoby wyrażać za pomocą współczynnika filtracji. Tym bardziej, że tylko w tabeli 5 pojawiają się dane o przepuszczalności wyrażonej w [mD]. Osobny podrozdział poświęcono właściwościom fizykochemicznym wód leczniczych i termalnych.

Na podkreślenie zasługuje szerokie rozpoznanie literaturowe oraz staranna redakcja kartograficzna map tematycznych. Autorka wykazała się bardzo dobrym opanowaniem technologii GIS, co pozwoliło Jej trafnie dobierać warstwy informacyjne na kolejnych mapach. W efekcie badany obszar został przedstawiony w sposób czytelny, kompleksowy, a także bardzo estetyczny.

W krótkim **rozdziale trzecim** (9 stron) można znaleźć przegląd wybranych informacji o historii eksploatacji, wykorzystaniu i gospodarowaniu zasobami cenomańskich wód

lecniczych i termalnych. Jest to rozdział uzupełniający charakterystykę fizyczno-geograficzną obszaru badań. Niektóre dane dotyczące eksploatacji, zamieszczone w tabeli 11 (str.64) budzą wątpliwości i dlatego wymagałyby jeszcze weryfikacji lub uściślenia. Autorka analizuje także warunki eksploatacji wód termalnych oraz określa zakres badań koniecznych dla zagospodarowania wód termalnych.

**W rozdziale czwartym** (47 stron) przedstawiono metodykę badań opartych w decydującym stopniu na literaturze źródłowej. Trzeba przyznać, że Autorka przeprowadziła wyjątkowo staranne i rozległe studia literaturowe. Praca zawiera 227 pozycji literaturowych, które cytowane są w tekście ponad 570 razy. Na podstawie literatury, map tematycznych oraz dokumentacji hydrogeologicznych zebrane zostały dane dotyczące budowy geologicznej i tektoniki badanego obszaru, geometrii poszczególnych warstw wodonośnych, parametrów hydrogeologicznych, infiltracji opadów, eksploatacji wód podziemnych oraz współdziałania wód powierzchniowych i podziemnych.

Dla regionalnego modelu dyskretyzację obszaru badań przeprowadzono za pomocą siatki kwadratowej o boku 250 m, co wynikało zarówno z wielkości jak i stopnia rozpoznania obszaru badań. W efekcie dało to liczbę blisko 63000 bloków obliczeniowych, co pozwoliło na nieomal zupełne wykorzystanie możliwości obliczeniowych pakietu Visual MODFLOW.

Przeprowadzona schematyzacja warunków hydrogeologicznych doprowadziła do wydzielenia pięciu warstw wodonośnych, dla których skonstruowano model matematyczny. Są to: czwartorzędowe piętro wodonośne Q(I), neogeńskie strefy wodonośne M(II), kredowy (senon) poziom wodonośny Kr(III), kredowy (cenoman) poziom wodonośny Kc(IV) oraz jurajskie piętro wodonośne J(V).

Parametry filtracji, a konkretnie rozkład przestrzenny wartości współczynnika filtracji, określono na podstawie studiów literaturowych. Współczynniki porowatości całkowitej i efektywnej przyjęto, z dużym uproszczeniem, jednolite w całym obszarze.

Z pewnym uproszczeniem przyjęto też warunki brzegowe, o czym będzie w dalszej części recenzji.

Istotną komplikacją warunków hydrogeologicznych były liczne uskoki tektoniczne o zróżnicowanym wpływie na warunki krążenia wód. Strefy dyslokacji ograniczające filtrację wód podziemnych odwzorowano poprzez niskie wartości współczynnika filtracji ( $10^{-8}$  m/s), zaś w uskokach przewodzących wodę zadawano współczynniki filtracji 1000-krotnie wyższe ( $10^{-5}$  m/s). Nie jest jasne, czy wartości te przyjmowano arbitralnie, czy uzyskano je w procesie kalibracji modelu.

Autorka nie podaje jak przebiegał proces kalibracji modelu: ile wariantów rozkładu parametrów testowano, jak korygowano dane wyjściowe, jakie kryteria zgodności przyjęto

dla oceny stopnia dopasowania zwierciadła obliczonego do zwierciadła obserwowanego w terenie. Podaje natomiast wykres kalibracji i statystyki dopasowania obu zwierciadeł. Dla 949 punktów obserwacyjnych uzyskano dopasowanie zwierciadeł obliczonego i obserwowanego ze standardowym błędem oszacowania na poziomie 0,42 m, przy  $RMS = 15,12$  m (znormalizowany  $RMS = 6,678\%$ ) oraz współczynnika korelacji 0,941. Uwzględniając zasięg obszaru badań oraz stopień rozpoznania hydrogeologicznego uzyskany wynik kalibracji modelu należy uznać za pozytywny.

Po skonstruowaniu i wykalibrowaniu modelu regionalnego Autorka wykorzystwała uzyskane wyniki do budowy modelu lokalnego. Zabieg, w którym na podstawie danych z modelu regionalnego formułowane są warunki graniczne dla modelu lokalnego bywa często stosowany i należy go uznać za skuteczny dla uszczegółowienia rozpoznania hydrogeologicznego. Powierzchnia modelu lokalnego obejmowała obszar ujęć wód podziemnych w okolicach Buska Zdroju oraz Solca Zdroju i była ponad sześciokrotnie mniejsza od powierzchni modelu regionalnego. W modelu lokalnym krok kwadratowej siatki dyskretyzacyjnej wynosił 100 m, co skutkowało ponad 62000 blokami obliczeniowymi. Wartości parametrów hydrogeologicznych, warunki graniczne, wielkość zasilania i eksploatacji, warunki współdziałania wód powierzchniowych i podziemnych oraz uskoki tektoniczne uszczelniające i przewodzące wodę zostały przeniesione z modelu regionalnego.

Dla modelu lokalnego jakość dopasowania obliczonego zwierciadła wód podziemnych do zarejestrowanych obserwacji terenowych była lepsza niż w modelu regionalnym. Dla 124 punktów obserwacyjnych uzyskano dopasowanie zwierciadeł obliczonego i obserwowanego ze standardowym błędem oszacowania na poziomie 0,64 m, przy  $RMS = 7,24$  m (znormalizowany  $RMS = 5,739\%$ ) oraz współczynnika korelacji 0,978.

**W rozdziale piątym** (34 strony) analizowane są różne warianty bilansowania zasobów wodnych, ze szczególnym uwzględnieniem cenomańskiego poziomu wodonośnego. Dla rozpoznania warunków eksploatacji wód podziemnych w rejonach miejscowości uzdrowiskowych wydzielono w modelu lokalnym strefy bilansowe w dwóch wariantach. Najpierw wydzielono obszary górnicze (OG) według kryterium administracyjnego: Busko II (OG BZ); Busko-Północ (OG BP) oraz Las Winiarski (OG LW). Następnie wydzielono bloki strukturalne (BL) według kryterium tektonicznego: Busko-Zdrój (BL BZ); Busko-Północ (BL BP) oraz Las Winiarski (BL LW). Celem wydzielenia wymienionych wyżej podobszarów była analiza wymiany cenomańskich wód podziemnych z poszczególnymi obszarów bilansowych z otoczeniem. Wyniki obliczeń dla obszarów górniczych (OG) zestawiono w tabelach 27÷35, natomiast dla bloków strukturalnych (BL) w tabelach 36÷44. Żmudne obliczenia bilansu wodnego w poszczególnych podobszarach dają rozpoznanie warunków

wymiany wód w poszczególnych strukturach. Wyniki obliczeń bilansowych powinny umożliwić w przyszłości ocenę warunków odnawialności cennych balneologicznie i przyrodniczo zasobów wodnych podziemnych. Nie jest jasne dlaczego Autorka nie sporządziła bilansów wodnych dla rejonu Solca Zdroju.

**Rozdział szósty** (4 strony) zawiera podsumowanie wyników badań. Autorka słusznie zauważa, że opracowany przez Nią model hydrodynamiki wód podziemnych w warunkach filtracji ustalonej powinien być kontynuowany dla warunków filtracji nieustalonej. Kolejnym etapem badań modelowych będzie odtworzenie warunków hydrogeochemicznych. W efekcie możliwe będzie rozpoznanie warunków odnawialności cenomańskich wód podziemnych, przy zachowaniu ich unikatowej mineralizacji oraz warunków termicznych.

#### **4. Zagadnienia dyskusyjne i uwagi krytyczne**

Do obowiązków recenzenta należy wskazanie usterek i błędów dostrzeżonych podczas oceny pracy. Nieliczne błędy literowe, redakcyjne i graficzne zaznaczyłem na marginesach tekstu w recenzowanym egzemplarzu rozprawy.

Lepszego uzasadnienia wymaga kwestia przyjętych warunków granicznych: początkowego i brzegowych I, II oraz III rodzaju. Warunek początkowy w modelu stacjonarnym nie wpływa znacząco na wynik obliczeń, natomiast okaże się niezbędny w dalszych pracach, szczególnie przy modelowaniu warunków niestacjonarnych. Warunki brzegowe I rodzaju postawiono na źródłach wód zwykłych i mineralnych, a także na dużych rzekach: Wiśle i Nidzie. Założenie, że współdziałanie dwóch dużych rzek z warstwą wodonośną można odwzorować za pomocą warunku brzegowego I rodzaju przyjęto arbitralnie, zakładając, że „rzeki te charakteryzują się bezpośrednim, pełnym kontaktem z warstwą wodonośną, a doliny zbudowane są z utworów o dobrych i bardzo dobrych parametrach filtracyjnych”. Założenie to nie zostało poparte ani rozpoznaniem literaturowym, ani badaniami własnymi. W przypadku Wisły jest to założenie możliwe do przyjęcia, bo koryto Wisła stanowi południową granicę obszaru i przy założeniu warunków ustalonych średnie stany wody w Wiśle mogą oddawać warunki drenażu wód podziemnych przez rzekę. Trudniej zrozumieć dlaczego podobne założenie przyjęto dla Nidy, tym bardziej, że współdziałanie z pozostałymi lewymi dopływami Wisły symulowano warunkiem brzegowym III rodzaju. Na pewno warunek brzegowy I rodzaju na Nidzie „przywiązał” zwierciadło wód podziemnych do rzeki. W rzeczywistości można oczekiwać, że zwierciadło wód podziemnych wzdłuż doliny Nidy będzie występowało niżej, na co wskazuje histogram odchyleń pomiędzy zwierciadłem obserwowanym a obliczonym (rys.29 str.99).

Po przeczytaniu dysertacji pewien niedosyt pozostawia kwestia własnych badań terenowych. Autorka nie opisuje w ogóle tego zadania. Wydaje się, że takie zagadnienia jak kartowanie krenologiczne stref uskokowych, rozpoznanie aktualnego poboru wody przez poszczególnych użytkowników, własne zdjęcie hydrogeologiczne zwierciadła wód podziemnych cenomańskiego poziomu wodonośnego, mogłyby znacząco wzbogacić wiarygodność opracowanego modelu. Autorka musiała wiele razy bywać w terenie i prowadzić tam własne obserwacje, natomiast jest niezrozumiałe, dlaczego o tym nie pisze?

Autorka dokonuje rozpoznania hydrodynamicznych uwarunkowań krążenia wód podziemnych wyłącznie metodą modelowania matematycznego, za pomocą oprogramowania Visual MODFLOW. Dane do modelowania pochodzą w większości ze studiów literaturowych. Byłoby celowym, gdyby wyniki modelowania mogły zostać wykorzystane do wskazania obszarów wymagających uzupełnienia rozpoznania hydrogeologicznego o własne badania terenowe.

W rozdziale 5 pewne wątpliwości budzą tabele 27, 30, 33, 36, 39, 42, a ściślej sposób policzenia „bilansu wód łącznie”. Czy wymiana wody pomiędzy obszarami górniczymi lub blokami (dolne wiersze) nie została już uwzględniona przy wymianie wód z poszczególnymi poziomami wodonośnymi (środkowe wiersze)? Taka usterka nie wpłynęła by na ogólną ocenę bilansów, ale wartości liczbowe musiały by być nieco niższe. Warto jeszcze dodać w tabelach 27÷35, że chodzi o obszary górnicze (OG), a w tabelach 36÷44, że chodzi o bloki strukturalne (BL). Obecnie występuję pewna niejednoznaczność, przykładowo symbol BZ znaczy co innego w tabelach 27÷35, a co innego w tabelach 36÷44.

Pewnym ewenementem wydawał się początkowo brak jakiegokolwiek zapisu matematycznego w pracy o modelowaniu matematycznym filtracji wód podziemnych. Początkowo budziło to zdziwienie recenzenta, ale po przemyśleniu należało uznać, że modelowanie filtracji wód podziemnych oraz migracji zanieczyszczeń w utworach wodonośnych jest zadaniem dla hydrogeologów, którzy korzystają z narzędzi badawczych opracowanych przez matematyków i informatyków. Narzędzi te są już na tyle znane i standaryzowane, że opis ich w kolejnych pracach hydrogeologicznych nie jest konieczny.

Na koniec sugestia recenzenta dotycząc tytułu pracy. Przygotowując dysertację doktorską do publikacji warto zastanowić się, czy w tytule mówić, o wodach termalnych i leczniczych, czy lepiej o wodach podziemnych. Wpływ temperatury wód oraz wpływ stopnia mineralizacji na hydrodynamiczne uwarunkowania krążenia wód nie zostały uwzględnione w modelach regionalnym i lokalnym.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Po uważnym przestudiowaniu rozprawy doktorskiej mgr inż. Marty Dendys oraz zapoznaniu się z elektroniczną wersją Jej modelu regionalnego stwierdzam, co następuje:

1. Doktorantka zrealizowała cele swoich badań określone w tytule rozprawy i w rozdziale pierwszym.
2. W swoich pracach zastosowała nowoczesne metody badawcze w zakresie modelowania matematycznego procesów hydrogeologicznych.

Za najważniejsze osiągnięcie recenzowanej rozprawy uważam uporządkowanie ogromnej ilości danych meteorologicznych, hydrologicznych, hydrogeologicznych, geologicznych, tektonicznych oraz eksploatacyjnych, a także zweryfikowanie całego zbioru danych poprzez budowę modelu matematycznego krążenia wód podziemnych w niecce miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Efektem obliczeń symulacyjnych było rozpoznanie hydrodynamiki wód podziemnych w badanym obszarze. Uważam, że uzyskane wyniki będą miały w przyszłości istotne znaczenie na drodze do rozpoznania warunków odnawialności cennych zasobów wód podziemnych poziomu cenomańskiego.

**Mgr inż. Marta Dendys przedstawiła rozprawę doktorską, która stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Potrafiła wykorzystać nowoczesną technologię GIS do opracowania i wizualizacji dużego zbioru danych geograficznych i geologicznych. Wykazała się wiedzą teoretyczną i praktyczną w zakresie rozpoznania geologicznego oraz modelowania procesów hydrogeologicznych. Opanowała także technologię realizacji modeli matematycznych za pomocą wyspecjalizowanego oprogramowania komputerowego Visual MODFLOW.**

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu „Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 (Dz. U. Nr 65, poz.595). Wnioskuje zatem o dopuszczenie mgr inż. Marty Dendys do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

