

SN.410.1.28.2026

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
Wpłynęło	
Data: 18.08.2026r.	
Nr dz.	Zm.

Dr hab. inż. Andrzej Wałęga, prof. URK

Kraków 10.08.2026 r.

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie
31-120 Kraków, Al. Mickiewicza 21
Tel. (012) 662-40-29, e-mail: andrzej.walega@urk.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr Geetika Chauhan

pt.: „Assessment of the impact of hydrotechnical structures on the periodicity and stationarity of maximum flows in Polish rivers”.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Z-ca Dyrektora ds. Naukowych Instytutu Geofizyki PAN – dr hab. Rafała Junosza-Szaniawskiego (pismo nr SN.410.1.24.2026 z dnia 24.06.2026 r.). Podstawę formalno-prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Geetika Chauhan na temat: „Assessment of the impact of hydrotechnical structures on the periodicity and stationarity of maximum flows in Polish rivers” stanowi Uchwała 2/296/2026 Rady Naukowej Instytutu Geofizyki PAN z dnia 18 czerwca 2026 r..

2. Ogólna charakterystyka i ocena formalna rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Geetiki Chauhan pt. *Assessment of the impact of hydrotechnical structures on the periodicity and stationarity of maximum flows in Polish rivers* została przygotowana w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, w Zakładzie Hydrologii i Hydrodynamiki, pod opieką naukową promotora dr hab. inż. Iwony Kuptel-Markiewicz.

Rozprawa liczy łącznie 176 stron wraz z załącznikiem, spisem literatury oraz wykazami rycin i tabel. Jej zasadnicza część została podzielona na siedem rozdziałów głównych wraz z licznymi podrozdziałami. Integralnym elementem pracy jest jeden obszerny załącznik – Appendix A – zajmujący strony 107–155. Zawiera on 48 dodatkowych rycin przedstawiających wyniki analizy falkowej dla poszczególnych stacji wodowskazowych, pogrupowanych zgodnie z wyodrębnionymi typami reżimu przepływu.

W głównej części rozprawy zamieszczono 15 rycin i 3 tabele. Łącznie z materiałem przedstawionym w załączniku praca zawiera zatem 63 ryciny. Materiał ilustracyjny jest obszerny i ma istotne znaczenie dla prezentacji przestrzennego zróżnicowania uzyskanych wyników, charakterystyki wydzielonych skupień stacji oraz interpretacji zmienności czasowej przepływów maksymalnych. Tabele zawierają charakterystykę danych hydrologicznych dla 140 analizowanych stacji oraz szczegółowe wyniki klasycznego i zindyfikowanego testu Manna-Kendalla.

Spis literatury, zajmujący strony 156–173, obejmuje 154 wyszczególnione pozycje bibliograficzne. Wśród wykorzystanych źródeł dominują aktualne publikacje naukowe w języku angielskim, uzupełnione polskojęzycznymi opracowaniami monograficznymi, raportami, materiałami instytucjonalnymi oraz źródłami internetowymi. Literatura obejmuje zagadnienia związane z reżimem hydrologicznym rzek, przekształcaniami cieków i oddziaływaniem budowli hydrotechnicznych, analizą trendów, stacjonarnością szeregów hydrologicznych, autokorelacją, analizą falkową oraz metodami grupowania danych. Dobór literatury należy uznać za szeroki i zasadniczo odpowiadający interdyscyplinarnemu zakresowi rozprawy.

Na początku pracy zamieszczono wykaz stosowanych symboli oraz osobny wykaz skrótów. Rozwiązanie to oceniam pozytywnie, ponieważ w rozprawie wykorzystano liczne oznaczenia matematyczne, miary statystyczne oraz skróty nazw metod. Ich wcześniejsze zestawienie ułatwia czytelnikowi analizę części metodycznej i interpretację wyników. Praca została również opatrzona streszczeniami w języku angielskim i polskim, przedstawiającymi problem badawczy, zakres wykorzystanych danych i metod, najważniejsze wyniki oraz znaczenie przeprowadzonych badań.

Układ rozprawy jest logiczny i odpowiada charakterowi pracy naukowo-badawczej. W rozdziale pierwszym przedstawiono wprowadzenie do problematyki stacjonarności przepływów rzecznych i reżimu hydrologicznego oraz sformułowano cel rozprawy. Rozdział drugi zawiera przegląd badań dotyczących reżimu przepływów oraz analiz trendów prowadzonych dotychczas w Polsce. W rozdziale trzecim scharakteryzowano obszar badań oraz wykorzystane dane, obejmujące serie przepływów maksymalnych pochodzące ze 140 stacji hydrologicznych zlokalizowanych na obszarze Polski.

Rozdział czwarty poświęcono metodyce badań. Opisano w nim podstawy ciągłej transformacji falkowej, metody grupowania stacji hydrologicznych, kryteria wewnętrznej walidacji skupień oraz klasyczny i zmodyfikowany test Manna-Kendalla. Rozdział piąty zawiera wyniki dotyczące wpływu budowli hydrotechnicznych na periodyczność przepływów rzecznych, identyfikacji typów reżimu przepływu oraz oceny stacjonarności rocznych przepływów maksymalnych. W rozdziale szóstym przeprowadzono dyskusję uzyskanych rezultatów, zarówno w odniesieniu do poszczególnych rzek, jak i w ujęciu ogólnokrajowym. Rozdział siódmy obejmuje wnioski końcowe, zestawienie głównych osiągnięć rozprawy oraz omówienie praktycznych implikacji przeprowadzonych badań.

Pracę kończą: załącznik zawierający szczegółowe wyniki analiz falkowych, spis wykorzystanej literatury oraz wykazy rycin i tabel. Przyjęta struktura umożliwia prześledzenie kolejnych etapów postępowania badawczego - od sformułowania problemu i przeglądu stanu wiedzy, poprzez opis danych i metod, aż do prezentacji wyników, ich dyskusji i sformułowania wniosków.

Pod względem formalnym rozprawa została przygotowana prawidłowo. Zawiera wszystkie podstawowe elementy wymagane w rozprawie doktorskiej, w tym jasno określony problem i cel badawczy, przegląd literatury, charakterystykę materiału badawczego, opis zastosowanych metod, prezentację i dyskusję wyników, wnioski końcowe, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis literatury oraz materiał załącznikowy. W mojej ocenie rozprawa doktorska Geetiki Chauhan spełnia wszystkie wymogi formalne stawiane pracom doktorskim.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Ocena istotności tematyki oraz celów, materiałów i metod

Sezonowość przepływów rzecznych jest jedną z podstawowych cech reżimu hydrologicznego rzeki. Określa ona powtarzalność zmian przepływu w cyklu rocznym, terminy występowania okresów wezbraniowych i niżówkowych, a także trwałość i regularność obserwowanego rytmu hydrologicznego. Rozpoznanie tych właściwości ma istotne znaczenie poznawcze, gdyż umożliwia identyfikację mechanizmów kształtujących odpływ, w tym udziału zasilania opadowego i roztopowego, retencji zlewniowej oraz wpływu cech fizycznogeograficznych zlewni. Jednocześnie analiza sezonowości i periodyczności przepływu ma duże znaczenie aplikacyjne. Informacje o terminach występowania przepływów wysokich i niskich są niezbędne w planowaniu gospodarki wodnej, bilansowaniu zasobów, ochronie przeciwpowodziowej, zaopatrzeniu ludności i przemysłu w wodę, produkcji energii oraz kształtowaniu warunków przepływu wymaganych dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów rzecznych.

Znajomość sezonowej struktury przepływu jest szczególnie istotna w przypadku planowania i eksploatacji obiektów hydrotechnicznych. Zbiorniki retencyjne, stopnie wołne, jazy, poldery oraz elektrownie wodne mogą zmieniać nie tylko wartości przepływów, lecz również czas wystąpienia i długość trwania określonych faz reżimu hydrologicznego. Retencjonowanie wody w okresach wysokich przepływów oraz jej uwalnianie w okresach niedoboru może prowadzić do zmniejszenia naturalnej amplitudy zmian sezonowych, przesunięcia terminów kulminacji, osłabienia wybranych składowych periodycznych albo pojawienia się nowych rytmów związanych ze sposobem eksploatacji obiektu. W przypadku kaskad zbiorników i obiektów wielofunkcyjnych wpływ ten może być widoczny na znacznej długości rzeki, a jego rozpoznanie powinno stanowić jeden z elementów przygotowania instrukcji gospodarowania wodą, planów zarządzania ryzykiem powodziowym oraz planów gospodarowania wodami w dorzeczu.

Znaczenie tego zagadnienia wzrasta w warunkach postępujących zmian klimatu. Zmiany temperatury powietrza, wielkości i struktury opadów, długości zalegania pokrywy śnieżnej oraz intensywności ewapotranspiracji mogą prowadzić do przesunięcia terminów wezbrań roztopowych i opadowych, zmiany udziału poszczególnych źródeł zasilania oraz zwiększenia częstości występowania zdarzeń ekstremalnych. Jednocześnie reżim hydrologiczny jest modyfikowany przez zmiany użytkowania terenu, rozwój zabudowy i infrastruktury komunikacyjnej, uszczelnianie powierzchni, melioracje, pobory wody, zrzuty ścieków oraz eksploatację górnictw. W rezultacie obserwowany przepływ jest efektem współdziałania czynników klimatycznych, fizycznogeograficznych i antropogenicznych. Przyjmowanie założenia, że charakterystyki przepływu pozostają niezmiennie w czasie, może zatem prowadzić do błędnych decyzji projektowych i eksploatacyjnych.

W tym kontekście podjęcie przez Doktorantkę badań nad wpływem budowli hydrotechnicznych na periodyczność i stacjonarność przepływów maksymalnych w polskich rzekach uważam za w pełni uzasadnione. Tematyka rozprawy jest aktualna zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Jej znaczenie wynika również z dużej liczby obiektów hydrotechnicznych funkcjonujących na polskich rzekach oraz potrzeby

modernizacji infrastruktury wodnej i dostosowania jej do zmieniających się warunków hydrologicznych. Dotychczasowe opracowania dotyczące reżimu rzek w Polsce koncentrowały się głównie na uwarunkowaniach klimatycznych i fizycznogeograficznych, natomiast wpływ budowli hydrotechnicznych na periodyczność przepływów, szczególnie analizowany w skali całego kraju, był rozpoznany w ograniczonym stopniu. Podobnie w analizach trendów przepływów maksymalnych stosunkowo rzadko uwzględniano wpływ autokorelacji na wynik testu statystycznego.

Głównym celem rozprawy była ocena, w skali całej Polski, wpływu budowli hydrotechnicznych na periodyczność oraz stacjonarność szeregów czasowych przepływów maksymalnych zarejestrowanych na 140 stacjach hydrologicznych. Cel ten został zrealizowany w ramach dwóch powiązanych ze sobą obszarów badawczych. Pierwszy obejmował analizę zmian periodyczności miesięcznych przepływów maksymalnych w skalach od trzymiesięcznej do międzyrocznej, natomiast drugi dotyczył oceny stacjonarności rocznych przepływów maksymalnych z uwzględnieniem autokorelacji występującej w szeregach czasowych.

Doktorantka sformułowała cztery pytania badawcze dotyczące wpływu budowli hydrotechnicznych na periodyczność przepływów poniżej tych obiektów, występowania regionalnych prawidłowości w periodyczności przepływów polskich rzek, obecności autokorelacji w szeregach rocznych przepływów maksymalnych i jej wpływu na identyfikację trendów oraz znaczenia budowli hydrotechnicznych dla kierunku i intensywności zmian przepływów maksymalnych. Pytania te są logicznie powiązane z celem rozprawy i wynikają z przeprowadzonego rozpoznania stanu wiedzy. Ich zaletą jest połączenie aspektu poznawczego, dotyczącego identyfikacji wzorców periodyczności, z aspektem metodycznym i aplikacyjnym związanym z oceną stacjonarności szeregów hydrologicznych.

Materiał badawczy obejmuje wieloletnie i ciągle szeregi przepływów pochodzące ze 140 stacji hydrologicznych rozmieszczonych na obszarze całej Polski. Długość analizowanych szeregów wynosi około 72–73 lat, co należy uznać za bardzo dobrą podstawę do badania periodyczności, autokorelacji i trendów. Rozmieszczenie stacji umożliwia uwzględnienie zróżnicowanych warunków fizycznogeograficznych - od zlewni górskich i wyżynnych po zlewnie nizinne oraz rzeki przymorza. Analizowane zlewnie różnią się pod względem klimatu, rzeźby terenu, budowy geologicznej, gęstości sieci rzecznej, użytkowania terenu oraz stopnia antropogenicznego przekształcenia. Tak szeroki zakres przestrzenny pozwolił Doktorantce na poszukiwanie prawidłowości regionalnych i porównanie wpływu budowli hydrotechnicznych w różnych warunkach środowiskowych.

Dobór 140 stacji oceniam pozytywnie również dlatego, że większość analizowanych przekrojów pozostaje pod wpływem budowli hydrotechnicznych o zróżnicowanej funkcji, wielkości i sposobie działania. Uwzględniono między innymi zbiorniki retencyjne i przeciwpowodziowe, stopnie wodne, jazy, elektrownie wodne oraz kaskady zbiorników. Jednocześnie w analizie znalazły się stacje reprezentujące przepływy relatywnie słabo przekształcone, co umożliwiło porównanie naturalnych i antropogenicznie zmodyfikowanych wzorców periodyczności. Należy jednak zauważyć, że przypisanie obserwowanych zmian wyłącznie oddziaływaniu budowli hydrotechnicznych jest trudne, ponieważ na reżim przepływu wpływają równocześnie czynniki klimatyczne, zmiany użytkowania terenu,

dopływy boczne, pobory wody, odwodnienia kopalń i zrzuty ścieków. Doktorantka dostrzega to ograniczenie i omawia je w części dyskusyjnej rozprawy.

Za szczególnie wartościowy element metodyki uważam zastosowanie ciągłej transformacji falkowej do analizy periodyczności miesięcznych przepływów maksymalnych. W odróżnieniu od klasycznej analizy Fouriera metoda falkowa pozwala nie tylko zidentyfikować składowe okresowe, ale także określić, w których częściach szeregu czasowego występowały one z największą intensywnością. Jest to ważne w przypadku szeregów hydrologicznych, które zazwyczaj nie są stacjonarne, a dominujące rytmy mogą zmieniać się w czasie. Doktorantka zastosowała falkę Morleta oraz analizowała skale odpowiadające periodyczności trzymiesięcznej, półrocznej, rocznej i międzyrocznej. Istotność uzyskanych widm mocy oceniono w odniesieniu do tła czerwonego szumu z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo, uwzględniając również ograniczenia wynikające ze stożka wpływu. Przyjęte rozwiązanie metodyczne należy uznać za nowoczesne i odpowiednie do postawionych celów.

W kolejnym etapie Doktorantka wykorzystała średnie widma mocy falkowej do grupowania stacji o podobnej strukturze periodyczności. Porównano trzy metody grupowania: k-średnich, samoorganizujące się mapy Kohonena oraz grupowanie hierarchiczne. Jakość uzyskanych podziałów oceniono za pomocą indeksu Dunna, indeksu connectivity i współczynnika silhouette. Ostatecznie wybrano grupowanie hierarchiczne i podział na cztery skupienia. Wybór liczby skupień zawsze zawiera element decyzji eksperckiej, zwłaszcza gdy poszczególne miary walidacyjne nie wskazują jednoznacznie tego samego rozwiązania. Doktorantka uzasadniła jednak przyjęcie czterech skupień potrzebą uzyskania większej jednorodności wewnętrznej grup oraz możliwością hydrologicznej interpretacji wyników. Uważam, że takie podejście jest akceptowalne, chociaż zagadnienie stabilności podziału może stanowić interesujący kierunek dalszych analiz.

Drugim ważnym komponentem metodycznym była analiza trendów rocznych przepływów maksymalnych. Doktorantka zastosowała klasyczny test Manna-Kendalla oraz zmodyfikowaną wersję tego testu, uwzględniającą wpływ autokorelacji na wariancję statystyki testowej. Takie postępowanie oceniam jako celowe, ponieważ nieuwzględnienie zależności szeregowej może prowadzić do niewłaściwej oceny istotności trendu. Porównanie wyników obu testów umożliwiło wykazanie, że uwzględnienie autokorelacji wpływa na klasyfikację części stacji jako charakteryzujących się trendem lub brakiem trendu. Interpretacja kierunku wpływu dodatniej i ujemnej autokorelacji na wariancję oraz ryzyko błędów statystycznych wymaga w kilku miejscach doprecyzowania, co wskazano w dalszej części recenzji, nie podważa to jednak zasadności zastosowania zmodyfikowanego testu Manna-Kendalla.

W wyniku analizy falkowej i grupowania Doktorantka wyodrębniła cztery typy reżimu przepływu, obejmujące odpowiednio 46, 36, 36 i 22 stacje. Wykazano, że stacje o podobnej strukturze periodyczności występują zarówno w zlewniach sąsiadujących, jak i znacznie oddalonych przestrzennie. Świadczy to o tym, że obserwowane rytmy hydrologiczne nie są determinowane wyłącznie przez położenie geograficzne i warunki klimatyczne, ale również przez sposób użytkowania zlewni i funkcjonowanie infrastruktury hydrotechnicznej.

Za jeden z ważniejszych wyników rozprawy uznaję stwierdzenie dominacji periodyczności rocznej przepływów maksymalnych na obszarze Polski oraz wykazanie, że wpływ budowy hydrotechnicznych jest zróżnicowany regionalnie. W rzekach górskich i wyższych regulacja

przepływu prowadziła zazwyczaj do osłabienia periodyczności rocznej i wzrostu znaczenia składowej trzymiesięcznej lub sezonowej. W rzekach nizinnych periodyczność roczna była na ogół zachowana, natomiast znaczenie krótszych skal czasowych było mniejsze. Doktorantka wiąże to między innymi z większą liczbą dopływów, zasilaniem pochodzącym z różnych części zlewni oraz udziałem źródeł antropogenicznych, takich jak odwodnienia kopalń, zrzuty oczyszczonych ścieków i wód technologicznych.

Interesującym wynikiem jest również wskazanie, że niskie obiekty piętrzące, w tym jazy, mogą wprowadzać dużą zmienność periodyczności, szczególnie w rzekach górskich i wyżynnych, utrudniając identyfikację jednego dominującego rytmu przepływu. Jednocześnie ten sam rodzaj obiektu może wywoływać odmienne skutki w zależności od położenia zlewni i warunków hydrologicznych. Doktorantka wykazała ponadto, że wpływ dużych zbiorników może być obserwowany w znacznej odległości w dół rzeki. Jako przykład podano oddziaływanie zbiornika Solina na periodyczność przepływów Sanu, widoczne na stacjach położonych nawet około 140 km poniżej zapory. Wynik ten ma istotne znaczenie praktyczne, ponieważ wskazuje, że ocena oddziaływania obiektu hydrotechnicznego nie powinna ograniczać się wyłącznie do bezpośredniego sąsiedztwa budowli.

Analiza stacjonarności wykazała występowanie autokorelacji pierwszego rzędu w szeregach rocznych przepływów maksymalnych na 94 spośród 140 stacji, natomiast na 46 stacjach szeregi uznano za niezależne. Po uwzględnieniu autokorelacji za pomocą zmodyfikowanego testu Manna-Kendalla zidentyfikowano 75 stacji z trendem malejącym, 3 stacje z trendem rosnącym oraz 62 stacje bez statystycznie istotnego trendu. Trendy malejące dominowały w środkowej i północnej Polsce, natomiast nieliczne trendy dodatnie występowały przede wszystkim w południowej części kraju, w tym w zlewniach górskich. Wyniki te są istotne w kontekście projektowania i modernizacji obiektów hydrotechnicznych, ponieważ wskazują, że założenie stacjonarności przepływów maksymalnych nie może być automatycznie przyjmowane dla wszystkich analizowanych przekrojów.

Za przejaw dojrzałości badawczej Doktorantki uważam przedstawienie ograniczeń przeprowadzonych analiz. Autorka wskazuje między innymi na brak szczegółowych danych dotyczących sposobu eksploatacji i godzin pracy poszczególnych obiektów, brak systematycznego porównania okresów przed ich wybudowaniem i po oddaniu do użytkowania oraz ograniczenie analizy do przekrojów wodowskazowych położonych powyżej i poniżej budowli. W rozprawie nie uwzględniono również pełnego wpływu zmian użytkowania terenu, urbanizacji, rolnictwa, poborów wody i innych presji antropogenicznych. Oznacza to, że wykazane związki między obecnością budowli hydrotechnicznych a periodycznością lub autokorelacją przepływów należy interpretować przede wszystkim jako zależności przestrzenne i funkcjonalne, a nie w każdym przypadku jako jednoznacznie dowiedziony związek przyczynowy. Nie umniejsza to wartości uzyskanych wyników, ale wyznacza właściwe granice ich interpretacji.

Istotną zaletą rozprawy jest połączenie dwóch zwykle analizowanych oddzielnie zagadnień: periodyczności przepływu oraz stacjonarności rocznych przepływów maksymalnych. Pozwoliło to przedstawić szerszy obraz współczesnego reżimu hydrologicznego polskich rzek poddanych presji infrastruktury hydrotechnicznej. Do najważniejszych osiągnięć rozprawy zaliczam zastosowanie transformacji falkowej do identyfikacji periodyczności przepływów w skali całej Polski, wydzielenie czterech typów reżimu na podstawie struktury widma

falkowego, rozpoznanie występowania autokorelacji w szeregach rocznych przepływów maksymalnych oraz przeprowadzenie ogólnokrajowej analizy trendów z uwzględnieniem tej autokorelacji.

Uzyskane wyniki mają również wyraźny wymiar aplikacyjny. Mogą być wykorzystane przy aktualizacji planów gospodarowania wodami, ocenie funkcjonowania istniejących zbiorników i stopni wodnych, modernizacji infrastruktury przeciwpowodziowej oraz planowaniu działań renaturyzacyjnych. Identyfikacja rzek o silnie zmienionej periodyczności może wspomagać wybór odcinków wymagających szczegółowej oceny, modyfikacji zasad gospodarowania wodą albo usunięcia nieużytkowanych barier. Wyniki mogą być także przydatne przy opracowaniu współczesnej mapy reżimów hydrologicznych Polski, uwzględniającej nie tylko warunki naturalne, lecz również wpływ infrastruktury i pozostałych presji antropogenicznych.

W moim odczuciu wnioski przedstawione w rozprawie odpowiadają postawionemu celowi i odnoszą się do sformułowanych pytań badawczych. Doktorantka wykazała umiejętność zebrania i opracowania obszernego materiału hydrologicznego, zastosowania zaawansowanych metod analizy szeregów czasowych oraz przestrzecznej interpretacji wyników. Przeprowadzone badania są dobrze udokumentowane, a ich wyniki zostały przedstawione za pomocą map, widm mocy falkowej, wykresów średniej mocy oraz tabel zawierających rezultaty testów statystycznych.

Biorąc powyższe pod uwagę, uważam, że podjęta przez Doktorantkę tematyka jest aktualna, ważna i potrzebna zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Cel rozprawy oraz pytania badawcze zostały sformułowane właściwie, a zgromadzony materiał jest obszerny i odpowiedni do realizacji przyjętych zamierzeń. Zastosowane metody są co do zasady prawidłowe i nowoczesne, natomiast uzyskane wyniki wnoszą istotny wkład w rozpoznanie współczesnych cech periodyczności i stacjonarności przepływów maksymalnych polskich rzek. Podczas analizy rozprawy nasuwają się pewne uwagi i pytania o charakterze metodycznym oraz interpretacyjnym, które przedstawiono w dalszej części recenzji. Nie podważają one jednak ogólnie pozytywnej oceny merytorycznej pracy

3.1. Ocena wartości naukowej i aplikacyjnej pracy

Analizując przedstawione w rozprawie doktorskiej zagadnienia, za oryginalne i najważniejsze osiągnięcia naukowe oraz aplikacyjne uznaję:

1. Przeprowadzenie pierwszej w skali całej Polski analizy periodyczności maksymalnych przepływów rzecznych z wykorzystaniem ciągłej transformacji falkowej.
2. Opracowanie klasyfikacji periodyczności przepływów maksymalnych polskich rzek i wydzielenie czterech charakterystycznych typów reżimu przepływu.
3. Wykazanie regionalnego zróżnicowania wpływu budowli hydrotechnicznych na periodyczność przepływów maksymalnych.
4. Wykazanie, że ten sam rodzaj budowli hydrotechnicznej może powodować odmienne zmiany reżimu przepływu w zależności od położenia i właściwości zlewni.

W mojej ocenie przedstawione wyniki wnoszą oryginalny wkład w rozwój hydrologii regionalnej, analizy szeregów czasowych oraz badań nad oddziaływaniem infrastruktury hydrotechnicznej na reżim rzeczny. Stanowią również wartościową podstawę dla dalszych

badan, obejmujacych zasady eksploatacji zbiornikow, analize okresow przed budowa i po budowie obiektow, zmiany uzytkowania terenu oraz wplyw zmian klimatu. Przeprowadzenie tak szerokiej swiadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Doktorantki, umiejetnosci wykorzystania zaawansowanych metod badawczych oraz zdolnosci do interpretowania wynikow zarowno w kontekście naukowym, jak i praktycznym.

4. Uwagi krytyczne

4.1. Uwagi ogólne

Podczas studiowania dysertacji dostrzeżono kilka nieścisłości, które z obowiązku recenzenta chciałbym przekazać Autorce:

1. **Podrozdział 1.3** W podrozdziale 1.3 warto odwołać się do pracy:

Kędra, M., Wiejaczka, Ł., & Wesoly, K. (2016). The role of reservoirs in shaping the dominant cyclicity and energy of mountain river flows. *River Research and Applications*, 32(4), 561–571. <https://doi.org/10.1002/rra.2880>

Autorzy przeanalizowali wpływ wybranych zbiorników karpackich, w tym zbiorników Dobczyce, Czorsztyn–Sromowce Wyżne i Besko, na dominującą cykliczność oraz energię dobowych przepływów rzecznych. Wykazali istotne zmiany dynamiki przepływów poniżej analizowanych obiektów. Publikacja ta jest bezpośrednio związana z tematyką rozprawy i powinna zostać uwzględniona w przeglądzie dotychczasowych badań.

2. **Podrozdział 2.1** W części poświęconej dotychczasowym badaniom nad reżimem hydrologicznym i jego klasyfikacją w Polsce warto uwzględnić także następujące publikacje:

- Jękiel, P., & Stanisławczyk, B. (2016). Zmiany i wieloletnia zmienność sezonowości przepływu wybranych rzek Polski. *Prace Geograficzne*, 144, 9–33. <https://doi.org/10.4467/20833113PG.16.001.5126>
- Stanisławczyk, B. (2017). Wieloletnia dynamika odpływów charakterystycznych z wybranych zlewni Polski w świetle zmian indeksu NAO. *Przegląd Geograficzny*, 89(3), 413–428. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2017.3.4>
- Jękiel, P., & Stanisławczyk, B. (2012). Roczne odpływy maksymalne i minimalne w dorzeczu Odry i Wisły w przekroju wieloletnim. *Czasopismo Geograficzne*, 83(3–4), 133–143.

Przywołanie tych prac pozwoliłoby pełniej przedstawić dotychczasowe badania dotyczące wieloletniej zmienności przepływów, ich sezonowości oraz zmian odpływów charakterystycznych w Polsce.

3. **Podrozdział 3.1** W charakterystyce obszaru badań brakuje informacji dotyczących budowy geologicznej, przepuszczalności podłoża oraz struktury użytkowania terenu.

4. **Podrozdział 3.2** – Brakuje dokładniejszego opisu procedury kontroli jakości danych. Nie wyjaśniono, w jaki sposób identyfikowano ewentualne braki, jak oceniano kompletność szeregów oraz czy stosowano procedury wykrywania wartości odstających lub niejednorodności danych. Nie ma potrzeby szczegółowego

opisywania całej sieci pomiarowej IMGW-PIB. Wystarczające byłoby podanie liczby stacji wykorzystanych w badaniu oraz dokładne przedstawienie kryteriów ich wyboru. Kryteria te są obecnie niejasne. Należy wskazać, czy o wyborze decydowały m.in. długość i kompletność szeregu, wspólny okres obserwacji, położenie stacji, wielkość zlewni lub obecność budowli hydrotechnicznych. Dodatkowego wyjaśnienia wymaga sposób uwzględniania różnych typów obiektów. Niektóre z nich, np. przepusty lub rampy, są obiektami zasadniczo niesterowalnymi, natomiast w przypadku zbiorników, elektrowni wodnych i części jazów reżim przepływu zależy od decyzji eksploatacyjnych i instrukcji gospodarowania wodą. Należy wyjaśnić, czy i w jaki sposób różnica ta została uwzględniona w klasyfikacji obiektów oraz interpretacji wyników.

5. **Podrozdział 4.1** Opis analizy falkowej wymaga doprecyzowania metodologicznego. Nie przedstawiono jednoznacznie sposobu normalizacji widnia mocy falkowej, co utrudnia ocenę porównywalności wyników między stacjami. W przedstawionej postaci wzór (2) nie został zapisany prawidłowo. Głównym problemem jest znak minus umieszczony pomiędzy symbolem Ψ^* a nawiasem zawierającym argument funkcji falkowej. Znak ten powinien być częścią argumentu funkcji, a nie operatorem występującym przed nawiasem.

Należy również dokładnie podać:

- liczbę przeprowadzonych symulacji Monte Carlo;
 - przyjęty poziom lub poziomy istotności.
6. **Podrozdział 4.1.1** Nie przedstawiono wystarczająco jasno, która metoda grupowania została ostatecznie wykorzystana w dalszych analizach. W części metodycznej opisano metodę k-średnich, samoorganizujące się mapy Kohonena oraz grupowanie hierarchiczne, jednak informacja o wyborze grupowania hierarchicznego pojawia się dopiero w rozdziale wynikowym. Już w metodyce należy jednoznacznie wskazać wybraną metodę oraz podać kryteria, które zdecydowały o jej zastosowaniu.
7. **Podrozdział 5.1.2** W celu pełniejszej weryfikacji czterech uzyskanych skupień należałoby zidentyfikować najważniejsze procesy i cechy zlewni odpowiedzialne za ich przypisanie do poszczególnych klastrów. Warto odpowiedzieć na pytanie, czy o uzyskanym podziale decydują przede wszystkim warunki klimatyczne, budowa geologiczna, morfologia terenu, użytkowanie ziemi, obecność i sposób funkcjonowania obiektów hydrotechnicznych, czy też inne uwarunkowania.

Sama klasyfikacja statystyczna nie jest wystarczająca. Uzyskane skupienia powinny zostać zinterpretowane również w kontekście procesów hydrologicznych oraz warunków fizycznogeograficznych. Warto ponadto porównać otrzymany podział z istniejącymi regionalizacjami, np. regionalizacją fizycznogeograficzną Solona i in. albo innymi klasyfikacjami stosowanymi w hydrologii Polski. Pozwoliłoby to wyjaśnić mechanizmy odpowiadające za grupowanie stacji oraz wzmocnić podstawy autorskiej klasyfikacji reżimów hydrologicznych opartej na periodyczności miesięcznych przepływów maksymalnych.

8. **Podrozdział 5.1.4a** Sam fakt, że stacja wodowskazowa znajduje się poniżej zbiornika, nie dowodzi, że obserwowane po 2001 r. zmniejszenie mocy falkowej wynika z jego

oddziaływania. Należy podać datę rozpoczęcia napełniania zbiornika, termin rozpoczęcia jego eksploatacji oraz najważniejsze zmiany sposobu gospodarowania wodą. Rozpoczęcie budowy w 1986 r. nie oznacza jeszcze wystąpienia hydrologicznego wpływu obiektu na przepływy. Dla potwierdzenia postulowanego związku należałoby przeprowadzić porównanie okresów przed uruchomieniem zbiornika i po jego uruchomieniu, ewentualnie z wykorzystaniem stacji kontrolnej lub analizy punktu zmiany.

11. **Podrozdział 5.1.4b** Lokalizacja zbiornika Kuźnica Warężyńska względem stacji Przeczyce oraz mechanizm jego potencjalnego oddziaływania wymagają weryfikacji i dokładnego wyjaśnienia. Należy sprawdzić, czy zbiornik rzeczywiście znajduje się powyżej analizowanego przekroju i czy istnieje bezpośrednie połączenie hydrologiczne umożliwiające wpływ na zarejestrowane przepływy. Istotne jest również to, że zbiornik powstał w 2005 r. w wyniku załania wyrobiska kopalni piasku, a nie bezpośredniego przegrodzenia ciek. Należy zatem wskazać, za pomocą jakiego mechanizmu miałby on modyfikować przepływy w przekroju Przeczyce. Jeżeli obiekt znajduje się poniżej stacji, jego bezpośredni wpływ na rejestrowane tam przepływy jest mało prawdopodobny.
12. **Podrozdział 5.1.4d** Wpływ jazu na miesięczne przepływy maksymalne wymaga dokładniejszego uzasadnienia. Jaz może zmieniać poziom wody, lokalne warunki hydrauliczne oraz relację stan-przepływ, ale nie musi powodować istotnej zmiany samych przepływów maksymalnych.
13. **Strona 69 i tabela 3** Dla stacji Żagań współczynnik korekcyjny wynosi 1,72, natomiast wariancja wzrasta z około 44 089 do 75 759. W tekście stwierdzono jednak:

“the variance correction factor reduced the variance... by 1.72 times”.

Stwierdzenie to jest niezgodne z wartościami przedstawionymi w tabeli. W rzeczywistości wariancja została zwiększona 1,72 raza, co doprowadziło do zmniejszenia bezwzględnej wartości statystyki Z. Analogiczna sytuacja występuje w przypadku stacji Niwka. Opis należy skorygować, a interpretację wpływu dodatniej i ujemnej autokorelacji na wariancję testu ponownie zweryfikować.

14. **Tabela 3** W tabeli przedstawiono statystykę Z, wartość oraz wariancję, ale nie podano informacji o wielkości obserwowanych zmian przepływu. Warto byłoby uzupełnić wyniki o:
 - nachylenie Sena, np. w $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
 - względną zmianę przepływu w procentach na dekadę;
 - przedział ufności dla oszacowanej wielkości trendu.

Pełne tabele wyników są bardzo obszerne i mogłyby zostać przeniesione do załącznika. W głównej części rozprawy wystarczyłaby tabela zbiorcza przedstawiająca liczbę i udział procentowy trendów malejących, rosnących oraz statystycznie nieistotnych według testów MK i MMKH.

15. **Strona 80** Należy doprecyzować mechanizm, za pomocą którego skanalizowanie lub uregulowanie ciek. miałoby prowadzić do zmiany sezonowości przepływu. Regulacja

koryta wpływa przede wszystkim na prędkość przepływu, warunki hydrauliczne, czas przejścia fali oraz możliwość retencji w dolinie rzecznej. Nie musi natomiast powodować zmiany sezonu występowania przepływów maksymalnych.

4.2. Uwagi szczegółowe

W pracy zauważono kilka nieprawidłowości redakcyjnych, z których najważniejsze to:

1. Należy uporządkować numerację rozdziałów i podrozdziałów. W szczególności brakuje podrozdziału 4.1.2, co zaburza ciągłość struktury pracy.
2. Na początku niektórych rozdziałów występują krótkie, jednozdaniowe fragmenty tekstu umieszczone pomiędzy tytułem rozdziału a pierwszym podrozdziałem. Warto je usunąć albo włączyć do treści odpowiedniego podrozdziału, ponieważ w obecnej formie tworzą niekorzystne edycyjnie „wiszące” akapity.

3. Należy dokładnie zweryfikować zgodność cytowań w tekście ze spisem literatury. Braki w uzgodnieniu następujących pozycji w bibliografii: 1. Perera et al. (2021) – cytowanie na s. 17., Sen (1968) – s. 42; Cassalho et al. (2019) – s. 46. Rao and Srinivas (2008) – s. 46. Wyżga (1999) – s. 73., Pastor et al. (2014) – s. 105., Jokiel (1997) – s. 23., Kaczmarek (2003) – s. 23., Schneider et al. (2013) – s. 98. Pozycje znajdujące się w bibliografii, ale bez odwołania w tekście: Alfieri, (2018), Coalition Clean Baltic (2021), Dukowska, M. (2003), Goswami, (2023), Hagedorn, B., (2021), Kędra, M. (2017), Kohonen, T. (1990)

Koutsoyiannis, D., & Montanari, A. (2015), Milly, P. C. D., et al. (2015), Mouchlianitis, F. A. (2024), Piniewski, M. (2016), Piasecka-Rodak, J., (2024), Szatten, D., (2025 i 2021), Walczykiewicz, T., & Żelazny, M. (2022), Whitfield, P. H., (2012)

Ponadto: Świtała et al. (2025) występuje w bibliografii dwukrotnie jako dokładnie ta sama publikacja. Torrence et al. (1998), str. 35, powinno być zapisane jako Torrence and Compo (1998).

Crane et al. (2003) powinno być zapisane jako Crane and Hewitson (2003).

W tekście występuje zapis Poff (1997), podczas gdy pozycja ma wielu autorów; zgodnie z przyjętym systemem powinno być Poff et al. (1997).

Proszę, aby Autorka pracy w trakcie obrony nie ustosunkowywała się do uwag szczegółowych. Omówione niedociągnięcia, drobne potknięcia edycyjne oraz uwagi dyskusyjne nie umniejszają jednak merytorycznej wartości pracy, którą oceniam bardzo wysoko. Uwzględnienie przez Doktorantkę wymienionych w niniejszej recenzji uwag pozwoli

na udoskonalenie warsztatu pisarskiego oraz pozwoli na uniknięcie różnych uchybień i niedociągnięć na etapie przygotowania publikacji, bądź referatów konferencyjnych.

Pomimo wymienionych uwag, uzyskane wyniki badań, ich opracowanie analityczne oraz wnioskowanie pozwalają na stwierdzenie, że Autorka zrealizowała postawiony w rozprawie cel naukowy, a użyta metodologia była właściwa i odpowiadała aktualnemu stanowi wiedzy naukowej i technicznej. Uzyskane w pracy rezultaty są bardzo ważne dla praktyki. Przedstawione w zakończeniu rozprawy wnioski dają odpowiedź na postawioną tezę badawczą oraz cel pracy. Oceniana praca posiada duże walory naukowe.

5. Ocena końcowa

Recenzowana rozprawa doktorska Geetiki Chauhan pt. *„Assessment of the impact of hydrotechnical structures on the periodicity and stationarity of maximum flows in Polish rivers”* dotyczy aktualnego i istotnego problemu wpływu obiektów hydrotechnicznych na okresowość oraz stacjonarność przepływów maksymalnych rzek Polski. Na szczególne podkreślenie zasługuje przeprowadzenie badań w skali całego kraju, a także połączenie ciągłej transformacji falkowej, metod grupowania zlewni oraz testów Manna-Kendalla i zmodyfikowanego testu Manna-Kendalla. Takie podejście pozwoliło Doktorantce rozpoznać regionalne zróżnicowanie okresowości przepływów maksymalnych, określić znaczenie autokorelacji w analizie trendów oraz ocenić możliwy wpływ różnych obiektów hydrotechnicznych na reżim przepływów rzecznych.

Rozprawa stanowi oryginalne opracowanie naukowe, posiadające istotną wartość poznawczą oraz potencjalnie duże znaczenie aplikacyjne. Uzyskane wyniki mogą znaleźć zastosowanie w planowaniu i prowadzeniu gospodarki wodnej, sterowaniu obiektami hydrotechnicznymi, ocenie zagrożenia powodziowego oraz prognozowaniu zmian reżimu hydrologicznego rzek. Sformułowane w recenzji uwagi krytyczne mają głównie charakter metodologiczny, interpretacyjny i redakcyjny. Nie podważają one zasadniczych wyników badań ani ogólnej wartości naukowej rozprawy.

Pani mgr Geetika Chauhan wykazała się odpowiednią ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku, znajomością współczesnych metod analizy hydrologicznych szeregów czasowych oraz umiejętnością samodzielnego planowania, prowadzenia i interpretowania badań naukowych. Przyjęte cele zostały osiągnięte, a postawione pytania badawcze znalazły odpowiedź w wynikach przeprowadzonych analiz.

Biorąc pod uwagę walory naukowe, poznawcze i aplikacyjne rozprawy, stwierdzam, że praca doktorska mgr Geetiki Chauhan pt. *„Assessment of the impact of hydrotechnical structures on the periodicity and stationarity of maximum flows in Polish rivers”* spełnia wymagania określone w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). Przedstawia ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki, potwierdza jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie Pani mgr Geetiki Chauhan do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

