

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. Maksymiliana Fuksia

pt. „Czasowo-przestrzenna zmienność występowania pokrywy lodowej na rzekach karpackich w XX i XXI wieku”

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego Polskiej Akademii Nauk, Pana prof. dr hab. Michała Słowińskiego nr RN.5300.1.2025 z dnia 13.10.2025 roku.

1. Wstęp

Jednym ze skutków ocieplenia klimatu jest wyraźny spadek czasu występowania i grubości lodu rzeczno-jeziornego w strefie umiarkowanej i okołobiegunowej. Skutkuje to zmianami w zakresie reżimu rzek, w tym funkcjonowaniu ekosystemów rzecznych, a także gospodarki wodnej. Zmienia się dynamika odpływu i przebieg procesów morfogenetycznych, zmianom ulegają właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne rzek łącznie z powstawaniem nowych siedlisk bądź ich redukcją. Zmienia się także oddziaływanie lodu rzeczno-jeziornego na budowle hydrotechniczne i transport rzeczny. Z drugiej strony, budowle hydrotechniczne w znacznym stopniu modyfikują przebieg zjawisk lodowych. Jednak zakres tego rodzaju modyfikacji jest słabo rozpoznany, zwłaszcza w przypadku zbiorników zaporowych. Dodatkowo, zmiany spowodowane funkcjonowaniem zbiorników zaporowych nakładają się na zmiany wynikające z ocieplenia klimatu. Powstaje więc wyjątkowo złożony zespół czynników naturalnych i antropogenicznych bezpośrednio oddziałujących na jeden z najważniejszych elementów reżimu rzek i ekosystemów rzecznych. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska w pełni wpisuje się w aktualne problemy hydrologii i gospodarki wodnej, a prezentowane w niej wyniki badań i propozycje, zwłaszcza metodyczne, są istotne nie tylko dla nauk o Ziemi, ale także mogą znaleźć zastosowanie praktyczne w gospodarce wodnej. Stąd też wybór tematu rozprawy uważam jako trafny, a także interesujący i przydatny ze względów naukowych i praktycznych.

2. Ocena przygotowania rozprawy doktorskiej w formie zbioru publikacji

Rozprawa doktorska została przygotowana zgodnie z art. 187, punkty 1-4 Ustawy z dnia 20.07.2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w formie zbioru (pięciu) opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych w języku angielskim i starannie opracowanego „*Wprowadzenia do zbioru artykułów*”. Artykuły te posiadają numer DOI, IF pierwszego z nich (Aquatic Sciences) wynosi 1,8, drugiego (Hydrology and Earth System Sciences) 5,8, trzeciego (The Cryosphere) 4,2 i kolejnych (Stochastic Environmental Research and Risk Assessment oraz Qestiones Geographicae odpowiednio 3,6 i 0,8. Dane w nich zaprezentowane są w pełni oryginalne. Dwie z wymienionych publikacji zostały przygotowane wyłącznie przez Doktoranta, w dwóch pozostałych Doktorant jest pierwszym i jednym z dwóch autorów, a w jednym przypadku Doktorant jest pierwszym spośród trzech autorów. Udział Doktoranta w przygotowaniu artykułów we współautorstwie jest wysoki, prawidłowo udokumentowany w formie „*Oświadczeń współautorów publikacji*” i wynosi od 65 do 90%. Ponadto, w artykułach współautorskich znajdują się „*author contributions*” wskazujące w sposób precyzyjny wkład Doktoranta i współautora lub współautorów w ich przygotowanie.

W związku z powyższym stwierdzam, że wiodąca rola Doktoranta podczas realizacji badań stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej oraz podczas powstawania artykułów naukowych została udokumentowana w sposób w pełni właściwy i przekonujący.

3. Struktura rozprawy doktorskiej i ocena merytoryczna

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

1. Fukś, M., Changes in river ice cover in the context of climate change and dam impacts: a review, *Aquatic Sciences*, 85(113), 1–23, <https://doi.org/10.1007/s00027-023-01011-4>, 2023. IF: 1,8, punktacja MNiSW 100 pkt.

2. Fukś, M. i Wiejaczka, Ł., Temporal and spatial variability of ice cover occurrence on Carpathian rivers: a regional perspective, *Hydrology and Earth System Sciences*, 29(13), <https://doi.org/10.5194/hess-2024-368>, 2025. IF: 5,8, punktacja MNiSW 140 pkt.

3. Fukś, M., Assessment of the impact of dam reservoirs on river ice cover – an example from the Carpathians (central Europe), *The Cryosphere*, 18(5), 2509–2529, <https://doi.org/10.5194/tc-18-2509-2024>, 2024. IF: 4,2, punktacja MNiSW 140 pkt.

4. Fukś, M., Kędra, M. i Wiejaczka, Ł., Assessing the impact of climate change and

reservoir operation on the thermal and ice regime of mountain rivers using the XGBoost model and wavelet analysis, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 38, 4275–4294, <https://doi.org/10.1007/s00477-024-02803-2>, 2024. IF: 3,6, punktacja MNiSW 100 pkt.

5. Fukś, M., i Wiejaczka, Ł., Climatic determinants of changes in the ice regime of Carpathian rivers, *Quaestiones Geographicae*, 44(1), 131–143, <https://doi.org/10.14746/quageo-2025-0009>, 2025. IF: 0,8, punktacja MNiSW 100 pkt.

oraz z „Wprowadzenia do zbioru artykułów” wymienionych powyżej i tematyki rozprawy doktorskiej.

3.1. Artykuły naukowe

W pierwszym artykule pt. “*Changes in river ice cover in the context of climate change and dam impacts: a review*” przedstawiono przegląd badań dotyczących wpływu zmian klimatu i funkcjonowania zbiorników zaporowych na występowanie pokrywy lodowej na rzekach. Stwierdzono m.in.:

- późniejsze powstawanie pokrywy lodowej na rzekach w XX i XXI wieku od kilku do kilkunastu dni i wcześniejszy rozpad lodu;
- skrócenie czasu jej występowania o kilka dni na dekadę oraz zmniejszenie jej grubości;
- istotne oddziaływanie zbiorników na występowanie pokrywy lodowej, zwłaszcza w środkowej części Ameryki Północnej, Europy i Azji Wschodniej.

Artykuł ten stanowi bardzo dobrą część wstępną do dalszych badań i analiz prowadzonych przez Doktoranta.

Artykuł drugi “*Temporal and spatial variability of ice cover occurrence on Carpathian rivers: a regional perspective*” stanowi uszczegółowienie badań i analiz w skali regionalnej tj. polskiej części Karpat Zachodnich. Podobnie jak w wielu innych regionach świata stwierdzono spadek częstości występowania pokrywy lodowej przy przewadze trendów nieistotnych statystycznie w latach 1950-2020, a istotnych w krótszych okresach czasu. Spośród wielu wniosków na uwagę zasługuje m.in. udokumentowanie spadku liczby dni z temperaturą powietrza poniżej 0°C (-3,9 dnia/dekadę) oraz wzrostu sezonowej sumy stopniodni z ujemnymi temperaturami powietrza (o 25,8 °C na dekadę).

W artykule trzecim “*Assessment of the impact of dam reservoirs on river ice cover – an example from the Carpathians (central Europe)*” przedstawiono metodę szacowania wpływu zbiorników zaporowych na pokrywę lodową rzek w oparciu o dane pomiarowe z przekrojów wodowskazowych oraz modelu regresji, a także na podstawie danych SAR uzyskanych przez

Sentinel-1. Wykazano m.in., że zbiorniki zaporowe mają bezpośredni wpływ na systemy rzeczne i w skali lokalnej zmieniają reżim lodowy rzeki szybciej niż ocieplenie klimatu (26-60 km poniżej zapory zależnie od uwarunkowań naturalnych i antropogenicznych).

W kolejnym artykule „*Assessing the impact of climate change and reservoir operation on the thermal and ice regime of mountain rivers using the XGBoost model and wavelet analysis*” przedstawiono szereg charakterystyk, głównie statystycznych, dotyczących wpływu warunków klimatycznych i antropogenicznych (głównie zbiorników zaporowych) na reżim termiczno-lodowy rzek karpackich z zastosowaniem modelu XGBoost.

W ostatnim, piątym artykule „*Climatic determinants of changes in the ice regime of Carpathian Rivers*” podjęto udaną próbę określenia wzajemnych powiązań między temperaturą powietrza i wody, przepływem rzeki oraz występowaniem pokrywy lodowej w rzekach górskich. Wykazano m.in. spadek częstości występowania pokrywy lodowej o 7,25 dnia na dekadę (z największymi zmianami w listopadzie i lutym), zależność spadku częstości występowania pokrywy lodowej w listopadzie i na początku zimy od wzrostu temperatury wody (średnio o $0,85^{\circ}\text{C}$ na dekadę) oraz od wzrostu przepływu w rzekach w środku okresu zimowego (średnio o $1,1 \text{ m}^3$ na dekadę w lutym). Stwierdzono także, że wzrosty temperatury wody i przepływu w okresie zimowym wynikają z wyższych temperatur powietrza (średnio $0,47^{\circ}\text{C}$ na dekadę w okresie zimowym). Wydaje się, że uzasadnienie wzrostu przepływu w rzekach wyższą temperaturą powietrza jest zbyt dużym skrótem myślowym i wymaga wyjaśnienia.

Po zapoznaniu się artykułami wchodzącymi w skład pracy doktorskiej mgr. Maksymiliana Fuksia stwierdzam, że są one silnie powiązane ze sobą tematycznie, zostały opracowane i opublikowane w poprawnej kolejności, a zaprezentowane w nich wyniki badań znacznie rozszerzają wiedzę na temat reżimu lodowego rzek karpackich.

3.2. Wprowadzenie do zbioru artykułów

„*Wprowadzenie do zbioru artykułów*” i jednocześnie do tematyki rozprawy doktorskiej obejmuje 40 stron przygotowanych w języku polskim. Składa się z 7 części, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz dodatkowo ze spisu literatury i oświadczeń o wkładzie autorów w poszczególne publikacje. Zawiera także informację o finansowaniu badań w ramach projektu NCN nr 2020/39/O/ST10/00652.

W części pierwszej przedstawiono zarys problemu badawczego, w tym m.in.: rodzajów lodu rzeczno, wpływu pokrywy lodowej na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne

rzek, przebieg procesów morfogenetycznych, wpływu lodu na dynamikę przepływu, faunę i florę, a także na gospodarowanie wodą i zagrożenia związane ze zjawiskami lodowymi. Szczególną uwagę zwrócono na oddziaływanie zbiorników zaporowych na zjawiska lodowe oraz zakłócanie ich przebiegu poniżej zapór. Przedstawiono zarówno znane jak i mniej rozpoznane aspekty wpływu zbiorników zaporowych na reżim lodowy rzek, szczególnie w przypadku obszarów górskich. Stwierdzono, że oddziaływanie zbiorników zaporowych na zjawiska lodowe rzek stwarza problemy w interpretacji wyników analiz występowania trendów w seriach czasowych parametrów takich jak roczna długość trwania oraz daty formowania i rozpadu pokrywy lodowej.

Jako główny cel badań wskazano analizę czasowej i przestrzennej zmienności występowania pokrywy lodowej w XX i XXI wieku na rzekach polskich Karpat, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu uwarunkowań klimatycznych i funkcjonowania zbiorników zaporowych. Hipoteza badawcza sformułowana przez Doktoranta jest prawidłowa, chociaż zbyt długa i brzmi następująco: *„od drugiej połowy XX wieku, na obszarze polskiej części Karpat następował spadek częstości i zasięgu występowania pokrywy lodowej, który w głównej mierze wynika ze zmian uwarunkowań klimatycznych. Efekt ten lokalnie nasilany był przez funkcjonowanie zbiorników zaporowych, poniżej których zanik pokrywy lodowej następował znacznie szybciej niż na odcinkach rzek pozbawionych wpływu zbiorników”*.

W kolejnej części omówiono charakterystykę obszaru badań oraz stan wiedzy na temat lodu rzecznego. Zdaniem recenzenta byłoby lepiej, gdyby stan wiedzy został omówiony osobno, gdyż jest to ważna część każdej rozprawy doktorskiej. Doktorant słusznie przypomniał, że Karpaty charakteryzują się największą w Polsce dynamiką procesów hydrologicznych oraz najwyższymi wartościami odpływu. Ważne są stwierdzenia przypominające o różnorodnym wpływie zbiorników zaporowych na reżim rzek i morfologię ich koryt. Przegląd literatury na temat zjawisk lodowych rzek karpaccich został opracowany w sposób szczegółowy i obejmuje okres ponad 150 lat. Spośród licznych publikacji szczególną uwagę zwrócono na opracowania dotyczące modyfikowania przebiegu reżimu termicznego i lodowego przez zbiorniki zaporowe (Cyberska 1972, Wiejaczka 2009 i Szczerbińska 2023).

W dalszej części omówiono dane i metody stosowane w badaniach. Oprócz danych hydrologicznych i meteorologicznych dostępnych w literaturze i bazach danych IMGW-PIB, uzyskano dane dotyczące zbiorników zaporowych z bazy GeoDAR, a także przeprowadzono własne, testowe badania terenowe elementów reżimu termiczno-lodowego kilku rzek karpaccich. Jest to ciekawy, a jednocześnie przydatny sposób bezpośredniego zapoznania się

z problematyką badawczą w terenie, raczej rzadko stosowany przez autorów zajmujących się podobnymi zagadnieniami.

Doktorant zastosował różnorodne metody badawcze zależnie od oczekiwanego wyniku prowadzonej analizy w tym m.in.:

- estymator Theila–Sena (Theil, 1950; Sen, 1968) oraz regresję liniową – w celu zbadania zmienności w seriach czasowych i obecności trendów;
- nieparametryczny test Manna–Kendalla oraz test t Studenta – do sprawdzenia istotności statystycznej zmian;
- test Pettitta - w celu identyfikacji potencjalnych punktów zmiany w szeregach czasowych;
- test U Manna–Whitneya – do oceny istotności statystycznej;
- model Extreme Gradient Boosting (XGBoost) – umożliwiający rozwiązywanie problemów regresyjnych i klasyfikacyjnych.

Ponadto do wizualizacji serii czasowych zastosowano metodę „moving average and running trend analysis” (MARTA, Ranzi i in., 2021), a do badań wpływu funkcjonowania zbiorników zaporowych na występowanie pokrywy lodowej w rzekach zastosowano modele uczenia maszynowego. Do określenia zasięgu wpływu zbiorników zaporowych na pokrywę lodową użyto zobrazowania radarowe z satelity Sentinel-1 oraz optyczne z Sentinel-2. Większość obliczeń przeprowadzono korzystając z języka programowania Python oraz specjalistycznych bibliotek do uczenia maszynowego (scikit-learn, xgboost package for Python) oraz obliczeń naukowych i statystycznych (SciPy, Statmodels).

Stwierdzam, że Doktorant zastosował szeroki zestaw metod badawczych, głównie statystycznych. Umożliwiło to otrzymanie bogatego i szczegółowego zestawu wyników badań stanowiących dobrą podstawę do ich wizualizacji oraz wielowątkowych dyskusji prowadzonych w opublikowanych artykułach naukowych, często z nowatorskimi wątkami. Ponadto, w końcowej części Podsumowania i wniosków zamieszczono szereg bardzo istotnych propozycji i uwag dotyczących metodologii badań zjawisk lodowych. Przyczynią się one z pewnością do rozwoju tego rodzaju badań, zwłaszcza w zakresie wpływu zbiorników zaporowych na lód rzeczny.

W rozdziale 5. „Wprowadzenia” przedstawiono zarys treści pięciu publikacji, a w rozdziale 6. wyniki badań i przyszłe kierunki badawcze. Do wyników badań nawiązano także w Podsumowaniu i wnioskach. Zdaniem recenzenta, największe osiągnięcia naukowe Doktoranta polegają na:

- precyzyjnym udokumentowaniu wielu charakterystyk reżimu lodowego rzek na obszarze polskich Karpat i ich zmian w okresie 1950-2020;

- wykazaniu przestrzennego zróżnicowania występowania pokrywy lodowej w polskich Karpatach, a także przerw w jej występowaniu będących skutkiem funkcjonowania zbiorników zaporowych;
- wykazaniu zmian reżimu lodowego rzek karpackich spowodowanych oddziaływaniem zbiorników zaporowych, w tym m.in.: szybszego spadku częstości występowania pokrywy lodowej w porównaniu do odcinków rzek bez tego oddziaływania, a także silnego zróżnicowania zasięgu oddziaływania zbiorników w zależności od uwarunkowań antropogenicznych i naturalnych.

Reasumując, wartość merytoryczną recenzowanej rozprawy doktorskiej oceniam wysoko. Wyniki badań zaprezentowane w pięciu tematycznie powiązanych ze sobą artykułach naukowych potwierdzają dobrze udokumentowany i bogaty wkład Doktoranta w rozwój badań dotyczących lodu rzeczno-jeziornego. Wyniki te, a także przedstawione w artykułach metody badań, zostały w sposób precyzyjny połączone w całość w „*Wprowadzeniu do zbioru artykułów*”. Zawiera ono także dodatkowe elementy, w tym starannie przeprowadzoną dyskusję z uwzględnieniem całości zebranego materiału badawczego. Stanowi ona potwierdzenie wysokiej wiedzy Doktoranta w zakresie występowania lodu rzeczno-jeziornego w rzekach górskich z zabudową hydrotechniczną oraz zastosowania licznych, w wielu przypadkach zaawansowanych metod statystycznych, a także modelowania, analizowania wyników badań oraz prawidłowego wnioskowania.

4. Uwagi dyskusyjne

Mimo bardzo dobrze opanowanego warsztatu badawczego oraz precyzyjnego przedstawienia wyników badań naukowych, w pracy doktorskiej mgr. Maksymiliana Fuksia znajduje się kilka elementów wymagających uściślenia bądź wyjaśnienia.

Dyskusyjne wydaje się stosowanie określenia „złodzenie” rzek, gdyż nie wiadomo, czy odnosi się ono do pokrywy lodowej czy także do innych zjawisk lodowych. Dlatego też bardziej właściwe są określenia „pokrywa lodowa”, „zjawiska lodowe”, „reżim lodowy” itp.

Na str. 16 „*Wprowadzenia do zbioru artykułów*” (w. 8 i 6 od dołu) podane wartości $8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ oraz $5,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ dotyczą chyba odpływu jednostkowego a nie odpływu całkowitego?

W dyskusjach dotyczących spadku częstości występowania pokrywy lodowej, zwłaszcza poniżej zbiorników zaporowych, nie rozpatrywano wpływu prędkości przepływu wody. Prędkość ta zapewne zmienia się poniżej zapory i byłoby interesujące, aby także ten

aspekt został przynajmniej częściowo wyjaśniony w ramach tak szczegółowych badań, lub dołączony do wniosków dotyczących metodologii badań zjawisk lodowych rzek zamieszczonych na końcu „*Wprowadzenia do zbioru artykułów*”.

Pomimo wskazania lat 1950-2020 jako okresu badań, w niektórych publikacjach analizowano występowanie pokrywy lodowej w znacznie krótszych okresach, np. 1980-2020. Z jakich powodów brano niekiedy pod uwagę krótsze okresy czasu i czy uzyskane wyniki badań są porównywalne z wynikami z dłuższych okresów?

Zdaniem Doktoranta, dane dotyczące występowania pokrywy lodowej (oraz innych zjawisk lodowych) udostępniane przez IMGW–PIB charakteryzują się stosunkowo dużą niepewnością ze względu na brak szczegółowych informacji o dokładnych datach prowadzenia obserwacji (datach pracy obserwatorów, str. 40, pkt. 6 „*Wprowadzenia do zbioru artykułów*”). Stwierdzenie to wymaga omówienia, gdyż jest istotne z metodycznego punktu widzenia, a nie wydaje się precyzyjne.

W pracy doktorskiej zabrakło chociaż ogólnego porównania wyników uzyskanych dla rzek karpackich z wcześniej opublikowanymi wynikami dotyczącymi podobnych zagadnień dla innych, wyżynnych czy nizinnych dopływów Wisły. Umożliwiłoby to wykazanie ewentualnych różnic bądź podobieństw stwierdzonych zmian w występowaniu pokrywy lodowej w rzekach karpackich w porównaniu do innych rzek w dorzeczu Wisły lub Odry. Pomocny byłby w tym zakresie np. rozdział z podręcznika *Hydrologia Polski* z 2017 roku (pod red. P. Jokiela i in.) pt. „Zjawiska lodowe w rzekach Polski” autorstwa B. Pawłowskiego i in.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje w sposób bardzo dobry ogólną wiedzę mgr. Maksymiliana Fuksia w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku w zakresie hydrologii, klimatologii i gospodarki wodnej. Technika pisania rozprawy nie budzi zastrzeżeń. Doktorant wykazał się wysoką umiejętnością prowadzenia pracy naukowej, potwierdzoną wartościowymi wynikami badań omówionymi w niniejszej recenzji. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego polegające na przeprowadzeniu precyzyjnej analizy czasowej i przestrzennej zmienności występowania pokrywy lodowej na rzekach polskich Karpat, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu uwarunkowań klimatycznych i funkcjonowania zbiorników zaporowych. Ponadto Doktorant znacznie rozszerzył i unowocześnił metodologię badań zjawisk lodowych rzek o liczne, przydatne narzędzia. Pozwalają one określić w sposób ilościowy wpływ funkcjonowania zbiorników zaporowych na

występowanie pokrywy lodowej rzek oraz temperaturę wody, poprzez zastosowanie m.in. metody uczenia maszynowego, metody wizualizacji szeregów czasowych, testów statystycznych i modeli. Dzięki temu sprawdzanie hipotezy badawczej zakończyło się pełnym sukcesem.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. Maksymiliana Fuksia pt. „Czasowo-przestrzenna zmienność występowania pokrywy lodowej na rzekach karpackich w XX i XXI wieku” spełnia w pełni warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. **Wnoszę więc do Rady Naukowej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie Pana mgr. Maksymiliana Fuksia do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Wnoszę także o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr. Maksymiliana Fuksia ze względu na wysoką jej wartość merytoryczną, w tym bogaty zestaw (5) artykułów opublikowanych w renomowanych, wysoko punktowanych czasopismach naukowych, a także ze względu na istotny wkład w rozwój nauk o Ziemi i środowisku, zwłaszcza w zakresie rozszerzenia metodologii badań zjawisk lodowych rzek.



Toruń, 22.11.2025 rok.