

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Adama Nowaka**
pt.: **"Analiza równowagi hydrodynamicznej
koryta roztokowego na przykładzie rzeki Białki"**
wykonanej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
pod kierunkiem dr hab. inż. Andrzeja Strużyńskiego i dr inż. Macieja Wyrębka

1. UWAGI FORMALNE

Podstawy formalne opracowania niniejszej opinii stanowią:

- 1.1. Pismo nr 3DIŚiG 520-5/2017-2023 z dnia 6.06.2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Prof. dr. hab. inż. arch. Piotra HERBUTA i uchwały nr 21/2023 tejże Rady z dnia 22 maja 2023 r. o powołaniu mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama NOWAKA pt. „Analiza równowagi hydrodynamicznej koryta roztokowego na przykładzie rzeki Białki”.
- 1.2. Maszynopis rozprawy doktorskiej.
- 1.3. Umowa o dzieło na recenzję nr wniosku DZP-291-2259/2023 (sygnatura K/876/2023/WIŚiG) zawarta w dniu 6.06.2023 r. pomiędzy Uniwersytetem Rolniczym im. Hugona Kołłątaja w Krakowie reprezentowanym przez prof. dr hab. inż. Andrzeja LEPIARCZYKA Prorektora ds. Ogólnych, a dr. hab. inż. Robertem KASPERKIEM, prof. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (całość dokumentacji otrzymałem w dniu 12.06.2023 r.).

2. ZAKRES RECENZJI

Recenzja została opracowana w związku z przewodem doktorskim mgr inż. Adama NOWAKA. Oceny dokonano zgodnie z wymogami Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19.01.2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. poz. 261).

3. WPROWADZENIE

Głównym zamierzeniem Autora rozprawy było przeanalizowanie równowagi hydrodynamicznej koryta roztokowego karpackiej rzeki Białki, prawobrzeżnego dopływu Dunajca. Zbadano wpływ sześciu występujących po sobie fal wezbraniowych na proces modelowania geometrii koryta rzeki na ponad dwukilometrowym odcinku tj. od km 0,785 do km 2,948. Autor przestudiował ważne zagadnienie w inżynierii wodnej, dotyczące interakcji między przepływem wody, odpornością koryta i transportem rumowiska wleczonego. Poznanie tych zależności umożliwia właściwe projektowanie zabudowy potoków i rzek górskich

oraz ich ochronę przed intensywną erozją, rozmywaniem oraz katastrofalnymi skutkami wezbrań powodziowych (niszczenie koryt, infrastruktury drogowej i kolejowej, zabudowań itp.). Właściwie zaprojektowane parametry koryta cieku oraz ubezpieczenia umożliwiają powstrzymanie szkód oraz zwiększenie użyteczności rzek i potoków dla jak najszerzego wykorzystania wody w gospodarce, której deficyty obserwujemy obecnie co raz bardziej. Naruszenie równowagi hydrodynamicznej cieku oraz jego nieuregulowanie powodują szkody:

- poprzez zalewy powodziowe, zagrażające budowiom wodnym i urządzeniom w korycie, dolinie i na terenach przyległych, zagrażają życiu, niszczą dobytek,
- erozję boczną, rozmywając brzegi, zabierając przyległe grunty, tworząc odsypiska i przeszkody w dolnych partiach rzeki oraz powodują utrudniony odpływ wody,
- niszczenie użytków rolnych w dolinie,
- zamulanie zbiorników wodnych.

W oparciu o badania terenowe i hydrogramy fal z danych IMGW Autor wykonał dwuwymiarowe modele hydrauliczne sześciu fal wezbraniowych. W efekcie obliczono natężenie transportu rumowiska wleczonego, przepływ brzegowy, moc strumienia, naprężenia styczne oraz szerokość aktywnego pasa wleczenia. Podjęto ciekawą próbę zastosowania wskaźnika bezwymiarowej szerokości pasa wleczenia do oceny równowagi koryta cieku.

Autor rozprawy przedstawił zwięzły i aktualny stan wiedzy z zakresu równowagi hydrodynamicznej koryt rzecznych. Przedmiotowy przegląd literatury powinien być nieco poszerzony, zabrakło podstawowych definicji i opisu wielkości związanych z hydrodynamiką koryt rozmywalnych i nierozmywalnych, transportem rumowiska wleczonego, aktywnym pasem wleczenia, oporami ruchu pochodzącymi od szorstkości koryta i szorstkości ziarnowej.

Na tej podstawie sformułowano główny cel pracy tj. analiza równowagi hydrodynamicznej na wybranym odcinku rzeki Białki, oparty na hipotezie Lane'a. Dodatkowo postawiono w pracy cele szczegółowe dotyczące transportu materiału wleczonego, mocy strumienia, szerokości pasa wleczenia i bezwymiarowego wskaźnika równowagi hydrodynamicznej oraz sześć tez badawczych i główne zadania do podjęcia w rozprawie. Następnie opisano prace terenowe i kameralne, materiały i metodykę badań własnych, modelowanie numeryczne (model, kalibracja, obliczenia) oraz uzyskane wyniki. Rozprawę zakończono analizą wyników badań oraz podsumowaniem i wnioskami.

Podsumowując na wstępie zamierzenia Autora pracy i mając na uwadze stan wiedzy należy przyjąć, iż zagadnienie modelowania równowagi hydrodynamicznej koryt rzecznych z przewagą rumowiska wleczonego i z wykorzystaniem metody modelowania numerycznego jest ważnym oraz ambitnym zagadnieniem w zakresie badań hydromorfologicznych, hydraulicznych i rumowiskowych. Pozwala to stwierdzić, że wybór tematyki badawczej w analizowanej rozprawie doktorskiej jest w pełni aktualny naukowo i aplikacyjnie.

4. OCENA FORMALNA I CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do oceny rozprawa ma formę klasycznej monografii naukowej. Tytuł rozprawy doktorskiej odpowiada jej zawartości. Język rozprawy jest jasny i zwięzły, techniczny i adekwatny to tematyki i analizowanego problemu, pozwala ze zrozumieniem śledzić tok postępowania, obliczenia i wnioski. W pracy zauważono nieliczne, drobne błędy gramatyczne i interpunkcyjne. Tabele i ryciny są czytelne i starannie wykonane, podobnie jak ich opisy, odsyłacze do nich są zastosowane właściwie. Styl cytowania literatury oraz jej zbiorcze zestawienie, a także zapis jednostek złożonych wykonano prawidłowo.

Postawiony cel pracy oraz tezy badawcze zostały zrealizowane przez Doktoranta. Zastosowana metodyka badawcza i materiały zostały właściwie dobrane do zakresu i typu badań oraz analiz, dotyczy to zarówno pomiarów terenowych, prac kameralno-analitycznych oraz modelowania numerycznego.

Rozprawa została podzielona na sześć głównych rozdziałów, 14 podrozdziałów i 22 podpodrozdziałów, wraz z podsumowaniem i wnioskami. Zestawiono również literaturę przedmiotu oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Zawiera ona spis tabel, rycin i załączników, brakuje wykazu ważniejszych oznaczeń oraz używanych skrótów. Monografia obejmuje 111 stron, zilustrowana została 62 rycinami oraz 30 tabelami. Zestawienie cytowanej literatury zawiera 61 pozycji, z których 19 jest autorstwa pracowników rodzimego Wydziału, w tym jedna współautorstwa Doktoranta. Zastosowane piśmiennictwo w rozprawie jest prawidłowe i ściśle związane z jej tematyką. Reasumując, stwierdzam, że układ pracy jest prawidłowy.

W pierwszym rozdziale (*Wstęp*) w oparciu o przegląd literatury Autor zwrócił uwagę na naturalną zmienność procesów fluwialnych oraz ich skutki w postaci odpowiedniego stanu równowagi hydrodynamicznej. Omówił stan równowagi hydrodynamicznej oraz czynniki wpływające na jego utratę. Zwrócono uwagę na wagę poszczególnych elementów hydromorfologicznych koryta rzeki w aspekcie wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej i właściwego gospodarowania zasobami wodnymi. Omówiono także zagadnienie transportu rumowiska wleczonego, metody jego oceny, jako istotnego elementu równowagi hydrodynamicznej, aktywnej szerokości koryta oraz stabilności jego dna.

W rozdziale drugim (*Cel i zakres pracy*) zdefiniowano główny cel rozprawy doktorskiej polegający na analizie równowagi hydrodynamicznej koryta rzeki Białki na wybranym odcinku, opartej na hipotezie Lane'a - istnieje stan równowagi pomiędzy energią wody a naprężeniami granicznymi rumowiska wleczonego. Cele szczegółowe dotyczyły: metody obliczenia szerokości aktywnej koryta z wykorzystaniem parametrów hydraulicznych strumienia; bilansu zmian geometrii koryta w oparciu o pomiary terenowe; modelowania dwuwymiarowego rzeczywistych fal w celu obliczenia transportu rumowiska wleczonego, analizy równowagi hydrodynamicznej koryta, określenia aktywnej szerokości rzeki i bezwymiarowego wskaźnika oceny równowagi hydrodynamicznej. W pracy przyjęto sześć tez badawczych:

- Możliwe jest wyznaczenie szerokości aktywnej koryta roztokowego przy pomocy parametrów hydraulicznych oraz bezwymiarowego wskaźnika oceny równowagi.
- Stabilna dynamicznie rzeka roztokowa na skutek przeobrażeń morfologicznych okresowo zwiększa szerokość aktywną koryta.
- Odcinek rzeki znajduje się w stanie równowagi hydrodynamicznej, jeżeli po przejściu fal wezbraniowych średnia jednostkowa moc strumienia dla przepływu brzegowego nie ulega zmianom.
- W korytach roztokowych przepływ brzegowy jest zróżnicowany na długości odcinka rzeki, jeżeli jednak średnia wartość tego przepływu na danym odcinku nie zmienia się znacząco na przestrzeni kilku epizodów wezbraniowych, odcinek ten znajduje się w równowadze.
- Wykonanie bilansu transportu rumowiska wleczonego na podstawie obliczeń intensywności w kilku falach umożliwia stwierdzenie istnienia stanu równowagi.
- Ocena równowagi hydrodynamicznej w oparciu o bilans zmian objętości dna za pomocą modelowania umożliwia weryfikację różnych metod.

Zakres pracy dotyczył: pomiarów terenowych (pomiary geodezyjne koryta i zw. wody, pobór i analiza granulometryczna rumowiska), modelowania

dwuwymiarowego modelem CCHE2D, obliczeń intensywności transportu rumowiska wleczonego, analizy zmian geometrii koryta i stabilności dna.

W rozdziale trzecim (*Metodyka*) scharakteryzowano obiekt badań tj. odcinek rzeki roztokowej Białka, będącej prawym dopływem Dunajca. Należy ona do rzek typu pluwialno-niwalnego, z dużymi wahaniami stanów wody w roku. Jest ona jedyną rzeką w Polsce o charakterze alpejskim. Obecne badania wykazują, że rzeka posiada koryto zdegradowane żwirowe. Badany odcinek rzeki Białki o długości 2163 m znajduje się między Dębem a Frydmanem (Obszar Natura 2000), ok. 745 m powyżej zbiornika Czorsztyn. Ciek ma charakter roztokowy z 1-3 ramionami, ze spadkiem dna 10‰, średnim rocznym przepływem $7,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ i maksymalnym przepływem z wielolecia 1996-2010 rzędu $253 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Autor w ramach badań terenowych w okresie 2019-2020 wykonał: pomiary geodezyjne przekrojów poprzecznych i zw. wody w postaci trzech serii (14622 pikiet) podczas przepływów niskich i średnich od $3,8$ do $6,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Termin pomiarów został skorelowany z prognozą wystąpienia serii wezbrań przez IMGW w celu późniejszej oceny zmian dna po przejściu fali oraz obliczeń transportu rumowiska. Wykonano pomiary geodezyjne odbiornikiem GNSS Kolida K9-T w 16 przekrojach koryta rzeki Białka, oddalonych od siebie średnio co 30 m. Mierzono geometrię przekroju, formy korytowe oraz spadek zw. wody. Na podstawie pomiarów wykreślono 3 profile podłużne badanego odcinka. Jednocześnie pobierano próby rumowiska dennego z nurtu i odsypisk oraz przeprowadzono analizę granulometryczną. W ramach prac kameralnych pozyskano przepływy wody z IMGW w przekroju Trybsz, niezbędne do analizy wezbrania oraz analizy przepływów odpowiedzialnych za transport rumowiska wleczonego. Zostały one także wykorzystane do modelowania w programie CCHE2D. Dane z lotniczego skaningu laserowego i pomiarów GPS wykorzystano do budowy modelu terenu wybranego odcinka koryta i doliny rzeki Białka. Do obróbki danych geodezyjnych oraz pomiarów własnych użyto oprogramowania QGIS w celu oceny zmian konfiguracji dna. Szerokość aktywną koryta „1a” wyznaczono za pomocą utworzonych modeli różnicowych terenu w określonych przekrojach poprzecznych, w których miały miejsce procesy degradacji i aggradacji rumowiska. Metoda „1b” służy do obliczania średniej szerokości aktywnej koryta na danym odcinku badawczym. Posłużono się modelami różnicowymi terenu. Powierzchnię aktywną morfologicznie obliczono sumując powierzchnie erozji i akumulacji dna. Dzięki temu obliczono średnią wartość aktywnej szerokości koryta, jako iloraz powierzchni aktywnej morfologicznie i długości odcinka cieku. Pobrany materiał denny pozwolił na wyznaczenie: średnic charakterystycznych d_i , średnicy miarodajnej d_m , odchylenia standardowego krzywych uziarnienia δ , współczynnika kształtu oraz wartości współczynnika szorstkości wg Stricklera K_s . Do modelowania 2-wymiarowego przepływu wody, procesów morfologicznych, transportu rumowiska i zanieczyszczeń Autor wykorzystał oprogramowanie CCHE2D oparte na metodzie elementów i objętości skończonych. Symulacje zostały wykonane dla przepływów wezbraniowych występujących pomiędzy kampaniami pomiarowymi w 2019 i 2020 roku. W tym celu wygenerowano siatkę obliczeniową, określono warunki brzegowe, wprowadzono parametry modelu (współczynniki szorstkości, rzędne zw. wody), wykonano kalibrację modelu i właściwą symulację oraz wyeksportowano pliki wynikowe. Kalibrację modelu przeprowadzono posługując się rzędnymi zw. wody pomierzonymi podczas trwania badań terenowych przez autora oraz współczynnikiem efektywności NSE, współczynnikiem korelacji R, specjalnym współczynnikiem korelacji R_s i całkowitym błędem kwadratowym CBK. Autor dokonał także obliczeń transportu rumowiska wleczonego na badanym odcinku rzeki dla przyjętych fal, wykorzystując zmodyfikowany wzór Meyera-Petera i Müllera przez Bartnika i Michalik. Całkowity

transport rumowiska wleczonego wyznaczono, jako sumę cząstkowych transportów poszczególnych frakcji dla wszystkich przepływów podczas fali wezbraniowej.

Przepływ brzegowy, jako ważny element kształtujący koryto ciekłu oraz stan równowagi hydrodynamicznej wyznaczono metodą Riley'a za pomocą tzw. indeksu tarasowego.

Następnym, ważnym elementem przy ocenie stanu równowagi hydrodynamicznej koryta jest jednostkowa moc strumienia, która została wyznaczona przez Autora z zależności Bagnolda jako iloczyn naprężeń stycznych na dno i średnich prędkości wody.

Druga z metod tzw. hydrauliczna do oceny szerokości aktywnej koryta dla zadanego natężenia przepływu wody bazowała na kryterium Altunina, dotyczącym szerokości koryta o stabilnym układzie poziomym oraz szerokości zw. wody dla przekroju obliczeniowego.

Ostatnim elementem oceny stanu równowagi hydrodynamicznej, który został przeanalizowany przez Doktoranta był wskaźnik B_{AW} , wyrażający stosunek szerokości aktywnej koryta AW do szerokości zw. wody dla przepływu brzegowego B_{ZW} . Wskaźnik ten umożliwia standaryzację metod oceny równowagi hydrodynamicznej poprzez ustalenie kryteriów stabilnej szerokości aktywnej dla różnych typów koryt rzecznych.

Rozdział czwarty (Wyniki badań) zawiera rezultaty pomiarów terenowych, badań laboratoryjnych i obliczeń numerycznych. Pomiaru rumowiska wykonano w charakterystycznych miejscach reprezentujących różne warunki przepływu wody i rumowiska (łachy, przemiały, nurt). Z badań Autora wynika, że wszystkie próby osadów charakteryzowały się równomiernym uziarnieniem o średnicy d_{50} zmieniającej się od 6,1 cm (przemiały) do 10,3 cm (nurt). Odchylenie standardowe krzywej przesiewu przekracza 1,3 i świadczy o dobrym przemieszaniu materiału dennego, często uruchamianego z pokrywy. Materiał tworzący obrukowanie dna charakteryzował się maksymalną wielkością, rzędu 21,8 cm.

Autor wykonał 6 hydrogramów rzeczywistych fal wezbraniowych w przedziale przepływu maksymalnego od 56 do 196 m^3s^{-1} , które miały miejsce w okresach pomiędzy kolejnymi kampaniami pomiarowymi. Wykorzystano je przy tworzeniu warunków brzegowych w modelach 2-wymiarowych przepływu wody. Suma energii wytworzonej przez fale 1, 2 i 3 ($Q_{max} = 56, 56, 136 m^3s^{-1}$) wyniosła 9225,7 GJ, co stanowiło ok. 19 % całkowitej rocznej energii fluwialnej na badanym odcinku rzeki Białki. Natomiast fale 4, 5 i 6 ($Q_{max} = 66, 196, 101 m^3s^{-1}$) o łącznej energii 20 826,1 GJ stanowiły 42 % całkowitej rocznej energii. Po ich analizie do dalszych obliczeń przyjęto fale 3 i 5 ($Q_{max} = 136$ i $196 m^3s^{-1}$).

Bilans objętości zmian dna wykonano w oparciu o modele różnicowe terenu utworzone w oparciu o numeryczny model obszaru. Pierwszy model wykonano w oparciu o 1szą i 2gą kampanię pomiarową i fale nr 1, 2 i 3, które miały wówczas miejsce. Drugi model dotyczy serii pomiarowych 2 i 3 (fale wezbraniowe nr 4, 5 i 6). Natomiast trzeci model dotyczy kampanii pomiarowej nr 1 i 3 oraz wszystkich fal wezbraniowych, jakie miały miejsce tj. nr 1, 2, 3, 4, 5 i 6. Autor wykonał następnie wykresy kolumnowe ilustrujące bilans zmian objętości dna po przejściu fal 1, 2, 3 oraz fal 4, 5 i 6 na poszczególnych jednostkowych odcinkach badawczych pomiędzy założonymi przekrojami poprzecznymi koryta rzeki Białki. Po przejściu fal 1, 2 i 3 bilans dla całego odcinka badawczego był dodatni – proces agradacji (+2326,5 m^3). Natomiast po przejściu fal 4, 5 i 6 bilans był ujemny – proces degradacji (-1218,7 m^3). Po przejściu wszystkich 6 fal wezbraniowych odnotowano niewielki dodatni bilans (+1108 m^3), co oznacza, że w praktyce oba te procesy agradacji i degradacji są w równowadze. W efekcie obliczono powierzchnie zmian morfologicznych dna na piętnastu odcinkach cząstkowych pomiędzy założonymi 16 przekrojami poprzecznymi koryta rzeki Białki, które posłużyły do oszacowania szerokości

aktywnej koryta metodą AW1a i AW1b. To z kolei pozwoliło Doktorantowi ocenić, na których odcinkach ma miejsce erozja, akumulacja lub nie ma zmian, oraz gdzie występuje powierzchnia aktywna morfologicznie, będąca podstawą do obliczenia szerokości aktywnej.

W 16 przekrojach poprzecznych rzeki Białki dla wcześniej przyjętych przepływów 136 i 196 m³s⁻¹ wyznaczono szerokości aktywne koryta AW1a oraz ich średnie wartości. Dla modelu różnicowego terenu NMT 2 – NMT 1 (przepływ 138 m³s⁻¹) odnotowano szerokości aktywne koryta w przedziale 91,9 – 181,3 m. Natomiast dla modelu NMT 3 – NMT 2 i przepływu 196 m³s⁻¹ były one rzędu 101,5 – 226,9 m. Podobne obliczenia wykonano dla średnich szerokości aktywnych koryta AW1b. Dla modelu różnicowego terenu NMT 2 – NMT 1 wartości średniej szerokości aktywnej koryta wyniosły 106-175 m, natomiast dla modelu NMT 3 – NMT 2 były w przedziale 121,7 – 210 m. Średnie wartości szerokości aktywnej oszacowane metodą AW1a i AW1b posłużyły do analizy statystycznej różnic szerokości pomiędzy tymi metodami, a proponowaną przez autora metodą AW2.

Weryfikację modeli 2-wymiarowych przepływu B1 (1sza seria pomiarów geodezyjnych i symulacja fal 1, 2, 3) i B2 (2ga seria pomiarów geodezyjnych i symulacja fal 4, 5, 6) wykonano w oparciu o metody klasyfikacji jakości modelu wg Ozgi-Zielińskiej i Brzezińskiego oraz współczynnik efektywności NSE. Kalibrację wykonano dla przepływu 3,9 m³s⁻¹ (model B1) i 6,5 m³s⁻¹ (model B2). Na podstawie obliczonych wskaźników R_s i CBK stwierdzono, że oba modele wykazały się bardzo dobrym dopasowaniem wartości modelowych numerycznych do wartości rzeczywistych.

Z obliczeń przepływu brzegowego metodą Rileya wynika, że dla modelu B1 był on w przedziale 83,5 – 136 m³s⁻¹, (średnia 111 m³s⁻¹), a dla modelu B2 78,5 – 158 m³s⁻¹ (średnia 110 m³s⁻¹). Do dalszych obliczeń szerokości aktywnej metodą hydrauliczną AW2 autor przyjął średnią wartość przepływu brzegowego 111 m³s⁻¹.

W rozdziale 4.4.3. Doktorant zestawiał wynik obliczeń parametrów hydraulicznych (prędkość wody, naprężenia styczne, napełnienie, spadek zw. wody, jednostkowa moc strumienia oraz liczba Froude'a) za pomocą modelu 2D w wersji B1 i B2.

Transport całkowity rumowiska wlezonego dla każdej z fal policzono jako sumę transportów cząstkowych poszczególnych frakcji. Bilans zdolności transportowych rumowiska wlezonego, zarówno po przejściu fali 1, 2 i 3 był dodatni 264 m³ (akumulacja), jak i po przejściu fali 4, 5 i 6 – 5575 m³ (akumulacja).

W rozdziale 4.4.5. szerokości aktywne koryta AW2 zostały obliczone w oparciu o model hydrauliczny B1 oraz B2. W przypadku modelu B1 przy przepływie 136 m³s⁻¹ szerokość aktywna oscylowała w przedziale 71,8 – 210,4 m (średnio 149,3 m). W przypadku modelu B2 przy przepływie 196 m³s⁻¹ szerokość aktywna wynosiła 69 – 229,6 m (średnio 162,9 m).

Szerokość aktywna koryta AW2 przy średnim przepływie brzegowym 111 m³s⁻¹ wynosiła średnio 145 m dla modelu B1 i B2.

W rozdziale piątym (*Analiza wyników badań*) przeprowadzono szczegółową i wnikliwą dyskusję i analizę porównawczą rezultatów obliczeń szerokości aktywnej koryta dla poszczególnych metod, zmian morfologicznych rzeki Białki, odcinkowej jednostkowej mocy strumienia, powierzchni przekroczeń naprężeń stycznych oraz zmian szerokości aktywnej koryta przy przepływach brzegowych. Podobnie jak wcześniejszy czwarty rozdział, tak i ten należy do najbardziej obszernych, w którym Autor szczegółowo omawia wyniki własnych badań. Dokonał on weryfikacji proponowanej metodyki wyznaczania szerokości aktywnej koryta przy przepływach brzegowych w oparciu o metodę geometryczną AW1a i AW1b oraz metodę hydrauliczną AW2, za pomocą testu t-Studenta o poziomie istotności p = 0,05. We wszystkich przypadkach wykazano, że różnice pomiędzy średnimi szerokościami aktywnymi ww. wspomnianych metod AW1a, AW1b i AW2 nie są istotne

statystycznie. Pozwoliło to wykorzystać proponowaną metodę hydrauliczną AW2 do obliczenia szerokości aktywnej koryta dla przepływów brzegowych i maksymalnych.

Analizę korelacji liniowej wybranych parametrów strumienia oraz szerokości aktywnej koryta wykonano za pomocą modelu hydraulicznego B1 (przepływ brzegowy 111 i 136 m³s⁻¹) i B2 (111 i 196 m³s⁻¹). Zbadano zależności między parametrami: napełnieniem, prędkością, naprężeniami stycznymi, jednostkową mocą strumienia i liczbą Froude'a oraz ich wpływ na zmiany szerokości aktywnego pasa koryta rzeki w oparciu o program Statistica i wsp. korelacji. Na podstawie analiz stwierdzono, że w przypadku wszystkich wariantów zachodzi istotna statystycznie pełna korelacja dodatnia między: prędkością średnią wody i naprężeniami; prędkością a jednostkową mocą strumienia, naprężeniami i jednostkową mocą oraz pomiędzy naprężeniami i liczbą Froude'a. Analiza korelacji wykazała, że metodyka badawcza została dobrze przyjęta, a jednostkowa moc strumienia oraz naprężenia styczne dobrze opisują stan równowagi hydrodynamicznej roztokowego koryta rzeki oraz zmiany w jego morfologii. Bilanse zmian objętości dna po przejściu fal wezbraniowych wykazały, że koryto rzeki Białki ulega ciągłym przeobrażeniom morfologicznym, charakteryzuje się wysoką mocą strumienia (powyżej 35 Wm⁻²) i ma generalnie charakter transportacyjny.

Z badań Autora wynika, że ze względu na zróżnicowany układ poziomy roztokowej rzeki Białki szerokość aktywna koryta jest mocno zmienna. Dlatego też zaproponowano, aby do analizy równowagi hydrodynamicznej koryta roztokowego używać wartości szerokości aktywnej uśrednionej dla przekrojów w lokalnych minimach i maksimach szerokości koryta oraz dla uśrednionego przepływu brzegowego. Ważnym również przy tej ocenie jest tzw. bezwymiarowy wskaźnik równowagi hydrodynamicznej, który został wyznaczony przez Doktoranta we wszystkich 16 przekrojach rzeki modelem B1 i B2. Wartość tego wskaźnika w przypadku obu ww. modeli mieściła się w przedziale 0,79 – 0,93, a jego spadek jest równoznaczny ze wzrostem średniej szerokości aktywnej koryta na badanym 2-kilometrowym odcinku rzeki Białki.

Rozdział szósty (Podsumowanie i wnioski) zawiera główne rezultaty badań i analiz Autora, które wskazują na prawdziwość postawionych tez badawczych oraz osiągnięcie celu. Z pracy mgr inż. Adama NOWAKA wynikają najważniejsze wnioski:

- Do obliczeń szerokości aktywnej koryta można stosować metodę hydrauliczną (AW2) opracowaną i zaproponowaną przez Autora.
- Bezwymiarowy wskaźnik B_{AW} nieznacznie się zmienia w wyniku przeobrażeń koryta i może być stosowany do oceny stanu równowagi hydrodynamicznej. Należałoby dokonać klasyfikacji tego wskaźnika w zależności od typu koryt rzecznych naturalnych i uregulowanych.
- Jednostkowa moc strumienia dobrze opisuje stan równowagi hydrodynamicznej w korycie rzeki Białki. Obliczenia wykazały, że nie przekracza on wartości 100 Wm⁻², co świadczy o równowadze hydrodynamicznej badanego odcinka.
- Bilans zdolności transportowych rumowiska wleczonego dla badanego odcinka rzeki obliczony wzorem MPM jest niewystarczający do określenia stanu równowagi hydrodynamicznej.
- Weryfikacja stanu równowagi hydrodynamicznej za pomocą 2 modeli różnicowych w wyniku przejścia sześciu fal wykazała, że ma miejsce niewielki dodatni bilans zmian objętości dna, świadczący o równowadze hydrodynamicznej badanego odcinka rzeki Białki.

5. Dyskusja, ocena i uwagi do rozprawy

Głównym celem badań Doktoranta była ocena równowagi hydrodynamicznej koryta rzeki Białki, w tym opracowanie hydraulicznej metody obliczania szerokości

aktywnej koryta, bilans zmian dna, oszacowanie transportu rumowiska wlezonego i określenie bezwymiarowego wskaźnika równowagi hydrodynamicznej. Zagadnienie równowagi hydrodynamicznej ma szczególnie duże znaczenie w przypadku potoków i cieków górskich, gdzie mają miejsce intensywne procesy erozyjno-sedymentacyjne. Wpływają one negatywnie na trwałość brzegów i stabilność dna cieku, powodują zmiany kierunku i trasy przepływu (przerywanie koryt i ich odcinanie oraz powstawanie starorzeczy), podtopienia i powodzie, w efekcie zagrażają bezpieczeństwu budowli inżynierskich (przepusty, mosty, drogi, kładki), hydrotechnicznych (jazy, zapory, progi, stopnie) oraz dla infrastruktury. Dlatego też znajomość zasad ruchu rumowiska, kompleksowa analiza parametrów koryta i hydrauliki umożliwi skutecznie zabezpieczać się przed wyżej wymienionymi negatywnymi skutkami oraz stosować odpowiednie środki ochronne przy projektowaniu różnych obiektów. Doktorant podjął się właśnie badań polegających na ustaleniu min. rodzaju i ilości poruszającego się materiału dennego, analizie zmian dna po przejściu fal wezbraniowych, powiązaniu parametrów hydraulicznych z charakterystykami rumowiskowymi i analizie stanu równowagi hydrodynamicznej rzeki. Te właśnie badania dają podstawy do optymalnego rozwiązywania praktycznych zagadnień z zakresu inżynierii i ochrony środowiska, inżynierii wodnej i transportu rumowiska, właściwego wykonywania projektów obiektów hydrotechnicznych i inżynierskich oraz racjonalnej eksploatacji. Dotyczy to m.in.: sztucznych zbiorników wodnych (zamulanie), obwałowań, zapór i zbiorników przeciwrumowiskowych, lokalizacji ujęć wody dla wodociągów, rolnictwa (nawadnianie podczas coraz częściej pojawiających się okresach suszy), energetyki wodnej i przemysłu. Zagadnienie transportu rumowiska, równowaga hydrodynamiczna i podatność koryta na degradację interesuje również biologów, hydrobiologów, ichtologów i przyrodników. Produkty erozji dostające się do rzeki, jeziora, zbiornika sztucznego i morza w postaci ziaren oraz składników rozpuszczonych wywierają negatywny wpływ na życie organizmów zwierzęcych i roślin. W tym aspekcie badania podjęte przez mgr inż. Adama NOWAKA są w pełni uzasadnione i cenne z punktu widzenia postępujących, negatywnych zmian klimatycznych (deficyty wody) oraz coraz to nowszych urządzeń pomiarowych oraz technik i metod numerycznych.

Na potrzeby weryfikacji tez badawczych Autor sformułował szczegółowe cele badawcze, które dotyczyły wyznaczenia szerokości aktywnej koryta, powiązania stanu równowagi hydrodynamicznej z mocą strumienia, bilansu transportu rumowiska wlezonego i oceny równowagi na podstawie bilansu osadów dennych. Ww. cele zostały dokładnie omówione w rozdziale 4 i 5.

Realizacja założonych celów objęła prace terenowe (pomiar geometry i rumowiska wlezonego) i kameralne, obliczenia oraz opracowanie modeli hydraulicznych 2D w oparciu o oprogramowanie CCHE2D. Kluczowymi krokami dla modelowania numerycznego było wygenerowanie siatki obliczeniowej w oparciu o serie własnych pomiarów geodezyjnych i punkty z numerycznego modelu terenu oraz określenie warunków brzegowych w oparciu o obliczone współczynniki szorstkości wg Stricklera i rzędne zw. wody z pomiarów własnych. Następnie przeprowadzono wstępną symulację dla kilku przyjętych fal. Dokonano kalibracji modeli na podstawie rzędnych zw. wody pomierzonych podczas własnych kampanii terenowych. Wykalibrowane modele zostały wykorzystane do obliczeń transportu rumowiska wlezonego za pomocą formuły MPM w modyfikacji Bartnika i Michalik. Wykonano również obliczenia przepływu brzegowego metodą Riley, mocy strumienia, powierzchni przekroczeń naprężeń stycznych rumowiska i szerokości aktywnej koryta autorską metodą hydrauliczną. Podjęto również próbę zastosowania wskaźnika bezwymiarowej szerokości aktywnej koryta do oceny stanu równowagi hydrodynamicznej. Analiza korelacji parametrów hydraulicznych strumienia wody na badanym odcinku rzeki Białki wykazała dodatnią korelację

między naprężeniami a mocą strumienia. Pozwoliło to, i słusznie, sformułować wniosek potwierdzający przyjętą tezę, że średnia jednostkowa moc strumienia i średnie naprężenie styczne mogą być używane zamiennie do oceny stanu równowagi hydrodynamicznej. Nowością i oryginalnym elementem rozprawy Doktoranta jest zaproponowana przez niego metoda hydrauliczna (AW2) do szacowania szerokości aktywnej koryta rzeki typu roztokowego. Analiza porównawcza wyników obliczeń aktywnego pasa ww. metodą oraz metodami geometrycznymi AW1a i AW1b wykazała niewielkie różnice, które nie są istotne statystycznie. Dodatkowym atutem tej metody jest fakt, że daje ona podstawy do wykorzystania autorskiego wskaźnika B_{AW} do oceny równowagi hydrodynamicznej koryta dla przepływów brzegowych.

Pod względem metodycznym prace terenowe, analityczne oraz opracowanie modeli hydraulicznych zrealizowano prawidłowo. Umiejętność zastosowania zaawansowanych urządzeń i technik pomiarowych, modeli numerycznych oraz właściwa interpretacja otrzymanych wyników, których było sporo, świadczy o wszechstronnym przygotowaniu merytorycznym Autora w zakresie inżynierii wodnej, ruchu rumowiska i modelowania. Realizacja poszczególnych etapów badań, analiz i modelowania numerycznego pozwoliły odpowiedzieć na kluczowe pytania i uzasadnić postawione tezy badawcze.

Dużą zaletą niniejszej rozprawy i jego Autora jest to, że potrafił połączyć zagadnienia środowiskowe związane m.in. z transportem rumowiska i morfologią koryta z zagadnieniami modelowania hydraulicznego, oraz wykorzystać odpowiednie narzędzia (formuły, modele i programy) w swoich badaniach.

Doktorant do swoich analiz i dyskusji naukowej wykorzystał polskie i obcojęzyczne publikacje (33) badaczy zajmujących się tematyką, która łączy zagadnienia środowiskowe, hydromorfologię, hydraulikę i modelowanie numeryczne.

Reasumując, pod względem merytorycznym temat równowagi hydrodynamicznej koryta roztokowego został opracowany prawidłowo, a przyjęte w rozprawie założenia metodyczne, analizy i interpretacje wyników pozwoliły na właściwe zweryfikowanie tez badawczych i zrealizowanie celów pracy.

Generalnie stwierdzam, że od strony edytorsko-językowej, jak i merytorycznej praca nie zawiera znaczących uwag i błędów, drobne błędy stylistyczne, gramatyczne i literówki, brak przecinków, w zapisie liczb 5-cyfrowych i wyższych powinna być spacja (np. 12 367), nie wpływa to jednak na wartość naukową rozprawy i ma charakter techniczny.

W trakcie analizy rozprawy nasuwają się pewne uwagi i pytania, które zapewne zostaną przedyskutowane i omówione w trakcie publicznej rozprawy:

- Brakuje wykazu ważniejszych oznaczeń oraz używanych skrótów.
- Brak opisu metody klasycznej analizy rumowiska wleczonego.
- W pracy wykorzystano przepływy IMGW ze stacji Trybsz i przeniesiono na badany odcinek rzeki Białki położony poniżej, w jaki sposób Autor ekstrapolował potrzebne przepływy do swoich analiz?
- Czy podczas obliczeń intensywności transportu rumowiska wleczonego formułą MPM-B uwzględniano współczynnik klinowania się ziaren ε_i ?
- We wzorze MPM występują parametry Q_d/Q oraz k_d/k_r odpowiedzialne za opory pochodzące od szorstkości koryta i rumowiska, jakie wartości przyjęto w pracy?
- Czym charakteryzuje się transportacyjny typ odcinka rzeki i co go odróżnia od erozyjnego i akumulacyjnego?
- Czy można przenieść metodykę, modele i wyniki badań na inne rzeki, inne typy koryt lub podobne odcinki?
- Czy można wykorzystać opracowany model do analizy morfologicznej odcinków rzek powyżej (intensywna sedimentacja rumowiska) lub poniżej (erozja denną) budowli typu zapory, zbiorniki, stopnie piętrzące?

- Jak zmieniały się naprężenia pochodzące od strumienia wody (siła poruszająca) w przekroju poprzecznym koryta rzeki (nurt i przemiał) i przy jakich głębokościach następowało przekroczenie naprężeń granicznych dla ziaren materiału dennego (naruszenie równowagi hydrodynamicznej)?
- Czy działalność kopalni kruszywa „KRUSZGEO” może mieć wpływ na zmiany morfologiczne w korycie rzeki Białki oraz czy może zakłócać stan równowagi hydrodynamicznej?

6. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawioną pracę pt. "Analiza równowagi hydrodynamicznej koryta roztokowego na przykładzie rzeki Białki" oceniam całościowo bardzo dobrze, jest ona wartościowym opracowaniem naukowym, jak i aplikacyjnym. W praktyce opracowana przez Doktoranta metoda badawcza oraz zależności i modele powinny umożliwić takie działania inżynierskie, które poprawią funkcje techniczne i biologiczne cieku (poprawa gospodarki wodnej w dolinie i ochrona od powodzi, zapobieganie nadmiernemu zamulaniu zbiorników, ochrona koryta przed degradacją dna i brzegów oraz nadmiernym transportem rumowiska wleczonego, ochrona infrastruktury inżynierskiej i hydrotechnicznej, odbudowa ekosystemów wodnych). Ww. działania wpisują się m.in. w zakres wymagań ochronnych dla rzek ujętych w Ramowej Dyrektywie Wodnej oraz Ustawie Prawo Wodne. Ocena równowagi hydrodynamicznej koryta rzeki jest ambitnym i ważnym zagadnieniem w zakresie badań przyrodniczych, hydromorfologicznych i ochrony ekosystemów wodnych. Tematyka jest aktualna i lokuje się jak najbardziej w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Praca ma charakter eksperymentalny, jak i obejmuje szerokie spektrum zagadnień z zakresu modelowania. Autor w oparciu o badania terenowe (pomiar geometrii koryta i rumowiska dennego), dane hydrologiczne oraz obliczenia opracował modele umożliwiające ocenę stanu równowagi hydrodynamicznej cieku. Pozwoliło to również na wyznaczenie odpowiednich zależności między parametrami hydraulicznymi strumienia wody, transportem rumowiska i szerokością aktywną koryta, umożliwiającymi analizę zmian morfologicznych dla różnych przepływów. Walory rozprawy w obu tych obszarach mają kluczowe znaczenie dla wysokiej oceny badań Doktoranta, który wykazał się umiejętnością planowania, organizowania i prowadzenia badań, analiz i interpretowania wyników w celu weryfikacji tez badawczych. Cel pracy został wyraźnie sformułowany, a zadania szczegółowe konsekwentnie rozwiązano. Pozwala to stwierdzić, iż tezy badawcze zostały dowiedzione, cele rozprawy osiągnięte, dzięki czemu stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Ponadto, monografia pod względem edycyjnym i technicznym została opracowana solidnie i prawidłowo, zgodnie z wymogami dla tego typu prac, zarówno w zakresie tekstu, rycin i tabel.

Podsumowując ocenę rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama NOWAKA stwierdzam, że **spełnia ona wszystkie warunki stawiane rozprawom doktorskim** przez aktualnie obowiązujące przepisy w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017r., poz. 1789) obowiązującej na podstawie ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669). W związku z tym **wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Adama Nowaka do publicznej obrony.**

Robert Kasperk