

Prof. dr hab. Jan Przybyłek
Instytut Geologii UAM
ul. Bogumiła Krygowskiego 12
61-680 Poznań

Poznań, dnia 17 czerwca 2023r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Marka Błachowicza
pt. „Ocena infiltracji efektywnej na terenie miasta Wrocławia
z zastosowaniem numerycznych metod modelowania”

przygotowanej pod naukową opieką prof. dr hab. Stanisława Staśko (promotor) w Zakładzie Hydrogeologii Stosowanej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego

Struktura i zawartość rozprawy

Recenzowana rozprawa stanowi wszechstronne studium odnawialności wód podziemnych w oparciu o badania procesów infiltracji efektywnej w granicach administracyjnych miasta Wrocławia z wykorzystaniem numerycznych metod modelowania do analizy bilansu wodnego na obszarach zurbanizowanych oraz baz danych monitoringowych dotyczących pomiarów meteorologicznych, stanów zwierciadła wód podziemnych i powierzchniowych oraz antropogenicznych źródeł zasilania i drenażu wód podziemnych. Składająca się z 11 rozdziałów rozprawa zawiera 170 stron druku, obejmującego: spis treści, tekst, 84 ryciny, 25 tabel oraz 20 stron spisu cytowanej literatury. Dla objaśnienia treści rozprawy autor umieścił w niej 9 załączników, w tym: w załączniku nr 1 zestawiono osiem diagramów opadów atmosferycznych ze stacji w granicach Wrocławia (Obserwatorium Uniwersytetu Wrocławskiego, Obserwatorium IMGW – PIB Wrocław, 6 posterunków prowadzonych przez MPWiK Wrocław S.A.), na załącznikach od 2 do 7 umieszczono kolejno sześć szczegółowych przekrojów hydrogeologicznych w jednolitej podziałce 1:10000/400 wraz z legendą i ich sytuacją kartograficzną, w załączniku nr 8 zestawione są punkty obserwacji wód podziemnych i powierzchniowych z wynikami ich monitoringu, w załączniku nr 9 są zestawione wyniki obserwacji wód (sekcja A – podziemnych, Sekcja B – powierzchniowych).

W rozdziale 1 rozprawy zawarty został zarys jej tematyki, polegającej na badaniu wpływu urbanizacji na przebieg cyklu: opad atmosferyczny, ewapotranspiracja, spływ powierzchniowy, infiltracja efektywna z podkreśleniem postawionego głównego celu jakim jest określenie jej wielkości na obszarze miasta Wrocławia. Podkreślono, że przyjęta podstawowa konstrukcja badawcza w postaci narzędzi modelowania numerycznego przepływu wód podziemnych w siatce dyskretyzacyjnej modelu hydrogeologicznego stworzyła możliwości różnicowania warunków naturalnej odnawialności wód podziemnych oraz wpływu na te warunki stopnia urbanizacji (zabudowy) miasta i jego infrastruktury wodno-kanalizacyjnej. Przyjęta konstrukcja badawcza wymagała uszczegółowienia tych warunków na sporządzonych autorskich przekrojach hydrogeologicznych w szczególności w odniesieniu do poziomu wód gruntowych i ich wzajemnych relacji z wodami powierzchniowymi na obszarze Wrocławia.

W rozdziale 2 autor przedstawił zawiłości związane ze sporządzaniem bilansu wodnego dla obszarów zurbanizowanych oraz metody stosowane w ocenie zasilania wód podziemnych z przywołaniem bardzo licznej literatury zagranicznej i krajowej z tego zakresu (43 pozycje spisu).

W rozdziale 3 opisano obszar badań i jego warunki naturalne w oparciu o zamieszczone mapy tematyczne (12), diagramy (8), tabele (5,) wskazując że rozpatrywana gmina Wrocław zajmuje powierzchnię 292,8km², zasiedloną przez blisko 636 tysięcy mieszkańców. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono: położenie administracyjne, ukształtowanie powierzchni terenu, sieć hydrograficzną, wybrane elementy klimatu, zagospodarowanie terenu oraz budowę geologiczną, poczynawszy od podłoża permsko – mezozoicznego i jego tektoniki, aż po uwarunkowania i strukturę osadów plejstocenu i holocenu. Przedstawione dane i opisy mają mocne umocowanie w cytowanej literaturze.

W rozdziale 4 autor przedstawił aktualny stan wiedzy na temat warunków hydrogeologicznych, rozpoczynając opis od przyjętych podziałów regionalnych (JCWPd, GZWP nr 320 Pradolina Odry – S Wrocław, nieznacznie GZWP nr 319 Prochowice – Środa Śląska) po ogólną charakterystykę poszczególnych pięter wodonośnych (podr. 4.2). W tym ostatnim przypadku doktorant dokonał ich opisu w kolejności odwrotnej od powszechnie stosowanej, a mianowicie nawiązując kolejno do opisanych formacji skał w ich porządku wiekowo geologicznym, co uzasadnił troską o Czytelnika, poprzez zachowanie narracji opisowej stratyfikacji hydrogeologicznej w układzie następstw kompleksów skalnych. Mamy więc w tekście kolejno piętra wodonośne: permskie, triasowe, neogeńskie, czwartorzędowe, w tym pierwszy od powierzchni terenu poziom wodonośny. W obszernym podrozdziale 4.3 opisano szczegółowo antropogeniczne źródła zasilania i drenażu wód podziemnych na obszarze miasta, w tym: gospodarczy pobór wód podziemnych (ujęcia lokalne stałe i sezonowe), odwodnienia budowlane stałe i okresowe, pola irygacyjne naturalnej oczyszczalni ścieków (11,68km² w latach od 1881 do 2013 z ilością do 200 tys. m³/dobę), infiltracyjne ujęcie wody MPWiK S.A. przy Siechnicy (3,4km² w granicach miasta), rozległa sieć wodno-kanalizacyjna, w tym: wodociągowa 2035km, kanalizacyjna – 1418km.

W rozdziale 5 Autor przeprowadził zwięzłą charakterystykę zastosowanych narzędzi badawczych, podkreślając pierwszoplanową rolę modelowania numerycznego według oprogramowania GMS z kodem obliczeniowym MODFLOW 2000 oraz geostatystycznej analizy danych przy sporządzaniu map izoliniowych niezbędnych do stworzenia struktury modelu. W profesjonalny sposób opisał metodę krigingu w świetle przedstawionych danych literaturowych o tej metodzie do estymacji i interpretacji danych geologicznych. W prezentowanej pracy posłużył się techniką krigingu zwyczajnego (punktowego) z szacowaniem wielkości błędów obliczeniowych przy interpretacji przestrzennej położenia stropu, spągu czwartorzędowych utworów wodonośnych, ich miąższości, wartości współczynnika filtracji oraz wodoprzewodności na obszarze badań co w konsekwencji umożliwiło wiarygodną konstrukcję modelu numerycznego. Prace terenowe autora, opisane w podrozdziale 5.5,

objęły obserwacje w sieci monitoringu zwierciadła wód podziemnych od września 2018 do listopada 2020r. początkowo w sieci 157 punktów, w końcowej fazie obserwacji 204 indywidualnych punktów badawczych (ryc.39). Obserwacje stanów i przepływów wód powierzchniowych autor pozyskał głównie z IMGW-PIB, PGW – Wody Polskie oraz z Wrocławskich Elektrowni Wodnych (ryc.43). Ponadto samodzielnie wykonał 87 oznaczeń łączności hydraulicznej cieków powierzchniowych i wód podziemnych w strefach korytowych w II półroczu 2020r. (ryc.47), wykorzystując następujące przyrządy: gradientomierz wodno-powietrzny (Marciniak, Chudziak 2015), piezomanometr hydrauliczny (Błachowicz, Wcisło 2022).

W rozdziale 6 został opisany model hydrogeologiczny stanowiący model koncepcyjny do budowy modelu numerycznego w zamiarze objęcia analizą całości czwartorzędowych utworów wodonośnych jako spójnego strukturalnie i hydrodynamicznie systemu hydrogeologicznego. Rozmiary zbioru danych wiertniczych wykorzystanych w tym celu określa łączna liczba 3655 otworów, w tym: 3099 z BDGI oraz 556 (15%) z CBDH. Efekt kartograficzny tej pracy to sporządzona mapa punktów badawczych, które posłużyły do interpretacji budowy geologicznej i budowy modelu numerycznego (str.83 – ryc.50) oraz sporządzenia sześciu szczegółowych przekrojów hydrogeologicznych wykonanych w znacznym przewyższeniu (1:10000/400). Uzyskane na drodze interpretacyjnej i obliczeniowej pięć map służących do budowy modelu numerycznego to: mapa powierzchni stropu przypowierzchniowych utworów wodonośnych (ryc.52), mapa powierzchni spągu utworów wodonośnych piętra czwartorzędowego (ryc. 55), mapa miąższości utworów wodonośnych piętra czwartorzędowego (ryc.58), mapa rozkładu przestrzennego współczynnika filtracji k_h (ryc.59), mapa rozkładu przestrzennego wodoprzewodności T (ryc.63). Obrazu dopełnia mapa zwierciadła wód podziemnych uzyskana na podstawie analizy danych z sieci obserwacyjnej oraz średniego stanu wód powierzchniowych dla roku 2020 (ryc.64).

W rozdziale 7 opisano założenia i konstrukcję modelu numerycznego według kodu obliczeniowego MODFLOW 2000 w metodzie różnic skończonych (MRS) przy dyskretyzacji obszar na elementarne bloki obliczeniowe 40mx40m (powierzchnia 297,98km², liczba bloków aktywnych 183 736); charakter modelu: stacjonarny, jednowarstwowy; brak dopływu z niżej leżących poziomów wodonośnych ($Q=0$), przyjęte warunki brzegowe. Przedstawiono schematyzację parametrów modelu i zasady jego kalibracji.

W rozdziale 8 przedstawiono końcowe wyniki kalibracji modelu numerycznego (ryc.78, ryc.79), analizę jego czułości na zmiany, uzyskany ogólny bilans wodny i analizę układu hydrodynamicznego dla całego obszaru modelu (292,8km²) oraz cząstkowe bilanse strefowe dla wybranych obszarów: obszar wysoce zurbanizowany w granicach historycznego Wrocławia (119,52 km²), obszar Osobowice -Rędzin dawnych pól irygacyjnych i tereny przyległe do rzeki Odry (b.d.), obszar terenów wodonośnych z infiltracyjnym ujęciem wody w granicach miasta (b.d.).

W rozdziale 9 autor przedstawił dyskusję uzyskanych wyników badań w odniesieniu do tytułowego celu rozprawy jakim jest kwestia oceny infiltracji efektywnej na terenie miasta Wrocławia przy

ewidentnie istniejącym równolegle zasilaniu wód podziemnych ze składowej antropogenicznej, a mianowicie z nieszczelności systemu wodociągowego i systemu kanalizacji komunalnej w obszarze miasta. Sumę składników tego zasilania przedstawił w postaci mapy wynikowej z modelu numerycznego na ryc. 80, przy rozkładzie wartości w granicach 20 przedziałów od 2,3-5mm/rok do 95-96,8mm/rok, porównał szacunkowe wielkości zasilania pochodzącego z nieszczelności sieci wodociągowej i sieci kanalizacyjnej danych z modelu i rejestrów MPWiK S.A. we Wrocławiu (tabela 25); porównał swoje wyniki badań z pracami innych autorów, przedstawił ograniczenia wykonanego modelu numerycznego pozwalające określić rodzaj niepewności jakim charakteryzują się otrzymane wyniki.

W rozdziale 10 autor przedstawił zwięźle (2 strony tekstu) wnioski podsumowujące zakres i wyniki swoich badań.

Ogólna ocena rozprawy

1] Bardzo pozytywnie oceniam ogrom pracy autora włożony w usystematyzowanie i rewizję błędnych lokalizacji licznych otworów w bazie CBDH, przeprowadzoną w ślad za pracą dr Korwin -Piotrowskiej (2016) w zakresie usytuowania dotychczas istniejących studni wierconych. Równie żmudnym, ale bardzo koniecznym, było wykorzystanie profili wierceń geologiczno-inżynierskich z bazy BDGI. Ten sposób wizualizacji pozwolił autorowi na bardzo drobiazgowy opis litologiczny wszystkich osadów czwartorzędowych i neogeńskich, dokonania wydzielenia facjalnych niezbędnych przy schematyzacji hydrogeologicznej utworów czwartorzędowych, w tym stopnia izolacji czwartorzędowego piętra wodonośnego od piętra neogeńskiego. W efekcie tych prac autor rozprawy jako pierwszy przeprowadził tak szczegółową analizę warunków panujących w płytkich utworach wodonośnych na obszarze Wrocławia, co w zadawalający sposób umożliwiło dalsze wnioskowanie w zakresie hydrodynamiki całego piętra czwartorzędowego, w tym weryfikację przepływów wód podziemnych w nawiązaniu do ich stref drenażu i powiązań z wodami powierzchniowymi, a także w odniesieniu do warunków ich antropogenicznego zasilania z istniejących systemów irygacyjnych. Bez tych bardzo czasochłonnych czynności trudno byłoby mówić o właściwej realizacji koncepcji systemu wodonośnego w aspekcie jego układu hydrostrukturalnego. Autor przywołał w tym zakresie prace Jacka Szymanko, który jako pierwszy w literaturze polskiej zdefiniował te pojęcia (Szymanko 1980). Szkoda tylko, że pominął przywołaną publikację w swoim spisie literatury (Szymanko J., Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wyd. Geologiczne, Warszawa). W dyskusji słusznie wskazał, że głównym problemem przy dyskretyzacji obszaru badań było określenie współczynnika filtracji modelowanych utworów wodonośnych. Przyjęty sposób postępowania opisany został na str.65 rozprawy. Na podkreślenie zasługuje krytyczne wykorzystanie baz danych (CBDGI i CBDH) oraz odwołanie się do bogatej i różnorodnej literatury naukowej, związanej z charakterystyką obszaru

Wrocławia w różnych aspektach środowiska gruntowo-wodnego i hydrotechnicznych obiektów antropopresji na terenie miasta.

2] Przeprowadzone i udokumentowane przez autora prace terenowe dowodzą, że nie poprzestał wyłącznie na prowadzeniu obserwacji stacjonarnych w sieci monitoringu wód podziemnych, ale również podjął się aparaturowych pomiarów „in situ” w korytach rzecznych i kanałach na terenie Wrocławia dotyczących łączności hydraulicznej wód podziemnych i powierzchniowych (metody gradientowe), a mianowicie dla Bystrzycy, Widawy, Ślęzy, Oławy, Odry, Brochówki, Dobrej, Ługowiny, Zielonej, Kanału Wilczyckiego i Kanału Odpływowego (87 stanowisk, sytuacja - ryc.47, wyniki - tabela 13). Badania umożliwiły dokładniejszą interpretację charakteru poszczególnych odcinków cieków w stosunku do wód podziemnych (drenujący, zasilający, neutralny), Przeprowadzone w opisanej skali prace terenowe zaświadczać o wiedzy metodologicznej, umiejętnościach i sprawności organizacyjnej autora.

3] W zakresie metod związanych ze sporządzeniem modelu hydrogeologicznego (konceptyjnego) a następnie numerycznego obszaru Wrocławia podkreślenia wymaga systematyczność i bogaty zakres wiedzy autora dysertacji w zakresie organizacji i analizy danych przestrzennych za pomocą metod geostatystycznych (strukturalne mapy izolinowe spągu, stropu i miąższości czwartorzędowego kompleksu wodonośnego, mapy współczynnika filtracji K_h i wodoprzewodności T), następnie przeprowadzenie i prezentacja całości procedury budowy modelu numerycznego i jego identyfikacji oraz obliczeń bilansowych za pomocą programu (kodu) i modułów obliczeniowych MODFLOW 2000. Zastosowany krok siatki dyskretyzacyjnej (40mx40m) umożliwił odwzorowanie zmienności strukturalnej i parametrycznej czwartorzędowego systemu wodonośnego oraz wszystkich obiektów hydrograficznych i hydrotechnicznych, a także wpływu zabudowy miejskiej na infiltrację efektywną.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

1] Zgodnie z zasadami podanymi w „Słowniku hydrogeologicznym (Praca zbiorowa, PIG Warszawa 2002) obowiązuje podział profilu hydrogeologicznego stosownie do przyjętych zasad stratyfikacji - piętrowości wód podziemnych (strona 171 – hasło 678). Zapis stanowi jednoznacznie o następującej kolejności: formacja wodonośna, piętro wodonośne, poziom wodonośny, warstwa wodonośna. Tymczasem w tekście rozprawy zasada ta nie jest przestrzegana, choćby w przykładowym fragmencie tekstu na str.88, cyt.: „...przypowierzchniowe warstwy wodonośne tworzą skomplikowany układ kilku (powiązanych ze sobą) poziomów wodonośnych rozdzielonych seriami nieprzepuszczalnych osadów zbudowanych głównie z glin i utworów ilastych.” Podobnie brzmi zapis na str. 90, cyt.: „...przypowierzchniowe warstwy wodonośne wykształcone w postaci skomplikowanego układu dwóch lub więcej poziomów wodonośnych o zróżnicowanej miąższości i niejednorodnym charakterze zwierciadła wód podziemnych...”, czy wreszcie zapis na str.91 – początek podrozdziału 6.3, cyt.:

...płytkie warstwy wodonośne mogą być zilustrowane przez dwa, trzy i więcej horyzontów wodonośnych, tworzących razem jeden system wodonośny.” Wynika z tych cytatów, że jest to błąd powtarzalny autora dysertacji, który powinien być usunięty w przypadku przygotowania rozprawy doktorskiej lub jej części do publikacji.

2] Wyjaśnienia wymaga upór autora w nadrzędnym forsowaniu pojęcia „płytkie warstwy wodonośne Wrocławia” (np. na str.91) lub „przypowierzchniowe warstwy wodonośne” na str.88 – zapis jw.). Piszę te uwagi w kontekście przyjętej schematyzacji do konstrukcji modelu numerycznego (podrozdział 7.1-str.116), cyt.: „...kod MODFLOW... posłużył do konstrukcji modelu numerycznego przypowierzchniowych warstw wodonośnych, **w tym głębokich poziomów piętra czwartorzędowego.**” W świetle sposobu konstrukcji map stropu i spągu utworów wodonośnych piętra czwartorzędowego jest dla mnie oczywiste, że *mimo, iż model w sensie matematycznym jest modelem jednowarstwowym to rozwiązania dotyczą całości czwartorzędowego systemu wodonośnego w granicach miasta Wrocławia*, a wyróżnianie przypowierzchniowych (płytkich) warstw wodonośnych ma wyłącznie charakter ukierunkowania odbiorcy (czytelnika) na procesy zachodzące w tym systemie w zakresie wymiany bilansowej na powierzchni terenu (infiltracja efektywna opadów atmosferycznych, urządzenia gospodarki wodnościekowej i wodociągowej, budowle hydrotechniczne, drenaże rzeczne itp.).

3] Autorskiego wyjaśnienia wymaga sporządzony ogólny bilans wodny modelu numerycznego po jego kalibracji (Tabela 23). Figuruje w tej tabeli cztery źródła składowych bilansu liczbowo określone: studnie, wymiana z wodami powierzchniowymi (w tym stawy infiltracyjne), przepływ boczny, zasilanie. Zestaw tych danych ma dla mnie charakter „czarnej skrzynki”, bowiem zabrakło w zestawieniu rozdziału obiektowego scalonych wartości w tabeli 23, a bilanse cząstkowe nadal do końca nie wyjaśniają tego problemu (tabela 24). W moim rozumieniu **studnie** powinny mieć podział na: te które są zasymulowane na infiltracyjnym ujęciu komunalnym oraz pozostałe – innych użytkowników na terenie miasta; **wymiana z wodami powierzchniowymi** powinna odnosić się do konkretnych rzek - zasymulowanych na obszarze modelu, na których przecież wykonywano specjalistyczne badania terenowe (metody gradientowe – wyniki w tabeli 13 na str.79) oraz oczywiście odrębnie stawy infiltracyjne; **przepływ boczny** powinien być bliżej umiejscowiony na granicach modelu poprzez wskazanie stref gdzie ma miejsce; **zasilanie** – jakie są składowe tego zasilania wód podziemnych w postaci: efektywnej infiltracji opadów atmosferycznych, zidentyfikowanych ucieczek wody z nieszczelnej sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, infiltracji brzegowej z koryt rzecznych. Oczywiście, przy złożoności sytuacji bilansowej na obszarze zurbanizowanym i przy znaczących przekształceniach środowiskowych rozdzielanie elementów bilansowych jest trudne, ale moim zdaniem konieczne. Sprawę rozdzielania składników zasilania podjął autor w formie dyskusji uzyskanych wyników bilansu modelowego rozdziale 9, w którym przeszedł w opisie tekstowym z jednostek przepływowych (m^3/d)

na jednostki bilansu rocznego (mm/rok) i ***tok tej dyskusji jest wielce interesujący i bardzo wartościowy*** z podaniem szacunkowych wartości wielkości zasilania pochodzącej z infrastruktury wodno-kanalizacyjnej (str. 142 – 145, tabela 25).

Uwagi formalne

1] Mapy powierzchni strukturalnych (ryc.52 – strop, ryc.55 – spąg), mapa miąższości (ryc.58) wykonane jako kolorowe mapy przedziałowe – po 20 barwnych wydzieleń są bardzo słabo czytelne, powinny mieć wrysowane opisane izoliny, choćby co 10 metrów, mapy te w obecnej postaci są bardzo słabo czytelne.

2] Mapa zwierciadła wód podziemnych po kalibracji modelu (ryc.79), hydroizohipsy od 108 do 128 w cięciu co 2m prezentowane jako linie barwne są słabo rozróżnialne, brak w tym przypadku ich wartości wpisanych w treść ryciny, wskazane również pogładowe ukazanie strumieni wód podziemnych.

Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa jest oryginalnym osiągnięciem Autora, świadczącym o ugruntowanej wiedzy w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku oraz o bardzo dobrym opanowaniu warsztatu badawczego, w szczególności metodyki modelowania matematycznego, metodyki specjalistycznych badań terenowych w hydrogeologii oraz o umiejętności samodzielnego planowania i prowadzenia badań. Wybór tematyki rozprawy uznaję za trafny, a postawione cele za w pełni zrealizowane. Praca jest wzorcowym przykładem rozwiązania problemu naukowego, mającym również ważne odniesienie planistyczne i gospodarcze w zakresie gospodarki wodnej i środowiska gruntowo-wodnego miasta Wrocławia możliwe do wykorzystania przez administrację samorządową. Z treści mojej recenzji wynika, że oceniana rozprawa spełnia w zupełności wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z przepisami Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw 2018 , poz.1668, tekst jednolity z 2022r.). W związku z powyższym wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgra Marka Błachowicza przez Radę Dyscyplin Naukowych nauki o Ziemi i środowisku oraz geografia społeczno-ekonomiczna i gospodarka przestrzenna Uniwersytetu Wrocławskiego oraz dopuszczenie w/w do jej publicznej obrony.

Prof. dr. hab. Jan Przybyłek
Instytut Geologii UAM

