

Warszawa, 16 czerwca 2024 r.

Prof. dr hab. inż. Bogdan Ozga-Zieliński
Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Podleśna 61
01-673 Warszawa
bogdan.ozga-zielinski@imgw.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pana mgra Nelsona Vanegasa Cordero
pt. „Detection of changes in river floods and flood generating mechanisms in Poland”
(Wykrywanie zmian we wskaźnikach powodziowych i mechanizmach powodziotwórczych w Polsce)

Podstawa opracowania recenzji

Recenzję rozprawy doktorskiej opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Środowiska, Górnictwo i Energetyka Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie z dnia 24 kwietnia 2024 roku oraz na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny z dnia 6 maja 2024 roku.

Dane bibliograficzne rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska napisana została pod kierunkiem dr hab. Mikołaja Piniewskiego, prof. SGGW. Rozprawa napisana została w języku angielskim. Praca liczy 42 numerowane strony, 3 załączniki (łącznie 69 nienumerowanych stron) i zawiera 8 rysunków. Treść rozprawy została podzielona na 8 rozdziałów. Praca poprzedzona jest oświadczeniem promotora, oświadczeniem autora, podziękowaniem, abstraktem, spisem treści i zakończona jest spisem literatury (rozd. 6), innymi osiągnięciami autora (rozd. 7) oraz 3 załącznikami (rozd. 8). Bibliografia składa się z 61 pozycji. W załącznikach znajdują się 3 współautorskie artykuły doktoranta, które stanowią podstawę rozprawy doktorskiej. Doktorant jak i współautorzy złożyli stosowne deklaracje dotyczące ich udziału (wkładu) w przygotowanie artykułów. Artykuły zostały opublikowane w wysoko punktowanych czasopismach z listy JCR posiadających IF, znajdujące się w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MNiSW. Forma i układ pracy rozprawy nie budzą zastrzeżeń, strona edytorska z uwagami przedstawionymi w Analizie krytycznej rozprawy doktorskiej – Uwagi ogólne.

Struktura rozprawy doktorskiej

Streszczenie

W streszczeniu Autor rozprawy doktorskiej krótko przedstawił zakres wykonanych badań, przyczyny występowania powodzi w Polsce oraz podsumował uzyskane wyniki

przeprowadzonych analiz dotyczących mechanizmów powodziotwórczych w różnych regionach obszaru Polski.

Poniżej scharakteryzowane zostały pokrótce poszczególne rozdziały rozprawy:

Rozdział 1. Wprowadzenie

W pracy Doktorant podjął problem analizy zdarzeń ekstremalnych jakimi są wezbrania powodujące powodzie odrzeczne spowodowane ekstremalnymi opadami, nadmierną wilgotnością gleby, topnieniem śniegu spotęgowane opadami deszczu na zalegającą pokrywę śniegową, uwzględniając przy tym uwarunkowania wynikające z przyszłych zmian klimatu.

Badanie zmian i zmienności klimatu jest tematem prowadzonych na całym świecie prac w wielu dziedzinach nauki, dotyczących zagadnień związanych ze środowiskiem przyrodniczym, techniką, społeczeństwem, ekonomią czy polityką. W wielu publikacjach stwierdzono istotny wpływ globalnych zmian klimatu na kształtowanie się reżimu hydrologicznego rzek oraz na zwiększoną częstość występowania ekstremalnych wezbrań, powodujących powodzie. Prowadzone w ostatnich latach badania naukowe, wskazują na zwiększone ryzyko powodzi w większości krajów europejskich, w tym również w Polsce. Globalne ocieplenie bezpośrednio oddziałuje na temperaturę powietrza i wody, zwiększa parowanie oraz intensywność opadów atmosferycznych, i w związku z tym, również ma wpływ na częstość występowania, intensywność i wielkość hydrologicznych zjawisk ekstremalnych. Istotnym problemem badawczym jest określenie zarówno wielkości wpływu jak i niepewności związanych ze zmianami klimatu na podstawowe komponenty cyklu hydrologicznego bliskiej (do 2050 roku) jak również w dalekiej (do 2100 roku) przyszłości.

Na całym świecie badania w coraz większym stopniu koncentrują się na zrozumieniu dynamiki i przyczyn powodzi nie tylko odrzecznych. Mechanizmy powstawania powodzi są jednocześnie złożone i niejednorodne przestrzennie, szczególnie w zmieniającym się klimacie. Ponadto wpływ antropopresji zarówno na obszarze zlewni, postępująca jej urbanizacja, wylesiania, zmiana jej użytkowania w rolnictwie (nowoczesna agrotechnika), jak i w korytach rzek (wszelkiego rodzaju budowle i urządzenia hydrotechniczne), znacząco zmieniają charakterystyki fizyczno-geograficzne zlewni, powodując większe ryzyko powodzi ze względu na szybszy spływ powierzchniowy, zmniejszoną infiltrację oraz zwiększony poziom wilgotności gleby. W Polsce badania nad mechanizmami powstawania powodzi skoncentrowane były na ogół w wybranych regionach. Doktorant podjął próbę oceny czynników mających wpływ na powstawanie powodzi w całym kraju.

Rozdział 2. Cel badań

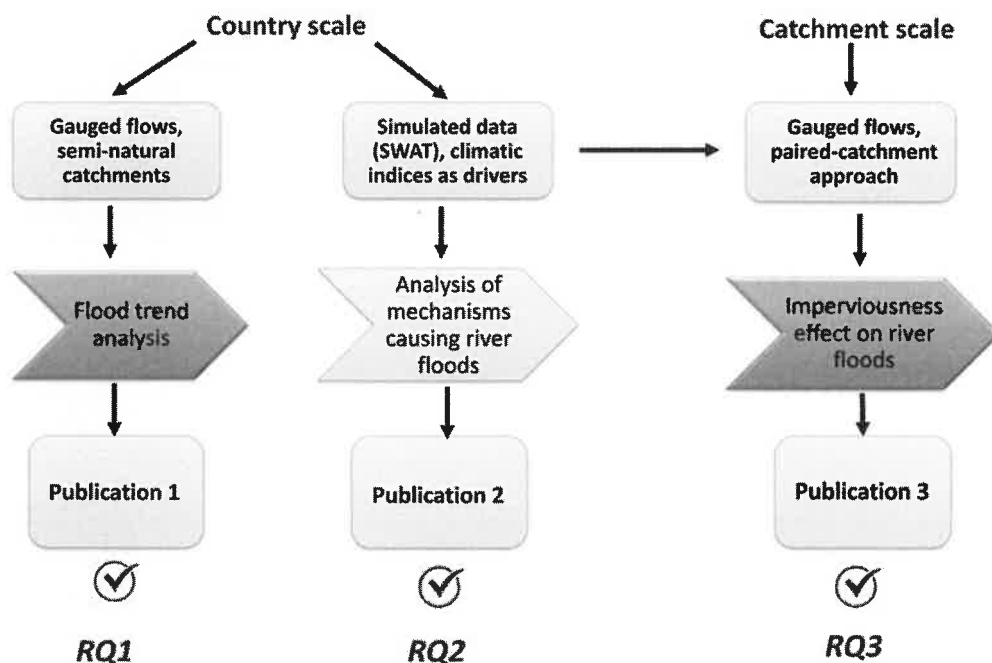
W rozdziale drugim Doktorant sformułował podstawowy cel badawczy jakim jest ocena parametrów charakteryzujących wezbrania powodujące powodzie, ich wielkość (zasięg), częstotliwość i czas występowania, na podstawie dużej liczby polskich rzek oraz określenie wpływu na charakterystyki powodzi czynników naturalnych, takich jak ekstremalne opady, nadmiar wilgoci w glebie i topnienie śniegu oraz czynników antropogenicznych, jak urbanizacja.

Doktorant postawił trzy główne pytania badawcze:

- Jakie są dowody na zmiany w charakterze powodzi odrzecznych w zlewniach zbliżonych do naturalnych w Polsce?
- Które czynniki klimatyczne - opady atmosferyczne, występowanie pokrywy śnieżnej i jej topnienie czy nadmiar wilgoci w glebie, w największym stopniu przyczyniają się do powodzi odrzecznych w Polsce?
- Jaki jest wpływ urbanizacji zlewni na powodzie odrzeczne w porównaniu z czynnikami klimatycznymi w Polsce?

Jako główną hipotezę badawczą Doktorant przyjął, że czynniki klimatyczne mają większy wpływ na aktualne trendy parametrów powodziowych rzek w Polsce niż czynniki antropogeniczne takie jak urbanizacja.

Rozprawa, jak wspomniano wcześniej, została oparta na trzech współautorskich recenzowanych artykułach naukowych opublikowanych w wysoko punktowanych czasopismach z listy JCR posiadających IF, które są ze sobą merytorycznie powiązane. Przemysłany sposób prowadzenia badań najlepiej oddaje poniższy schemat, który *in extenso* przytaczam z rozprawy doktorskiej.



Rozdział 3. Obszar badań, dane i metody badawcze

W tym rozdziale Doktorant przedstawił obszar badań, wykorzystywane dane pomiarowe w procesie badawczym jak również użyte metody badawcze.

Obszarem badań we wszystkich trzech artykułach było całe terytorium Polski z kilkoma obszarami przyległymi. W pierwszym artykule przeanalizowano 146 zlewni zbliżonych do naturalnych obejmujących wszystkie główne regiony geograficzne. Obszar badań w drugim artykule był większy i obejmował 4381 zlewni w Polsce i krajach sąsiednich, takich jak Czechy,

Niemcy, Słowacja, Rosja, Ukraina i Białoruś. W trzecim artykule wybrano cztery pary zlewni, z których pierwsza para znajduje się w północnej części Polski, natomiast pozostałe trzy pary zlewni położone są w południowej części kraju.

Dane o przepływach dobowych pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) w celu oceny wykrywania trendów w Polsce. Dane te wykorzystano w artykułach pierwszym i trzecim. Wybrano łącznie 146 stacji pomiarowych, podzielonych na dwa podzbiory: podzbiór A, składający się z 56 stacji z pomiarami w latach 1956-2019 oraz podzbiór B, składający się ze wszystkich 146 stacji z pomiarami w latach 1981-2019. Stacje wodowskazowe w zlewniach zbliżonych do naturalnych zostały starannie dobrane, aby zapewnić, że nie mają na nie wpływu czynniki antropogeniczne, takie jak obiekty hydrotechniczne, urbanizacja lub jakiegokolwiek pobory wody. W artykułach drugim i trzecim do oceny mechanizmów powstawania powodzi wykorzystano wyniki modelu SWAT, wykorzystując w tym celu zbiór danych obejmujący okres 70 lat (1951-2020) i 4381 zlewni o średniej wielkości 80 km². Zbiór ten zawiera symulowane dzienne szeregi czasowe zrzutu i bilansu wodnego z modelu SWAT. Wykorzystano uzysk wody [mm/dzień] jako wskaźnik zastępczy dla zrzutu na poziomie zlewni oraz trzy zmienne do oszacowania wskaźników reprezentujących różne mechanizmy generowania powodzi: opady (mm/dzień), topnienie śniegu [mm/dzień] i wilgotność gleby [mm]. Aby ocenić wpływ urbanizacji na powódzie, wykorzystano warstwy rastrowe nieprzepuszczalności o wysokiej rozdzielczości pochodzące z dwóch produktów programu Copernicus: warstwy Global Human Settlement (GHS), która dostarcza danych z lat 1975–2020 w rozdzielczości 100 m, oraz zbioru danych dotyczących stopnia nieprzepuszczalności warstwy wysokiej rozdzielczości (HRL) z lat 2006–2018, o rozdzielczości 20 m.

W artykułach składających się na pracę doktorską wykorzystano różne metody oceny zmian trendów i mechanizmów powstawania powodzi w Polsce. Identyfikację zdarzeń powodziowych przeprowadzono na podstawie szeregów czasowych uzyskanych za pomocą dwóch metod: AMF - rocznego przepływu maksymalnego oraz POT - przepływu powyżej przyjętego proggu. Rozważano potencjalne mechanizmy zmian powodziowych, takie jak ekstremalne opady, topnienie pokrywy śniegu i nadmierna wilgotność gleby. Te mechanizmy powodziowe zostały w szczególności przeanalizowane w artykule drugim i trzecim. Do wykrycia trendów wykorzystano testy statystyczne: nieparametryczny test Manna-Kendalla do wykrywania trendów monotonicznych wielkości powodzi i test χ^2 do analizy trendów częstotliwości powodzi przy przyjętym założeniu, że częstotliwość występowania powodzi jest zgodna z rozkładem Poissona, która zmienia się liniowo w czasie. Wykorzystano również nieparametryczny test Pettitta do wykrywania punktów zmiany średniej lub mediany szeregu czasowego oraz nachylenie Sena do wykrywania zmian w wielkości i czasie występowania powodzi. Analizę korelacji zastosowano w celu określenia, który mechanizm klimatyczny najlepiej wyjaśnia powódzie (artykuł 2). Do oceny wrażliwości wykorzystano korelację wieloczasową (artykuł 3). Względne znaczenie poszczególnych czynników powodziowych, mianowicie opadów, topnienia pokrywy śnieżnej i nadmiernej wilgotności gleby, oceniono poprzez analizę statystyk kołowych dla rocznych powodzi (artykuł 2). W celu zbadania wpływu urbanizacji na powódzie odrzeczne, zastosowano podejście oparte na zlewni sparowanej (artykuł 3). Metoda ta polega na porównaniu odpowiedzi dwóch zlewni o podobnej

charakterystyce. Jedna ze zlewni została wybrana jako robocza (określana jako miejska), a druga jako kontrolna (określana jako nieurbanizowana).

Rozdział 4. Wyniki i dyskusja

Rozdział czwarty poświęcony jest omówieniu wyników przeprowadzonych przez Doktoranta badań, które szczegółowo zostały zaprezentowane w 3 artykułach naukowych (Rozdział 8. Aneks 1, 2 i 3), których Doktorant jest współautorem.

Wyniki przeprowadzonych przez doktoranta badań trendów wielkości powodzi wskazały ich zmienność przestrzenną, przy czym istotne trendy zaobserwowano w całej Polsce. W północno-wschodniej części Polski zaobserwowano trendy malejące w wielkości powodzi, podczas gdy na południu stwierdzono trendy rosnące. Różne tendencje zmian wielkości powodzi Doktorant przypisuje zmianom temperatury powietrza, wzorcom topnienia śniegu i rozkładom opadów w różnych częściach obszaru Polski.

W częstotliwości występowania powodzi dominują trendy ujemne, choć istotność statystyczna tych trendów jest niższa niż w przypadku trendów wielkości powodzi.

Analiza czasu występowania powodzi wykazała silną tendencję spadkową w niemal wszystkich regionach Polski, przy niskiej istotności statystycznej. Czas występowania powodzi jest różny w całej Polsce, przy czym regiony południowe doświadczają wcześniejszych powodzi, a regiony północne doświadczają powodzi późniejszych. Różnice te według Doktoranta są związane z fluktuacjami klimatu, takimi jak Oscylacja Północnoatlantycka (NAO), procesami topnienia śniegu i odmiennymi wzorcami opadów w północnej i południowej części Polski. Doktorant wykazał, że czas występowania powodzi i jej wielkość w północno-zachodniej części Polski silnie korelują z nadmiarem wilgotności gleby, podczas gdy opady i topnienie pokrywy śniegu wykazują umiarkowane lub słabe relacje. W północno-wschodniej części Polski, topnienie pokrywy śniegu ma najwyższą korelację z wielkością powodzi, co podkreśla jego kluczową rolę w kształtowaniu dynamiki powodzi w tym regionie. Opady mają znaczący wpływ na czas występowania powodzi i ich wielkość w regionie południowym.

Dominujące w Polsce mechanizmy generowania powodzi przedstawiono w analizie ważności względnej. Porównując dwa podokresy 1952–1985 i 1986–2020 wykryto zmiany w opadach, nadmiarze wilgotności gleby i topnieniu pokrywy śniegu. Uzyskane wyniki wskazują na wzrost intensywności opadów w rejonach górskich, natomiast zmiany nadmiaru wilgotności gleby i topnienia pokrywy śniegu wykazują w Polsce tendencje mieszane. W szczególności na północnym zachodzie i wschodzie obserwuje się tendencję wzrostową w zakresie nadmiernej wilgotności gleby, podczas gdy topnienie śniegu wykazuje tendencję spadkową na dużej części kraju.

Podsumowując, według przeprowadzanych przez Doktoranta analiz topnienie pokrywy śniegu jest identyfikowane jako główny mechanizm powstawania powodzi, szczególnie w regionach centralnych, co jest zgodne z ogólnoeuropejskimi badaniami nad mechanizmami powodziowymi. Znaczenie nadmiaru wilgoci w glebie jest duże na północy i zachodzie Polski, podczas gdy ekstremalne opady są szczególnie istotne w regionie południowym. Jest to zgodne z dotychczasowymi badaniami nad powodzią, które zidentyfikowały opady atmosferyczne jako kluczowy czynnik przyczynowy na południu Polski, gdzie przyczyną powodzi są przede wszystkim duże i długotrwałe opady deszczu.

Doktorant przeprowadził również analizę zlewni parowanych dla czterech par zlewni miejskich i niezurbanizowanych w celu sprawdzenia wpływu urbanizacji na powódzie w Polsce, wykorzystując w tym celu ciągi pomiarowe przepływów maksymalnych rocznych AMF i przepływów powyżej przyjętego progu POT. Niektóre pary wykazywały znaczące wzrosty wielkości powodzi, szczególnie w zlewniach miejskich. W analizie częstotliwości występowania powodzi tylko jedna para wykazała istotne różnice między zlewniami miejskimi i niezurbanizowanymi, podkreślając tym samym złożoność dynamiki powodzi i zróżnicowany wpływ nieprzepuszczalności w różnych regionach. Analiza rezydualna nie wykazała żadnych statystycznie istotnych tendencji wzrostowych dla większości zlewni miejskich.

Otrzymane przez Doktoranta wyniki badań potwierdzają złożoność i zmienność wzorców powodziowych w Polsce, podkreślając jednocześnie potrzebę dalszych badań w celu zrozumienia tendencji zmian mechanizmów i czynników powstawania powodzi.

Rozdział 5. Wnioski

W tym rozdziale Doktorant podsumował przeprowadzone i opisane w 3 artykułach badania. W konkluzjach Doktorat stwierdził:

1. Analizy pokazują przestrzenną zmienność wielkości powodzi w różnych regionach Polski, przy ogólnym wzroście wielkości powodzi w regionie południowym i tendencji spadkowej w regionie centralnym i północnym.
2. Stosunkowo niewielki jest odsetek stacji wodowskazowych o istotnych statystycznie zmianach badanych parametrów powodzi, z wyjątkiem wielkości powodzi obliczanej na podstawie przepływów maksymalnych rocznych AMF (ok. 60% stacji wodowskazowych wykazuje istotne zmiany dla lat 1956–2019).
3. Dowody na zmiany w częstotliwości występowania powodzi rzecznych okazały się niezadawalające. Wyraźny trend wcześniejszych wystąpień powodzi zaobserwowano w południowej Polsce, natomiast późniejszy w północno-wschodniej i północno-zachodniej Polsce.
4. Zmiany klimatyczne zauważalne są w dużej części północnej Polski w ostatnich dekadach (1986-2020), gdzie nadmiar wilgoci w glebie jest najważniejszym mechanizmem powodziowym, co można wytłumaczyć wzrostem temperatury i malejącą rolą procesów śniegowych.
5. Chociaż oczekuje się, że zwiększenie udziału obszarów nieprzepuszczalnych w zlewniach miejskich w naturalny sposób doprowadzi do zwiększenia wielkości i częstotliwości występowania powodzi to znalezienie na to twardego dowodu pozostaje wyzwaniem badawczym. Brak wyraźnego wpływu obszarów nieprzepuszczalnych na parametry powodzi w Polsce mogło być związane z małą próbą odpowiednich par zlewni wziętych do badań oraz ze stosunkowo niskim tempem wzrostu nieprzepuszczalności w porównaniu z innymi krajami.

W odniesieniu do metodyki badań Doktorant sformułował następujące wnioski:

1. W pracy przedstawiono postęp metodologiczny poprzez integrację wyników uzyskanych z modeli opisujących procesy przepływu rzecznoego z analizami statystycznymi parametrów powodzi w celu lepszego zrozumienia trendów i mechanizmów powodziowych.
2. Metodologia opracowana w pracy, składająca się z: i) wykrywania trendów powodziowych, ii) badania różnych czynników klimatycznych powodujących powódzie oraz

iii) analizy wpływu urbanizacji, ma zastosowanie w różnych skalach, od skali lokalnej do skali regionalnej i krajowej, co czyni ją ważną dla pogłębiania wiedzy o powodziach.

3. Istnieje możliwość zbadania nowych kierunków metodologicznych. Jednym z nich jest integracja technik uczenia maszynowego w celu identyfikacji złożonych wzorców w czynnikach powodziowych. Innym przykładem jest zaawansowane modelowanie hydrologiczne oparte na procesach w celu zbadania wpływu dynamicznych zmian użytkowania gruntów na występowanie nadmiaru wilgotności gruntu będącego przyczyną powstawania powodzi. Badania wykazały rosnące znaczenie tej relacji w całym kraju.

Na zakończenie tego rozdziału Doktorant stwierdził, że istnieje potrzeba dalszych badań w celu opracowania skuteczniejszych strategii zarządzania powodziowego, w szczególności konieczne są szeroko zakrojone badania nad dynamiką powodzi w Polsce, które mogą dostarczyć cennych informacji na temat złożoności wzorców powodziowych. Zrozumienie mechanizmów powodziowych, zarówno klimatycznych, jak i antropogenicznych stanowi podstawę dla świadomej strategii zarządzania ryzykiem powodziowym i rozwoju proaktywnych środków ochrony przeciwpowodziowej.

Rozdział 6. Literatura

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawił szeroką bibliografię dotyczące tematyki przeprowadzonych badań składającą się z 61 pozycji w większości z ostatnich 20 lat.

Rozdział 7. Inne osiągnięcia

W tym rozdziale Doktorant przedstawił 5 współautorskich artykułów z ostatnich czterech lat w tym 2 artykuły z 2024 roku będące aktualnie w recenzji. Trzy artykuły już opublikowane znajdują się w recenzowanych czasopismach posiadających IF (Progress in Physical Geography: Earth and Environment IF 3.9, Geoscience Data Journal IF 3.2 i Ecohydrology & Hydrobiology IF 2.6).

Ponadto przedstawiał listę 4 nagród i grantów otrzymanych w latach 2022-2023, listę konferencji, w których uczestniczył z prezentacją (5 w latach 2021-2023) i listę 4 projektów, w których brał udział związanych z tematyką rozprawy doktorskiej oraz listę 5 szkoleń i praktyk, które odbył w latach 2021-2023.

Rozdział 8. Artykuły

Rozdział 8 stanowią 3 aneksy z artykułami będącymi podstawą recenzowanej rozprawy doktorskiej, mianowicie:

1. Venegas-Cordero, N., Kundzewicz, Z. W., Jamro, S., & Piniewski, M. (2022). Detection of trends in observed river floods in Poland. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101098 (IF = 4.7). <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101098>
2. Venegas-Cordero, N., Cherrat, C., Kundzewicz, Z. W., Singh, J., and Piniewski, M. (2023). Model-based assessment of flood generation mechanisms over Poland: The roles of precipitation, snowmelt, and soil moisture excess. *Science of the Total Environment*, 891, 164626 (IF = 9.8). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164626>

3. Venegas-Cordero, N., Mediero, L., and Piniewski, M. (2024). Urbanization vs climate drivers: investigating changes in fluvial floods in Poland. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* (IF = 4.2). <https://doi.org/10.1007/s00477-024-02717-z>

W artykule nr 1 przeanalizowano trendy wybranych parametrów powodziowych, tj. wielkość, częstotliwość i czas występowania powodzi w Polsce. Badania zostały wykonane dla całego obszaru Polski na podstawie przekrojów pomiarowych zlokalizowanych w 12 głównych zlewniach. Analizie poddano dwa nierozłączne okresy pomiarowe 1956–2019 i 1981–2019. Pierwszy okres koncentrował się na analizie czasu występowania powodzi w 58 przekrojów pomiarowych, a drugi okres koncentrował się na analizie wielkości (zasięgu przestrzennym) powodzi i uwzględnił 146 przekrojów pomiarowych. Serie przepływów opracowane były z wykorzystaniem metody maksimum rocznych AMF (rocznego maksymalnego dobowego przepływu) oraz metody przewyższeń POT (przepływy powyżej przyjętego progu). Trendy poszczególnych parametrów obliczono za pomocą nieparametrycznego testu Manna-Kendalla i nachylenia Sena dla wielkości i czasu występowania powodzi, natomiast trend częstotliwości występowania powodzi był wykrywany za pomocą testu χ^2 na parametrycznej regresji Poissona. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że dla większości badanych zlewni, szczególnie w północno-wschodniej Polsce, występuje ogólna tendencja spadkowa wielkości powodzi. Dodatni trend zaobserwowano jedynie w części południowej Polski, szczególnie w dorzeczu Górnej Wisły. Nie wykryto znaczących istotnych trendów w częstotliwości występowania powodzi. Analiza trendów czasu występowania powodzi wykazała silny wzorec historycznych wystąpień powodzi w południowej części kraju w obu okresach oraz odwrotne zachowanie w regionach północno-wschodnich i północno-zachodnich.

W artykule nr 2 przeanalizowano zmienność procesów hydrometeorologicznych, takich jak ekstremalne opady, topnienie pokrywy śnieżnej czy nadmiar wilgoci w glebie, które prowadzą do występowania powodzi rzecznych jak przedstawiono to w artykule nr 1. W artykule wykorzystano zbiór danych obejmujący składowe bilansu wodnego z dziennym krokiem czasowym w zidentyfikowanych zlewniach w całej Polsce. Zestaw danych pochodził z wcześniej skalibrowanego i zweryfikowanego modelu SWAT (Soil & Water Assessment Tool) dla ponad 4000 zlewni. Dla potrzeb zidentyfikowania trendu i sezonowości rocznych maksymalnych powodzi zastosowano test Manna-Kendalla i podejście oparte na statystykach cyrkularnych, które dotyczyły różnych potencjalnych czynników powodziowych oraz dokonano oceny względnego znaczenia każdego z czynników. Obliczenia wykonano dla okresu obserwacyjnego 1952–2020 podzielonego na dwa rozłączne podokresy 1952–1985 i 1986–2020 w celu zbadania zmian w mechanizmie powodziowym w ostatnich dziesięcioleciach. Wykazano, że powódzie w północno-wschodniej Polsce zmniejszały się, podczas gdy na południu Polski zauważono dodatnią tendencję. Stwierdzono, że topnienie śniegu jest głównym czynnikiem powodującym powódzie w całym kraju, a następnie nadmiar wilgoci w glebie i opady. Opady atmosferyczne okazały się dominującym czynnikiem w stosunkowo małym, zdominowanym przez góry regionie na południu Polski. Natomiast nadmiar wilgoci w glebie miał znaczenie głównie w części północnej, co według autorów sugeruje, że na przestrzenny

mechanizm powstawania powodzi mają również inne cechy zlewni. W analizowanym drugim podokresie wpływ zmian klimatycznych odnotowano na dużej części północnej Polski, gdzie topnienie pokrywy śniegu ma mniejsze znaczenie niż nadmiar wilgoci w glebie, co autorzy tłumaczą ociepleniem i malejącą rolą procesów śniegowych.

W artykule nr 3 dokonano oceny zagrożenia powodziowego wynikającego z wzajemnego oddziaływania czynników klimatycznych i antropogenicznych, ze szczególnym uwzględnieniem urbanizacji, która zwiększa nieprzepuszczalność gruntu na obszarze zlewni. W badaniu wykorzystano podejście zlewni sparowanej do zbadania wpływu urbanizacji i czynników klimatycznych na powodzie rzeczne w Polsce. W tym celu wykorzystano wieloletnie (1952-2020) dane dobowych przepływów rzek z czterech wybranych zlewni miejskich i odpowiednich zlewni nieurbanizowanych, wraz z danymi o ekstremalnych opadach oraz dane dotyczące nadmiaru wilgotności gleby i topnienia pokrywy śnieżnej wygenerowane za pomocą modelu SWAT. Zmiany na obszarach nieprzepuszczalnych oceniono przy użyciu dwóch najnowszych produktów programu Copernicus (warstwy Global Human Settlement (GHS) za okres 1975-2020 oraz zbioru danych High Resolution Layer (HRL): Imperviousness Degree obejmującego lata 2006-2018), ujawniając spójną tendencję wzrostową w zakresie nieprzepuszczalności we wszystkich wybranych zlewniach miejskich. Zastosowano szereg metod statystycznych, aby oceniać zmiany w wielkości i częstotliwości występowania powodzi oraz czynników mających wpływ na ich występowanie, mianowicie test Pettitta, test Manna-Kendalla, test regresji Poissona, analizę korelacji wieloczasowej i wielokrotną regresję liniową.

Otrzymane wyniki testu Manna-Kendalla wykazały odmienne zachowanie się zlewni miejskich i nieurbanizowanych dla trzech z czterech analizowanych par zlewni. Częstotliwość występowania powodzi znacząco wzrosła tylko w jednej zlewni miejskiej. Wielokrotna analiza regresji wykazała, że zlewnie nieurbanizowane wyraźnie wykazywały silniejsze zależności między parametrami powodziowymi a zmianami klimatycznymi w porównaniu ze zlewniami miejskimi, chociaż wyniki analizy rezydualnej nie były statystycznie istotne. W podsumowaniu autorzy stwierdzili, że dowody na wpływ urbanizacji na powodzie okazały się umiarkowane. W artykule wykazano znaczenie oceny czynników klimatycznych i antropogenicznych przy analizie dynamiki powodzi odrzecznych w Polsce.

We wszystkich trzech artykułach Doktorant umieszczony jest na pozycji pierwszej na liście współautorów, a jego indywidualny wkład obejmował koncepcję badań, metodologię i wykonanie obliczeń, stworzenie oprogramowania, analizę formalną i walidację wyników, wizualizację wyników, napisanie oryginalnego tekstu artykułu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje i edycję artykułu.

Analiza krytyczna rozprawy doktorskiej

Uwagi ogólne

- Tytuł rozprawy jest adekwatny do treści pracy.
- Cele i hipotezy badawcze przedstawione w rozdziale 2 rozprawy sformułowane są poprawnie. Pozwala to na łatwe śledzenie ich realizacji w opublikowanych artykułach.

- Schemat pracy badawczej przedstawiony na rysunku 1 potwierdza, że artykuły składające się na recenzowaną rozprawę, tworzą logicznie uszeregowaną, merytorycznie spójną całość.
- Struktura pracy doktorskiej jest przejrzysta i prawidłowo skonstruowana poprzez kolejne rozdziały dotyczące celu badań, obszaru badań, wykorzystanych danych pomiarowych i użytych metod badawczych, dyskusji wyników badań, kończąc na sformułowaniu wniosków.
- Praca ma typowy format dla rozpraw doktorskich i chociaż podstawę rozprawy stanowi *de facto* zbiór 3 artykułów naukowych znajdujących się w załącznikach (1, 2 i 3), to w treści rozprawy Doktorant każdorazowo nawiązuje do konkretnych artykułów omawiając poszczególne zagadnienia badawcze.
- Praca napisana jest językiem jasnym i zrozumiałym.
- Umieszczenie rysunków w tekście wyraźnie ułatwia czytanie i śledzenie wyników pracy.
- Wykorzystane metody badawcze są użyte poprawie i adekwatnie do realizacji postawionych celów.
- Otrzymane wyniki badań prezentowane w rozdziale 4 są zgodne z doświadczeniami innych autorów w Polsce i Europie.
- Wnioski z przeprowadzonych badań i opisanych w poszczególnych artykułach jak również w samej rozprawie są sformułowane poprawnie.
- Konkluzje prezentowane w rozdziale 5 świadczą o świadomości Doktoranta, że nie wszystko udało się rozwiązać w pracy z punktu widzenia badawczego jak również metodologicznego co dobrze rokuje co do Jego dalszego naukowego rozwoju w przyszłości.

Uwagi szczegółowe

- Mimo, że w Rozdziale 1 Streszczenie, jak w całej pracy, Doktorant rozumie „termin *powódź* w kategoriach hydrologicznych, tj. jako roczny przepływ maksymalny (AMF) lub przepływ kulminacyjny powyżej progu (POT)” to jednak należy wyraźnie podkreślić, że powódź jest terminem ekonomicznym a nie hydrologicznym. Terminem hydrologicznym jest *wiezbranie*, które poprzez swoją wielkość (przepływ maksymalny, objętość, czas trwania) może spowodować powódź a więc wywołać określone straty ludzkie, społeczne czy ekonomiczne w wyniku opuszczenia przez wodę koryta rzeczno i zalania terenów przyrzecznych.
- W artykule nr 1 analizie poddano dwa nierozłączne okresy pomiarowe 1956–2019 i 1981–2019. Pierwszy okres koncentrował się na analizie czasu występowania powodzi w 58 przekrojów pomiarowych, a drugi okres koncentrował się na analizie wielkości (zasięgu przestrzennym) powodzi i uwzględniał 146 przekrojów pomiarowych. Czym Doktorant kierował się wybierając do analizy wielkości (zasięgu przestrzennego) powodzi podzbiór 1981-2019 będący *de facto* podzbiorem dłuższego zbioru danych z okresu 1956-2019, który był wykorzystany tylko do analizy czasu występowania powodzi. Czy nie można było wykonać analizy wszystkich parametrów mających wpływ na powstawanie powodzi dla całego długiego okresu pomiarowego co pozwoliłoby na pełniejszą ocenę ewentualnych trendów parametrów.
- W podrozdziale 3.2 Dane na stronie 15 Doktorant stwierdza: „Ponadto należy zauważyć, że zlewnie bliskie naturalnemu powinny mieć serie pomiarowe z minimalną długością 20

lat, a najlepiej takie, które są pierwotne lub mają stabilne warunki użytkowania gruntów”. Skąd wymóg 20 lat obserwacji, dlaczego nie 10 lub 30 lat. Czy istnieją w Polsce jeszcze zlewnie bez jakiegokolwiek wpływu człowieka na ich reżim hydrologiczny.

- Proszę o zdefiniowanie przyjętego progu w metodzie analizy przepływów POT (podrozdział 3.3 str. 19).
- Na stronie 19 podrozdziału 3.3 Metody, Doktorant stwierdza: „serie POT są często uważane za ulepszenie w stosunku do serii QMAX, ponieważ uwzględniają większą liczbę powodzi i dostarczają więcej informacji o ich wielkości, czasie występowania i częstotliwości.”. Czy rzeczywiście metoda selekcji przepływów maksymalnych POT jest ulepszeniem metody AMF czy tylko inną metodą do wyboru przepływów maksymalnych wziętych do obliczeń. Dlaczego Doktorant uważa, że metoda POT dostarcza **więcej informacji** o wielkości, czasie występowania i częstotliwości przepływów maksymalnych.
- Rys. 3 Szeregi czasowe POT str.19. Prośba o wyjaśnienie selekcji przepływ maksymalnych metodą POT. Wykres dotyczy przepływów dobowych z dłuższego okresu od 195x do 202x niż posiadany z okresu 1956-2020.
- Na stronie 19 Doktorat podaje „Trendy powodziowe oceniono pod kątem istotności przy użyciu poziomu istotności 10% (0,1), zgodnego z innymi badaniami trendów powodziowych”. Jakie są zasady przyjmowania poziomów istotności przy użyciu testów statystycznych.
- W podrozdziale 4.1 na stronie 22 Doktorant podaje „Analiza obejmowała dwa odrębne okresy, 1956-2019 i 1981-2019, aby zapewnić maksymalny zasięg czasowy i przestrzenny.”. Moim zdaniem okres 1981-2019 zawiera się w okresie 1956-2019. Trudno zatem mówić o odrębności obu okresów. Jak Doktorant chce zapewnić maksymalny zasięg przestrzenny podając wyłącznie lata przeprowadzenia pomiarów.

Podsumowanie oceny rozprawy

Doktorant w pełni zrealizował postawione sobie cele badawcze. Praca dowodzi umiejętności prowadzenia przez mgra Nelsona Vanegasa Cordero badań naukowych. Mimo, że prezentowane w rozprawie artykuły są współautorskie Doktorant wykazał, że większość pracy w przygotowaniu i przeprowadzeniu badań, opracowaniu wyników i opublikowaniu artykułów wykonał samodzielnie. W rozprawie doktorskiej Doktorant podał dowody na zmiany w charakterze powodzi odrzecznych w zlewniach zbliżonych do naturalnych w Polsce. W przeprowadzonych badaniach wykazał, że w zależności od analizowanego regionu Polski, opady atmosferyczne, występowanie pokrywy śnieżnej i jej topnienie czy nadmiar wilgoci w glebie w największym stopniu przyczyniają się do powstawania powodzi odrzecznych. Odnośnie do wpływu urbanizacji zlewni na powódzie odrzeczne w porównaniu z czynnikami klimatycznymi w Polsce, Doktorant wykazał, że dowody na wpływ urbanizacji na powódzie są umiarkowane, a jej wpływ ma raczej charakter lokalny. Doktorant w trakcie swojej pracy badawczej potwierdził główną hipotezę badawczą, że czynniki klimatyczne mają większy wpływ na aktualne trendy parametrów powodziowych rzek w Polsce niż czynniki antropogeniczne takie jak urbanizacja.

Ponadto Doktorant zaprezentował 3 współautorskie artykuły opublikowane w czasopiśmie posiadających IF z ostatnich czterech lat, które nie stanowiły podstawy recenzowanej rozprawy oraz 2 artykuły z 2024 roku będące aktualnie w recenzji. Wykazał również, że jego warsztat

badawczy poparty jest wiedzą i doświadczeniem zdobytym w trakcie konferencji, w których uczestniczył z prezentacją, szeregiem projektów, w których brał udział związanych z tematyką rozprawy doktorskiej oraz szkoleń i praktyk, które odbył w latach 2021-2023.

Wniosek końcowy

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska pt. „Detection of changes in river floods and flood generating mechanisms in Poland” spełnia warunki określone w art.187 Ustawy z dnia z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668) stawiane pracom doktorskim. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgra Nelsona Vanegasa Cordero do obrony publicznej recenzowanej rozprawy.

Bogdan Ozga-Zielinski