

Wrocław, 19.07. 2022

Dr hab. inż. Tamara Tokarczyk, prof. IMGW PIB
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Podleśna 61
01-673 Warszawa

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Norberta Laskowskiego pt. „Kryteria estymacji parametrów konceptualnych modeli hydrologicznych relacji opad-odpływ”.

1. Podstawa recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie Uchwały Senatu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie z dnia 30 maja 2022 r. oraz pisma Prorektora ds. Nauki prof. dr hab. inż. Jacka Przepiórskiego z dnia 2 czerwca 2022 r. zlecającego mi recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Norberta Laskowskiego. Do pisma dołączony został egzemplarz rozprawy doktorskiej w wersji papierowej oraz na nośniku CD. Charakterystyka rozprawy oraz uwagi ogólne

Praca doktorska mgr inż. Norberta Laskowskiego powstała pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Jacka Kurnatowskiego.

Recenzowana praca składa się z 6 rozdziałów zawierających treści merytoryczne, poprzedzonych spisem treści, streszczeniami pracy w języku polskim i angielskim. Uzupełnieniem struktury pracy są zamieszczone na początku pracy wykaz oznaczeń, a także dołączone w końcowej części: bibliografia, wykaz tabel, wykaz rysunków oraz 4 Załączniki. Praca liczy łącznie 171 stron, w tym 118 stron treści merytorycznych, 110 pozycji literatury, 36 tabel oraz 162 rysunki. Na uznanie zasługuje fakt zamieszczenia spisu symboli w części poprzedzającej wstęp, co znacznie ułatwia lekturę.

Praca została napisana na ogół zrozumiałym językiem, chociaż w tekście dostrzeżono szereg nieistotnych błędów językowych i redakcyjnych. Błędy i uchybienia te nie mają wpływu na meritum dysertacji. W dalszej części recenzji wymieniam tylko te, które mogą mieć wpływ na ocenę pracy w aspekcie merytorycznym i metodologicznym oraz formalnym.

Pracę otwiera rozdział 1, Wstęp (2 strony), który zawiera 3 podrozdziały. W pierwszym podrozdziale Doktorant nakreślił w sposób syntetyczny zarys problematyki transformacji opadu w odpływ i jej matematycznego opisu. Porusza również kwestie struktury modeli typu

opad-odpływ oraz szacowania parametrów modeli i ich braku fizycznej interpretacji. W drugim podrozdziale Doktorant sformułował cel nadrzędny pracy, którym jest wskazanie kryteriów estymacji parametrów umożliwiających uzyskanie maksymalnego podobieństwa między rzeczywistymi i symulowanymi hydrogramami wyjściowymi zlewni. Doktorant sformułował dodatkowe, trzy cele odnoszące się do: (i) opracowania kryterium sprawdzającego strukturę modelu, (ii) badania jakości modelu konceptualnego dla przyjętych struktur oraz (iii) przeprowadzenia analizy porównawczej jakości i użyteczności zastosowanych modeli.

Wstęp kończy postawienie tezy badawczej, w której stwierdza, że odpowiednio elastyczny dobór kryteriów estymacji parametrów prowadzi do uzyskania najdokładniejszego odzwierciedlenia kształtu rzeczywistego harmonogramu odpływu.

Rozdział 2 pt. „Aktualny stan badań w zakresie rozpatrywanej problematyki” (25 stron) zawiera 10 podrozdziałów. Struktura rozdziału jest rozbudowana, zwłaszcza w odniesieniu do podrozdziału zawierającego klasyfikację modeli relacji opad-odpływ, który zawiera kolejne 6 podrozdziałów. Cały rozdział zawiera przegląd literatury odnośnie reprezentacji procesu opad-odpływ, w aspekcie przestrzennym, czasowym i losowym. Znaczna część rozdziału poświęcona jest kalibracji parametrów modelu zlewni oraz niepewności i źródłom błędów. Rozdział kończy porównanie modeli opad-odpływ o różnych strukturach oraz podsumowanie stanu badań.

Kolejny, 3 rozdział, „Metodyka badawcza” (26 stron) zawiera 7 podrozdziałów, przy czym podrozdział 3.2. zawiera 5 kolejnych podrozdziałów. Rozdział rozpoczyna sformułowanie problemu badawczego wraz z opisem realizacji celu przedstawionym również w postaci schematu. Doktorant skupia się przede wszystkim na strukturze modeli zbiornikowych transformacji opadu w odpływ, rozważania odnosząc do pojedynczego zbiornika liniowego, kaskady Nasha, kaskady zbiorników zatopionych, modelu Diskina oraz modelu równoległych kaskad Nasha i zbiorników zatopionych. Miary oceny dopasowania wyników modelu Doktorant przedstawił w postaci 15 różnych kryteriów estymacji parametrów modeli. Do oceny jakości modelu zastosował dwa kryteria informacyjne: Akaike oraz Schwarza. Rozdział zawiera również informacje nt. wejścia do modeli transformacji, tj. opadu efektywnego. W kolejnym podrozdziale Doktorant zamieścił charakterystykę obiektów badawczych. Transformacja opadu w odpływ została przeprowadzona dla 5 zlewni o powierzchni od około 99 do 183 km², dwóch z dorzecza Odry o charakterze górskim i podgórskim oraz trzech z dorzecza Wisły o charakterze nizinym. W ostatnim, siódmym, podrozdziale Doktorant przedstawia dane wejściowe w postaci wykresów, które stanowią sumy dobowe opadów oraz przepływy dobowe dla dwóch wybranych incydentów wezbraniowych z

wielolecia 1971-1981 dla miesięcy bez okresu śnieżnego, łącznie 30 incydentów. Dane pochodzą z Roczników opadowych i hydrologicznych IMGW.

Kolejny rozdział 4 (2 strony) traktuje o przyjętych założeniach i ograniczeniach kalkulacyjnych w odniesieniu do danych wejściowych opadów i przepływów w kontekście lokalizacji stacji i kroku czasowego, przyjętej metody szacowania opadu efektywnego oraz doboru struktury modelu.

Rozdział 5 „Wyniki” (38 stron) zawiera dwa podrozdziały. W pierwszej kolejności Doktorant przedstawia przykładowe wyniki wartości kryteriów jednoczesnej analizy kilku cech hydrogramu (JAKC) dla rzeki Brynicy w postaci macierzy gradientowej dla układu dwóch parametrów (m, k) dla modeli pojedynczego zbiornika liniowego i kaskady Nasha oraz (N, K) dla pozostałych modeli. Wyniki estymacji parametrów przedstawia w tabelach. Wyniki dla pozostałych badanych zlewni zestawiał w załączniku nr 2. Ponadto Doktorant zamieścił tabele wartości kryteriów estymacji otrzymane dla różnych dokładności wartości parametrów, dla badanych struktur modeli z przyjętych przedziałów poszukiwania. W zakresie oceny jakości modeli porównanie przebiegów hydrogramów modelowych i obserwowanych przedstawił w postaci graficznej oraz tabelarycznie. W podrozdziale „Analiza wyników” Doktorant komentuje uzyskane wyniki posiłkując się zestawieniami tabelarycznymi i wykresami w formie dyskusji powołując się na prace innych badaczy. Rozdział kończy klasyfikacja kryteriów estymacji ze względu na cel modelowania oraz podział kryteriów estymacji w zależności od rodzaju miary zmienności, zakresu dopasowania wartości przepływów oraz zgodności czasowej wezbrania uzyskanych w procesie modelowania.

Właściwą treść rozprawy zamyka rozdział 6 (3 strony) Podsumowanie, w którym Doktorant sformułował 10 wniosków oraz 6 wytycznych do dalszych badań.

Kolejnymi elementami pracy jest bibliografia, spis tabel, spis rysunków oraz 4 załączniki: (1) Zestawienie wysokości dobowych opadów i wielkości przepływów dla analizowanych rzek; (2) Wyniki estymacji parametrów dla rzek: Pasłęki, Żebrówki, Czerwonej Wody i Piotrówki; (3) Wartości kryteriów estymacji uzyskane modelami pojedynczego zbiornika liniowego i kaskadą Nasha przedstawione w układzie parametrów (m, k); Hydrogramy wynikowe uzyskane dla Żebrówki – wydarzenie 1 przy użyciu analizowanych kryteriów estymacji.

2. Ocena rozprawy

Recenzja ujmuje 3 aspekty oceny rozprawy doktorskiej:

- merytoryczny – odnoszący się do naukowej wartości podjętego tematu oraz badawczej i użytkowej istotności uzyskanych wyników,
- metodologiczny – odnoszący się do poprawności przeprowadzenia postępowania, oryginalności rozwiązania założonego problemu oraz adekwatności zastosowanych metod,
- formalny – odnoszący się do oceny poprawności opracowania, prezentacji wyników, przeprowadzonego wnioskowania z zakresu prezentowanej tematyki oraz przygotowania doktoranta do samodzielnej pracy naukowej.

Ocena w aspekcie merytorycznym

Badania hydrologiczne relacji opad-odpływ w zlewni wymagają prowadzenia monitoringu wielu parametrów, a praktycznie niemożliwe jest zmierzenie wszystkiego, co chcielibyśmy wiedzieć o systemie hydrologicznym, głównie ze względu na dużą niejednorodność zlewni oraz ograniczenia w technikach pomiarowych. Te ograniczenia oraz potrzeba ekstrapolacji informacji hydrologicznej z miejsc kontrolowanych pod względem hydrologicznym do niekontrolowanych zarówno w przestrzeni, jak i czasie zapoczątkowały stosowanie modeli matematycznych, a symulacja zależności opad-odpływ jest głównym przedmiotem badań hydrologicznych od kilku dziesięcioleci.

Model jest uproszczoną reprezentacją systemu świata rzeczywistego. Najlepszy model to taki, który daje wyniki zbliżone do rzeczywistości, przy czym za najwłaściwsze podejście uważa się przyjmowanie najprostszych możliwych struktur modelowych, co umożliwia realizację postawionego celu w sposób ekonomiczny pod względem dostępności i ilości danych wejściowych oraz czasu obliczeń. Na przestrzeni lat rozwijano wiele modeli hydrologicznych, które najogólniej można sklasyfikować pod względem struktury, sposobu opisu procesów hydrologicznych, rozdzielczości czasowej oraz odzwierciedlania zróżnicowania przestrzennego.

Modele matematyczne opadów i odpływów pod względem struktury można sklasyfikować jako metryczne, konceptualne i fizyczne. Podstawową cechą modeli metrycznych są obserwacje. Podejście metryczne jest zasadniczo empiryczne; przykładem jest hydrogram jednostkowy (UH). Modele konceptualne reprezentują składowe procesów hydrologicznych istotnych w relacji opad-odpływ i opierają się na dwóch kryteriach:

(i) struktura modelu jest określona oraz (ii) nie wszystkie parametry modelu mają interpretację fizyczną. Na co słusznie zwraca uwagę Doktorant.

Modele fizyczne reprezentują składowe procesów hydrologicznych, takie jak np. ewapotranspiracja, infiltracja, przepływ w strefie nasyconej i nienasyconej. Na ogół modele fizyczne wykonywane są w warunkach laboratoryjnych lub na małą skalę eksperymentach terenowych in-situ. W praktyce najczęściej stosuje się modele hybrydowe np. metryczno-konceptualne. Modele te wykorzystują parametryzację modeli metrycznych i ich zdolność do efektywnego opisu danych obserwacyjnych w ujęciu statystycznym oraz wiedzę do testowania hipotez dotyczących struktury składowych hydrologicznych.

Sposób opisu procesów hydrologicznych modelowanej zlewni może być deterministyczny lub stochastyczny. Modele deterministyczne dają pojedynczy wynik symulacji z pojedynczym zestawem danych wejściowych i wartości parametrów, a dane wejściowe zawsze dadzą ten sam wynik, jeśli wartości parametrów są utrzymywane na stałym poziomie. Do czego szczególnie odnosi się Doktorant. W modelach stochastycznych zmienne mają postać rozkładów prawdopodobieństwa i są traktowane jako zmienne losowe, a wyniki podawane są z określonym prawdopodobieństwem. W praktyce stosowane są mieszane modele deterministyczno-stochastyczne, tj. opady stochastyczne mogą być wykorzystane jako dane wejściowe do deterministycznego modelu opad-odpływ lub model deterministyczny może być użyty do reprezentowania systemu stochastycznego przy użyciu symulacji.

W swojej pracy Autor odnosi się również do rozdzielczości czasowej w jakiej działa model, tj. przedziału czasu, przy którym zauważalna jest zmiana rejestrowanych danych. Według tego kryterium modele hydrologiczne dzieli się na modele pojedynczych zdarzeń oraz modele ciągłe. Modele pojedynczych zdarzeń opadowych przeznaczone są dla krótkich okresów np. minuty. Modele ciągłe operują na dłuższych okresach, zazwyczaj rok lub wielolecie. Dane wejściowe, a także wyjściowe podawane są jako średnie wartości dobowe lub miesięczne.

Doktorant słusznie opisuje również sposób odzwierciedlenia zróżnicowania przestrzennego zlewni, co wiąże się z dokładnością uzyskanych wyników oraz niepewnością. Modele można podzielić na dwa rodzaje: o parametrach skupionych oraz o parametrach przestrzennie rozłożonych. Pierwsze z nich posługują się uśrednionymi wartościami parametrów, a obliczenia wykonywane są dla obszaru całej zlewni. Wadą tych modeli jest brak uchwycenia zróżnicowania przestrzennego charakterystyk zlewni, co może prowadzić do zbyt dużego uproszczenia w opisie. Modele o parametrach przestrzennie rozłożonych dzielą obszar zlewni na mniejsze jednostki przestrzenne, a obliczenia wykonywane są dla każdej jednostki.

Ograniczeniem przy ich stosowaniu może być duża ilość danych wejściowych, natomiast zaletą jest możliwość lepszego uwzględnienia przestrzennej zmienności poszczególnych charakterystyk środowiskowych. W praktyce część modeli łączy cechy pierwszego i drugiego podejścia, dzieląc zlewnię na mniejsze elementy o takich samych właściwościach. Taki typ określa się jako model o parametrach quasi-przestrzennie rozłożonych.

W ostatnich latach duże oczekiwania związane są z zastosowaniem technologii GIS, która umożliwia gromadzenie, przechowywanie, przetwarzanie, analizowanie i wizualizację różnych danych georeferencyjnych, a integracja hydrologii i GIS obejmuje: konstrukcję danych przestrzennych, integrację warstw modelu przestrzennego i GIS oraz interfejs modelu, o czym informuje nas Doktorant.

Pomimo, że modelowanie opad-odpływ jest kluczowym narzędziem we współczesnej erze interdyscyplinarnej hydrologii, to kwestiami problematycznymi w modelowaniu opad-odpływ nadal są zagadnienia związane ze skalą i skalowaniem, tj.: (a) jaka jest idealna skala siatki modelu; b) jak zmieniają się parametry modelu wraz ze skalą zlewni; (c) jak zmienia się wydajność modelu wraz ze skalą zlewni dla danej struktury modelu; oraz (d) jak najlepiej rozwiązać problem niedopasowania skali pomiarów a elementami modelu. Problemem nadal pozostaje również ocena niepewności, która powinna obejmować: identyfikację i kwantyfikację źródeł niepewności, redukcję niepewności, propagację niepewności przez model, kwantyfikację niepewności w wynikach modelu oraz zastosowanie niepewnych informacji w procesie podejmowania decyzji.

Podjęty przez Doktoranta cel, którym jest wskazanie kryteriów estymacji parametrów do uzyskania maksymalnego podobieństwa między rzeczywistymi i symulowanymi hydrogramami jest tym bardziej cennym wkładem do hydrologii inżynierskiej. Elastyczny dobór kryteriów estymacji parametrów prowadzi do uzyskania najdokładniejszego odwzorowania kształtu rzeczywistych hydrogramów odpływu, Doktorant sformułował jako teza rozprawy doktorskiej. Powinien był raczej nazwać hipotezą, ponieważ Doktorant przeprowadził dowód. Teza natomiast jest wynikiem hipotezy, która została udowodniona jako prawdziwa. Teza nie wymaga przeprowadzenia dowodu.

Praca odnosi się do ważnego i trudnego problemu szacowania parametrów modelu dla założonych pięciu różnych struktur. Jak dotychczas brak jest wciąż zadawalającej uniwersalnej metody pozwalającej uzyskać wiarygodną informację hydrologiczną. Przeprowadzona przez Doktoranta ocena porównawcza modeli typu opad-odpływ na podstawie doświadczeń badaczy na świecie doprowadziło do wyboru 5 struktur modeli konceptualnych transformacji opadu w odpływ tj. pojedynczego zbiornika liniowego, kaskady Nasha, kaskady zbiorników

zatopionych, modelu Diskina oraz modelu równoległych kaskad Nasha i zbiorników zatopionych. Na szczególną uwagę zasługuje zastosowanie i przetestowanie autorskiego rozwiązania kaskady zbiorników zatopionych.

Klasyfikacja kryteriów estymacji parametrów modeli opad-odpływ jest istotnym i trudnym zagadnieniem. Przeprowadzone analizy skłoniły Doktoranta do przeprowadzenia klasyfikacji kryteriów estymacji parametrów modeli pojedynczych zdarzeń w zależności od celu. Wskazał 6 klas: (1) odwzorowania przepływu maksymalnego wezbrania dla celów przeciwpowodziowych, (2) czas wystąpienia przepływu maksymalnego wezbrania, (3) wartość i akuratność wystąpienia przepływu maksymalnego wezbrania, (4) gospodarowanie wodą na zbiorniku retencyjnym do celów ochrony przed powodzią, (5) przepływy niżówkowe, (6), przepływ maksymalny, kształt i objętość wezbrania. Dokonał również podziału kryteriów ze względu na rodzaj zastosowanej miary zmienności, zakres dopasowania wartości przepływów, zgodność czasową hydrogramu modelowego oraz rzeczywistego. Na podkreślenie zasługuje również dobór kryteriów estymacji parametrów i zaproponowane przez Doktoranta autorskie podejście jednoczesnej analizy kilku cech hydrogramu.

Zaproponowana przez Doktoranta procedura wyznaczania optymalnego zestawu wartości parametrów przeprowadzona w pięciu cyklach obliczeniowych dla 15 kryteriów estymacji pozwala na analizę dokładności wartości stosowanych parametrów i ich wpływu na jakość wyników modelowania oraz przeprowadzenia wnioskowania, co stanowi realizację celu pracy.

Proces matematycznego modelowania rzek obarczony jest niepewnością wynikającą z: (i) nieadekwatności struktury modelu do odwzorowania rzeczywistych procesów hydrologiczno-meteorologicznych zachodzących w zlewni, (ii) niepewności pomiarowej, oraz (iii) przyjmowania założeń i hipotez dotyczących nierozpoznanych w pełni powiązań przyczynowo-skutkowych zjawiska. W pracy, Doktorant, do oceny jakości badanych modeli zastosował dwa kryteria informacyjne: Akaike (AIC) oraz Schwarza (BIC). Średnia arytmetyczna wartość kryterium (AIC) (BIC) dla każdego z zastosowanych modeli odpowiada efektywności, przy czym Doktorant wnioskuje, że kryteria te są czułe na liczbę parametrów.

Wybór problematyki dowodzi umiejętności dostrzegania problemów o istotnym znaczeniu oraz formułowania zadań badawczych o praktycznym charakterze. Analiza stanu wiedzy w odniesieniu do procesu transformacji opadu w odpływ pozwoliły Autorowi na opracowanie modeli hydrologicznych o różnych strukturach oraz zaproponowanie własnego podejścia tj. kaskady zbiorników zatopionych.

Przeprowadzona analiza wyników symulacji stanowiła podstawę oceny parametrów modelu i ich niepewności w odniesieniu do różnych kryteriów dla przyjętych pięciu struktur modeli. Jest to cenny materiał dowodzący, że brak uniwersalizmu kryteriów estymacji parametrów wymusza indywidualne stosowanie kryteriów w zależności od celu modelowania. Doktorant przestrzega przed *mechanicznym stosowaniem, nawet powszechnie uznanego kryterium bez uwzględnienia praktycznego celu modelowania.*

Określony przez Doktoranta zakres pracy został zrealizowany.

Ocena w aspekcie metodologicznym

Proces modelowania transformacji opadu w odpływ obejmuje 4 główne kroki: (i) identyfikację problemu, (ii) przyjęcie założeń: identyfikacja i klasyfikacja zmiennych, określenie wzajemnych relacji pomiędzy zmiennymi, (iii) rozwiązanie lub interpretacja modelu, (iv) weryfikacja modelu: czy opisuje problem? czy ma sens? czy weryfikuje się w zderzeniu z danymi rzeczywistymi? Zazwyczaj prowadzi się to iteracyjnie. Opis metodyki w pracy dotyczy tego procesu. Jest bardzo rozbudowany, poparty schematami, tabelami, wykresami ideowymi, które wizualizują elementy składowe modeli oraz ich powiązanie. W zestawieniu ze szczegółowym opisem matematycznym dowodzi dobrej znajomości procesu transformacji opadu w odpływ, a także aparatu matematycznego.

Doktorant wykazuje, że różne kryteria szacowania parametrów modelu, zastosowane do tego samego pojedynczego wydarzenia opadowego, skutkują różnym kształtem hydrogramów odpływu. Dobór materiału badawczego w niniejszej dysertacji pozwala na prowadzenia wnioskowania, w tym wybór małych zlewni świadczy o właściwym podejściu i wykorzystaniu modeli konceptualnych. Jednak zastosowanie kroku czasowego doby do modelowania pojedynczego zdarzenia budzi zastrzeżenia. Zwłaszcza, że obecnie dane o kroku czasowym godzina, a nawet 10 min są powszechnie udostępniane na serwerze IMGW PIB. Wskazane byłoby, aby Doktorant w dalszej swojej pracy badawczej wykorzystał takie dane do weryfikacji opracowanych modeli. Ponadto wybór incydentów z lat 70-tych i 80-tych poprzedniego wieku wymaga komentarza, którego niestety w pracy nie ma.

Doktorant w pracy skupia się przede wszystkim na parametryzacji w zależności od przyjętej struktury modelu oraz kryteriach estymacji parametrów. Analizom poddał 15 kryteriów o różnym stopniu złożoności i powszechności stosowania. Wprowadził dwa autorskie kryteria tj. jednoczesnej analizy kilku cech hydrogramu. To podejście zapewnia wskazanie rozwiązania, które uwzględnia 3 składowe, czyli czas wystąpienia szczytu, dopasowanie wartości szczytowych oraz zgodności objętości hydrogramów rzeczywistych

i modelowanych. Drugie autorskie kryterium - szczytów przesuwnych pozwala na sprawdzenie jak dokładnie modelowany hydrogram odwzorowuje kształt hydrogramu rzeczywistego bez względu na czasową zgodność symulacji. Stopień dopasowania oceniany jest przy zgodności przepływów maksymalnych.

Istotnym problemem w modelach hydrologicznych typu opad-odpływ jest również właściwe oszacowania danej wejściowej. W przypadku modelu transformacji jest to opad efektywny, czyli ta część opadu, która bezpośrednio bierze udział w tworzeniu odpływu powierzchniowego. Wielkość opadu efektywnego decyduje o poprawnym odwzorowaniu kształtu, szczytu oraz objętości hydrogramu odpływu. Powszechnie, do określenia opadu efektywnego wykorzystuje się metodę krzywych empirycznych CN SCS. Doktorant zastosował metodę uproszczoną chwilowego współczynnika spływu.

Objektami badawczymi jest 5 małych zlewni o powierzchni do 200 km² z dorzeczy Odry i Wisły oraz 5 stacji opadowych zlokalizowanych w obszarze tych zlewni, w pobliżu zamykającej stacji wodowskazowej. Dobór zlewni oraz stacji opadowych jest poprawny, choć obecnie coraz częściej wykorzystuje się platformę GIS do wyznaczania rozkładu przestrzennego opadu w zlewni.

Proces modelowania przeprowadzony przez Doktoranta pozwala na wyrażenie opinii, że Doktorant potrafi w sposób zamierzony dokonać identyfikacji dla różnych struktur modelu, przeprowadzić proces parametryzacji oraz dokonać jego ilościowej oceny.

Ocena w aspekcie formalnym

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska ma charakter metodyczny. Struktura pracy jest dość czytelna, choć w pracy tego typu nakreślenie problemu badawczego, sformułowanie hipotez i postawienie tez badawczych wraz z opisem zakresu w postaci wydzielonego rozdziału jest znacznie czytelniejsze, nie zaś ujęte we wstępie. Ponadto wstęp jest bardzo syntetyczny i nie w całości ujmuje zagadnienie będące przedmiotem dysertacji.

Praca nie zawiera schematu struktury pracy, jedynie spis treści, co również utrudnia nieco lekturę. Uciążliwością jest rozdrobniona systematyka niektórych rozdziałów i podrozdziałów. Zwłaszcza w odniesieniu do podrozdziału 2.1. Proponuję zlikwidować kolejne podrozdziały tego podrozdziału i wcielić je do punktu 2.1. Kolejność podrozdziałów budzi pewne wątpliwości. Rozdział 2.6 odnosi się do problemu określenia opadu efektywnego, który stanowi wejście do modelu. Zatem wskazane byłby osobny rozdział dane wejściowe do modelu transformacji. Również Rozdział 3 należałoby uporządkować. Charakterystyka obiektów badawczych powinna stanowić osobny rozdział, nie zaś podrozdział i być bardziej

rozbudowana o charakterystykę klimatyczną, geologiczną i użytkowanie terenu. Odniesienie się tylko do skromnego opisu morfologii oraz przepływów charakterystycznych z punktu widzenia oceny procesu, doboru struktury modelu opad-odpływ i kroku czasowego jest niewystarczające.

Praca zawiera ideowe schematy struktur modeli transformacji opadu w odpływ. Brak jest ideowego schematu modelu hydrologicznego typu opad-odpływ wraz z elementami wejścia i wyjścia i procesów, które te modele opisują. Ponadto Doktorant nie zamieszcza wykazu danych wejściowych do modelu transformacji, np. wartości przyjętego opadu efektywnego.

Rozdział 4 „Przyjęte założenia i ograniczenia kalkulacyjne” powinno stanowić część metodyki. W obecnym miejscu znacznie utrudnia lekturę i zrozumienie pracy.

Rozdział 5 Wyniki wraz z dwoma podrozdziałami częściowo tylko wyczerpuje spodziewane analizy. Brak jest rozdziału dyskusja wyników, choć podrozdział 5.2 przyjmuje ten charakter w niewielkim stopniu. Dyskusja odnosi się tylko do prac zagranicznych, nie ma odwołania do krajowych. Obecnie badania nad parametryzacją modeli typu opad-odpływ prowadzone są również w ośrodkach krajowych.

Dokumentacja przeprowadzonych obliczeń i ich opis jest bardzo rozbudowany i zajmuje wiele stron maszynopisu właściwej treści. Proponuję aby część tabel i wykresów przenieść do Załącznika, co nie umniejszyłoby jakości zobrazowania, a ułatwiłoby lekturę rozprawy, zwłaszcza że rozmiar czcionki zastosowany w tabelach i opisach osi niektórych wykresów wymaga znacznego powiększenia.

W Rozdziale 6 „Podsumowanie” Autor wydzielił 2 podrozdziały „Wnioski” oraz „Wytyczne do dalszych badań”. Dokonał streszczenia, w którym zawarł również zalecenia. Niestety nie odnosi się tu do postawionego celu, przyjętej hipotezy i przeprowadzonego dowodu. Jednak sformułował wnioski z pracy i wytyczne do dalszych prac.

Odnosnie cytowanej literatury, tu również nie uniknął niedociągnięć, np. w tekście powołuje się na pracę Kindler 1984, niestety nie ma jej w Bibliografii lub praca Fujimura 2004 znajduje się w Bibliografii, niestety nie znalazłam odwołania do niej w tekście.

Ponadto chciałabym zwrócić uwagę na fakt, że praca wymaga dopracowania gramatyczno-stylistyczno-formalnego, bowiem w wielu miejscach pojawiają się niedociągnięcia w tym zakresie. Doktorant nie ustrzegł się również drobnych błędów i potknięć natury redakcyjnej opracowania tekstu. Liczę na to, że będą one wyeliminowane w dalszych pracach.

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają wartości pracy, jej treści merytorycznej, poznawczej oraz wypracowania dobrych praktyk w procesie modelowania

transformacji opadu w odpływ. Przeprowadzone badania są wartościowe ze względu na coraz większe potrzeby informacji hydrologicznych, w tym w zlewniach niekontrolowanych z uwzględnieniem przyszłych zmian klimatu oraz na potrzebę projektowania i ochronę przeciwpowodziową, a których podstawę stanowią modele hydrologiczne typu opad-odpływ. Wnioskowanie o doborze struktury modelu i oszacowaniu jego parametrów jest niezaprzeczalnym, walorem dysertacji, co stwarza możliwość właściwych decyzji przy budowie modeli transformacji opadu w odpływ i stosowania ich w praktyce.

3. Uwagi dyskusyjne

Treść pracy poszerza krajową wiedzę dotyczącą doboru struktury modelu transformacji opadu w odpływ, parametryzacji modelu i jego oceny, a zarazem wywołuje pytania i wątpliwości. Poniżej zamieszczam uwagi dyskusyjne, na które oczekuję odpowiedzi w czasie publicznej obrony rozprawy doktorskiej:

- a) Do przeprowadzenia wnioskowania Doktorant wybrał 30 synchronicznych incydentów opadowych i hydrogramów przepływu z lat 70-tych i 80-tych XX w. z dobowym krokiem czasowym. Czym podyktowany był wybór oraz czy i w jaki sposób została przeprowadzona ocena statystyczna danych wejściowych?
- b) Przeprowadzona analiza zmienności wartości niektórych kryteriów estymacji parametrów, zastosowanych w modelach dwuparametrowych, wykazuje istnienie regularności dotyczących lokalizacji quasioptymalnych wartości tych parametrów w macierzach obejmujących zakres ich zmienności. Jak można wykorzystać te informacje w praktyce? Czy można wskazać istotne kryteria, gwarantujące optymalne rozwiązania?
- c) Na etapie doboru struktury modelu Doktorant zaproponował modyfikacje modelu Diskina zastępując jedną z równoległych kaskad Nasha kaskadą modeli zatopionych, jako elementu imitującego odpływ podpowierzchniowy. Przeprowadzone wnioskowanie pozwoliło Doktorantowi na stwierdzenie, że takie podejście zwiększyło jakość symulacji, co świadczy o tym, iż struktura modelu wierniej przedstawia pracę systemu zlewni. Z uwagi na wprowadzone pewne założenia i uproszczenia (np. dobowy krok czasowy) w badanych modelach, na ile jest prawdziwe stwierdzenie o wzroście jakości symulacji w przypadku zastosowania godzinowego lub krótszego kroku czasowego wezbrania wywołanego opadem o dużym natężeniu?

4. Wnioski końcowe

Konkludując, recenzowana praca doktorska mgr inż. Norberta Laskowskiego pt. „Kryteria estymacji parametrów konceptualnych modeli hydrologicznych relacji opad-odpływ” spełnia wszystkie elementy rozprawy doktorskiej w świetle wymogów ustawy z dnia 3 lipca 2018 r *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. poz. 1669), *art. 14 ust. 1 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego a dnia 19 stycznia 2018 r, *w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnych oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora* (Dz.U. poz. 261).

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Norberta Laskowskiego do publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej.

Z wyrazami szacunku



dr hab. inż. Tamara Tokarczyk, prof. IMGW PIB