

Dr hab. inż. Zbigniew Popek, prof. nadzw. SGGW
Słotwiny Czerwone Łąki 11
24-310 Karczmiska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Bobrowskiego
pt. **“Prognozowanie procesów morfologicznych Odry swobodnie płynącej z zabudową ostrogową w oparciu o modelowanie numeryczne”**
Promotor: prof. dr hab. inż. Marian Mokwa

1. INFORMACJE OGÓLNE

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Bobrowskiego opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (pismo Nr IDDD0000.4000.425.2016 z dnia 15.12.2016 r.), na podstawie uchwały Rady w/w Wydziału z dnia 14.12.2016 r.

Recenzowana rozprawa zawiera 165 stron tekstu, podzielonego na 9 rozdziałów, w tym spis literatury obejmujący 120 pozycji. Ponadto, praca zawiera 8 załączników tabelarycznych i rysunkowych oraz streszczenie w języku angielskim.

2. OPIS PRACY

Merytoryczna część pracy została podzielona na 8 rozdziałów o różnej objętości.

W rozdziale 1 („Wprowadzenie”- 5 str.) Autor opisuje historię regulacji i zabudowy hydrotechnicznej Odry i podkreśla jej wpływ na utratę równowagi hydrodynamicznej koryta, która na analizowanym w pracy odcinku rzeki od Brzegu Dolnego do Nietkowa (o długości ok. 207 km) spowodowała erozję liniową dna. Na tym tle doktorant formułuje cel pracy, którym jest ocena ilościowa i jakościowa wpływu zabudowy ostrogowej na przebieg procesów fluwialnych na erodowanym odcinku rzeki. Cel ten został osiągnięty poprzez dwuetapowe badania, obejmujące w I etapie analizę, tendencji, intensywności i zakresu zmian położenia wysokościowego dna rzeki w czasie, a następnie w II etapie – obliczeń numerycznych, wykonanych za pomocą dwuwymiarowego modelu CCHE2D. Zakres pracy obejmował: analizę danych archiwalnych (geodezyjnych, hydrologicznych, hydraulicznych, map, projektów), własne badania terenowe, obliczenia wielkości erozji liniowej na podstawie metod pośrednich, wielowariantowe obliczenia numeryczne na wybranym odcinku Odry o długości 7,2 km, analizę uzyskanych wyników badań, a także sformułowanie wniosków i zaleceń.

Na podstawie przeglądu literatury w rozdz. 2 (5 str.) Autor przedstawił stan wiedzy w zakresie procesów fluwialnych, zwracając szczególną uwagę na zagadnienia związane z modelowaniem hydrodynamicznym. W podsumowaniu przeglądu literatury Autor stwierdza, że modelowanie numeryczne, w tym z wykorzystaniem oprogramowania CCHE2D, umożliwia przeprowadzenie, w stosunkowo szybki i dokładny sposób, wielowariantowych symulacji przebiegu procesów korytowych oraz prognozowania ich skutków morfologicznych.

W rozdz. 3 (5 str.) doktorant przedstawił ogólną charakterystykę obszaru badań, natomiast w rozdz. 4 (11 str.) – szczegółowo opisał badany odcinek rzeki, zwracając uwagę na historię zabudowy hydrotechnicznej i regulacyjnej, założenia i przyjmowane rozwiązania projektowe stosowane konstrukcje budowli regulacyjnych oraz ich obecny stan techniczny. Ponadto, przedstawił koncepcję zasilania Odry rumowiskiem (tzw. dokarmiania rzeki), zaproponowaną ponad 20 lat temu przez prof. Parzonkę, którą można byłoby zastosować w

celu zahamowania erozji liniowej koryta na odcinku rzeki poniżej budowanego obecnie stopnia w Malczycach.

W rozdz. 5 (10 str.) Autor przedstawił charakterystykę procesów fluwialnych, zwracając szczególną uwagę na opis matematyczny intensywności transportu rumowiska wleczonego, proponowany przez autorów różnych formuł empirycznych.

Jedną z dwóch zasadniczych części pracy jest rozdz. 6 (60 str.), w którym doktorant przedstawił metodykę i wyniki badań ilościowych wielkości i dynamiki erozji liniowej dna w czasie na rozpatrywanym odcinku Odry. W analizie Doktorant wykorzystał dwie metody: bezpośrednią i pośrednią. Pierwsza metoda polega na określeniu zmian położenia dna koryta w czasie na podstawie bezpośrednich pomiarów geodezyjnych przekroji poprzecznych i profilu podłużnego dna. Na podstawie danych archiwalnych z roku 1931, 1961, 1985 i 2001, a na części odcinka Odry – wyników pomiarów własnych z 2010 roku, Autor określił wielkość średniego obniżenia dna, które na odcinku km 282-300 w okresie 1931-2001 wyniosło 3,42 m. Na odcinku km 300-332 w tym samym okresie rzędne dna obniżyły się średnio o 2,48 m, natomiast w okresie 1931-2010 – o 2,69 m. Autor określił również dynamikę erozji dna, tj. średnie obniżenie dna w ciągu roku w analizowanych okresach, na podstawie którego stwierdził wzrost intensywności erozji wgłębnej dna w okresie po wybudowaniu stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. Ponadto stwierdził, że na analizowanym odcinku Odry od 1931 r. następuje systematyczne zmniejszanie się wyrównanego spadku dna rzeki.

Druga metoda wykorzystana przez Doktoranta do określenia zmian położenia wysokościowego dna to metoda pośrednia, polegająca na analizie zmienności minimalnych i średnich rocznych stanów wody oraz krzywych przepustowości koryta w latach 1946-2010 w 7 przekrojach wodowskazowych na rozpatrywanym odcinku Odry km 284-490. Wyniki analizy potwierdziły rezultaty uzyskane metodą bezpośrednią w 3 przekrojach wodowskazowych zlokalizowanych na odcinku km 284-332. W pozostałych 3 przekrojach wodowskazowych, położonych na odcinku km 392-471, Autor stwierdził, że w okresie 1947-1976 (1977) dominował proces sedymentacji, natomiast w okresie 1976 (1977) – 2010 – erozji dna Odry. Jedynie w przekroju wodowskazowym Nietków (km 490), w okresie 1947-2010 występowała tendencja do nieznacznego podnoszenia się poziomu dna rzeki.

Rozdz. 7 (48 str.) dotyczy modelowania numerycznego procesów fluwialnych w korytach rzecznych. We wstępie Doktorant krótko scharakteryzował najczęściej obecnie stosowane do modelowania przepływu wody i transportu rumowiska programy komercyjne: HEC-RAS, Mike 11 i Mike 21. Następnie Autor szczegółowo opisał model CCHE2D, który wykorzystał do obliczeń numerycznych w 3 wariantach konfiguracji dna na wybranym odcinku rzeki o długości 7,2 km (km 301,45-308,65), tj. w roku 2010 (Wariant I) i 1961 (Wariant II) oraz przy założeniu podniesienia poziomu dna o 1,0-0,2 m (Wariant III), uzyskanego w wyniku dodatkowego zasilania rzeki rumowiskiem (5 wariantów uziarnienia o średnicach d_{50} w zakresie 5-25 mm). W każdym wariacie obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla warunków przepływu ustalonego przy przepływie: $SSQ = 190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz $Q = 850 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. zbliżonego do wartości przepływu maksymalnego rocznego o prawdopodobieństwie $p = 20\%$. Jako warunki brzegowe dla transportu rumowiska wleczonego dla w/w przepływów przyjęto odpowiednio wartości jednostkowe: $q_r = 0,15-0,20 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, $q_r = 0,55 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Na podstawie kalibracji modelu hydraulicznego określono wartość współczynnika szorstkości Manninga, którą dla rozpatrywanego odcinka rzeki jako wartość stałą $n = 0,027 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/3}$. Natomiast kalibracja modelu transportu rumowiska umożliwiła określenie czasu symulacji numerycznej oraz wybór odpowiedniej formuły empirycznej – przyjęto czas symulacji 280 dni oraz formułę Wu i innych z uwzględnieniem transportu rumowiska unoszonego. Porównanie wyników obliczeń symulacyjnych wykonanych w różnych wariantach pozwoliło na sformułowanie szeregu wniosków, przede wszystkim o charakterze jakościowym, które wyjaśniają

obserwowany przebieg procesów korytowych na analizowanym odcinku rzeki. Między innymi Autor stwierdził, że pomimo mniejszego niż w roku 1961 spadku dna, w wyniku erozji liniowej nastąpiła większa koncentracja przepływu i zdolności transportowej rzeki w roku 2010, co spowodowało 4-krotnie mniejszą intensywność akumulacji rumowiska w przestrzeniach międzyostrogowych. Ponadto, stwierdzono większą o ok. 80% głębokość lokalnych rozmyć dna w rejonie głowic ostróg. Z kolei wyniki symulacji warunków przepływu według wariantu III pozwoliły określić prognozowane zmiany parametrów hydraulicznych na badanym odcinku (między innymi średnie zmniejszenie głębokości wody o 0,37 m), a także wyznaczenie wielkości uziarnienia dozowanego rumowiska, które umożliwi powstanie obrukowania dna w celu zapewnienia jego równowagi statycznej przy przepływie $WQ_p=20\%$.

W rozdz. 8 (8 str.) Doktorant podsumował wyniki wcześniejszych analiz i przedstawił wnioski końcowe, które reasumując stanowią potwierdzenie, że przyjęta metodyka i zakres pracy pozwoliły osiągnąć zamierzony cel badań, jakim było określenie wielkości, dynamiki i zasięgu erozji liniowej, powstałej w wyniku zabudowy hydrotechnicznej i regulacyjnej na badanym odcinku Odry. Ponadto, wyniki badań Autora potwierdziły dużą przydatność modelu numerycznego CCHE2D do symulacji procesów fluwialnych w korycie rzeczonym z zabudową ostrogową oraz do oceny ilościowej i jakościowej ich przebiegu.

3. OCENA POZIOMU NAUKOWEGO PRACY

Rozprawa podejmuje interesujący pod względem naukowym i praktycznym problem zapewnienia równowagi hydrodynamicznej koryt rzecznych, warunkującej jej stabilność morfologiczną i funkcjonalną w odniesieniu do wymagań gospodarczych. Tematyka podjętych badań obejmuje szereg złożonych, a przez to również trudnych do opisu i interpretacji, naturalnych procesów hydrologicznych, hydraulicznych i geomorfologicznych, podlegających także modyfikacjom pod wpływem czynników antropogenicznych. Potrzebę badań w tym zakresie potwierdza fakt, że pomimo prowadzonych na przestrzeni setek lat różnych zabiegów hydrotechnicznych, w wielu przypadkach nie zapewniono rzekom stabilności morfologicznej – dostosowanej do określonych wymagań gospodarczych. Rzeka Odra stanowi jeden z negatywnych przykładów braku zgodności założeń projektowych wykonanej w przeszłości zabudowy hydrotechnicznej oraz regulacji koryta z obecnym stanem rzeki i warunkami żeglugi. Doktorant podjął badania w celu potwierdzenia tezy, że zastosowanie modelowania numerycznego umożliwi prognozowanie przebiegu procesów fluwialnych z wystarczającą dokładnością, aby na etapie projektowania regulacji rzeki zapewnić równowagę hydrodynamiczną koryta. Zdaniem recenzenta, przyjęta teza została w pełni potwierdzona wynikami badań erozji liniowej metodą bezpośrednią i pośrednią na odcinku Odry o długości ok. 207 km, a także wynikami modelowania numerycznego przepływu wody i transportu rumowiska na odcinku rzeki o długości 7,2 km, zarówno dla historycznego stanu koryta w 1961 roku jak i stanu aktualnego – z 2010 roku. Wystarczająca zgodność wyników modelowania numerycznego ze stanem faktycznym stanowi więc podstawę do uznania za wiarygodne wyników prognostycznych, uzyskanych w Wariancie III, tj. przy założeniu podniesienia poziomu dna o 1,0-0,2 m, uzyskanego w wyniku dodatkowego zasilania rzeki grubym rumowiskiem.

Osiągnięcie zamierzonego poznawczego i jednocześnie użytecznego celu pracy nie byłoby możliwe bez opracowania odpowiedniej metodyki badań, obejmujących szeroki zakres zagadnień związanych z procesem kształtowania morfologii koryt rzecznych. Na podkreślenie zasługuje zarówno zakres wykonanych przez Doktoranta analiz różnorodnych danych archiwalnych, jak i nakład pracy włożonej w przeprowadzenie pomiarów terenowych, a także w przygotowanie i tarowanie modelu numerycznego oraz wielowariantowe obliczenia symulacyjne. Opracowanie i analizowanie danych o zróżnicowanym charakterze wymagało od

Doktoranta stosowania nowoczesnego oprogramowania oraz odpowiednich metod analitycznych, a także nabycia odpowiedniej wiedzy i umiejętności do ich praktycznego wykorzystania i właściwej interpretacji uzyskanych wyników. Zdaniem Recenzenta, uzyskane wyniki badań stanowią bogaty materiał empiryczny o wysokiej jakości, wzbogacający wiedzę dotyczącą procesów kształtowania morfologii koryt rzecznych, a także modelowania numerycznego procesów fluwialnych.

W podsumowaniu można więc stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska posiada dużą wartość naukową i użyteczną. Opracowana została na podstawie wnikliwych badań o bardzo zróżnicowanym charakterze, przeprowadzonych w sposób kompleksowy według dobrze opracowanej metodyki i przy wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi. O dobrym przygotowaniu merytorycznym Doktoranta świadczy duża sprawność w przeprowadzeniu obszernych badań oraz umiejętność wnikliwego i wieloaspektowego analizowania złożonych procesów, jakimi cechują się procesy fluwialne. Tezy, cel i zakres pracy zdefiniowane zostały w sposób przejrzysty. Układ pracy jest poprawny i logiczny, a rzetelne i właściwe wnioski znajdują pełne uzasadnienie w wynikach przeprowadzonych badań i analiz. Tekst został napisany poprawnym i zrozumiałym językiem, co znakomicie ułatwia zapoznanie się z treścią prezentowanej rozprawy doktorskiej.

Przy studiowaniu rozprawy nasunęły się również pewne pytania i uwagi merytoryczne, w tym także o charakterze dyskusyjnym:

1. W p. 3.3 Hydrologia (str. 17) Autor porównuje wartość przepływu średniego rocznego w przekrojach wodowskazowych Odry z przepływami Łaby i Renu, biorąc za podstawę porównania podobną długość wymienionych rzek. Takie porównanie jest oczywiście błędne – jakie parametry należało wziąć pod uwagę?
2. W jaki sposób można wyjaśnić obserwowane w latach 1931-2010 zmniejszanie się spadku dna rzeki, pokazane rys. 6.20 i 6.21, z jednoczesną erozją liniową dna?
3. Na rys. 7.8 (str. 116) Doktorant przedstawia zależność natężenia transportu rumowiska wleczonego od napełnienia koryta, określoną przez innych autorów, na podstawie której przyjmował warunki brzegowe w modelu transportu rumowiska. W pracy brakuje wyjaśnienia w jaki sposób i przy jakich założeniach określono tę zależność?
4. W wyniku kalibracji modelu hydraulicznego dla Wariantu I (str. 124) Doktorant dla całego rozpatrywanego odcinka rzeki przyjął stałą wartość współczynnika szorstkości Manninga $n = 0.027 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1/3}$. Czy przyjęcie stałej wartości wsp. szorstkości n na odcinku o długości 7.2 km nie stanowi zbyt dużego ujednoczenia nieuniknionej, rzeczywistej zmienności oporów przepływu? W pracy nie podano wartości wsp. szorstkości n przyjętych w obliczeniach według Wariantu II i III.
5. Rozdz. 8 (str. 157) – Autor we wniosku końcowym stwierdza, że realizacja Wariantu III, polegającego na podniesieniu poziomu dna i dokarmianiu rzeki dodatkowym rumowiskiem, spowoduje trudności uzyskania odpowiednich dla żeglugi głębokości tranzytowych. Czy prognozowane zmniejszenie głębokości wody o 37 cm (str. 148 i 156) przy przepływie SSQ może spowodować utrudnienia dla żeglugi, jeżeli z rys. 7.20 wynika, że głębokości wody na modelowanym odcinku będą przekraczały 3.0 m?

Ponadto, w pracy występuje szereg drobnych błędów o charakterze technicznym:

- Brakuje objaśnienia parametrów: q_{b*k} i d_k we wzorze 5.35 oraz q_{s*k} i g_k w 5.39.
- Brak opisu osi „y” na wykresie - rys. 6.5 i 6.6.
- W omówieniu wyników analizy wielkości erozji w przekroju wod. Malczyce (str. 89-90) niektóre z podanych wartości E są inne niż na rys. 6.46 oraz w tab. 6.25.
- Na rys. 6.48, 6.49 i 6.50 nie zaznaczono wartości SNQ i SSQ .
- Str. 103 – błędnie oznaczono warianty obliczeń numerycznych.

- Rys. 7.16 – brak objaśnienia kolorystyki rozkładu uziarnienia.
- Brak zgodności opisu czasu symulacji w modelu transportu rumowiska: tekst na str. 125 i rys. 7.18 – 270 dni, tab. 7.14 – 280 i 200 dni, str. 135 – 274 dni.
- W opisie do rys. 7.28-7.35 podawano wartości głębokości rozmyć dna przy lewostronnych i prawostronnych ostrogach. Nie wyjaśniono czy są to maksymalne czy średnie. Z kolei w opisie do rys. 7.36-7.43 podano wielkość rozmycia „dla prawej i lewej ostrogi” – które to ostrogi? Na rysunkach jest ich wiele.
- Brak numeru rysunku na str. 141. Brakuje szerszego komentarza do wyników symulacji przedstawionych na rys. 7.44-7.48.
- Błędne dane bibliograficzne w poz. 67 i 68.

4. PODSUMOWANIE

Rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Bobrowskiego dotyczy interesującego pod względem naukowym, a także ważnego z praktycznego punktu widzenia, problemu określania zmian morfologicznych w korytach rzecznych, powstających w wyniku zabudowy hydrotechnicznej i regulacyjnej. Doktorant wykazał, że modelowanie numeryczne może stanowić bardzo dobre narzędzie prognostyczne, o ile wyniki modelowania są zbieżne z faktycznie obserwowanymi zmianami morfologii koryta rzecznego. Z tego względu na podkreślenie zasługuje bardzo dobra metodyka badań Doktoranta, w której wyniki analiz opartych na znanych metodach bezpośredniej i pośredniej oceny przebiegu zmian morfologicznych w odniesieniu do historycznego stanu koryta stanowiły podstawę do weryfikacji i tarowania modelu numerycznego przepływu wody i transportu rumowiska rzecznego. Doktorant potrafił dobrze zaplanować i zrealizować kompleksowe badania z wykorzystaniem bardzo zróżnicowanych i nowoczesnych metod badawczych. Wykazał się także umiejętnością prowadzenia analizy dużej ilości zróżnicowanych danych oraz właściwego przedstawiania wyników badań. Tym samym można jednoznacznie stwierdzić, że mgr inż. Paweł Bobrowski należycie opanował warsztat badawczy.

Recenzowana rozprawa zawiera oryginalne elementy poznawcze w zakresie analizy czynników kształtujących morfologię koryt rzecznych, a także ma znaczenie użytkowe w zakresie praktycznego zastosowania modeli numerycznych w projektowaniu regulacji rzek, zapewniającej stabilność dynamiczną koryta. Wyniki badań równocześnie poszerzają wiedzę z zakresu ochrony i kształtowania środowiska, gdyż ukazują wzajemne relacje między przekształceniami antropogenicznymi koryt rzecznych a ich stanem hydromorfologicznym.

W konkluzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Bobrowskiego pt. *„Prognozowanie procesów morfologicznych Odry swobodnie płynącej z zabudową ostrogową w oparciu o modelowanie numeryczne”* spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, określone w art. 13 ust. z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2014 r., poz. 1852 z późniejszymi zmianami), dlatego wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Pawła Bobrowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

