

prof. dr hab. inż. Romuald Szymkiewicz  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Pawła Gilewskiego z Wydziału Instalacji Budowlanych,  
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej,  
pt.: „**Czułość modelowanego odpływu rzecznego w zlewni górskiej na odwzorowanie  
rozkładu czasowo – przestrzennego opadu**”  
opracowana dla Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka  
Politechniki Warszawskiej

Rozprawa doktorska pod wymienionym wyżej tytułem została przygotowana pod kierunkiem Prof. dra hab. inż. Marka Nawalanego. Jej objętość wynosi 125 stron. Treść pracy została podzielona na następujące części: wprowadzenie, 7 rozdziałów zawierających rozważania merytoryczne, podsumowanie i wnioski a także bibliografia i 3 załączniki.

Sformułowany tytuł rozprawy odpowiada treści rozprawy. Autor rozważa problem wpływu dokładności odwzorowania pola opadów atmosferycznych na obszarze zlewni górskiej na wyniki modelowania generowanego opływu ze zlewni. Dokładność odwzorowania wiąże Autor z zarówno z rozkładem opadów w przestrzeni jak i w czasie. W pierwszym przypadku chodzi o wpływ metody interpolacji przestrzennej i sposób pozyskiwania danych opadowych zaś w drugim – o wpływ czasu próbkowania, czyli kroku czasowego na wyniki obliczeń. Podjęcie tej tematyki Autor uzasadnia brakiem precyzyjnego rozpoznania zagadnienia wpływu jakości danych opadowych na jakość opracowywanych na ich podstawie prognoz przepływów w rzekach. Zagadnienie jest szczególnie aktualne z powodu obserwowanego od wielu lat wzrostu opadów o charakterze nawałnym wywołujących groźne powodzie. Podjęty temat, na więc również istotne znaczenie praktyczne, ponieważ poprawa jakości prognoz hydrologicznych jest

ściśle związana z bezpieczeństwem ludzi i ich mienia. Jako przedmiot swoich badań Doktorant przyjął część zlewni górnej Skawy ograniczonej przekrojem Osielec.

Jeśli chodzi o przyjęte założenia dotyczące modeli poszczególnych procesów hydrologicznych to analizowaną zlewnię Autor potraktował jako obiekt o częściowo rozłożonych parametrach. Oznacza to, że podzielił ją na mniejsze podzlewnie – zlewnie cząstkowe. W ten sposób po części uwzględnił przestrzenną zmienność opadów, jednak na każdej podzlewni założył ich jednostajny rozkład. Następnie obliczał odpływy powierzchniowe z każdej zlewni cząstkowej i poddawał je procesowi transformacji w sieci koryt łączących przekroje zamykające zlewnie cząstkowe z przekrojem zamykającym całą zlewnię. Na każdej zlewni cząstkowej opad efektywny był wyznaczany metodą SCS (*Soil Conservation Service*) a do jego transformacji odpływ wykorzystano metodę hydrogramu jednostkowego Snydera. Do transformacji przepływów w sieci kanałów wykorzystano metodę Muskingum – Cunge. Ponieważ wszystkie wymienione wyżej operacje realizuje ogólnie dostępny pakiet HEC-HMS opracowany przez *U.S. Army Corps of Engineers*, Autor po prostu zdecydował się zastosować ten pakiet. Uważam, że dla realizacji sformułowanego celu pracy wybór ten jest dobrą decyzją.

Praca zawiera:

1. Opis stanu wiedzy na temat modelowania odpływu ze zlewni a w szczególności: wyznaczania opadu efektywnego, modelowania odpływu powierzchniowego oraz modelowania przepływów w kanałach otwartych.
2. Opis zastosowanych metod i modeli matematycznych.
3. Opis metod i technik pomiaru i estymacji wysokości opadów.
4. Wyniki eksperymentów numerycznych porównane z pozyskanymi wynikami pomiarów polowych.
5. Podsumowanie i wnioski.

Uzasadnieniem podjęcia badań jest przekonanie Autora o istotnym wpływie danych opadowych na wyniki obliczeń odpływu ze zlewni oraz na ewidentnym braku badań w tym zakresie. Wobec rosnącego znaczenia jakości prognoz hydrologicznych wybór tej tematyki jest przekonujący i nie budzi moich wątpliwości. Niewątpliwie w tak złożonym systemie hydrodynamicznym, jakim jest zlewnia i odwodniająca ją sieć hydrograficzna wyznaczenie parametrów ruchu wody nie jest sprawą banalną. Z tego powodu, jak wynika z prac publikowanych w czasopiśmie hydrologicznych, tematyka ta jest ciągle aktualna i w zasadzie

daleka od satysfakcjonującego rozwiązania. Moim zdaniem, zarówno sposób sformułowania problemu jak i jego rozwiązanie posiada wszelkie cechy pracy naukowej. Istotnym elementem rozprawy jest konfrontacja wyników obliczonych na podstawie pomierzonych pól opadu nad zlewnią z wynikami obserwacji. W tym celu Doktorant wykorzystał dostępne wyniki pomiarów opadu wykonanych różnymi technikami oraz obserwacje przepływów w przekroju zamykającym zlewnię. Wyniki eksperymentów numerycznych pozwoliły na sformułowanie szeregu wniosków, które uważam za wyważone.

Oceniana praca napisana jest poprawnie, pozwalając na łatwe śledzenie myśli Autora. O ile oprócz drobnych mankamentów nie zauważyłem istotniejszych uchybień językowych, to jednak chciałbym zwrócić uwagę na szereg wyrażen, które moim zdaniem, są nieprecyzyjne. Na przykład:

- Termin „Modelowanie hydrologiczne typu opad-odpływ” (strona 11) wydaje mi się niewłaściwym. Po pierwsze, nie ma „modelowania hydrologicznego”. Modelowanie może być fizyczne, matematyczne lub analogowe. Po drugie, nie ma „modelowania typu opad – odpływ”. Sądzę, że zamiast przytoczonej konstrukcji wyrażenie „modelowanie matematyczne procesu opad – odpływ” byłoby właściwym.
- Podobnie nieprecyzyjny jest następujący fragment tekstu ze strony 12 o „alternatywnych formach pomiaru opadu m. in. za pomocą radarów meteorologicznych, satelitów, czy modeli numerycznych”. Modele numeryczne nie służą do pomiaru opadów a do estymacji jego wysokości na podstawie obserwowanych lub raczej prognozowanych parametrów meteorologicznych. Stwierdzenie takie pojawia się w kilku miejscach rozprawy.
- Wymieniając czynniki decydujące o kształtowaniu się spływu powierzchniowego na stronie 20 Autor zapomniał o konfiguracji powierzchni zlewni i jej budowie geologicznej.
- Nie ma „fali kulminacyjnej” (strona 20), jest za to kulminacja fali.
- Opis przemieszczania się mas powietrza nad pasmem górskim (strona 23) jest niekompletny.
- Owszem w hydrologii stosowane są modele deterministyczne i indeterministyczne. Nie oznacza to jednak, że są to modele typu czarna skrzynka jak stwierdza Autor. Rozróżnienie wymienionych typów modeli jest dość proste. Jeśli w modelu matematycznym występują zmienne losowe, to jest to model indeterministyczny, jeśli nie – jest to model deterministyczny. Modele deterministyczne mogą mieć zarówno postać czarnej skrzynki, kiedy struktura fizyczna obiektu nie jest znana a opis jego dynamiki ma postać splotu, lub

szarej skrzynki, gdy opis ma postać równań różniczkowych zwyczajnych wynikających z zasad zachowania stosowanych globalnie. Mogą one mieć również postać równań różniczkowych cząstkowych, gdy wynikają z zasad zachowania stosowanych lokalnie.

- Omawiając hydrogram jednostkowy Snydera Autor przytoczył tylko definicję współrzędnych jego kulminacji. Nie ma żadnej informacji jak wygląda cały przebieg hydrogramu w czasie. Szkic zamieszczony na Rys. 10 nie wyjaśnia problemu.
- W Tabeli 10 na stronie 39 Autor definiuje nagłówki 2 kolumn jako „Wysokość górnego/dolnego przekroju”. Wydaje mi się, chodzi tutaj o rzędne dna górnego/dolnego przekroju poprzecznego n.p.m.
- Do interpolacji przestrzennej zmienności wysokości opadu Autor stosuje wielomiany nazywając je na stronie 61 poprawnie wielomianami 1-go lub 2-go stopnia. Natomiast dalej, do końca rozprawy nazywa je wielomianami I rzędu lub II rzędu, co jest niepoprawne.
- W Tabeli 29 zawierającej kryteria oceny jakości wyników symulacji Autor informuje, że jest to wynik Jego własnej pracy. Tymczasem w treści Tabeli podane są źródła, z których pochodzą zaprezentowane kryteria. W rezultacie nie wiem, co jest wynikiem własnej pracy Autora.

Ponieważ opracowania modelu przepływów w zlewni i w sieci hydrograficznej jest dużym wyzwaniem nawet, gdy wykorzystuje się gotowe oprogramowanie, trudno oczekiwać, aby w rozprawie wszystkie kwestie zostały wyczerpująco wyjaśnione. Prawdopodobnie, dlatego w tekście pracy znalazłem również szereg stwierdzeń i komentarzy budzących moje wątpliwości a także skłaniających do dyskusji. I tak:

- Korzystając z opisu pakietu HEC\_HMS Autor informuje, że do modelowania przepływu nieustalonego w kanałach otwartych wykorzystuje model Muskingum – Cunge i podaje jego wyjściowe równania (7) i (8) (na marginesie, w Rów. (7) jest błędnie zdefiniowana jednostka dopływu bocznego  $q_L$ ). Wymienione równania nie opisują, jak twierdzi Autor modelu Muskingum – Cunge, ale model fali dyfuzyjnej, o czym jednocześnie nieco dalej informuje również sam Autor. W polskiej nomenklaturze finalne równanie (9) ma nazwę równania adwekcji – dyfuzji. Z opisu przedstawionego na stronie 38 nie wynika związek równań (9), (10) i (11). Jednak związek taki istnieje, chociaż jest on dość subtelny. Problem polega na tym, że model Muskingum – Cunge nie jest wynikiem z równania fali dyfuzyjnej (9), lecz z równania Muskingum, które jak wykazał Cunge (Cunge, J.A., 1969: On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). J. Hydraul. Res. 7(2), 205–230), jest

zgodne z różnicową aproksymacją równania fali kinematycznej. Równanie fali kinematycznej ma postać Rów. (9) bez członu dyfuzyjnego ( $\mu=0$ ), które wyprowadza się z równań (7) i (8) przy pominięciu gradientu ciśnienia w równaniu (8). W równaniach fali kinematycznej i Muskingum nie ma mechanizmu fizycznej dyfuzji a otrzymywany w rozwiązaniu efekt spłaszczania fali wezbraniowej spowodowany jest błędem rozwiązania w postaci dyfuzji numerycznej. Cunge jako pierwszy zauważył ten fakt (Cunge, 1969) i zaproponował przyjęcie takiej wartości parametru X, aby spełniony był warunek  $\mu_n=\mu$ , to znaczy, aby współczynnik dyfuzji numerycznej był równy współczynnikowi dyfuzji hydraulicznej. Podejście takie, nazwane modelem Muskingum – Cunge, zapewnia rozwiązanie równanie Muskingum zgodne z rozwiązaniem równania fali dyfuzyjnej (9).

- Z opisu poświęconego kwestii określania współczynników wielomianów (21) i (22) nie wynika, jaki sposób stosował Autor. Wiadomo, że interpolacja wielomianami jest wrażliwa na błędy funkcji interpolowanej w węzłach interpolacji. Przy danych obarczonych błędem pomiaru podejście takie nie jest możliwe, co resztą objaśnia sam Autor. Rozumiem, że w takiej sytuacji zastosowano aproksymację wspomnianą w rozprawie metodą najmniejszych kwadratów. Jednak aproksymacja wymaga większej liczby węzłów – stacji niż liczba, którą dysponuje Autor. Z doświadczeń wynika, że w wielu zagadnieniach hydrologicznych interpolacja wielomianami stopnia wyższego niż 1 zawodzi. Ten fakt potwierdzają wyniki otrzymane przez Autora.
- Nie jest jasny problem doboru wartości kroku całkowania w czasie  $\Delta t$  i analiza jego wpływu na wyniki symulacji. Krok czasowy występuje w procesie estymacji czasowej zmienności opadu na zlewnie cząstkowe, w modelu odpływu powierzchniowego ze zlewni a także w procesie przepływu nieustalonego w sieci kanałów. Czy założenie o równości kroków czasowych w każdym z wymienionych procesów jest uzasadnione? Trudno jest ocenić wpływ wielkości kroku czasowego stosowanego w opisie rozkładu czasowego opadu, skoro zgodnie ze wzorami (12), (13), (14) i (15) wpływa on również na wynik symulacji przepływów w przekroju zamykającym zlewnię.
- Oceniając wpływ metody określania rozkładu opadu na zlewni Autor porównuje obliczone odpływy powierzchniowe z obserwowanymi, przy czym jak informuje Autor, zostały one pozyskane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Moje pytanie jest następujące: jak określono „obserwowany” odpływ powierzchniowy w przekroju zamykającym?

Wymienione wyżej uwagi, których część ma charakter dyskusyjny, nie zmieniają mojej pozytywnej oceny pracy. Stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska pt.: „**Czułość modelowanego odpływu rzecznego w zlewni górskiej na odwzorowanie rozkładu czasowo – przestrzennego opadu**” wykazuje właściwy poziom merytoryczny i dowodzi umiejętności mgr inż. Pawła Gilewskiego w zakresie rozwiązywania złożonych zadań naukowo-badawczych. Uważam, że mgr inż. Paweł Gilewski ma uzasadnione podstawy do ubiegania się o stopień doktora, gdyż moim zdaniem opiniowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązujące przepisy. Rozprawę doktorską oceniam pozytywnie i rekomenduję Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej jej przyjęcie i dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

Z poważaniem



Gdańsk, 30.03.2020