

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Szlapy pt. "Warunki tworzenia i zmian morfo-dynamiki cofkowej strefy zbiornika wodnego, na przykładzie zbiornika Dobczyce na rzece Rabie"

#### Wstęp

Recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Moniki Szlapy opracowałem na zlecenie dr hab. inż. Stanisława Rybickiego, prof. PK – Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki z siedzibą w Krakowie, pismem z dnia 12.07.2019 roku. Rozprawa zawiera 141 stron, w tym: podziękowania, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści, spis tabel, indeks oznaczeń, tekst główny z 12 tabelami i 66 rysunkami, spis literatury oraz załącznik.

#### Charakterystyka pracy

Celem dysertacji jest identyfikacja uwarunkowań i analiza zmian zachodzących w strefie cofkowej zbiornika retencyjnego na przykładzie zbiornika wodnego Dobczyce na rzece Rabie. Cel pracy realizowano w następujących zadaniach częściowych:

- identyfikację danych, pomiary terenowe, budowa modelu zbiornika dobczyckiego,
- wykonanie symulacji numerycznych przepływu wody i ruchu rumowiska,
- interpretację wyników przeprowadzonych analiz.

Trzon pracy stanowią trzy zasadnicze części. W części pierwszej obejmującej rozdziały 1 i 2 (str. 8-41) zostały zidentyfikowane zagadnienia związane z działaniem i eksploatacją zbiorników wodnych. Autorka opisała strefy występujące w zbiornikach wodnych oraz scharakteryzowała proces transportu i sedimentacji rumowiska w zbiornikach wodnych. Następnie omówiła siły działające na pojedyncze cząstki rumowiska w wodzie, przestrzenny rozkład materiału deponowanego w zbiorniku wodnym oraz proces erozji linii brzegowej. W dalszej części pracy opisała proces załadowania zbiorników retencyjnych ze szczególnym uwzględnieniem zbiorników zlokalizowanych w dorzeczu Górnej Wisły. Zwróciła uwagę na wiarygodność danych wykorzystanych do oceny pojemności zbiorników retencyjnych oraz możliwości prognozowania tempa ich zamulania, co jest kluczowym zagadnieniem ze względu na możliwości retencyjne zbiornika. Autorka w tym opisie opiera się na literaturze krajowej i zagranicznej oraz serwisach elektronicznych.

W części drugiej (rozdziały 3 – 6, str. 41-95) opisano cel i zakres pracy, przedstawiono tezę badawczą, metodykę badawczą oraz szczegółowo scharakteryzowano badany obiekt. W tej części pracy opisano procedurę wyboru badanego obiektu, tj. zbiornika Dobczyce na rzece Rabie. Następnie Autorka zamieściła wykaz dostępnych danych, opis pomiarów terenowych *in situ*, procedurę analizy składu granulometrycznego rumowiska oraz opis modeli numerycznych, które zostały wykorzystane do symulacji przepływu wody i transportu rumowiska.

Jako kolejne zadanie Autorka scharakteryzowała zbiornik Dobczyce na Rabie i jego część cofkową, podając jego lokalizację, układ hydrograficzny, charakterystykę gospodarki wodnej i jego pojemność. Ponadto opisała warunki wiatrowe, opady atmosferyczne oraz relację pomiędzy dopływem a stanem wody w zbiorniku oraz jego pojemnością.

W kolejnym kroku omówiła zasięg strefy cofkowej zbiornika Dobczyce oraz jej zmienność. W tej części pracy dokonano analizy załadowania zbiornika na podstawie ortofotomap oraz na podstawie bilansu objętości zatrzymanego rumowiska w przekrojach poprzecznych w okresie 1987-2003. Ponadto Autorka scharakteryzowała przekształcenia linii brzegowej zbiornika Dobczyce oraz wpływ abrazji brzegów na zdeponowany materiał w czaszy zbiornika. Znaczącym fragmentem tej części pracy jest analiza składu granulometrycznego rumowiska koryta rzeki powyżej zbiornika, w strefie cofkowej i w głównej części czaszy zbiornika, a także analiza przestrzennego zróżnicowania składu granulometrycznego rumowiska w warstwie powierzchniowej (dennej) zbiornika i w jego częściach (basenach).

Trzecia część pracy (rozdział 7, str. 96-131) zawiera opis procesów sedymentacyjnych w zbiorniku Dobczyce ze szczególnym uwzględnieniem jego strefy cofkowej.

W tej części pracy Autorka opisuje założenia symulacji numerycznych przepływu wody oraz sedymentacji w warunkach ruchu nieustalonego (fale powodziowe) i ustalonego dla różnych wartości natężenia przepływu. Dodatkowo wyjaśnia różnice w podejściu typu Eulera i Lagrange'a do symulacji ruchu rumowiska. Opisuje również warunki brzegowe i początkowe modelu, dyskretyzację obszaru zbiornika oraz przyjęte scenariusze obliczeniowe. Dla wybranych scenariuszy obliczeniowych uwzględniono wpływ warunków wiatrowych na przestrzenny rozkład prędkości przepływu wody oraz redukcję gęstości konglomeratów mineralno-organicznych. Zastosowana procedura obliczeniowa pozwoliła Doktorantce określić zasięg transportu poszczególnych frakcji w głąb czaszy zbiornika Dobczyce oraz w strefie cofkowej.

Rozdział 8 (str. 131-135) zawiera wyniki badań, które zestawiono w 7 punktach i podzielono na wnioski ogólne i szczegółowe. W Bibliografii znajdują się 73 pozycje oraz odnośniki do 3 stron internetowych. Załącznik zawiera kolorową mapę w formacie A3.

## **Ocena poziomu naukowego pracy**

Prezentowana praca ma duże znaczenie dla oceny stanu wód powierzchniowych poprzez poznanie procesów morfologicznych zbiornika wodnego a szczególne w rejonie ujścia rzeki go zasilającego. Obszar w strefie cofkowej zbiornika jest najbardziej wrażliwy na zmiany warunków hydraulicznych i transportu rumowiska na skutek zmienności warunków zasilania, odpływu i zmiany wysokości piętrzenia. Jest więc podstawą do prognozowania i poprawy stanu ekologicznego zbiornika.

**Celem pracy jest identyfikacja uwarunkowań oraz analiza zmian zachodzących w strefie cofkowej zbiornika wodnego z dominującą funkcją retencyjną na przykładzie zbiornika wodnego Dobczyce na rzece Rabie.**

Postawiona teza badawcza zakłada możliwość efektywnego wykorzystania modelu transportu sedymentu, opartego na podejściu Lagrange'a dla analizy i oceny segregacji rumowiska w procesach sedymentacyjnych w zbiorniku wodnym.

Cel pracy został zrealizowany w następujących zadaniach szczegółowych;

- wybór obiektu badawczego i identyfikację dostępnych danych,
- pomiary terenowe *in situ*, które obejmowały pobór prób o nienaruszonej strukturze do głębokości do 3,2 m (!) oraz analizę składu granulometrycznego rumowiska,

- opis przekształcenia linii brzegowej zbiornika oraz intensywność procesu abrazji,
- analizę załadunku zbiornika Dobczyce na podstawie bilansu zatrzymanego w przekrojach poprzecznych rumowiska w okresie 1987-2003,
- analizę przestrzennego zróżnicowania składu granulometrycznego rumowiska w warstwie powierzchniowej zbiornika oraz w jego wyróżnionych częściach (basenach),
- dyskretyzację obszaru zbiornika oraz zdefiniowano warunki brzegowe i początkowe modelu numerycznego,
- wybór scenariuszy obliczeniowych dla ruchu nieustalonego i ustalonego z uwzględnieniem warunków wiatrowych oraz obecności konglomeratów,
- symulacje przepływu wody i ruchu rumowiska oraz wizualizację wyników obliczeń,
- analizę wyników transportu i sedymentacji frakcji mineralnych oraz konglomeratów.

Na podstawie danych topograficznych, numerycznego modelu dna zbiornika oraz historycznych zdjęć lotniczych Autorka wyznaczyła zasięg strefy cofkowej, zidentyfikowała miejsca deponowania dostarczanego rumowiska na przestrzeni 20 lat oraz określiła zmiany spadku dna na długości zbiornika. Przeanalizowała wartości współczynnika  $\alpha$  (czas retencji zbiornika) w latach 1997-2016. Stwierdziła, że ze względu na szybszy spadek wartości względnych przepływu średniorocznego niż objętości wody w zbiorniku, nie może być on traktowany jako wskaźnik utraty pojemności.

Próbki rumowiska o nienaruszonej strukturze zostały pobrane w warstwach o miąższości 0,20 m do głębokości 3,2 m w części cofkowej zbiornika. Dane te zostały uzupełnione o wyniki prac innych autorów co pozwoliło na zidentyfikowanie trendu rozkładu frakcji rumowiska w całym zbiorniku. Trendem rosnącym odznacza się udział ziaren o średnicach najmniejszych (do 0,02 mm) w rumowisku dennym, który wzrasta wraz ze zbliżaniem się do przekroju zapory. Dla średnic w zakresie 0,02÷0,05 mm (gruby pył) rozkład udziału tej frakcji wzdłuż zbiornika jest prawie stały, natomiast dla ziaren największych (powyżej 0,05 mm) widać wyraźny spadek udziału tych frakcji. Te obserwacje Autorki potwierdza korelacja procentowej zawartości poszczególnych frakcji w próbkach w profilu podłużnym, która potwierdza trend dla frakcji iłowej ( $\leq 0,002$  mm) oraz dla frakcji pyłu grubego (0,02÷0,05 mm), gdzie współczynnik korelacji  $r > 0,576$  ( $p=12$ ,  $\alpha=5\%$ ).

Integralną częścią tych analiz jest określenie wpływu abrazji na skład granulometryczny rumowiska w czaszy zbiornika. W ich wyniku określono znacznie wyraźniejszy efekt sortowania ziaren na długości akwenu w próbkach zebranych w strefie nurtu głównego, niż w tych pobranych w sąsiedztwie brzegów. Ponadto w przypadku zbiornika Dobczyce abrazja jest jedynie procesem wspomagającym udział frakcji grubszych w cofce. Wg Autorki jest to zatem sytuacja inna niż w przypadku głębokich zbiorników, gdzie występujące w cofce frakcje grubsze są w większości efektem niszczenia brzegów.

Doktorantka przeanalizowała dane meteorologiczne i hydrologiczne stwierdzając, że w rejonie zbiornika Dobczyce:

- przeważają wiatry południowo-zachodnie i zachodnie jak również widoczny jest udział wiatrów północno-wschodnich a prędkość podmuchów dochodzi do 1-3  $\text{ms}^{-1}$ ,
- najwyższy opad najbardziej prawdopodobny występuje w miesiącach czerwiec i lipiec, natomiast incydentalne zdarzenia o ekstremalnie wysokich sumach opadu przypadają na maj,
- chociaż w lipcu wartość przepływu średniego dobowego ma wartość 5,3  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  i jest znacznie poniżej średniej rocznej (11,4  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), to właśnie w tym miesiącu najczęściej występują przepływy powodziowe. Najwyższą wartość przepływu średniodobowego (10,3  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) uzyskano dla marca co jest następstwem wiosennych roztopów,
- zależność średnich dobowych przepływów oraz stanów na zbiorniku w kolejnych miesiącach charakteryzuje pewna bezwładność. Reakcja poziomu zwierciadła na podwyższony lub obniżony dopływ nie jest natychmiastowa, przy czym w tym pierwszym

przypadku czas reakcji jest dwukrotnie krótszy. Relacja dopływ – stan ma charakter rozmyty z tendencją rosnącą. Nie ma więc możliwości dopasowania tu formuły matematycznej.

Doktorantka zbudowała model numeryczny zbiornika, którego rozmiar pojedynczej komórki wynosi  $200 \times 200$  m, zdefiniowała warunki początkowe i brzegowe oraz wykonała symulacje warunków przepływu wody i ruchu rumowiska. W tym celu wykorzystwała dwuwymiarowy model numeryczny, który obejmował model przepływu wody - Adaptive Hydraulics Model, bazujący na metodzie elementów skończonych oraz równaniu zachowania masy i pędu oraz model transportu cząstek Particle Tracking Model, wykonujący obliczenia metodą Lagrange'a. Autorka wykorzystwała rzadko wybieraną metodę śledzenia trajektorii pojedynczych cząstek rumowiska transportowanych przez strumień wody w czaszy zbiornika, ich osadzania i „podrywanie” z dna. Wymagało to ustalenia miejsca i parametrów źródła cząstek rumowiska, cech samego materiału (gęstość oraz średnice) oraz schematu czasowego dostarczania cząstek dostosowany do natężenia dopływu do zbiornika,

Autorka przeprowadziła analizę następujących scenariuszy obliczeniowych:

- ruch ustalony dla stałych poziomów piętrzenia (NPP i MaxPP) oraz stałych natężeń dopływu  $Q_{50\%}=200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ,  $Q_{doz}=300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  i  $Q_{pow}=600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ,
- ruchu nieustalony - powódzie z lat 1997 i 2010 - zmienne w czasie natężenie dopływu, poziom zwierciadła wody w zbiorniku oraz natężenie odpływu,
- transportu pojedynczych cząstek rumowiska i konglomeratów,
- wpływ warunków wiatrowych na warunki transportu.

Uzyskane wyniki pozwoliły określić zasięg transportu rumowiska oraz jego segregację na długości cofki w powiązaniu z przebiegiem tego procesu w całej czaszy zbiornika. Stwierdziła Ona, że:

- w strefie cofkowej zatrzymywane są frakcje piaskowe i większe średnice a średnica  $d=0,05$  mm jest wielkością graniczną. Blisko 100% tej frakcji opada na dno w obszarze cofki. Wyjątek stanowi przejście fali powodziowej w 2010 roku, kiedy blisko 10% tej frakcji zostało zdeponowane w środkowym basenie zbiornika Dobczyce,
- pojedyncze cząstki grubszych frakcji (piaski) nie są transportowane poza obszar cofkowy nawet w trakcie wezbrań powodziowych. W trakcie przejścia fali powodziowej w 2010 roku w strefie cofkowej zostało zdeponowane zaledwie 2-5% najdrobniejszych cząstek (iły). W porównaniu z falą z 1997 roku fala z 2010 roku znacznie przesunęła obszar depozycji wszystkich frakcji w kierunku przekroju zapory,
- w warunkach przepływów ustalonych depozycja najdrobniejszych frakcji (0,002 mm) w obszarze cofkowym spada wraz ze wzrostem natężenia i prędkości przepływu. Większe prędkości powodują wydłużenie drogi sedymentacji i przesunięcie jej granicy w głąb zbiornika, nieraz poza granice cofki. Dla wyższego poziomu piętrzenia przy stałym natężeniu przepływu droga sedymentacji skraca się ze względu na niższe wartości prędkości przepływu wody,
- warunki wiatrowe występujące w obszarze zbiornika nie wykazują istotnego wpływu na procesy transportu i sedymentacji w zbiorniku Dobczyce,
- cząstki o większych rozmiarach związane w konglomeraty mogą być transportowane na dalsze odległości w odróżnieniu do pojedynczych o tych samych średnicach,
- wykorzystanie modelowania opartego na podejściu Lagrange'a do modelowania procesów sedymentacji w zbiorniku jest uzasadnione.

#### Uwagi ogólne i szczegółowe

Szeroki zakres badań spowodował, że niektóre z omawianych zagadnień wyjaśnione są skrótowo a inne uznane mogą być za dyskusyjne, i tak:

- prędkość opadania cząstek oprócz ich ciężaru, wielkości, temperatury wody zależy również od ich kształtu. Ten aspekt nie został przez Autorkę poruszony (str. 18),
- Rys. 29 przedstawia profil podłużny wykonany wzdłuż linii nurtu zbiornika Dobczyce. Bez odniesienia do historycznego profilu dna trudno stwierdzić czy układ dna prezentuje zmiany oraz czy są one intensywne (str. 70-71),
- czy w metodzie Lagrange'a cząstki opadające na dno lub „poderwane” z dna zmieniają jego poziom, tzn. czy sedymentacja i erozja skutkują podniesieniem lub obniżeniem się rzędnej dna. Tym samym czy zmieniają się aktywny przekrój poprzeczny i warunki przepływu wody (str. 97, pkt. b). Ponadto w literaturze dostępne są publikacje, również z polskich ośrodków naukowych w których wykorzystywane było podejście Lagrange'a,
- maksymalne prędkości przepływu wody osiągają wartość  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Czy symulacje numeryczne zostały wykonywane przy założeniu dna sztywnego (Rys. 47 i 48),
- według jakiej procedury przeprowadzono kalibrację i weryfikację modelu,
- czy przyjęty rozmiar pojedynczej komórki obliczeniowej  $200 \times 200 \text{ m}$  jest rozmiarem optymalnym,
- czy jest możliwe na podstawie wyników modelowania oszacowanie intensywności transportu rumowiska [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ] lub ilości przetransportowanego w fali wezbrania rumowiska [ $\text{kg}$  lub  $\text{m}^3$ ].

Drobne błędy edytorskie zauważone w tekście:

- str. 6; brak w spisie treści podrozdziałów od 7.2 do 7.7,
- str. 7, jednostkowe natężenie przepływu [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ], rzędna dna [ $\text{m n.p.m.}$ ],
- str. 16, powtórzona w tekście nazwa Rys. 3; podobnie str. 59, Rys. 20 oraz str. 68, Rys. 26,
- str. 17, jest „...siłą wleczenia...”, powinno być „... siłą ciężkości”,
- str. 29, treści zawarte w podrozdziale 2.2 pokrywają się z opisem stref w podrozdziale 1.1,
- str. 36, „Rys. 14. Pierwotne koryto rzeki... po opróżnieniu zbiornika...” - ze względu na akumulację materiału identyfikacja pierwotnego przebiegu koryta wydaje się utrudniona,
- str. 44, podrozdział 3.3 zawiera treści powtórzone w rozdziale 4,
- str. 47, 3wd, jest „Analizę granulometryczną przedstawioną...” powinno być „Skład granulometryczny przedstawiono...”,
- str. 70, Rys. 28, brak skali,
- str. 77, Rys. 32, w Zał. 1 numery przekrojów oznaczono cyframi rzymskimi,
- str. 132, pkt. 4, skrót myślowy „... teza badawcza ... okazała się osiągalna”.

Zauważone drobne błędy edytorskie nie wpływają na ocenę merytoryczną pracy.

Autorka rozpatruje w swojej dysertacji szerokie i złożone zagadnienie związane z poprawą jakości środowiska wodnego poprzez poznanie mechanizmów kształtujących morfologię cofkowej strefy zbiornika oraz rozprzestrzeniania się rumowiska. Zdaniem recenzenta jest to znacząca wartość tematu badawczego tej rozprawy. Przeprowadzono w sposób poprawny analizę źródeł i istniejącej literatury w tym zakresie. Zaprojektowała i wykonała pracochłonne badania terenowe, a zbudowany model numeryczny zbiornika wykorzystwała do symulacji różnych wariantów obliczeniowych.

Zaprezentowane wyniki badań, w szczególności w odniesieniu do:

- identyfikacji danych charakteryzujących obiekt badań,
- analizy składu granulometrycznego rumowiska w części cofkowej oraz wpływu abrazji brzegów na skład granulometryczny rumowiska w czaszy zbiornika,
- bilansu zdeponowanego materiału w strefie cofkowej,
- parametryzacji procesu transportu i sedymentacji rumowiska w czaszy zbiornika z uwzględnieniem czynników zewnętrznych

stanowią oryginalny wkład Autorki rozprawy w rozwój wiedzy z zakresu inżynierii środowiska będąc przykładem szerokiego podejścia do zmian morfologii strefy cofkowej zbiornika wodnego. Sformułowana teza badawcza została zweryfikowana pozytywnie przez Doktorantkę pomiarami terenowymi, szczegółowymi wynikami modelowania numerycznego i sformułowanymi w pracy wnioskami.

W rozprawie został rozwiązany podstawowy problemem dla praktyki inżynierskiej, tj. uzyskanie wiarygodnych informacji dla wspomaganie procesu podejmowania decyzji w zarządzaniu zbiornikiem wodnym w zakresie poprawy jakości wody w zbiorniku retencyjnym. Doktorantka rozwiązała postawione zagadnienia używając właściwych do tego metod, konsekwentnie je realizując. Prezentowane wyniki są przedstawione w sposób czytelny i zrozumiały co świadczy, że Autorka wykazuje się umiejętnością poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników.

Na uznanie zasługuje również propozycja dalszych prac w zakresie powiązania transportu konglomeratów z transportem szkodliwych związków chemicznych oraz wykorzystanie ich w celu utrzymania dobrego potencjału ekologicznego zbiorników wodnych.

## **Podsumowanie**

Pracę doktorską mgr inż. Moniki Szlapy należy uznać za właściwie zaprogramowane i zrealizowane studium metodyczne analizy warunków tworzenia i zmian morfologii cofkowej strefy zbiornika wodnego. Praca zrealizowana została przy wykorzystaniu istniejących technik pomiarowych i dostępnych modeli numerycznych.

Cennym osiągnięciem doktorantki są stworzenie bazy danych oraz przygotowanie modelu zbiornika Dobczyce. Autorka rozprawy przeprowadziła wariantowe symulacje numeryczne przepływu wody i ruchu rumowiska potwierdzając postawioną tezę badawczą wnioskami szczegółowymi co stanowi spełnienie zakładanego celu pracy. Wykazała się przy tym systematycznością i dociekliwością. Wypracowany schemat postępowania badawczego jest logiczny i spójny z przyjętymi założeniami. Cytowane źródła dobrane są merytorycznie właściwe. Udowodniła umiejętności prowadzenia analizy i interpretacji wyników. Na podkreślenie zasługuje wnikliwa analiza danych i prawidłowe wnioskowanie. Wnioski przedstawione w pracy są logiczne i świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu Doktorantki do pracy badawczej.

**Recenzowana praca spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim, określone w Ustawie z 14 marca 2003r. o stopniach naukowych oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). Wnioskuje więc o przyjęcie i dopuszczenie pracy pt. „Warunki tworzenia i zmian morfo-dynamiki cofkowej strefy zbiornika wodnego, na przykładzie zbiornika Dobczyce na rzece Rabe” przygotowanej przez mgr inż. Monikę Szlapę do publicznej obrony.**

Z poważaniem

