

dr hab. inż. Agnieszka Stec, prof. PRz
Katedra Infrastruktury i Gospodarki Wodnej
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza

Rzeszów, 20 stycznia 2026 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Anity Białek
nt. „Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci
kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania
przestrzennego”**

wykonanej pod kierunkiem Promotora prof. dr hab. inż. Bartosza Szeląga

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą wykonania recenzji była uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka na Politechnice Świętokrzyskiej z dnia 26 listopada 2025 roku przekazana pismem Przewodniczącej Rady Dyscypliny dr hab. Lidii Dąbek, prof. PŚk z dnia 28 listopada 2025 roku (znak: IAA-511-3/2025) oraz egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Anity Białek nt. „Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego”.

2. Podstawowe dane o kandydacie

W 2001 roku Doktorantka ukończyła VI Liceum Ogólnokształcące im. Juliusza Słowackiego w Kielcach. Następnie podjęła studia na kierunku Inżynieria Środowiska na Politechnice Świętokrzyskiej, gdzie w 2006 roku uzyskała tytuł magistra inżyniera. Ukończyła również dwa kierunki studiów podyplomowych: Klimatyzację i ogrzewnictwo na Politechnice Krakowskiej (w 2011 r.) oraz Administrację Publiczną na Uniwersytecie Jagiellońskim

w Krakowie (w 2021 r.). W latach 2021-2025 studiowała w Szkole Doktorskiej Politechniki Świętokrzyskiej w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Pani mgr inż. Anita Białek zawodowo zajmuje się projektowaniem i realizacją instalacji sanitarnych i mechanicznych. W 2010 roku uzyskała uprawnienia budowlane do projektowania w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń cieplnych, wentylacyjnych, gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych, zaś w 2012 roku zdobyła uprawnienia do kierowania robotami budowlanymi w tej samej specjalności.

Doktorantka łączy zdobyte doświadczenie inżynierskie z działalnością naukową, koncentrując się szczególnie na nowoczesnych rozwiązaniach zielonej infrastruktury wspierających zrównoważony rozwój miast. Jej dorobek naukowy obejmuje 16 publikacji, w tym pięć stanowiących podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej. Wyniki badań prezentowała na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych. W ramach praktyk dydaktycznych prowadziła zajęcia laboratoryjne z przedmiotów: Mechanika płynów, Mechanika płynów i hydraulika oraz Hydraulika 2.

Doktorantka nie ubiegała się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

3. Przedmiot i zawartość opracowania

Rozprawa doktorska mgr inż. Anity Białek pt. „Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego” została wydana w wersji drukowanej jako 66-stronicowe opracowanie, do którego dołączone są załączniki. Rozprawa została przygotowana w strukturze typowej dla dysertacji opartych na cyklu publikacji. Składa się ona z siedmiu rozdziałów głównych, wykazu publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, streszczeń w języku polskim i angielskim, wykazu skrótów i symboli, bibliografii, wykazu tabel i rysunków oraz pięciu załączników stanowiących pełne teksty publikacji. Rozprawę napisano poprawnym i zrozumiałym językiem, z zastosowaniem właściwej terminologii inżynierskiej zgodnej z obowiązującymi normami i literaturą branżową. Układ pracy jest prawidłowy i przejrzysty. Artykuły wchodzące w skład cyklu są pracami wieloautorskimi i zostały opublikowane w języku angielskim.

Na początku pracy zamieszczono krótkie **wprowadzenie**, które w sposób ogólny wprowadza w tematykę podejmowaną w rozprawie doktorskiej. Drugi rozdział przedstawia **cel i zakres rozprawy**, zaś **problem badawczy i hipoteza** zostały omówione w rozdziale trzecim.

W kolejnej części pracy - **rozdziale czwartym**, Autorka przedstawiła metodykę badawczą. Scharakteryzowała stworzoną aplikację Calculator_NBS do wymiarowania obiektów zielonej infrastruktury oraz przedstawiła model fali kinematycznej i równanie bilansu wodnego, które zastosowała w opracowanym narzędziu obliczeniowym. W rozdziale tym, omówiła również algorytm działania autorskiej aplikacji i jej funkcje zadaniowe. W kolejnym podpunkcie Doktorantka przedstawiła główne założenia modelu hydrodynamicznego Storm Water Management Model, który wykorzystano w badaniach do analiz obciążenia sieci kanalizacyjnej oraz symulacji scenariuszy prognostycznych dla różnych wariantów opadów i zagospodarowania zlewni. Rozdział zakończony jest charakterystyką kilku technik uczenia maszynowego, które zastosowano w analizach odpływu wód ze zlewni w celu określenia nieliniowych zależności.

Piąty rozdział „**Obiekt badań**” przedstawia zlewnię miejską zlokalizowaną w Kielcach, która stanowiła kluczowy obszar badań hydrodynamicznych. Autorka szczegółowo scharakteryzowała badaną sieć kanalizacyjną oraz przypisane do niej podzlewnie. Skupiła się także na omówieniu danych klimatycznych pochodzących ze stacji meteorologicznych IMGW, na podstawie których wyznaczono sześć głównych mezoregionów fizyczno-geograficznych Polski. W badaniach zastosowano dwa podejścia metodologiczne różniące się liczbą stacji meteorologicznych i procedurami analitycznymi. Pozwoliło to na szeroką analizę warunków opadowych w Polsce w ujęciu przestrzennym i czasowym.

Rozdział szósty stanowi przedstawienie wyników badań oraz ich dyskusję. W pierwszej części tego rozdziału Autorka skupia się na analizie wyników, które zostały zawarte w publikacji „**Development of a computational tool for stormwater management in small urban catchments**” (załącznik A1). Prezentowane są w niej efekty zaimplementowania opracowanej aplikacji obliczeniowej do wymiarowania urządzeń infiltracyjnych zlokalizowanych w różnych obszarach Polski. Doktorantka wykorzystwała w badaniach dane opadowe pochodzące z 32 miast w Polsce. Szczególną uwagę zwróciła na określenie wpływu czasu trwania opadu na zdolność infiltracyjną urządzeń w analizowanych mezoregionach. Przeprowadziła także analizę intensywności opadów dla rozpatrywanych lokalizacji. Publikacja 2 „**The impact of physical-geographical conditions on the sizing of rain gardens: A spatial case of Poland**” (załącznik A2) stanowi kontynuację badań opisanych w pierwszym artykule. Autorka wykorzystując opracowaną aplikację obliczeniową dokonała oceny wpływu parametrów fizycznych i geograficznych na funkcjonowanie ogrodów deszczowych. Przeanalizowała trzy warianty stopnia uszczelnienia zlewni oraz uwzględniła

prognozy zmian klimatu. Podzieliła obszar polski na dwa klastry zlewni, jeden obejmujący południowo-wschodnią Polskę oraz drugi odnoszący się do zachodniej części kraju. W publikacji tej wykazano związki pomiędzy położeniem geograficznym a parametrami retencji, w szczególności między długością geograficzną a objętością retencjonowanych wód opadowych i ich odpływem. Dokonano także ogólnego porównania powszechnie stosowanych narzędzi do modelowania hydrodynamicznego (SWMM, MIKE URBAN, HYDRUS-1D, MUSIC) z autorską aplikacją, wskazując wady i zalety każdego z nich. W kolejnej publikacji zatytułowanej **„Extended evaluation of the impact of rainfall, sewer network and land use retention on drainage system performance in a multi-criteria approach – Modeling, sensitivity analysis”** (załącznik A3) przeanalizowano możliwość zastosowania regresji logistycznej jako alternatywnego narzędzia predykcyjnego w stosunku do modelu SWMM w badaniach przeciążeń hydraulicznych systemów kanalizacji deszczowej. Wykazano stosunkowo wysoką skuteczność modeli logistycznych, które pozwalają na ograniczenie danych wejściowych wymaganych w tworzeniu pełnoskalowych modeli deterministycznych. Takie podejście umożliwiło ilościową ocenę wpływu poszczególnych parametrów na prawdopodobieństwo wystąpienia wylania. Uzyskane wyniki na tym etapie badań były podstawą do opracowania uniwersalnego modelu wspierającego kalibrację modeli mechanistycznych oraz prognozowanie wylania ścieków, który przedstawiono w czwartej publikacji, pt. **„Integrated model for the fast assesment of lood volume: Modelling – management, uncertainty and sensitivity analysis”** (załącznik A4). Model ten integruje informacje o strukturze przestrzennej zlewni, parametrach retencyjnych oraz charakterystyce opadów w celu prognozowania prawdopodobieństwa przekroczenia progu objętości odpływu jednostkowego z danego zdarzenia opadowego. W artykule tym wykazano, że konieczne jest uwzględnianie struktury przestrzennej sieci kanalizacyjnej, m.in. jej topologii opisanej za pomocą wymiaru fraktalnego, w procesach modelowania, kalibracji oraz planowania modernizacji systemów odwodnienia miejskiego. Celem ostatniej publikacji z cyklu zatytułowanej **„An innovative method of predicting the maximum flow in stormwater sewage systems using soft-sensors”** (załącznik A5) było opracowanie modelu predykcyjnego opartego na metodzie MARS. Przeprowadzone badania wykazały, że na wartości estymowanych parametrów w modelu regresyjnym istotnie wpływa rozkład czasowy intensywności opadu. Wykorzystano trzy warianty czasowych rozkładów opadu o różnej intensywności, ale z zachowaniem tej samej całkowitej wysokości opadu. Umożliwiło to Autorom zidentyfikowanie różnic w reakcji modelu na dynamikę zdarzeń opadowych oraz ocenę wrażliwości poszczególnych parametrów modelowych. Autorzy podkreślili fakt, że

wiarygodna ocena rezerwy przepustowości sieci kanalizacyjnej wymaga uwzględnienia zarówno zmienności opadów jak i niepewności kalibrowanych parametrów modelu hydrodynamicznego i ich wpływu na odpowiedź modelową.

Praca zakończona jest **podsumowaniem** wynikającym ze zrealizowanych badań. Rozdział ten obejmuje także opis proponowanych kierunków dalszych badań.

4. Ocena merytoryczna pracy

4.1. Ocena doboru tematu, zakresu, celu rozprawy i hipotezy badawczej

W ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby ekstremalnych zjawisk pogodowych, z których skutkami zmagają się szczególnie tereny zurbanizowane. Antropogeniczne zmiany w zlewniach miejskich, w szczególności intensyfikacja zabudowy i związany z tym wzrost stopnia uszczelnienia powierzchni, prowadzą do licznych negatywnych skutków w środowisku naturalnym, takich jak: obniżenie poziomu wód gruntowych, nadmierne przesuszenie gleby, nasilenie zjawisk powodziowych w ciekach wodnych, zanieczyszczenie i zmiany morfologiczne rzek oraz zaburzenia ekosystemów wodnych. Ponadto postępująca urbanizacja, której towarzyszy wzrost ilości ścieków odprowadzanych do kanalizacji, przyczynia się do występowania niekorzystnych zjawisk przeciążeń hydraulicznych w tych systemach. W konsekwencji rośnie ryzyko występowania powodzi miejskich i lokalnych podtopień powodujących straty ekonomiczne i społeczne. Aby temu przeciwdziałać konieczne jest wdrażanie zrównoważonych rozwiązań zwiększających infiltrację i retencję wód opadowych w zlewniach oraz projektowanie i modernizowanie systemów kanalizacyjnych z uwzględnieniem nowoczesnych narzędzi modelowania i zarządzania nimi.

Pani mgr inż. Anita Białek odnosi się do tych kwestii w swoich badaniach. Autorka niniejszej rozprawy doktorskiej podjęła zatem tematykę, która jest ciągle aktualna, a wybrany obszar badań wpisuje się w istotne problemy inżynierii środowiska wymagające ich rozwiązania poprzez prowadzenie badań skupiających się na skutecznych, efektywnych i zrównoważonych technologiach.

Doktorantka wskazała główny cel pracy, którym było „*opracowanie uniwersalnego, skalowalnego narzędzia obliczeniowego umożliwiającego 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*”. Aby ten cel osiągnąć, opracowano aplikację obliczeniową stanowiącą narzędzie wspomagające

projektowanie systemów retencyjnych z wykorzystaniem elementów zielonej infrastruktury oraz zintegrowany model obejmujący ocenę zastosowania metod uczenia maszynowego do identyfikacji działania sieci kanalizacyjnej w warunkach przeciążenia hydraulicznego (wylania) oraz prognoz przepływu maksymalnego w kontekście analizy przepustowości istniejących i projektowanych kanałów deszczowych, z możliwością adaptacji do zmian klimatycznych.

W niniejszej pracy postawiono następującą hipotezę w obszarze badawczym: „*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*”. Weryfikacja tej hipotezy obejmowała kilka głównych etapów badań, których rezultaty zostały przedstawione w cyklu publikacji składającym się z pięciu artykułów stanowiących podstawę przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Hipoteza została sformułowana poprawnie merytorycznie, natomiast pojawia się w niej drobny błąd redakcyjny odnoszący się do fragmentu, który powinien brzmieć: *...do oceny działania i projektowania sieci kanalizacyjnych...*

Zrealizowany zakres badań, dobór metod i narzędzi badawczych był adekwatny do sformułowanego celu pracy i pozwolił na zweryfikowanie postawionej hipotezy badawczej.

Mając powyższe na względzie, uważam rozprawę doktorską mgr inż. Anity Białek pt. „Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego” za ważną zarówno z poznawczego, jak i użytkowego punktu widzenia, a tematykę pracy za ciągle aktualną i wymagającą dalszych badań. Należy podkreślić również, że tematyka rozprawy doktorskiej jest istotna z punktu widzenia dyscypliny naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

4.2. Ocena metodyki badawczej

Zastosowana w pracy metodologia badań została przedstawiona w sposób uporządkowany i czytelny. Doktorantka na wystarczającym stopniu szczegółowości omówiła opracowaną autorską aplikację obliczeniową Calculator_NBS, którą stworzono w języku programowania C++, a bazującą na równaniu fali kinematycznej, bilansie wodnym oraz modelach przepływu wód. W badaniach wykorzystano także program Storm Water

Management Model do symulacji odpływu wód opadowych i działania systemu kanalizacyjnego zlewni miejskiej co pozwoliło na szczegółową analizę dynamiki odpływu w zmiennych warunkach opadowych i różnym stopniu zagospodarowania terenu. W badaniach zastosowano również modele regresyjne i techniki uczenia maszynowego, Random Forest oraz MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines), umożliwiające identyfikację kluczowych zmiennych oraz wyznaczenie odpływu na podstawie danych opadowych, przestrzennych i hydrologicznych.

Przyjęte metody badawcze były właściwe i umożliwiły pełną realizację sformułowanego w pracy celu oraz weryfikację hipotezy badawczej. Doktorantka wykazała się dobrą znajomością zastosowanych technik badawczych i umiejętnością interpretacji otrzymanych wyników badań, która doprowadziła do sformułowania wniosków ogólnych i szczegółowych dla każdego etapu badań.

4.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Na podstawie przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej za główne osiągnięcia naukowe w niej przedstawione uważam:

1. Krytyczną analizę istniejącego stanu wiedzy w zakresie projektowania i modelowania hydrodynamicznego sieci kanalizacyjnych oraz obiektów zielonej infrastruktury odwodnieniowej, a także identyfikację wyzwań i potrzeb w aspekcie ich dostosowania do zmieniających się uwarunkowań urbanizacyjnych i klimatycznych.
2. Opracowanie autorskiej aplikacji obliczeniowej do wymiarowania obiektów zielonej infrastruktury odwodnieniowej i przeprowadzenie badań jej użyteczności dla szerokiego zakresu danych opadowych charakteryzujących różne regiony Polski.
3. Opracowanie modeli regresji logistycznej do identyfikacji przeciążeń sieci kanalizacji deszczowej oraz modelu wspierającego kalibrację modeli hydrodynamicznych i prognozowanie wylania ścieków oraz ich implementację dla rzeczywistej zlewni miejskiej.
4. Analizę ryzyka działania sieci deszczowej opartą na zaproponowanym współczynniku rezerwy przepustowości kanałów w celu oceny możliwości poprawy działania systemu w warunkach niepewności wynikających ze zmian klimatu i ograniczonej dostępności danych pomiarowych.

5. Uwagi

Poniżej przedstawiam uwagi jakie nasunęły się podczas lektury przedmiotowej dysertacji. Podkreślić należy, że uwagi te mają charakter redakcyjny lub dyskusyjny i nie umniejszają wartości naukowej pracy oraz pozytywnej jej oceny.

1. Nie wnoszę istotnych uwag merytorycznych, jednak ze względu na ograniczoną możliwość uzyskania informacji o szczegółowym zakresie badań wykonanych tylko przez Doktorantkę, bardzo proszę o przedstawienie w trakcie obrony wkładu Doktorantki w przygotowanie każdego z artykułów wchodzącego w skład cyklu publikacji.
2. W rozdziale 4 „Metodyka badań” wymieniono zastosowane w pracy techniki uczenia maszynowego. Proszę o wskazanie celu i zakresu badań, w których wykorzystano algorytm XGBoost.
3. Jednym z zadań było podjęcie próby sformułowania wytycznych projektowych do wymiarowania ogrodów deszczowych. Czy takie wytyczne w formie zaleceń/poradnika dla projektantów zostały lub będą opracowane oraz im udostępnione? Czy stworzony algorytm obliczeniowy zostanie opracowany w formie ogólnodostępnej aplikacji wspomagającej projektowanie zielonej infrastruktury odwodnieniowej?
4. W tekście występują błędy edycyjne, takie jak pozostawione na końcu wierszy jednoliterowe spójniki i przyimki, tzw. sieroty.
5. Wskazane byłoby także ujednoczenie zapisu symboli parametrów w zamieszczonych wzorach i formułach obliczeniowych w stosunku do ich zapisu w objaśnieniach pod wzorami i w pozostałym tekście pracy. Odnosi się to do używania indeksów dolnych, a także zapisywania ich przy użyciu kursywy lub bez jej zastosowania.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Pani mgr inż. Anita Białek wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, niezbędną do jej przygotowania. Autorka wykazała się także dobrą znajomością literatury przedmiotu, a jej analiza pozwoliła Doktorantce zidentyfikować i rozwiązać problem badawczy.

Zaplanowane badania, ich realizacja, a także interpretacja wyników i właściwe formułowanie wniosków świadczą o dobrej umiejętności prowadzenia badań naukowych. Treść pracy jednoznacznie potwierdza zrealizowanie założonego jej celu i zakresu.

Autorka rozprawy wskazała, że możliwe jest efektywne zastosowanie modeli mechanistycznych wspomaganych technikami uczenia maszynowego do projektowania i modelowania sieci kanalizacyjnych zlokalizowanych w małych zlewniach miejskich. Należy podkreślić zatem, że uzyskane wyniki badań oprócz aspektu naukowego, mają także wyraźny charakter aplikacyjny.

Biorąc pod uwagę treść i zakres rozprawy doktorskiej mgr inż. Anity Białek pt. „Zintegrowany model obliczeniowy do oceny i poprawy działania sieci kanalizacji deszczowej w zlewniach miejskich, w kontekście planowania przestrzennego”, stwierdzam, że opracowanie otrzymane do recenzji spełnia warunki prawne określone dla rozpraw doktorskich w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024, poz. 1571 z późniejszymi zmianami).

Zwracam się zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Świętokrzyskiej z wnioskiem o dopuszczenie Pani mgr inż. Anity Białek do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

Agnieszka Skoc