

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
pana mgr inż. Łukasza Przyborowskiego  
pt. „Analiza hydrodynamiki w oddziaływaniach przepływu wody, roślinności oraz  
rumowiska rzecznego w skali pojedynczych zbiorowisk rośliny wodnej”**

**PODSTAWA OPRACOWANIA**

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Z-cy Dyrektora ds. Naukowych Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (IGF-NS-420-06/19), Pana dr hab. Mariusza Majdańskiego prof. PAN z dn. 18.06.2019r. informujące o wyznaczeniu mnie przez Radę Naukową Instytutu Geofizyki PAN na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Przyborowskiego pt. „Analiza hydrodynamiki w oddziaływaniach przepływu wody, roślinności oraz rumowiska rzecznego w skali pojedynczych zbiorowisk rośliny wodnej”.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w Zakładzie Hydrologii i Hydrodynamiki Instytutu Geofizyki, Polskiej Akademii Nauk w Warszawie pod kierownictwem naukowym dr hab. Roberta Bialika prof. PAN z Instytutu Biochemii i Biofizyki Polskiej Akademii Nauk. Przedłożono mi komplet dokumentów niezbędnych do oceny rozprawy doktorskiej w postaci rozprawy w wersji papierowej i elektronicznej obejmującej:

- rozszerzone streszczenie pracy w języku polskim i angielskim,
- kopie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe,
- oświadczenia współautorów prac zbiorowych (wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji) określające ich indywidualny wkład w powstanie powyższych publikacji.

Całe opracowanie wraz z załącznikami (kopiami pracy) liczy 101 stron, z czego rozszerzone streszczenie pracy oraz pozostałe części (spisy) przygotowano w języku polskim i angielskim.

## OPIS ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Przyborowskiego pt. „Analiza hydrodynamiki w oddziaływaniach przepływu wody, roślinności oraz rumowiska rzeczno-ego w skali pojedynczych zbiorowisk rośliny wodnej”, przedstawiona została jako cykl czterech jednotematycznych publikacji z lat 2018 - 2019. Trzy ze wskazanych przez Doktoranta artykułów, to pozycje z tzw. listy A MNiSW, a jedna to rozdział w monografii naukowej w czasopiśmie z listy B:

- 1) Przyborowski, Ł., Łoboda, A.M., Karpiński, M., Bialik, R.J. 2018. Characteristics of flow around aquatic plants in natural conditions: experimental setup, challenges and difficulties. In *Free Surface Flows and Transport Processes* (pp. 347-361) Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-319-70914-7\_23; Part of the GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences book series (GEPS), **pkt. 10.**
- 2) Przyborowski, Ł., Łoboda, A.M., Bialik, R.J. 2019. Effect of two distinct patches of *Myriophyllum* species on downstream turbulence in a natural river. *Acta Geophysica*, DOI: 10.1007/s11600-019-00292-4; **IF 0,917, pkt. 20.**
- 3) Przyborowski, Ł., Łoboda, A.M., Bialik, R.J., Västilä, K. 2019. Flow field downstream of individual aquatic plants – experiments in a natural river with *Potamogeton crispus* L. and *Myriophyllum spicatum* L. *Hydrological Processes* 33(9), 1324-1337, DOI: 10.1002/hyp.13403; **IF 3,189, pkt. 40.**
- 4) Przyborowski, Ł., Łoboda, A.M., Bialik, R.J. 2018. Experimental investigations of interactions between sand wave movements, flow structure, and individual aquatic plants in natural rivers: a case study of *Potamogeton Pectinatus* L. *Water* 10(9), 1166, DOI: 10.3390/w10091166. **IF 2,524, pkt. 30.**

Doktorant we wszystkich artykułach jest głównym współautorem. W odniesieniu do prac wspólnych, mgr inż. Łukasz Przyborowski we wszystkich występuje jako pierwszy autor, a jego udział we wszystkich pracach jest znaczący i wynosi od 60% do 90% (średnio 74%). Doktorant precyzyjnie określił własny wkład i udział procentowy w rozwiązaniu problemu, co potwierdzone zostało dołączonymi do wniosku oświadczeniami współautorów. Wkład i rola mgr inż. Łukasza Przyborowskiego w przygotowaniu publikacji wiązała się m.in. z opracowaniem koncepcji i realizacją badań, wykonaniem obliczeń, analizą danych, opracowaniem wyników i wniosków z badań oraz redakcją tekstu.

Wszystkie artykuły ukazały się w języku angielskim. Prace zostały opublikowane w istotnych czasopiśmie o szerokim zasięgu międzynarodowym. Sumaryczna liczba punktów

z tych publikacji wynosi 100, a sumaryczny IF = 6,630, z czego na osobę Doktoranta przypada aż 76 pkt (IF = 4,379) .

Temat rozprawy doktorskiej „Analiza hydrodynamiki w oddziaływaniach przepływu wody, roślinności oraz rumowiska rzeczno w skali pojedynczych zbiorowisk rośliny wodnej”, został prawidłowo sformułowany i poprzedzony szerokimi badaniami dotyczącymi wpływu hydrofitów na hydrodynamikę przepływów w korytach otwartych. Podjęta tematyka badań wpisuje się w aktualny, interdyscyplinarny nurt podejścia do oceny wpływu oraz wzajemnego oddziaływania roślinności i hydrodynamiki strumienia, który powszechnie określa się mianem Ekohydrauliki, czy też Ekohydrologii. Tematyka ta w literaturze naukowej, tak polskiej, jak i międzynarodowej, budzi ogromne zainteresowanie i zaowocowała szeregiem publikacji oraz prac monograficznych. Warto tu podkreślić znaczenie wybranego tematu oraz zrealizowanych badań jako świadome włączenie się w główny nurt dyskursu naukowego związanego z oceną wpływu roślinności i oporów przepływu wywołanych obecnością hydrofitów. Jak wskazuje sam Doktorant, zjawisko powstawania turbulencji wynikłych z oporu stawianego przez ośrodek porowaty jakim są zbiorowiska roślin wodnych, zostało dotychczas opisane w sposób pobieżny. Wynikało to w głównej mierze z trudności w prowadzeniu szczegółowych badań terenowych. Natomiast łatwiejsze z punktu widzenia zaplanowania eksperymentu, badania laboratoryjne nie do końca w sposób właściwy odzwierciedlają warunki oddziaływania roślinności na warunki przepływu. Często też w dotychczasowych badaniach zaniedbywano różnice cech biomechanicznych, czy też morfologicznych używanych żywych roślin lub ich zamienników, co udowodniła w swoim doktoracie dr inż. Anna Łoboda.

Pewnym mankamentem pracy jest brak jasno sformułowanego głównego celu badawczego. Doktorant posługuje się natomiast tzw. „celemi cząstkowymi” wynikającymi z podziału realizowanych badań na cztery wydzielone prace. Stanowi to niejako konsekwencję przyjętej formuły rozprawy doktorskiej jako zbioru monotematycznych prac. W ramach głównych celów cząstkowych wskazać można:

- opracowanie terenowej metody pomiarowej charakterystyk przepływu w zbiorowiskach makrofitów z wykorzystaniem 3-D prędkościomierzy dopplerowskich,

- określenie różnic w generowanych zaburzeniach przepływu między dwoma naturalnymi zbiorowiskami roślinnymi o odrębnym kształcie, ale o zbliżonej morfologii gatunków,
- analiza zaburzeń przepływu, które występują poniżej dwóch kęp roślinnych o zbliżonej strukturze, ale o odrębnej morfologii,
- określenie różnic w przepływie i ruchu form dennych w przekrojach między punktem przed obszarem gdzie występowały zbiorowiska rośliny z gatunku *Potamogeton pectinatus* L, a punktem na obszarze bliżej środka cieku, pozbawionym roślinności.

Badania realizowano na wybranych odcinkach niewielkich rzek nizinnych Świdra i Jeziorki. W tym celu zbudowano specjalną modułarną platformę pomiarową, na której została zainstalowana sonda ADV Vectrino służąca do pomiarów 3 składowych prędkości. W pracy zbadano charakterystyki przepływu wynikające z obecności roślin wodnych i form dennych. Na podstawie przeprowadzonych badań autor poddał weryfikacji następującą hipotezę badawczą: *możliwa jest korelacja cech jednogatunkowych zbiorowisk roślin zanurzonych z charakterystykami przepływu (tj. intensywność turbulencji, energia kinetyczna turbulencji oraz naprężenia Reynoldsa) oraz z transportem rumowiska w warunkach naturalnych.* Realizując postawione w pracy cele mgr inż. Łukasz Przyborowski postawił sobie ambitne zadanie, którym było z jednej strony opracowanie metody przeprowadzania szczegółowych badań struktury przepływu w warunkach „na mokro” w korycie rzeki. Z drugiej strony musiał uwzględnić całą złożoność uwzględniania wpływu cech biomechanicznych i morfologicznych makrofitów na rozkłady prędkości i naprężeń. Założone cele i hipoteza badawcze zostały rozwinięte i zrealizowane w cyklu artykułów.

I tak w pierwszym Doktorant przedstawił wyniki testów i eksperymentów przeprowadzonych na Świdrze. Badania pozwoliły na dobór odpowiedniego ustawienia prędkościomierza oraz wybór algorytmu częstotliwości próbkowania oraz częstotliwości zapisu; wybór właściwego zakresu prędkości do rejestracji. Ważnym wynikiem analizy pomiarów testowych było stwierdzenie, że przy wysokiej auto-korelacji sygnału, największe prędkości odczytywane są ze środkowej części profilu cząstkowego, która charakteryzuje się jednocześnie najwyższymi wartościami stosunku sygnału do szumu. Zadowolające wyniki właściwych pomiarów uzyskano dopiero w przypadku drugiego zbiorowiska; zaobserwowano

niewielki wpływ rośliny na prędkości wzdłużne. Eksperymenty potwierdziły, że przyjęta technika badawcza jest wystarczająca do zrealizowania pomiarów hydrodynamicznych.

Szczegółowe wyniki badań wpływu różnic w kształcie zbiorowisk roślinnych na turbulencję oraz analiz zaburzeń przepływu za pojedynczymi zbiorowiskami roślinnymi zostały zaprezentowane w drugim oraz trzecim artykule. Autor w artykule 2 wykazał, że rozmiar i kształt zbiorowiska roślinnego ma istotny wpływ na charakterystyki przepływu. Badane większe zbiorowisko roślin z gatunku *Myriophyllum* spowodowało wyraźne rozwarstwienie strugi. Najniżej położona warstwa charakteryzowała się najmniejszymi wartościami energii kinetycznej turbulencji, co może sprzyjać procesowi sedymentacji. Wyniki z pionów hydrometrycznych za mniejszym zbiorowiskiem nie wskazały na wytworzenie się tak wyraźnej warstwy mieszania. W obu wypadkach, analiza kwadrantów warunkowych wykazała zmianę rozkładu występowania struktur koherentnych za rośliną. Eksperymenty wykazały zasadność przyjętej tezy o korelacji intensywności turbulencji z kształtem i rozmiarem zbiorowiska roślinnego. W pracy 3 udowodniono tezę o wpływie cech biomechanicznych i morfologicznych na turbulencję strumienia. Wykazano m.in. że w przepływie za sztywniejszą rośliną intensywność turbulencji była wyższa niż za zbiorowiskiem *P. crispus*, szczególnie powyżej średniej wysokości roślin. Sztywniejsze, mniej ruchliwe łodygi *M. spicatum* spowodowały wytworzenie się warstwy mieszania w większej części pionu hydrometrycznego niż w przypadku drugiego, bardziej elastycznego zbiorowiska, które słabiej wpływało na zaburzenia przepływu. Eksperyment wykazał, że w naturalnym cieku, wpływ badanych zbiorowisk jest ograniczony przestrzennie i trudny do wykrycia, w porównaniu do wyników uzyskiwanych przez innych naukowców w laboratoriach za pomocą sztucznych roślin.

W ostatniej 4 pracy autor wykazał zależność między transportem rumowiska, strukturą przepływu i obecnością roślin z gatunku *P. pectinatus*. Badania wykonano na stanowiskach na rzece Świder i Jeziorce. Na obu przekrojach rzek zbadano batymetrię dna, pobrano próbki rumowiska oraz próbki roślin do badań biomechanicznych. Wyniki dały przesłanki do stwierdzenia, że rośliny ukorzeniają się w stabilniejszej i głębszej części koryta rzecznego. Analizowane przypadki wykazały brak lub niewielki wpływ *P. pectinatus* na przepływ i na ruch rumowiska. Testy biomechaniczne uwypukliły przystosowanie roślin tego gatunku do odmiennych warunków panujących w obu rzekach. Analiza wykazała natomiast, że same rośliny miały marginalny wpływ na przepływ i ruch rumowiska.

Przedstawiony w dysertacji zakres tematyki wskazuje na kompleksowe i przemyślane zaplanowanie eksperymentów oraz konsekwentną realizację badań. Wnioskowanie Doktorant przeprowadził na podstawie szczegółowych analiz statystyk turbulencji. Uzyskane wyniki znacząco poszerzają wiedzę na temat wpływu roślin wodnych na warunki przepływu w korytach rzecznych, a szczególnie koryt zarastających, gdzie udział makrofitów w generowaniu oporów przepływu jest szczególnie istotny. Do najważniejszych rezultatów ocenianej rozprawy doktorskiej mogą zaliczyć:

- 1) Opracowanie metodyki badań terenowych pomiarów hydrodynamiki przepływu z wykorzystaniem 3-D profilującego prędkościomierza dopplerowskiego. W pracy wykazano m.in., że przy wysokiej auto-korelacji sygnału, największe prędkości odczytywane są ze środkowej części profilu cząstkowego, która charakteryzuje się jednocześnie najwyższymi wartościami stosunku sygnału do szumu.
- 2) Potwierdzenie, że rozmiar i kształt zbiorowisk roślinnych istotnie wpływa na zmianę rozkładu zjawisk turbulentnych w śladzie. Szerokie i długie zbiorowisko rośliny zanurzonej generuje intensywne mieszanie poprzeczne wody w śladzie. Nie obserwuje się natomiast warstwy ścinania z pionowymi wirami Kelvina-Helmholtza, które spotyka się za roślinami o sztywnych łodygach. Węższe, mniejsze zbiorowisko nie spowodowało tak wyraźnego mieszania.
- 3) Wskazanie, że w przepływie za zbiorowiskami roślinnymi daje się wyróżnić obszar zmniejszonej energii kinetycznej turbulencji, rozciągający się od dołu, od warstwy granicznej nad małymi formami dennymi, po górną granicę wysokości roślin. Zasięg i wielkość gradientu zaburzeń przepływu związane są zarówno z wielkością zbiorowiska, jak i z cechami morfologicznymi i biomechanicznymi.
- 4) Wykazanie, że cechy biomechaniczne roślin np. giętkość łodygi przekładają się na większą dynamikę ruchów rośliny, co zmniejsza intensywność turbulencji za rośliną elastyczną w porównaniu z rośliną sztywniejszą.
- 5) Analizę wzajemnego oddziaływania hydrofitów oraz warunków hydrodynamicznych panujących w korycie na przykładzie roślin z gatunku *P. pectinatus*. Wykazano, że zbiorowisko tej rośliny występujące w formie pojedynczej łodygi lub rzadkiego zbiorowiska, nie wpływało znacząco ani na przepływ, ani na transport rumowiska; natomiast różnice w ich cechach biomechanicznych i morfologicznych mogą świadczyć o wpływie warunków hydromorfologicznych na rozwój tej rośliny.

## UWAGI SZCZEGÓŁOWE

Rozprawa doktorska została napisana poprawnym językiem dyskursu naukowego i spełnia wszelkie wymogi formalne stawiane tego typu pracom. Doktorant w prawidłowy sposób przedstawił założenia, metodykę i wyniki pracy, prowadząc krytyczną analizę dostępnych źródeł i umiejętnie korzystając z literatury naukowej. Wszystkie uwzględnione w rozprawie publikacje przeszły szczegółowy i drobiazgowy proces recenzeniowy i wydawniczy. Trudno tu więc doszukiwać się formalnych lub merytorycznych błędów lub innych uchybień. Tym niemniej na podstawie lektury pracy mgr inż. Łukasza Przyborowskiego nasuwają się pewne uwagi i pytania związane z przyjętymi w pracy założeniami i uzyskanymi wynikami:

- Przedstawione wyniki badań są być może wbrew założeniom przedstawionym w pracy, studiami przypadków. Jak Doktorant widzi możliwość uogólnienia wyników swoich badań? Czy uzyskane wyniki badań wskazują na niecelowość podobnych badań realizowanych w laboratoriach hydraulicznych?
- Rozwój roślinności, sezonowe zmiany zbiorowisk wpływają na zmiany hydromorfologiczne w korycie cieków, jak Doktorant widzi kompleksowy wpływ tego rodzaju zmian na opory przepływu, tym bardziej, że w przedstawionych pracach dla różnych cieków obserwowano różny stopień zarośnięcia badanych odcinków rzek.
- W pracy badano wzajemne oddziaływanie roślinności wodnej i strumienia. Jakie czynniki można jeszcze wskazać jako determinujące to zjawisko? Czy wnioski w pracy na temat wpływu zbiorowisk roślinnych z gatunku *P. pectinatus* na transport rumowiska nie przyjęto na podstawie przypadków (pojedyncza roślina, małe zbiorowisko), w których rzeczywiście wpływ roślinności na transport był pomijalny?
- Jaką rolę wg. Doktoranta na uzyskane wyniki odegrały np. warunki hydrologiczne? Jak zaznacza Doktorant w czasie pomiarów przepływu na badanych rzekach były poniżej przepływu średniego. Czy większe głębokości i prędkości przepływu nie zmieniłyby uzyskanych wniosków?

## PODSUMOWANIE

Praca mgr inż. Łukasza Przyborowskiego przedstawiana jako rozprawa doktorska stanowi zwieńczenie jego wieloletnich badań nad problematyką dotyczącą analizy hydrodynamiki w oddziaływaniach przepływu wody oraz roślinności wodnej w odniesieniu

do transportu rumowiska. Zarówno w warstwie postawionego problemu badawczego, jak i w próbach analitycznego ujęcia tego zjawiska jest ona dziełem badacza, który w poprawny sposób opanował warsztat i metodologię badawczą. Biorąc pod uwagę wykonane samodzielnie analizy i istotne elementy poznawcze, które są wynikiem pracy Doktoranta stwierdzam, że rozprawa Pana Przyborowskiego spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w art. 13 ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym, oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2014r. poz. 1852 ze zm.). Konkludując, na podstawie recenzowanej rozprawy doktorskiej wnoszę o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Przyborowskiego pt. „Analiza hydrodynamiki w oddziaływaniach przepływu wody, roślinności oraz rumowiska rzecznoego w skali pojedynczych zbiorowisk rośliny wodnej” do publicznej obrony.



Prof. UPP dr hab. inż. Tomasz Kałuża