

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr Marka Błachowicza

pt.: „Ocena infiltracji efektywnej na terenie miasta Wrocławia z zastosowaniem numerycznych metod modelowania”

Promotor: Prof. dr hab. Stanisław Staśko

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na wniosek Rady Dyscyplin Naukowych nauki o Ziemi i środowisku oraz geografia społeczno-ekonomiczna i gospodarka przestrzenna, Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, na podstawie pisma z dnia 24 kwietnia 2023 roku. Oceny pracy dokonano odnosząc się do przepisów Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późn. zm.).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa ma formę maszynopisu, liczącego 170 stron. Jej zasadnicza część została podzielona na 10 rozdziałów. Ponadto praca zawiera: abstrakt w języku angielskim, 9 załączników, spis treści, oraz spis literatury obejmujący 221 pozycji literaturowych i 12 pozycji źródeł internetowych.

W krótkim Rozdziale 1 przedstawiono cel rozprawy formułując go jako: określenie wielkości infiltracji efektywnej na obszarze miasta Wrocławia, z wykorzystaniem narzędzi modelowania numerycznego przepływu wód podziemnych, wspomniano także, że celem pobocznym pracy jest uszczegółowienie poszczególnych składowych bilansu wodnego w granicach miasta. Autor zapowiada, że zostanie podjęta próba oddzielenia części antropogenicznej i naturalnej składowej w ogólnej wielkości zasilania płytkich poziomów wodonośnych Wrocławia (m in. określenie wpływu istniejącej infrastruktury wodno-kanalizacyjnej na płytkie wody podziemne) oraz uszczegółowienie stopnia rozpoznania charakteru relacji wód podziemnych z wodami powierzchniowymi.

Rozdział 2 zawiera ogólny przegląd zagadnień dotyczących bilansu wodnego obszarów zurbanizowanych.

W Rozdziale 3 Autor przedstawił charakterystykę obszaru badań: hydrografię, wybrane elementy klimatu (głównie temperatura i opad), zagospodarowanie terenu oraz bardzo szczegółowy opis budowy geologicznej.

Rozdział 4 poświęcony został dogłębnej analizie warunków hydrogeologicznych na obszarze badań. Występowanie wód podziemnych omówiono najpierw w aspekcie regionalnym, a następnie z podziałem na poszczególne piętra wodonośne. Sporo uwagi poświęcono antropogenicznym źródłom zasilania i drenażu wód podziemnych na obszarze miasta, takim jak: odwodnienia, ujęcia infiltracyjne czy wpływ sieci wodno-kanalizacyjnej.

W Rozdziale 5 zatytułowanym „metodyka badań” Autor opisał geostatystyczną analizę danych (sporządzanie map izoliniowych metodą krigingu), dyskretyzację przestrzenną danych wejściowych do modelu numerycznego z zastosowaniem technik GIS oraz przeprowadzone badania terenowe. Przedstawiona metodyka prowadzonych badań terenowych obejmuje: sieć monitoringową i pomiary zwierciadła wód podziemnych, obserwacje stanów i przepływów wód powierzchniowych oraz badania łączności hydraulicznej sieci rzecznej z wodami podziemnymi.

Rozdział 6 zawiera opis koncepcji modelu hydrogeologicznego. Dowiadujemy się tutaj, że schematyzację wykonano na podstawie 3655 otworów, na tej podstawie przedstawiono identyfikację stropu i spągu przypowierzchniowych poziomów wodonośnych, oraz rozpoznano wartości współczynnika filtracji. Przedstawiono tu własną metodykę uśredniania - ustalania wartości współczynnika filtracji jako „średniej ważonej w stosunku do miąższości poszczególnych wydziałów litologicznych wyodrębnionych z badanego profilu osadów i zidentyfikowanych jako warstwa wodonośna”.

W rozdziale 7 omówiono konstrukcję modelu w MODFLOW, warunki brzegowe, sposób konstrukcji macierzy danych wejściowych wielkości zasilania przypowierzchniowych warstw wodonośnych oraz schematyzację parametrów modelu i zasady kalibracji. Autor oparł ocenę wielkości zasilania o tzw. modelowanie odwrotne, podczas kalibracji modelu szukał najkorzystniejszego rozkładu wielkości zasilania przypowierzchniowych warstw wodonośnych dla numerycznego modelu w warunkach ustalonych. Otrzymany w ten sposób rozkład wielkości zasilania uwzględnia wpływ infrastruktury podziemnej, zwłaszcza w starszych rejonach miasta, gdzie głównie dochodzi do eksfiltracji i infiltracji sieci wodno-kanalizacyjnej. Wysiłki Autora skupiły się na jak najlepszym rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych przypowierzchniowych warstw wodonośnych oraz ich związku z wodami powierzchniowymi.

W Rozdziale 8 Autor przedstawił wyniki swoich badań i obliczeń modelowych. Opisano tu bilans wodny i analizę układu hydrodynamicznego z podziałem na obszar wysoce zurbanizowany, dawne pola irygacyjne oraz obszar ujęcia infiltracyjnego. Według obliczeń na obszarze wysoce zurbanizowanym wielkość zasilania nie pochodząca z wód powierzchniowych stanowi niespełna 5% ogólnego bilansu. Przedstawiono również mapę wynikową zasilania przypowierzchniowych warstw wodonośnych.

Przedstawiona w Rozdziale 9 dyskusja obejmuje omówienie wielkości zasilania oraz składowej antropogenicznej bilansu wodnego, a także porównanie uzyskanych wyników z pracami innych autorów. Według obliczeń średnia wielkość zasilania przypowierzchniowych warstw wodonośnych dla Wrocławia wynosi **39,6 mm/rok**. Wykonano również mapę wysokości dodatkowego zasilania z infrastruktury podziemnej Ryc. 84, jego wielkość oszacowano średnio na obszarze badań na ok. 9,53 mm/rok, dla terenów zurbanizowanych jego wartość wzrasta do 23,34 mm/rok. Ostatecznie oszacowano spodziewaną wielkość infiltracji efektywnej opadu atmosferycznego dla całości obszaru miasta na ok. **30 mm/rok** (4,35% wysokości średniego opadu), oraz 16,62 mm/rok (2,41% wysokości średniego opadu) w obszarze zurbanizowanym, przy wysokości średniego opadu dla całości obszaru miasta w wysokości 690 mm. W Rozdziale 9 zawarto również analizę ograniczeń wykonanego modelu numerycznego.

3. Ocena merytoryczna pracy

Praca dotyczy problematyki oceny zasilania wód podziemnych i ogólnie bilansu wodnego na obszarach zurbanizowanych. Problem ten ma istotne znaczenie naukowe i praktyczne. Aglomeracje miejskie na całym świecie borykają się z ubożącymi zasobami wodnymi i jednocześnie z pogorszeniem się jakości zasobów, które pozostają do dyspozycji. Szczegółowa analiza bilansowa składników, nie tylko przyrodniczych, ale również wynikających z infrastruktury zabudowy miejskiej, to zagadnienie bardzo złożone i coraz częściej podejmowane przez naukowców na całym świecie. Autor w swojej rozprawie doktorskiej niewątpliwie przyczynia się do lepszego rozpoznania tego zagadnienia.

Przyjęta struktura pracy nie budzi zastrzeżeń, jednak wstęp powinien bardziej szczegółowo zapowiadać co zrobiono w pracy i jaka będzie jej struktura. Brakuje tutaj szerszego omówienia zakresu pracy.

Rozdział 2 – Bilans wodny obszarów zurbanizowanych, powinien zawierać szerszy przegląd literatury dotyczący infiltracji na obszarach zurbanizowanych, uwzględniający metody sztucznej infiltracji, retencji, analizę wpływu strefy nienasyconej, czy rozwiązania typu „sponge city”. Wydaje się niewystarczające to, że Autor zmieścił na 4 stronach zasadnicze podstawy teoretyczne

swojej pracy naukowej, jednak szczęśliwie, w kolejnych rozdziałach pojawiają się uzupełnienia tych treści (np. Rozdział 4.3.3; Rozdział 5; czy Rozdział 7.1.1), w większości wystarczające.

Kolejne dwa rozdziały 3 i 4, to bardzo dobrze napisana geologiczna, hydrologiczna, klimatyczna i hydrogeologiczna charakterystyka obszaru badań. Widać tu solidne podstawy merytoryczne i doświadczenie Autora. Dobrze rozpoznano zróżnicowanie przestrzenne opadu, które jest zaskakująco duże oraz zagospodarowanie przestrzenne całego obszaru. W opisie czynników klimatycznych zabrakło jednak analizy parowania, niezwykle ważnej w ocenie infiltracji efektywnej. W rozdziale 4.3.3. przedstawiono bardzo ciekawy przegląd literatury dotyczący wpływu sieci wodno-kanalizacyjnej, który mógłby wzbogacić Rozdział 2.

W Rozdziale 5.5 widać jak dużo pracy wykonano w terenie. Obserwacje położenia zwierciadła wód podziemnych prowadzono przez ponad 2 lata w 204 punktach badawczych, w tym samodzielnie wykonano 46 płytkich wierceń rozpoznawczych. Zebrano także informacje dotyczące piętrzeń i przepływów na rzekach, a luki w pozyskanych materiałach uzupełniono pomiarami własnymi. Przeprowadzono również badania łączności hydraulicznej sieci rzecznej z wodami podziemnymi. W badaniach wykorzystano urządzenie własnej konstrukcji wykorzystujące precyzyjny manometr elektroniczny, urządzenie nazwano - piezomanometrem hydraulicznym. Łącznie wykonano 87 oznaczeń łączności hydraulicznej cieków powierzchniowych i wód podziemnych. Badania te bardzo podnoszą wartość pracy, uwiarygodniają koncepcję modelu przepływu wód, a także są dobrą weryfikacją uzyskanych wyników obliczeń.

W rozdziale 6 zaprezentowano ciekawą procedurę wyznaczania uśrednionej wartości współczynnika filtracji na podstawie przesłanek litologicznych. Każdemu symbolowi wydzielienia litologicznego przypisano średnią wartość współczynnika filtracji. Nie do końca jednak wiadomo jakie wartości przyjęto dla poszczególnych wydzieleni, przedstawiono jedynie przykład dla glin z różnymi domieszkami. Metodyka mogłaby zyskać uniwersalny charakter i być wykorzystywana w innych opracowaniach, ale wymaga dokładniejszego wyjaśnienia. Dodatkowo nasuwa się pytanie czy zweryfikowano wartości uzyskane w wyniku tego algorytmu z wartościami współczynnika filtracji uzyskanymi w próbnym pompowaniu (oczywiście dotyczy to otworów, w których były wyniki z próbnym pompowań)?

W rozdziale 6 można było się spodziewać przedstawionego graficznie koncepcyjnego modelu hydrogeologicznego, z zaznaczonymi schematycznie poziomami wodonośnymi i warstwami słaboprzepuszczalnymi, z kierunkami przepływu, uwzględniającego w sposób uproszczony wszystkie elementy bilansu przepływu, naturalne i antropogeniczne. Niestety nie przedstawiono koncepcji systemu graficznie. Mamy natomiast sześć bardzo szczegółowych przekrojów

hydrogeologicznych, które są bezwzględnie bardzo wartościowe, ale właściwie bardziej „robocze”, niezbędne do prawidłowego zdefiniowania modelu, ale nie dające klarownego obrazu koncepcyjnego modelu przepływu wód. W Rozdziale 6.6. - Analiza struktury pionowego przepływu wód podziemnych w obrębie głębokich poziomów wodonośnych czwartorzędu i ich potencjalnego kontaktu z poziomami neogenu przedstawiono, na Ryc. 67 przedstawiono średnie wartości położenia rzędnej zwierciadła wód podziemnych w poziomach czwartorzędowych i neogeńskim, niestety tylko dla wybranych otworów. Szkoda, że nie pokazano mapy dla całego obszaru badań, można by lepiej prześledzić ewentualne kontakty tych warstw i kierunki przepływu pionowego, co dałoby wyobrażenie schematu przepływu w kierunku pionowym.

Dodatkowo na stronie 92 pojawia się dość niezrozumiałe sformułowanie: „Dla zachowania jasności przekazu informacji zamieszczonych na prezentowanych w dalszej części mapach, nie uwzględniono na nich obszarów na których stwierdzono brak przypowierzchniowych utworów wodonośnych. Punkty dokumentujące te informacje, nie brały również udziału w ogólnej procedurze estymacji.” Nasuwa się pytanie jak został zdefiniowany w modelu nieciągły poziom wodonośny? Zasięgi braku warstwy wodonośnej przedstawiono na Ryc. 50, widać tam, że takich obszarów nieciągłości jest sporo. Nigdzie nie wyjaśniono jak te nieciągłości zostały zadane w modelu.

W rozdziale 7 dowiadujemy się, że ocena wielkości zasilania została oparta o tzw. modelowanie odwrotne. Przy takim podejściu bardzo ważne jest aby model hydrogeologiczny był jak najbardziej dokładny i zawierał jak najmniej uproszczeń. Do tego też zmierzały intencje Autora. Większość elementów modelu udało się odwzorować z dużą dokładnością, prowadząc dodatkowe badania terenowe, np. dobrze rozpoznano związki przypowierzchniowych warstw wodonośnych z wodami powierzchniowymi, a także rozkład opadu, zagospodarowanie terenu, infrastrukturę wodno-kanalizacyjną, pracę ujęcia infiltracyjnego itd. Jednak poczyniono kilka uproszczeń, których można było uniknąć np. pominięto zawieszony poziom wodonośny, które zwykle, w prawdzie pośrednio i z opóźnieniem, ale jednak zwiększają infiltrację, pominięto także kontakt hydrauliczny z warstwami neogenu.

Autor zmierzył się z obszarem badawczym o bardzo skomplikowanej budowie geologicznej, jednak stosunkowo dobrze rozpoznany w wielu wcześniejszych opracowaniach. Wielowarstwowy układ hydrogeologiczny obejmujący czwartorzędowe i neogeńskie piętra wodonośne, pozostające w kontakcie z wodami w piaskowcach i wapieniach triasu i permu, został jednak uproszczony do schematu jednowarstwowego. Zaskakujące jest to, że Autorowi nie udało się wychwycić kontaktu między poziomami czwartorzędowymi i neogeńskim piętrzem wodonośnym. W Rozdziale 4 przedstawiono kilka takich przesłanek, zarówno strukturalnych np. Rys. 24 i 25, czy wynikających ze składu chemicznego wód, podano również oszacowaną przez

innych autorów wartość zasilania, która dla górnych poziomów neogenu wynosi 0,2 l/s/km². Trudno w związku z powyższym zgodzić się z wykonanym uproszczeniem, że poziom neogeński nie jest zasilany z infiltracji opadu, pośrednio przez descenzję z czwartorzędu (str. 123: „przyjęto, że przypowierzchniowe warstwy wodonośne są w dostateczny sposób izolowane od niżej ległych poziomów wodonośnych”).

Pod koniec Rozdziału 7, w Tabeli 22, znajdujemy jeden z ważniejszych wyników rozprawy doktorskiej, mianowicie uszczegółowienie metody wskaźnikowej poprzez określenie parametrów związanych z antropogenicznym stopniem ograniczenia wielkości zasilania. Nasuwa się tu jednak pytanie: z czego wynikają bardzo niskie wartości wskaźników dla poszczególnych rodzajów osadów uzyskane w metodzie wskaźnikowej? Może niwelują inne czynniki? Czy nie lepiej byłoby uwzględnić to w poprawce definiującej antropogeniczny stopień ograniczenia wielkości zasilania?

Rozdziały 8, 9 i 10 to podsumowanie, wyniki, dyskusja i wnioski. Uzyskane średnie wartości zasilania **39,6 mm/rok i 30 mm/rok po uwzględnieniu infrastruktury wodno-kanalizacyjnej** wydają się bardzo niskie, ale są prawdopodobne, znajdują również potwierdzenie w innych badaniach z tego obszaru.

Podsumowując, można stwierdzić, że Autor zrealizował wytyczone cele, obliczył wielkość zasilania we Wrocławiu oraz oszacował wielkość poszczególnych składników bilansu wodnego w skali miasta. Dużą zaletą pracy jest jej wyraźny wymiar praktyczny, badania przeprowadzono dla jednego z największych miast w Polsce. Oprócz dużej wartości jaką recenzowana rozprawa doktorska wnosi dla miasta Wrocławia, posuwając na przód stopień rozpoznania bilansu wodnego, zwłaszcza jego składowych antropogenicznych, pewne jej aspekty mają walor uniwersalny i stanowią istotną wartość naukową tego opracowania. Mam tu na myśli głównie uzyskane parametry metody wskaźnikowej związane z antropogenicznym stopniem ograniczenia wielkości zasilania oraz metodę analizy składowych bilansu związanych z nieszczelnościami sieci wodno-kanalizacyjnej. Wysoko również oceniam badania łączności hydraulicznej sieci rzecznej z wodami podziemnymi urządzeniem własnej konstrukcji - nazwane piezomanometrem hydraulicznym.

4. Ocena formalna pracy - uwagi redakcyjne

Praca napisana jest w sposób poprawny stylistycznie, jasnym i komunikatywnym językiem, bardzo dobrze się ją czyta. Zwraca uwagę bardzo dobre opracowanie graficzne rysunków. Struktura pracy jest czytelna, poszczególne rozdziały podzielono na dużą liczbę podrozdziałów i punktów, co pomaga w odbiorze tekstu. Wyrywkowe sprawdzenie cytowań literatury pokazało,

że nie wszystkie cytowane pozycje znajdują się w spisie literatury. Brakuje np.: Lewińska, 2000; Han i in., 2017; Martinsen i in., 2022; Landsberg, 1981; Journal i Huijbregst 1978, Kaspar i in. 2017, Szymanko 1980. Można przypuszczać, że takich braków w bibliografii jest więcej, skoro kontrola była jedynie wyrywkowa. Dodatkowo spis literatury miejscami nie jest ułożony alfabetycznie, a w cytowanej literaturze dostrzeżono kilka drobnych błędów:

- Szostak-Januchta, 2011, 2020; - w spisie odwrotnie nazwiska,
- Allison, 1998; czy 1988 jak w spisie literatury
- Shirmer czy Schrimmer, Shlesinger czy Schlesinger, Radla czy Raidla; Bieniszewska czy Bieniewska, inaczej w cytowaniach, a inaczej w spisie.

Poniżej inne uwagi do strony formalnej pracy:

- Tabela 2 i Tabela 3 – nie jest jasne czy przepływy charakterystyczne dotyczą lat 1691-200 czy konkretnego roku podanego w tabeli?
- Tabela 6 – szkoda, że nie podano tu zakresu wartości współczynnika filtracji dla poszczególnych poziomów wodonośnych (mamy jedynie wartość k dla piętra neogeńskiego w tabeli 7), ustabilizowane zwierciadło wody powinno być raczej podane w m n.p.m. a nie m p.p.t., uwaga dotyczy również tekstu w rozdziale 4.
- Tabela 11 – czy w badaniach modelowych uwzględniono wydajności ujęć wg pozwoleń wodnoprawnych czy według rzeczywistego poboru, który jest zwykle znacznie mniejszy?
- Strona 67 – pod koniec pierwszego akapitu odniesienie do Ryc. 25A, powinno chyba być Ryc. 29A.
- Ryc. 70 – w legendzie należałoby jaśniej określić co to poziomy rozdzielone lub nierozdzielone – lub inaczej nazwać; dodatkowo w legendzie pojawia się literówka – „geolicznych” .
- Ryc. 83 - Obszary bilansowe zgodnie z Tabelą 23 – chyba powinno być: z Tabelą 24.

5. Wniosek końcowy

Przedstawione powyżej uwagi nie umniejszają dużej wartości merytorycznej pracy. Moim zdaniem oceniana rozprawa doktorska całkowicie spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późn. zm.). Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest ocena zasilania płytkich wód podziemnych na obszarze zurbanizowanym. Ponadto rozprawa wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie: nauki o Ziemi i środowisku oraz geografia społeczno-ekonomiczna i gospodarka przestrzenna, a także umiejętności prowadzenia przez Autora samodzielnych badań naukowych. Wniosuję zatem o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Autora do obrony.