

dr hab. Artur Magnuszewski, prof. ucz.  
Zakład Hydrologii  
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych  
Uniwersytet Warszawski

## Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Patrycji Mikos-Studnickiej

### ***„Analiza zmian ilości i jakości odpływu wód deszczowych ze zlewni potoku Strzyża w Gdańsku w trakcie opadów nawałnych”***

#### **Ocena doboru tematu i celu pracy**

Temat pracy doktorskiej mgr inż. Patrycji Mikos-Studnickiej dotyczy istotnego problemu teoretycznego i praktycznego, jakim jest matematyczny opis obiegu wody i produktów wietrzenia w zlewni silnie zurbanizowanej. Jako przedmiot badań wybrano zlewnię ( $A=34 \text{ km}^2$ ) rzeki Strzyża w Gdańsku, która jest dopływem Wisły Martwej. Źródła Strzyży leżą na wzgórzach Migowskich, bieg dolny znajduje się zaś w centrum Gdańska. Wybór obiektu badań jest interesujący ze względu na trudność jaką stanowi analiza właściwości hydrologicznych zlewni silnie zurbanizowanej, dodatkowo ważnym zagadnieniem jest kwestia jakości wody, która w warunkach powodziowych jest obciążona dużym ładunkiem zanieczyszczeń trafiających do Zatoki Gdańskiej. Praca dotyczy istotnych problemów dla praktyki projektowania kanalizacji deszczowej, co staje się dużym wyzwaniem w kontekście prognozowanych zmian klimatu. Do analizy tak złożonego procesu jakim jest transformacja opadu atmosferycznego w odpływ rzeczny w zlewni zurbanizowanej konieczne jest zastosowanie modelowania matematycznego. Nie jest to zagadnienie nowe, ponieważ modelowanie procesów hydrologicznych rozwija się od lat 70. XX w., nowa jest natomiast technologia modelowania w środowisku GIS z zastosowaniem cyfrowych baz danych przestrzennych. Otwartym problemem jest nadal kalibracja i weryfikacja wyników modelowania, w tym także analiza wrażliwości modelu hydrologicznego na dobór parametrów.

Celem rozprawy jest opracowanie wiarygodnego modelu hydrologicznego pozwalającego na analizę odpływu ze zlewni Potoku Strzyża w Gdańsku w trakcie opadów nawałnych, wraz z oszacowaniem ładunku zanieczyszczeń w fazie kulminacji odpływu. Biorąc pod uwagę powyższe elementy, uważam że temat i cel pracy są wartościowe naukowo i przydatne praktycznie.

## Ocena użytych metod i uzyskanych wyników

Praca składa się z 6 rozdziałów. Rozdział 1 zawiera sformułowanie problemu badawczego ujętego w tezę, "iż wyłącznie integralna analiza ilości i jakości wód opadowych umożliwia wiarygodną ocenę wpływu ekstremalnych epizodów deszczowych na stan środowiska zlewni zurbanizowanej".

Rozdział 2 zawiera przegląd stanu wiedzy w zakresie modelowania transformacji opadu w odpływ oraz oceny jakości wód deszczowych w zlewniach zurbanizowanych. Przedstawiono klasyfikację modeli opad-odpływ począwszy od wzorów racjonalnych, przez modele konceptualne, aż do modeli typu "biała skrzynka" opartych na rozwiązaniach równań różniczkowych. Doktorantka na podstawie przeglądu możliwości obliczeniowych modeli odpowiednich dla zlewni zurbanizowanych zdecydowała się wybrać model HEC-HMS. Jest to właściwy wybór, ponieważ model ten jest powszechnie stosowanym narzędziem w pracach inżynierskich ale też badawczych. Do jego zalet należy duża elastyczność w wyborze procedur obliczeniowych opadu efektywnego i transformacji w spływ powierzchniowy, a następnie modelowania przepływu w sieci kanałów i zbiorników.

W rozdziale 2 doktorantka sporo miejsca poświęciła opisowi stanu wiedzy o stopniu zanieczyszczenia wód opadowych odpływających ze stoków zlewni zurbanizowanych. Te informacje są potrzebne w celu zrozumienia jakie zanieczyszczenia i której fazie trwania wezbrania są odprowadzane ze zlewni. W tym miejscu warto zwrócić doktorantce uwagę na istniejącą literaturę z zakresu geomorfologii fluwialnej, która dotyczy transportu zawiesiny (np. praca: Ciupa, 2009, Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach: na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce).)

Mam również propozycję przeniesienia rozdziału 2.3 poświęconego rozkładowi pola opadu w Gdańsku do kolejnego rozdziału 3 gdzie zawarto charakterystykę obszaru badań. Taki układ treści byłby bardziej logiczny, bo warunki meteorologiczne i klimatyczne są jednym z komponentów składających się na charakterystykę fizycznogeograficzną badanej zlewni.

Rozdział 3 poświęcono omówieniu warunków zlewni rzeki Strzyża w zakresie zmian użytkowania terenu, struktury sieci hydrograficznej, funkcjonowania obiektów hydrotechnicznych. W tym rozdziale nie jest jasne w jaki sposób określono spadki podłużne odcinków koryt rzecznych w tab. 3.2. Spadkom terenu i metodom ich określania poświęcono bowiem miejsce w kolejnym podrozdziale 3.2.5. Zastosowano tam dwie metody określenia spadku zlewni cząstkowych z pomocą całkowania pola pod wykresem profilu podłużnego (metoda rekomendowana przez

Stowarzyszenie Hydrologów Polskich) oraz z analizy cyfrowego modelu terenu. Zabrakło w tym miejscu dyskusji, która z tych metod jest lepsza. Wartość spadku zlewni ma bardzo duże znaczenie dla prawidłowego zdefiniowania parametrów modelu opad-odpływ. Z pracy nie dowiemy się w jaki sposób uzyskano wartości spadków i linie spływu pokazane na rys. 3.17. Wartości te pojawiają się później w tabeli 4.3 wraz z wartościami krzywych CN w zlewniach cząstkowych.

Przedstawiono lokalizację i typy deszczomierzy i limnigrafów, które należą do sieci pomiarowej. Należy uznać, że tak gęste oprzyrządowanie zlewni to duża zaleta prowadzonych przez doktorantkę badań, ponieważ umożliwia ono zbieranie danych z bardzo krótkim próbkowaniem. Doktorantka zwraca uwagę na zmiany pola opadu wywołane ukształtowaniem terenu w obrębie zlewni. Tłumaczy to zjawisko zaleganiem wilgotnych mas powietrza u podnóża wzniesień morenowych. Może warto podpowiedzieć, że to zjawisko w meteorologii nosi nazwę efektu orograficznego, w którym przeszkody terenowe intensyfikują wydajność opadów atmosferycznych przez wymuszenie wznoszenia się napływających mas powietrza.

Doktorantka dysponowała serią pomiarów opadu atmosferycznego z lat 2008-2017. Dokonała klasyfikacji lat pod kątem ich odchylenia od wartości średniej wyrażonego wskaźnikiem RPI. Do klasyfikacji zastosowała odchylenia kwartylowe, co jest metodą przyjętą w klimatologii. Chciałbym dowiedzieć się dlaczego nie podjęto w pracy próby policzenia średniej wysokości opadu w zlewni. Istnieje przecież kilka metod interpolacji pola opadu na podstawie pomiarów z deszczomierzy.

Sporo miejsca poświęcono omówieniu warunków odpływu ze zlewni Strzyża. Ustrój hydrologiczny scharakteryzowano na podstawie analizy stanów wody i przepływów z przekroju Bystrzec-Reja. To dobre posunięcie ponieważ uniknięto w ten sposób problemu niejednoznacznej zależności stan-przepływ w profilu ujściowym do Martwej Wisły, zakłóconej zmiennym spadkiem w warunkach cofki od morza. Wykonane obliczenia pozwoliły ustalić krzywą przepływu, zweryfikowaną pomiarami hydrometrycznymi, a następnie określić stany i przepływy charakterystyczne.

Badawczą częścią pracy jest rozdział 4, w którym omówiono sposób przygotowania parametrów do modelu HEC-HMS. Doktorantka wybrała metodę SCS-CN do obliczania opadu efektywnego. To właściwa decyzja, ponieważ metoda ta pozwala dopasować wartości krzywych CN do warunków panujących w zlewniach cząstkowych. Bogata jest także literatura na ten temat i możliwe jest określenie krzywych CN na podstawie map pokrycia terenu i właściwości mechanicznych gruntów. Rozkład w czasie intensywności deszczu miarodajnego wykonano wg metody DVK dla opadów o różnym prawdopodobieństwie przewyższenia i czasie trwania. Dodatkowo zastosowano metodę regionów opadowych. Bardzo ciekawy jest rozdział 4.6.2 gdzie pokazane zostały wybrane epizody opadów nawalnych w wybranych 6 posterunkach pomiarowych.

Do wyodrębnienia epizodów z ciągłego zapisu pluwiometrycznego zastosowano kryterium Wishmeiera i Smitha przyjęte w metodyce obliczania erozyjności deszczów.

Rozdział 5 zawiera analizę wyników. Doktorantka przeprowadziła procedurę identyfikacji parametrów modelu HEC-HMS, a następnie kalibracji modelu za pomocą optymalizacji krzywych CN. Uzyskano dobre dopasowanie modelu do wyników obserwacji, wyrażone różnymi miarami statystycznymi. Podkreślono znaczenie właściwego wyboru danych opadowych w zlewniach cząstkowych i optymalizacji wartości krzywych CN, spadków i stopnia uszczelnienia zlewni. Właściwie skalibrowany model wykorzystano do symulacji z zastosowaniem obserwowanych i hipotetycznych rozkładów opadu. Uzyskane wyniki wskazują, że model dobrze odwzorowuje pojedyncze epizody opadowe, gorzej radzi sobie ze złożonym przebiegiem sum opadów. Ważnym wnioskiem praktycznym jest stwierdzenie, że w obecnym stanie zlewni rzeki Strzyża, wystąpienie rzeki z koryta nastąpi przy opadzie  $p = 1 \%$  i czasach trwania  $t = 60$  min oraz  $t = 24$  godz.

W rozdziale 5.4 doktorantka przedstawiła wyniki własnych pomiarów jakości wody rzeki Strzyża w przekroju Bystrzec-Reja. Zastosowała prawidłową zasadę poboru próbek wody w czasie wystąpienia 40% odpływu całkowitego. Jest to czas gdy występuje uruchomienie przenoszonych zanieczyszczeń. Doktorantka samodzielnie mierzyła koncentrację zawiesiny i inne parametry fizyczno-chemiczne wody, co umożliwiło jej ustalenie klas czystości rzeki Strzyża i jej dopływu w okresie bezdeszczowym, w czasie trwania opadów zwykłych oraz ulewnych i po deszczu ulewnym.

Połączeniem informacji o odpływie rzeczny i jakości wody są obliczenia ładunku zanieczyszczeń. W tym miejscu można dyskutować nad przyjętą przez doktorantkę metodą aproksymacji zmian koncentracji zanieczyszczeń funkcją wykładniczą. Jest to metoda zastosowana wcześniej przez Górską i Sikorską (2012), dla danych ze zlewni zurbanizowanej w Kielcach. Na przytoczonym z tej pracy rysunku 5.37 widać, że maksimum koncentracji zawiesiny pojawia się przed kulminacją przepływu. Jest to zjawisko często spotykane w warunkach przepływu nieustalonego, gdy wcześniej niż maksimum napełnienia koryta pojawia się zwiększony spadek podłużny i większa prędkość przepływu, która skutkuje uruchomieniem osadów w korycie rzeczny. Zależność między natężeniem przepływu i koncentracją zawiesiny nie jest zatem prostą funkcją. Rzecz staje się jeszcze bardziej złożona gdy pojawia się kilka wezbrań. Trzeba pamiętać że źródło zawiesiny zdeponowanej na stokach zlewni i w korycie rzeki jest ograniczone.

Doktorantka wykonała także obliczenia ładunku zanieczyszczeń w różnych wariantach. Uzyskane wyniki bardzo się różnią, pokazując jednocześnie że metodyka obliczeń ładunków ma istotny wpływ na uzyskany obraz stopnia zanieczyszczenia rzeki.

Pracę kończą wnioski i podsumowanie w rozdziale 6. Przedstawione wyniki i argumentacja pozwoliły doktorantce potwierdzić tezę postawioną we wstępie, iż wyłącznie integralna analiza

ilości i jakości wód opadowych umożliwia wiarygodną ocenę wpływu ekstremalnych epizodów deszczowych na stan środowiska zlewni zurbanizowanej.

## **Konkluzja**

Podsumowując moje uwagi chciałbym stwierdzić, że mgr inż. Patrycja Mikos-Studnicka wykazała się umiejętnością formułowania tezy badawczej i rozwiązania problemu metodami naukowymi. Wykazała się znajomością literatury i opanowaniem warsztatu obliczeń z zastosowaniem modelowania matematycznego procesów hydrologicznych i GIS. Dostrzegam możliwość wykorzystania pracy w zastosowaniach inżynierskich, takich jak ocena skutków zmian klimatu dla obiegu wody w zlewni zurbanizowanej i odpływu zanieczyszczeń do Morza Bałtyckiego.

Uważam, że przedłożona mi praca spełnia warunki sformułowane w ustawie z dnia 14 III 2003 r. o stopniach naukowych (Dziennik Ustaw nr 65, poz. 595, art. 13.1) i Rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 I 2004 r. (Dziennik Ustaw nr 15., poz. 128). Wniosuję o dopuszczenie mgr inż. Patrycji Mikos-Studnickiej do publicznej obrony pracy.

Warszawa 16 IV 2020

