

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Mikołajewskiego

pt. „Hietogramy wzorcowe do modelowania miejskich systemów odwodnienia w Polsce”

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z dnia 22 października 2024 roku (pismo z dnia 25 października 2024 roku podpisane przez Panią Dyrektorkę Instytutu Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych – prof. dr hab. Ewę Łupikaszę).

### **1. Wstęp**

Jednym ze skutków ocieplenia klimatu jest wyraźny wzrost ilości i natężenia deszczy nawaalnych. W wyniku tego powstają nowe wyzwania dla gospodarki wodnej polegające na konieczności zabezpieczenia ludności i mienia przed okresowymi nadmiarami wody. Problem ten jest szczególnie istotny w obszarach zurbanizowanych, które generują wyjątkowo szybki spływ wód opadowych do systemów kanalizacyjnych. Systemy te najczęściej nie są jednak dostosowane do odprowadzania coraz większych ilości wód pochodzących z coraz częstszych deszczy nawaalnych o niespotykanych, wyższych od zakładanych natężeniach. Stąd też niezbędne są nowe elementy wiedzy umożliwiające podmiotom zarządzającym zasobami wodnymi podejmowanie właściwych decyzji inwestycyjnych związanych z budową bądź modernizacją systemów odwodnienia. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska w pełni wpisuje się w aktualne i pilne potrzeby gospodarki komunalnej w zakresie gospodarki wodnej, a prezentowane w niej wyniki badań i rozwiązania mogą być szybko i z dobrym skutkiem wdrażane m.in. przez projektantów i administrację. Stąd też wybór tematu rozprawy uważam nie tylko jako trafny, ale przede wszystkim interesujący i przydatny ze względów naukowych i wdrożeniowych.

### **2. Ocena przygotowania rozprawy doktorskiej w formie zbioru publikacji**

Rozprawa doktorska została przygotowana zgodnie z art. 187, punkty 1-4 Ustawy z dnia 20.07.2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w formie zbioru (dwóch)

opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w języku angielskim i wyjątkowo starannie opracowanej części wprowadzającej. Artykuły te posiadają numer DOI, IF pierwszego z nich (*Science of the Total Environment*) wynosi 8,2, drugiego (*Ambio*) 6,2, a zaprezentowane w nich dane są w pełni oryginalne. Są to publikacje wieloautorskie, w których Doktorant jest pierwszym autorem. Udział Doktoranta w poszczególnych artykułach jest widoczny i łatwy do wyodrębnienia. W obu opublikowanych artykułach znajdują się „authorship contribution statement” wskazujące w sposób precyzyjny wkład Doktoranta i pozostałych współautorów w ich przygotowanie. Doktorant oraz wszyscy współautorzy przedstawili także pisemne oświadczenia w języku polskim i angielskim dotyczące ich wkładu w opracowanie artykułów. Ponadto, udział Doktoranta w przygotowaniu artykułów został udokumentowany we wspomnianej części wprowadzającej, w tym zwłaszcza w jej rozdziałach dotyczących celu naukowego i wdrożeniowego, wyników badań, dyskusji i sposobu wdrożenia uzyskanych wyników badań. W związku z powyższym stwierdzam, że wiodąca rola Doktoranta podczas realizacji badań stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej oraz podczas powstawania artykułów naukowych została udokumentowana w sposób w pełni właściwy i przekonywujący.

### **3. Struktura rozprawy doktorskiej i ocena merytoryczna**

Rozprawa doktorska składa się z dwóch opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych:

1. Mikołajewski, K., Ruman, M., Kosek, K., Glixelli, M., Dzimińska, P., Ziętara, P., & Licznar, P. (2022). Development of cluster analysis methodology for identification of model rainfall hyetographs and its application at an urban precipitation field scale. *Science of the Total Environment*, 829, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154588>, IF= MNiSW=200 pkt.
2. Karol Mikołajewski , Alfred Stach , Marek Ruman , Klaudia Kosek , Zbigniew W. Kundzewicz , Paweł Licznar, 2024, Heavy rainfalls in Poland and their hyetographs, *Ambio*, <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02069-6>, IF=6,2, MNiSW=140 pkt.  
wraz z informacjami uzupełniającymi (supplementary information) składającymi się z 19 rysunków i 2 tabel

oraz z obszernej części wprowadzającej do tematyki rozprawy doktorskiej i powyższych artykułów.

### 3.1. Artykuły naukowe

W pierwszym artykule pt. *“Development of cluster analysis methodology for identification of model rainfall hyetographs and its application at an urban precipitation field scale”* przedstawiono kompletną metodykę podziału zbiorów opadów burzowych na klastry opadów o podobnych rozkładach czasowych, umożliwiającą ostateczną identyfikację lokalnych klastrów hietogramów modelowych na przykładzie Krakowa, czyli dużego obszaru miejskiego. Metodyka ta znacznie rozszerza możliwości zarówno opracowania jak i weryfikacji dotychczas stosowanych hietogramów modelowych. Ponadto, jest ona równie istotna z punktu widzenia systemów sterujących strukturą spływu wód opadowych w czasie rzeczywistym, w szczególności opartych na sztucznej inteligencji.

Do najważniejszych i jednocześnie innowacyjnych elementów opracowanej metodyki należy:

- obiektywizacja liczby wyznaczanych skupień na podstawie analizy sumy kwadratów (wss) oraz indeksu Calińskiego i Hambsza (CHIindex),
- weryfikacja wewnętrznej spójności i zewnętrznej izolacji skupień,
- profilowanie wyznaczonych skupień.

W artykule podkreślono, że przedstawiona metodyka posiada charakter uniwersalny i może być stosowana w obrębie obszarów zurbanizowanych w różnych częściach świata.

Udokumentowany udział Doktoranta w przygotowaniu tego artykułu polegał na opracowaniu i sprawdzeniu metodologii oraz na współpracy w przygotowaniu bazy danych, prowadzeniu badań, analiz i interpretacji wyników. Ponadto Doktorant zredagował tekst artykułu i opracował część graficzną.

W drugim artykule pt. *„Heavy rainfalls in Poland and their hyetographs”* przeprowadzono analizę deszczy nawalnych i hietogramów na podstawie zbioru danych o wysokiej rozdzielczości z 30 lat ze 100 deszczomierzy w całej Polsce. Dane te obejmują ponad 31 tys. zdarzeń opadowych. Zbadano rozkłady wysokości deszczy nawalnych, czasu trwania i intensywności opadów. Wartości maksymalne porównano z globalnymi. Na podstawie wyników analizy przestrzennej wykazano znaczące różnice w częstotliwości, wysokości i czasu trwania ekstremalnych opadów w różnych regionach. Z kolei w oparciu o analizę skupień sporządzono model dla każdej stacji. Prawdopodobieństwo przynależności regionów należących do klastrów z trzema do pięciu modelowych hietogramów oceniono przy użyciu Indicator Kriging. Do najważniejszych osiągnięć tej części badań zaliczyć należy określenie możliwości wykorzystania danych lokalnych (charakterystycznych) opadów deszczu do

hydrodynamicznego modelowania systemów odwadniających z uwzględnieniem scenariuszy opadów w przyszłości. Ponadto, uzyskane wyniki znacznie rozszerzają wiedzę na temat zrozumienia i monitorowania wpływu zmian klimatu na charakterystykę opadów w następnych dekadach XXI wieku, w tym zwłaszcza opadów ekstremalnych.

Udokumentowany udział Doktoranta w przygotowaniu tego artykułu polegał na opracowaniu metodologii oraz jej koncepcji, przygotowaniu bazy danych do badań, prowadzeniu badań i analiz oraz interpretacji otrzymanych wyników. We współpracy z pozostałymi autorami Doktorant przygotował tekst artykułu oraz rysunki. Był odpowiedzialny za przygotowanie zestawu danych niezbędnych do wdrożenia wyników badań w aplikacji.

### **3.2. Część wprowadzająca**

Część wprowadzająca do tematyki rozprawy doktorskiej i artykułów naukowych obejmuje 71 stron przygotowanych w języku polskim. Składa się z 7 rozdziałów, spisu literatury (21 pozycji), spisu tabel (7 tabel), spisu rysunków (44 rysunków), streszczenia w języku angielskim oraz streszczenia w języku polskim.

W części wstępnej omówiono m.in. rozwój modeli komputerowych dedykowanych systemom kanalizacji oraz problemy jakie napotymano podczas pozyskiwania odpowiednich informacji wejściowych. Uzasadniono także konieczność stworzenia bazy danych lokalnych hietogramów wzorcowych i udostępnienia jej projektantom np. w formie aplikacji internetowej. W kolejnej części sformułowano w sposób precyzyjny cel naukowy i cel wdrożeniowy przeprowadzonych badań. Jako cel naukowy wskazano „stworzenie i sprawdzenie metodyki pozwalającej na obiektywną klasyfikację oraz grupowanie deszczy do kilku wzorców reprezentujących wszystkie analizowane deszcze”. Z kolei celem wdrożeniowym było przygotowanie „zestawu hietogramów wzorcowych dla 100 obszarów w Polsce, które wykorzystywane będą jako dane wejściowe wspomagające wymiarowanie systemów odwodnieniowych”. W części 3 przedstawiono m.in. rozmieszczenie deszczomierzy w ramach Polskiego Atlasu Natężeń Deszczu (PANDa) oraz informacje na temat bazy opadów PANDa. W części 4 omówiono najważniejsze etapy prac badawczych w ramach bogatej metodyki, a mianowicie: sposób adaptacji metodyki podziału opadów nawałnych na skupienia, sposób wydzielenia opadów nawałnych dla 100 stacji opadowych oraz metodę normalizacji hietogramów i podziału opadów na skupienia. Kolejna część zawiera omówienie wyników badań i dyskusję. W części tej podano i omówiono wszystkie wyniki badań, w tym dotyczące wydzielonych deszczy nawałnych, hietogramów i ich podziału na skupienia, ich charakterystyk

oraz regionalizacji. W części 6 (Wdrożenie) omówiono w sposób szczegółowy sposoby wdrożenia wyników badań, w tym projekt pilotażowy realizowany w firmie RETENCJAPL polegający na udostępnieniu go w formie aplikacji internetowej nazwanej WaterFolder Connect. Przedstawiono także opracowane na potrzeby jej rozbudowy takie elementy jak generator hietogramów, narzędzie do transformacji projektów systemu odwodnienia w model komputerowy oraz zaimplementowany silnik obliczeniowy SWMM do prowadzenia symulacji hydrodynamicznych. Opisano wyniki testów generatora, narzędzia do przekształcania układów w model oraz przeprowadzono testowe symulacje obejmujące systemy odwodnienia o zróżnicowanych wielkościach. Część ta zawiera także dyskusję, w której wykazano szereg konkretnych efektów transformacji projektów w modele hydrodynamiczne, wykazano ich niezawodność do dalszych symulacji hydrodynamicznych oraz wymaganego do tego czasu obliczeniowego. W części ostatniej (Podsumowanie) podkreślono m.in., że opracowane wzorce dystrybucji deszczu w czasie zostały zatwierdzone przez zespół wdrożeniowy firmy RETENCJAPL jako dane wejściowe do nowej wersji aplikacji internetowej WaterFolder Connect, a wymierne korzyści będą widoczne po ostatecznym jej uruchomieniu. Z obliczeń wynika, że w nieodległej przyszłości prawie połowa projektantów systemów odwodnieniowych w Polsce będzie mogła korzystać z omówionych wyników badań. Wymiernym ich efektem będzie także lepsze dostosowanie i przygotowanie miast na występowanie deszczy nawalnych i tym samym lepsze gospodarowanie wodami opadowymi.

Reasumując, wartość merytoryczną recenzowanej rozprawy doktorskiej oceniam bardzo wysoko. Wyniki badań zaprezentowane w dwóch tematycznie powiązanych ze sobą artykułach naukowych wskazują na nowatorski, dobrze udokumentowany i bogaty wkład w rozwój metodyki pozwalającej na obiektywną klasyfikację deszczy nawalnych oraz na grupowanie ich w ramach kilku wzorców w celu umożliwienia wymiarowania systemów odwodnieniowych w sposób znacznie bardziej precyzyjny. Wyniki te, a także przedstawione w artykułach metody badań, zostały w sposób wyjątkowo precyzyjny połączone w całość w części wprowadzającej do tematyki rozprawy. Część ta zawiera także szereg nowych, dodatkowych elementów, w tym zwłaszcza starannie opisane postępowanie związane bezpośrednio z wdrożeniem wyników badań. Stanowi ona także potwierdzenie wysokiej wiedzy Doktoranta w zakresie funkcjonowania systemów odwodnieniowych zwłaszcza w sytuacjach zagrożenia deszczami nawalnymi, a także w zakresie prowadzenia badań, w tym modelowania komputerowego, analizowania wyników badań oraz prawidłowego wnioskowania.

#### **4. Uwagi dyskusyjne**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Mikołajewskiego wskazuje, że Doktorant bardzo dobrze opanował warsztat badawczy oraz w sposób precyzyjny przedstawił wyniki swoich badań naukowych. W rozprawie znajduje się jednak kilka elementów dyskusyjnych, wymagających uściślenia bądź wyjaśnienia.

W części wprowadzającej do tematyki rozprawy doktorskiej stosowane są terminy „opad nawalny” i „deszcz nawalny”. Czy istnieje uzasadnienie stosowania obu terminów czy też jeden z nich jest bardziej właściwy mając na względzie tematykę recenzowanej rozprawy doktorskiej?

Wydaje się, że wybór metody wydzielenia deszczy nawalnych wymaga nieco szerszego uzasadnienia (pkt. 4.2 części wprowadzającej). Należałoby wspomnieć choćby w sposób skrótowy, jakie argumenty przemawiają za wybraną metodą i czy była/jest ona stosowana w innych podobnych przypadkach? Wskazano także, że deszcz nawalny występuje przy minimalnej wysokości opadu 10 mm i minimalnej przerwie między opadami 4 godziny. Pytanie: w jakim czasie powinno wystąpić 10 mm opadu?

W rozprawie doktorskiej omówiono dość szczegółowo sposób w jaki dokonano wyboru 100 stacji opadowych znajdujących się w różnych miejscach Polski. W związku z tym nasuwa się pytanie, czy rozpatrywano możliwość rozszerzenia zbioru danych poprzez uzupełnienie ich danymi radarowymi dla całej powierzchni kraju? Umożliwiłoby to obliczenie (wyznaczenie) Aerial Reduction Factor (ARF) oraz uzyskanie informacji na temat zmian intensywności i charakteru opadów atmosferycznych (a co za tym idzie kształtów i liczby hietogramów wzorcowych) zachodzących najprawdopodobniej wraz ze zwiększeniem analizowanej powierzchni.

Technika pisania rozprawy została opanowana w stopniu bardzo dobrym i nie budzi zastrzeżeń. W tekście występują jedynie pojedyncze przypadki braku odsyłaczy do niektórych rysunków (np. 7 i 8).

#### **5. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje w sposób bardzo dobry ogólną wiedzę teoretyczną mgr. inż. Karola Mikołajewskiego w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku. Doktorant wykazał się wysoką umiejętnością prowadzenia pracy naukowej, potwierdzoną wartościowymi i nowatorskimi wynikami badań omówionymi w niniejszej recenzji.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego polegające na opracowaniu i sprawdzeniu metodyki pozwalającej na obiektywną klasyfikację oraz grupowanie deszczy do kilku wzorców reprezentujących wszystkie analizowane deszcze nawalne, a także oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej w formie opracowanego zestawu hietogramów wzorcowych dla 100 obszarów w Polsce, które wykorzystywane będą jako dane wejściowe wspomagające wymiarowanie systemów odwodnieniowych.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Mikołajewskiego pt. „Hietogramy wzorcowe do modelowania miejskich systemów odwodnienia w Polsce” spełnia w pełni warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. **Wnoszę więc do Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego o dopuszczenie Pana mgr. inż. Karola Mikołajewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

**Wnoszę także o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Karola Mikołajewskiego** ze względu na bardzo wysoką jej wartość merytoryczną, w tym istotny wkład w rozwój nauk o Ziemi i środowisku, a także ze względu na jej wybitnie wdrożeniowy charakter w sferze gospodarczej w zakresie gospodarki wodnej.

*W. Marszałek*

Prof. dr hab. Włodzimierz Marszelewski  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej  
ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń

## UZASADNIENIE DO WNIOSKU

### **o uznanie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Mikołajewskiego za wyróżniającą**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Mikołajewskiego pt. „Hietogramy wzorcowe do modelowania miejskich systemów odwodnienia w Polsce” została przygotowana zgodnie z art. 187 Ustawy z dnia 20.07.2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w formie zbioru (dwóch) opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w języku angielskim i wyjątkowo starannie opracowanej części wprowadzającej. Artykuły te posiadają numer DOI, IF pierwszego z nich (Science of the Total Environment) wynosi 8,2, drugiego (Ambio) 6,2, a zawarte w nich dane są w pełni oryginalne.

Wartość merytoryczną recenzowanej rozprawy doktorskiej oceniam bardzo wysoko. Wyniki badań wskazują na nowatorski, dobrze udokumentowany i bogaty wkład w rozwój metodyki pozwalającej na obiektywną klasyfikację deszczy nawalnych oraz na grupowanie ich w ramach kilku wzorców w celu umożliwienia wymiarowania systemów odwodnieniowych w sposób znacznie bardziej precyzyjny. Wyniki te, a także opracowane metody badań, zostały w sposób wyjątkowo precyzyjny omówione i połączone w całość w części wprowadzającej do tematyki rozprawy. Część ta zawiera także dodatkowe elementy, w tym starannie opisane postępowanie związane z wdrożeniem wyników badań. Stanowi ona także potwierdzenie wysokiej wiedzy Doktoranta w zakresie funkcjonowania systemów odwodnieniowych w sytuacjach zagrożenia deszczami nawalnymi, a także w zakresie prowadzenia badań, w tym modelowania, analizowania wyników oraz prawidłowego wnioskowania.

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje w sposób bardzo dobry ogólną wiedzę teoretyczną mgr. inż. Karola Mikołajewskiego w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku. Doktorant wykazał się wysoką umiejętnością prowadzenia pracy naukowej, potwierdzoną wartościowymi i nowatorskimi wynikami badań.

**Reasumując, rozprawa doktorska mgr. inż. Karola Mikołajewskiego w pełni zasługuje na wyróżnienie ze względu na bardzo wysoką jej wartość merytoryczną, w tym istotny wkład w rozwój nauk o Ziemi i środowisku, a także ze względu na jej wybitnie wdrożeniowy charakter w sferze gospodarczej w zakresie gospodarki wodnej.**

*W. Marszelewski*