

Dr hab. inż. Jadwiga KRÓLIKOWSKA, prof. PK  
Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki  
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej **Pani mgr inż. Anity Marleny BIAŁEK** pt. **Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego**

### 1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 28.11.2025 roku o nr. IAA-511-3/2025.

### 2. Podstawowe dane o Kandydatce

Pani **mgr inż. Anita Marlena BIAŁEK** jest absolwentką Politechniki Świętokrzyskiej. Tytuł magistra, w specjalności Ochrona Środowiska uzyskała w 2006 roku. Ukończyła również dwa kierunki studiów podyplomowych tj. *Klimatyzacja i ogrzewnictwo* (Politechnika krakowska im. Tadeusza Kościuszki, 2010-2011) oraz *Administracja publiczna* Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, 2020-2021). W latach 2021-2023 była Doktorantka w szkole Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwa i energetyki.

Posiada uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania robotami budowlanymi w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń ciepłych, wentylacyjnych, gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych.

Jest autorem, współautorem 16 publikacji naukowych i uczestnikiem konferencji naukowych zarówno krajowych jak i międzynarodowych.

W ramach praktyk dydaktycznych prowadziła zajęcia laboratoryjne z Mechaniki płynów, Mechaniki płynów i hydrauliki oraz Hydraulika 2.

Jak sama mówi: Jej ambicją jest łączenie badań naukowych z wdrażaniami, które realnie wpływają na poprawę jakości życia i stanu środowiska.

### 3. Krótka charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska powstała w formie spójnego tematycznie zbioru pięciu współautorskich artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych. Cykl ten spełnia formalne wymagania określone w §13 ust. 1 pkt 1 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 lutego 2019 r.

Sumaryczny Impact Factor wg bazy Journal Citation Reports w roku wydania wyniósł 11,6. Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Bartosz Szelaąg. Tytuł rozprawy *„Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego”* informuje o jej tematyce, która mieści się w problematyce dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Praca ma charakter naukowo-badawczy i składa się z wstępu, analizy źródeł literaturowych, części badawczej, zakończenia, wykazu tabel, wykazu rysunków, listy bibliograficznej, a także streszczenia w języku polskim i języku angielskim. Całość rozprawy obejmuje 66 stron, w tym 5 tabel i 28 rysunków. Lista bibliograficzna obejmuje 58 pozycji, cytowane źródła są aktualne, przeważający udział cytowanych prac pochodzi z ostatnich lat.

Załącznikiem do rozprawy są kopie pięciu powiązanych publikacji naukowych stanowiące osiągnięcie naukowe.

### 4. Ocena celowości podjęcia tematu

Tematyka pracy dotyczy ważnego i aktualnego problemu. Jednym z najważniejszych strategicznych problemów dla rozwoju naszego kraju jest kształtowanie i ochrona zasobów wodnych oraz gospodarowanie wodą. Problemy ilościowe gospodarki wodnej w Polsce związane z występowaniem trwałych lub okresowych deficytów, względnie nadmiarów wody są skutkiem zmienności czasowo-przestrzennej opadów atmosferycznych oraz stanu infrastruktury wodnej. Opady charakteryzują się dużą zmiennością zarówno w okresach wieloletnich, jak i w ciągu roku.

Wskutek zachwiania dotychczasowego przepływu na danym terenie (coraz większe uszczelnianie zasiedlanych terenów zielonych) woda, nie znajdując naturalnego ujścia, zaczyna stanowić poważny problem dla funkcjonowania obszarów zurbanizowanych. Skutki zmian klimatycznych oraz rozwój urbanizacji powodują wzrost intensywności zagrożeń związanych z niedoborem i nadmiarem wody.

Zagadnienie wód pochodzących z opadów atmosferycznych i korzyści wpływających z ich zagospodarowania na terenach zurbanizowanych, stanowiących co do zasady obszary o ograniczonej retencji i infiltracji terenowej, jest wprawdzie tematem dostrzeganym, jednak podejmowane działania należy nadal uznać za niewystarczające. W obliczu zmian klimatycznych miasta muszą wdrażać innowacyjne strategie, aby efektywnie zarządzać ograniczonymi zasobami wodnymi, a jednocześnie radzić sobie z ryzykiem powodzi.

Zrównoważone zarządzanie wodą w miastach, uwzględniające konieczność odbudowy naturalnych systemów wodnych oraz implementacji rozwiązań retencyjnych, jest niezbędne do skutecznego przeciwdziałania skutkom zmian klimatycznych. Takie podejście minimalizuje ryzyko katastrof naturalnych i przyczynia się do lepszego zarządzania zasobami wodnymi, kluczowymi dla jakości życia mieszkańców. Dodatkowo ma istotne znaczenie ekologiczne – sprzyja różnorodności biologicznej i pomaga odbudować naturalne ekosystemy stabilizujące cykl wodny. Wdrażanie nowoczesnych strategii zarządzania wodami to nie tylko wyzwanie techniczne, ale także społeczne. Miasta jako centra życia społecznego i gospodarczego muszą ponosić odpowiedzialność za przyszłość swoich mieszkańców także poprzez politykę zrównoważonego gospodarowania wodą. Działania te są kluczowe dla zapewnienia stabilnych dostaw wody oraz ochrony przed ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi zagrażającymi zdrowiu i infrastrukturze miejskiej.

Zasadnym więc jest podjęcie badań w zakresie poszukiwania mechanizmów, które ułatwią wdrażanie zrównoważonych rozwiązań w praktyki zarządzania wodami opadowymi w obszarach zurbanizowanych. Bardzo dobrze to widzi i rozumie **Doktorantka**.

## 5. Zakres i merytoryczna ocena rozprawy

Za główny cel rozprawy **mgr inż. Anita Marlena BIAŁEK** postawiła sobie opracowanie zintegrowanego modelu obliczeniowego umożliwiającego ocenę i usprawnienie funkcjonowania sieci kanalizacji deszczowej w warunkach zlewni miejskich, z uwzględnieniem uwarunkowań planistycznych i przestrzennych, łącząc modelowanie hydrodynamiczne z technikami uczenia maszynowego.

Dynamiczne modele numeryczne np. SWMM choć umożliwiają symulację przepływów, procesów retencji i infiltracji, a także ocenę ryzyka wystąpienia lokalnych podtopień są złożone i wymagają wielu szczegółowych danych, których pozyskanie jest kosztowne, czasochłonne i nie zawsze możliwe z odpowiednią dokładnością. Ponad to brakuje zintegrowanych modeli obliczeniowych umożliwiających ocenę skuteczności obiektów NBS w warunkach ograniczonej dostępności danych, wysokiej zmienności przestrzennej oraz strukturalnej złożoności miejskich systemów odwodnienia. Istniejące narzędzia rzadko integrują dane czasowe z informacjami przestrzennymi i topologicznymi, takimi jak struktura sieci kanalizacyjnej czy rozmieszczenie obiektów retencyjnych. Stąd **Doktorantka** widzi potrzebę tworzenia inżynierskich aplikacji obliczeniowych wspierających prognozowanie zjawisk odpływu oraz projektowanie rozwiązań opartych na przyrodzie, mających na celu zwiększenie retencji i infiltracji.

Hipoteza badawcza została sformułowana następująco:

*Integracja modeli mechanistycznych dla małych zlewni miejskich wspomaganych modelami uczenia maszynowego dostarcza niezawodnych narzędzi do oceny działania i projektowania sieciami kanalizacyjnymi w warunkach niepewności obejmujących*

*zróżnicowane warunki opadowe, zmiany klimatyczne, urbanizację i wiarygodność danych pomiarowych.*

Udowodnienie postawionej hipotezy przebiegało w trzech etapach.

Etap 1 to opracowanie autorskiej aplikacji obliczeniowej do projektowania i optymalizacji obiektów zielonej infrastruktury w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych.

Etap 2 to studium przypadku, mające na celu ocenę możliwości wiarygodnego odwzorowania przepływów i zjawisk wylania w rzeczywistej sieci kanalizacyjnej przy ograniczonym dostępie do danych wejściowych. Jego efektem były: model logitowy oparty na regresji logistycznej, uwzględniający charakterystyki opadów oraz parametry morfologiczne i hydrauliczne zlewni oraz skalibrowany model SWMM, oparty m.in. na wysokości retencji, współczynnikach szorstkości Manninga i wskaźnikach topologicznych sieci.

W etapie 3 opracowano narzędzie do szybkiej identyfikacji przeciążeń hydraulicznych, definiowanych jako przekroczenie jednostkowej objętości wylania ( $\kappa \geq 13 \text{ m}^3/\text{ha}$ ), bez konieczności przeprowadzania pełnych symulacji w środowisku SWMM. Jego efektem był symulator w celu redukcji niepewności prognoz odpływu i wylań ze zlewni, optymalizacji doboru parametrów kalibracyjnych oraz identyfikacji najistotniejszych zmiennych.

Szczegółowo metodykę badań związanych z aplikacją obliczeniową Calculator\_NBS do projektowania i optymalizacji obiektów zielonej infrastruktury **mgr inż. Anita Marlena BIAŁEK** w 4 rozdziale rozprawy. Została ona stworzona w języku C++ z wykorzystaniem środowiska programistycznego Qt Creator do określenia zależności między parametrami geometrycznymi i objętościowymi rowu rozsączającego ( $V$  złoża). Narzędzie to umożliwia wymiarowanie obiektów zielonej infrastruktury z zastosowaniem zaawansowanych algorytmów hydrologiczno- hydraulicznych, opartych na równaniu fali kinematycznej oraz bilansie objętościowym. Kolejno **Doktorantka** przedstawia algorytm działania aplikacji i funkcje zadaniowe. Analizę diagnostycznych obciążeń sieci oraz symulację scenariuszy prognostycznych dla różnych wariantów opadów i zagospodarowania terenu przeprowadza **mgr inż. Anita Marlena BIAŁEK** wykorzystując model dynamiczny SWMM. Spośród technik uczenia maszynowego w modelowaniu zlewni Autorka rozprawy wykorzystywała algorytmy: RF (Random Forest), XGBoost (Extreme Gradient Boosting) oraz MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines), które, jak podkreśliła, pozwoliły na selekcję kluczowych zmiennych oraz precyzyjną estymację odpływu na podstawie danych przestrzennych, hydrologicznych i opadowych.

Do walidacji tworzonych modeli uczenia maszynowego posłużyła zlewnia miejska zlokalizowana w południowo-wschodniej części Kielc o powierzchni 63 ha, w skład której wchodzi gęsto zabudowane dzielnice mieszkalne, budynki użyteczności publicznej oraz układ dróg głównych i bocznych, z 40% udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych.

Opracowane narzędzie obliczeniowe, łączące modelowanie hydrauliczne z analizą statystyczną i przestrzenną, **Doktorantka** wykorzystywała do wymiarowania ogrodów deszczowych w zróżnicowanych warunkach geograficznych na obszarze Polski. Wykorzystując dane o opadach z 32 miast w Polsce (z sześciu mezoregionów) wyniki

pionierskie. Należy podkreślić istotność podjętego tematu mając na względzie rosnące z roku na rok problemy ilościowe gospodarki wodnej w Polsce.

Zaproponowane w doktoracie zintegrowane narzędzie obliczeniowe pozwala na kompleksową ocenę oraz optymalizację funkcjonowania systemów kanalizacji deszczowej w małoskalowych zlewniach miejskich, z uwzględnieniem zmiennych warunków klimatycznych, urbanistycznych i przestrzennych, w kontekście zrównoważonego planowania przestrzennego. Narzędzie aplikacyjne umożliwiające spójną analizę danych opadowych, przestrzennych i infrastrukturalnych w jednym środowisku obliczeniowym posiada wysoką adaptacyjność do zróżnicowanych warunków fizycznogeograficznych oraz możliwości operacyjnego wykorzystania w warunkach ograniczonej dostępności danych czyni je bardzo przydatne w praktyce inżynierskiej. Istotne jest również to, że badania mogą się przyczynić do rozwoju uniwersalnych soft-sensorów odpływu, dostosowujących się do zróżnicowanych warunków klimatycznych, urbanistycznych i przestrzennych.

Recenzowaną dysertację można uplasować w głównym nurcie badań nad zarządzaniem wodami opadowymi w obszarach zurbanizowanych, ze szczególnym uwzględnieniem błękitno-zielonej infrastruktury z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi obliczeniowych. Kształtując system zagospodarowania wód opadowych należy w szerokim zakresie stosować rozwiązania bazujące na naturze. Opracowane rozwiązania zwiększają odporność systemów odwodnienia na zjawiska ekstremalne, wspierają efektywną alokację zasobów oraz wdrażanie strategii opartych na zielonej infrastrukturze.

**Autorka** wykazała się dobrą znajomością metodyki badań. Liczba cytowanych prac świadczy o dobrym rozeznaniu w tematyce, która wymaga podejścia holistycznego. Od strony językowej i formalnej recenzowaną dysertację doktorską oceniam bardzo dobrze, zarówno pod względem redakcyjnym i lingwistycznym, a także w zakresie stosowania poprawnych zasad dla odsyłaczy bibliograficznych.

## 6. Uwagi szczegółowe

W pracy pojawiły się błędy natury edytorskiej, nie wpływają one jednak na jej poziom.

## 7. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawarte w *art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. 2024 poz. 157 z późn.zm)* tj.:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim jest autorska aplikacja wspierająca projektowanie infrastruktury – w szczególności ogrodów deszczowych, rowów infiltracyjnych oraz zbiorników retencyjnych z regulacją odpływu. Narzędzie to może zostać wykorzystane jako podstawa przy podejmowania działań zmierzających do integracji BZI w miejskich procesach planistycznych i inwestycyjnych.

- wykazuje wiedzę **Doktorantki** w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zwłaszcza w zakresie gospodarki wodnej w kontekście adaptacji do zmian klimatu, ze szczególnym uwzględnieniem błękitno-zielonej infrastruktury, modelowania, wykorzystania sztucznej inteligencji.
- potwierdza umiejętność **Doktorantki** do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Do najważniejszych walorów recenzowanej rozprawy zaliczyć należy:

- ważność i aktualność podjętego tematu, w tym wypełnienie luki badawczej w Polsce w podjętym temacie,
- właściwy dobór metod badawczych,
- rzetelne opracowanie wyników badań,
- precyzyjne redagowanie wniosków.

Podsumowując, stwierdzam że recenzowana rozprawa doktorska Pani **mgr inż. Anita Marlena Bialek** pt. „Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego” spełnia w moim przekonaniu wymagania stawiane rozprawom doktorskim w w/w ustawie. Zrealizowała założone cele swojej pracy, udowodniła przeprowadzonymi badaniami postawioną tezę. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach o dopuszczenie **Doktorantkę** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Kraków, luty 2026 roku.

