do Biura Wydziału WHiŚ
21.03.2026

Warszawa 16 IX 2026

dr hab. Artur Magnuszewski, prof. ucz.
Zakład Hydrologii
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Uniwersytet Warszawski

Recenzja rozprawy doktorskiej

Khansa Gulshad

pod tytułem

From Flood Dynamics to Nature-Based Solutions: A Geospatial AI Framework for Urban Resilience

Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została przygotowana na wniosek Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Politechniki Gdańskiej (uchwała nr 47/2026 z dnia 8 lipca 2026). zgodnie z wymogami przewidzianymi ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz wewnętrznymi wytycznymi dotyczącymi postępowań doktorskich. Zakres recenzji obejmuje ocenę doboru tematu pracy oraz całość rozprawy doktorskiej tj. zawartość merytoryczną rozdziałów.

Ocena doboru tematu i celu pracy

Nowym wyzwaniem w gospodarowaniu wodami i planowaniu przestrzennym miast są dynamiczne zmiany pokrycia terenu i zmieniające się warunki klimatyczne. Miasta są obecnie najszybciej rozwijającymi się skupiskami ludności na świecie. W 1950 r. w miastach żyło 30 % populacji ludzi na świecie, w 2050 ten udział osiągnie 68 % (ONZ, 2025). Powodzie w miastach mogą być spowodowane wezbraniami rzek, a także przeciążeniem sieci kanalizacji deszczowej. W przypadku miast nadmorskich dodatkowo pojawia się ryzyko powodzi sztormowych wywołanych przez spiętrzenie poziomu morza przez silny wiatr lub falę tsunami.

Również w Polsce zachodzi proces urbanizacji, obejmujący duże ośrodki miejskie, w tym Trójmiasto. Gdańsk ma specyficzne położenie topograficzne pomiędzy linią brzegową Zatoki Gdańskiej a wysoczyznami Pojezierza Kaszubskiego. Powódź na Kanale Raduni w dniu 9 lipca 2001 r. została spowodowana wysokimi opadami deszczu połączonymi z gwałtownym spływem powierzchniowym z terenów zabudowanych. To doświadczenie sprawiło, że podjęto szereg prac i rozwiązań redukujących ryzyko powodzi miejskich przez rozwój małej retencji i tzw. niebiesko-zielonej infrastruktury. Gdańsk jest uznawany za miasto, które dobrze przygotowuje się do adaptacji do zmian klimatu, a zastosowane rozwiązania są przenoszone do innych miast.

Powstaje pytanie, jakie zmieni się ryzyko związane z powodziami, zarówno fluwiacyjnymi, jak i pluwialnymi, w warunkach przyszłego klimatu i rosnącego uszczelnienia powierzchni zlewni. Czy istniejąca w Gdańsku infrastruktura sieci kanalizacyjnej i niebiesko-zielonej jest wystarczająca w obliczu zwiększającej się dynamiki procesów pogodowych i coraz większej wydajności deszczy nawalnych.

Recenzowana praca stawia sobie za cel odpowiedź na te pytania, które sformułowano w postaci następujących celów badawczych:

1. Określenie historycznego i prognozowanego oddziaływania przekształceń użytkowania i pokrycia terenu oraz zmian klimatu na wielkość spływu powierzchniowego w skali zlewni Oruni i Gdańska.

2. Opracowanie mapy podatności obszarów miejskich na powodzie i identyfikacja dominujących przestrzennych czynników wywołujących zjawiska powodziowe.

3. Określenie przestrzennego zróżnicowania rozmieszczenia zielonej infrastruktury w Gdańsku.

4. Określenie potencjału zazieleniania obszarów miejskich na poziomie dachów i ulic.

Podjęty temat rozprawy jest interesujący i aktualny, z punktu widzenia adaptacji do zmian klimatu i ograniczania skutków powodzi miejskich. Wybór terenu badawczego należy również uznać za właściwy, ponieważ Gdańsk jest miastem, które jest objęte wysokim ryzykiem powodziowym ze strony rzek i opadów nawalnych.

Ocena użytych metod i uzyskanych wyników

Praca ma następującą strukturę.

Rozdział 1 jest wprowadzeniem, przedstawiono w nim także cele badawcze.

Rozdział 2 zawiera przegląd literatury na temat dynamiki powodzi w miastach, rozwiązań opartych na naturze oraz rosnącej roli GeoAI w planowaniu urbanistycznym.

Rozdział 3 przedstawia obszar badań i infrastrukturę skonsolidowanych danych.

Rozdział 4 przedstawia ilościowo, w jaki sposób LULC i zmiany klimatu zmieniły reakcję hydrologiczną w skali zlewni.

Rozdział 5 zawiera określenie stopnia podatności na powodzie z wykorzystaniem interpretowalnego uczenia maszynowego.

Rozdział 6 diagnozuje rozkład przestrzenny i czynniki warunkujące rozmieszczenie zielonej infrastruktury.

Rozdział 7 opracowuje oparte na GeoAI miary przydatności NBS i efektywności zatrzymywania wód opadowych.

Rozdział 8 jest syntezą wszystkich komponentów.

Rozdział 9 podsumowuje pracę i określa kierunki przyszłych badań.

Rozdział 1. Przedstawiono w nim motywację doktorantki do podjęcia badań nad problemem powodzi miejskich w Gdańsku. Pomysł na rozwiązanie postawionych pytań badawczych polega na integracji metod GIS i RS z modelowaniem procesu formowania odpływu rzecznego, a także na zastosowaniu interpretowalnego mapowania ryzyka powodzi opartego na uczeniu maszynowym (ang. *machine learning* - ML). W opisie zadań badawczych pojawia się powołanie na scenariusze zmian wysokości opadów w scenariuszach RCP 4.5 i RCP 8.5 na lata 2050 i 2100. Należałoby napisać więcej o źródle tych, danych i założeniach prognoz zmian klimatu, ponieważ istnieją także inne scenariusze oparte na innych założeniach. Wskazane byłoby omówienie założeń tych scenariuszy i w jaki sposób zostały uzyskane wyniki, a następnie przeskalowane do wykorzystania w doktoracie.

W tekście na str 17 i 18. Pojawiają się powtarzające się zdania, które są niedopatrzeniem na poziomie redakcji technicznej tekstu.

Rozdział 2. Omawia istniejący stan wiedzy w zakresie oceny zmian użytkowania terenu, modelowania hydrologicznego, analizy danych z zastosowaniem uczenia maszynowego. Doktorantka, omawiając skalę powodzi i ich częstość, nie dokonuje podziału na powodzie rzeczne, pluwialne oraz sztormowe. Taka klasyfikacja jest konieczna, ponieważ z punktu widzenia zasięgu i skutków są to zjawiska bardzo odmienne. Na marginesie - w przypadku Gdańska większym zagrożeniem jest powódź sztormowa powodująca krótkotrwałe spiętrzenie wody w Zatoce Gdańskiej, niż podniesienie poziomu Morza Bałtyckiego prognozowane na koniec obecnego stulecia.

W podrozdziale poświęconym zielonej infrastrukturze doktorantka wymienia różne uwarunkowania jej rozwoju. Zabrakło w tej liście ważnego czynnika jakim jest planowanie przestrzenne w miastach i prawo własności, czyli dostępność terenu do realizacji np. zbiorników małej retencji czy obszarów chłonnych. Miasto jako inwestor może realizować projekty niebiesko-zielonej infrastruktury tylko na terenach, do których ma tytuł prawny.

W tym rozdziale, a także w następnych, pojawia się niefortunne sformułowanie „zmienne biofizyczne" (ang. *biophysical variables*). Jest to niewłaściwe sformułowanie, ponieważ biofizyka to nauka z pogranicza biologii i fizyki, a jej przedmiotem jest badanie fizycznych podstaw funkcjonowania organizmów żywych. W tym kontekście lepszym określeniem są zmienne fizycznogeograficzne.

Rozdział 3. Opisuje obszar badań i definiuje domenę dostępnych danych. Obszar badań to granice Gdańska, a bardziej szczegółowe analizy dotyczą zlewni Oruni - największego dopływu Kanału Raduni. Na rys. 3.1 przedstawiono mapę wysokościową Gdańska. Chciałbym zwrócić uwagę na błędnie wykonaną skalę baw przedstawiającą hipsometrię. Przyjętą konwencją w kartografii jest używanie chłodnych barw dla najniższych wysokości i ciepłych barw dla wyższych terenów. Na mapie zabrakło także lokalizacji zlewni Oruni, o której mowa w dalszej części pracy. Na mapie punktami zaznaczono "powodzie historyczne". Co należy pod tą nazwą rozumieć, czy są to powodzie pluwialne, wywołane przeciążeniem sieci kanalizacyjnej, czy też wezbraniami rzek? Można się domyślać, że są to miejsca interwencji Państwowej Straży Pożarnej (PSP) w sytuacjach tzw. podtopień wywołanych intensywnymi deszczami.

W opisie warunków fizycznogeograficznych podano średnią sumę opadu atmosferycznego 659 mm, nie wiemy, jakiego okresu ona dotyczy.

W Tabeli 3.1 zebrano wykorzystane źródła danych, podając ich funkcję w analizach GeoAI i miejsce wykorzystania. Brakuje wyjaśnienia jakiego rodzaju raporty PSP były wykorzystane, są one gromadzone w podzbiorach - przybór wód, silne deszcze i burze. Generalnie w całej pracy nie znajdziemy informacji o charakterystyce tych danych, a są one niezwykle ważne dla potwierdzenia uzyskanych wyników modelowania kartograficznego.

Rozdział 4. Zawiera wyniki analizy zmiany użytkowania i pokrycia terenu (LULC) i modelowania reakcji zlewni Oruni na opad. Do analizy zmian pokrycia terenu w wyniku urbanizacji wykorzystano dane satelitarne z lat 1985, 1995, 2005, 2015, 2022. Brakuje opisu, jaką metodę klasyfikacji zastosowano w celu wyróżnienia klas pokrycia terenu. Wzmianka o tym, że zastosowano platformę GEE, jest niewystarczająca. Uzyskane mapy pokrycia terenu pozwoliły określić ilościowo stopień uszczelnienia terenu przez zabudowę, a także wzrost lesistości i ubytek obszarów rolniczych. Ta sekwencja map LULC z lat 1985-2022 posłużyła do wykonania projekcji zmian pokrycia terenu w programie IDRISI Terrset w horyzoncie 2050 r. i 2100 r. W całym tekście nie znajdziemy niestety szczegółów tych symulacji. Można się domyślać, że jest to liniowa ekstrapolacja kierunku zarejestrowanych zmian LULC. Powstaje pytanie, czy w projekcji uwzględniono tendencje demograficzne Polski, które mówią o spadku liczby mieszkańców do 25,6 mln na koniec obecnego stulecia (Eurostat). Dynamika urbanizacji nie pozostanie zatem na znanym z przeszłości poziomie.

Dane o pokryciu terenu wykorzystano do obliczenia parametru CN, który służy do obliczenia opadu efektywnego i spływu jednostkowego w modelu HEC-HMS. Obliczenia dotyczyły zlewni Oruni. Ciekawy jest wynik obrazujący wzrost warstwy odpływu rzecznego z 41 mm w 1985 r. do 47 mm w 2022 r. Przyjęto opad obliczeniowy t=24 h o prawdopodobieństwie przekroczenia p=1%. Doktorantka nie podzieliła się z czytelnikiem informacją, w jaki sposób weryfikowano poprawność obliczeń modelem HEC-HMS. Na str. 42 jest jedynie wzmianka, że wynik z modelu był porównywany z wynikami uzyskanymi na sąsiedniej zlewni potoku Strzyża. W obliczeniach hydrologicznych jeśli wybieramy zlewnię analog to powinny być porównane parametry fizycznogeograficzne obydwu obiektów, a także choćby kształt hydrogramu odpływu. To poważny brak w procesie modelowania reakcji zlewni niekontrolowanej.

Modelowanie pozwoliło określić, że w przyszłości większy wpływ na reakcję zlewni Oruni na opady nawalne będzie miało pokrycie terenu (LULC) niż wzrost intensywności opadów w zmienionym klimacie. To ważna informacja w kontekście prowadzenia właściwej gospodarki przestrzennej w Gdańsku.

Rozdział 5. Zajmuje się określeniem stopnia podatności Gdańska na powodzie z wykorzystaniem interpretowalnego uczenia maszynowego. Wybrano w tym celu

warstwy tematyczne pełniące rolę zmiennych objaśniających, poddając je resamplingowi do wymiaru pola podstawowego 10 m. W celu znalezienia relacji między zmiennymi objaśniającymi i wskaźnikiem podatności na powodzie zastosowano trzy metody uczenia maszynowego SVM, RF, ANN. Metoda SVM jest klasyfikacją nadzorowaną, która wymaga wydzielenia próby uczącej. W zestawie zmiennych objaśniających znalazła się mapa ekwidystant do sieci kanalizacji opadowej. Ten wybór chciałbym przedyskutować z doktorantką, ponieważ fakt istnienia gęstej sieci kanalizacji deszczowej wynika z dostosowania miasta do zaistniałych lub spodziewanych podtopień. Podobną wątpliwość budzi użycie ekwidystant sieci hydrograficznej. To, że istnieje naturalny ciek, wynika z faktu nadmiaru wody w bilansie hydrologicznym zlewni, który musi być odprowadzony siecią hydrograficzną. Te dwie warstwy tematyczne reprezentują skutek, a nie przyczynę, moim zdaniem nie powinny być używane jako zmienne objaśniające.

Wynik modelowania pokazano na rys. 5.9, niestety jest on nieczytelny w tak małej skali.

Rozdział 6. Diagnozuje rozkład przestrzenny i czynniki warunkujące rozmieszczenie zielonej infrastruktury w Gdańsku. Na samym wstępie wyjaśnienia wymaga, co doktorantka rozumie przez zieloną infrastrukturę. Nie są to bowiem specjalnie przygotowane instalacje poprawiające infiltrację i retencję opadów, a wszelkie zielone powierzchnie, takie jak lasy, mokradła, parki, cmentarze. Z tych klas pokrycia terenu uzyskano jedną warstwę tematyczną zielonej infrastruktury. Poddano ją analizom przestrzennym takim jak autokorelacja przestrzenna i regresja wielokrotna. Doktorantka skorzystała z gotowego narzędzia, jakim jest Google Colab.

Rozmieszczenie gęstości zielonej infrastruktury pokazuje rys. 6.2. Jest to kartogram, czyli mapa, a zatem spodziewalibyśmy się podziałki, której nie ma. Analiza regresji wielokrotnej miała ujawnić zmienne objaśniające powiązane z zieloną infrastrukturą. Niestety siła związku wyrażona współczynnikiem korelacji jest bardzo mała, co oznacza, że rozmieszczenie zielonej infrastruktury jest przypadkowe albo podyktowane innymi czynnikami lokalizacyjnymi. Stwierdzenie, że zielona infrastruktura jest negatywnie skorelowana z powierzchnią uszczelnioną, nie wymagało prowadzenia żmudnych obliczeń.

Zbędne jest także dowodzenie, że wskaźnik NDVI jest dodatnio skorelowany z zieloną infrastrukturą. Wskaźnik NDVI jest bowiem często używany do wykrywania i kartowania roślinności w mieście, a więc te dwie zmienne nie są całkowicie od siebie niezależne. Końcowy wniosek zamykający rozdział 6 to stwierdzenie, że zielona infrastruktura nie pokrywa się z miejscami najbardziej wymagającymi ochrony przed powodzią.

Rozdział 7. Omawia możliwości zwiększenia udziału zatrzymujących opad deszczu zielonych dachów i zieleni ulicznej widzianych z perspektywy kamery Google Street View. Z wykorzystaniem Google Maps Platform Terms analizowane były obrazy ulic Gdańska próbkowane z krokiem 50 m, . Obrazy były następnie analizowane za pomocą algorytmu uczenia w programie Mask2Former. Następnie wygenerowano hipotetyczne mapy maksymalnego zazielenienia ulic. Drugim proponowanym rozwiązaniem było wykorzystanie zielonych dachów, których potencjalną lokalizację wskazuje program RESILIO. Doktorantka w końcowej części rozdziału przedstawiła jakie są ograniczenia takiego modelowania, które pomija praktyczną wykonalność zieleń ulic i instalacji zielonych dachów na każdym budynku.

Rozdział 8. Synteza uzyskanych wcześniej wyników doprowadziła doktorantkę do opracowania zaleceń dotyczących sposobów ograniczenia ryzyka powodzi. Zauważyła ona, że miejsca najbardziej narażone na powódź nie pokrywają się z obszarami zielonej infrastruktury. Inwentaryzacja zielonej infrastruktury i mapowanie zieleni miejskiej dają wskazówki, gdzie należałoby rozwijać retencyjną funkcję zielonej infrastruktury w Gdańsku.

Rozdział 9. Podsumowuje pracę i określa kierunki przyszłych badań. W tym rozdziale doktorantka wymienia także ograniczenia wynikające z jakości dostępnych danych i użytych modeli. To ważna część rozprawy, która pozwala czytelnikowi odpowiednio interpretować wyniki. Wspomniana jest ograniczona liczebność bazy danych PSP dotyczących interwencji w czasie przyboru wód lub intensywnych opadów. Ta warstwa tematyczna powinna być użyta do weryfikacji modelowania, uważam że ze względu na jej ograniczenia nie jest dobrą zmienna objaśniającą.

Inne uwagi

1. W tekście omyłkowo są cytowane prace nr 73, 74, 172 ze spisu literatury - podane są imiona autorów zamiast nazwisk.
2. W spisie literatury powtórzono pozycje 281 i 282 - to jest ta sama praca.

Wniosek końcowy

Podsumowując moje uwagi chciałbym stwierdzić, że doktorantka Khansa Gulshad wykazała się umiejętnością formułowania tezy badawczej i rozwiązania problemu metodami naukowymi. Przedstawione cele badawcze zostały zrealizowane a wyniki są wartościowe z naukowego punktu widzenia. Dowiodła znajomości literatury i opanowania metod z zakresu hydrologii, GIS, RS, modelowania matematycznego, klasyfikacji z użyciem uczenia maszynowego .

Uważam, że przedłożona mi do recenzji praca spełnia wszystkie wymogi stawiane przez ustawę "O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki" (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce ze zmianami (Art. 187, p.1,2). Wnioskuję o dopuszczenie Khansa Gulshad do dalszych etapów przewidzianych w przepisach o przewodach doktorskich.

