

Prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik
profesor senior
Politechniki Krakowskiej

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Łukasza SOBCZAKA nt. "Dynamika rumowiska niejednorodnego granulometrycznie w warunkach przepływu z ruchomą warstwą nachylonego dna"

Niniejsza opinia została wykonana na podstawie zlecenia Dyrektora Instytutu Budownictwa Wodnego PAN - Pana dr hab. inż. Waldemara Świdzińskiego, prof. IBW z dnia 6.12.2016 (pismo nr 597/2021).

1. Wprowadzenie

Przedmiotem rozprawy jest próba sformułowania uniwersalnego modelu transportu rumowiska w warunkach koryt otwartych, uwzględniającego wielowarstwowy ruch jego części zawieszanej, wleczonej oraz utrzymującej się w zagęszczonej warstwie przydennej. Źródłem/odniesieniem dla tego podejścia jest zintegrowany opis transportu rumowiska w morskim obszarze przybrzeżnym, poddanym wpływom falowania.

Na wstępie (Rozdział 1), Autor odnosi modelowanie transportu do praktycznych aspektów/konsekwencji zabudowy rzek na zmianę ich dynamiki i procesów morfologicznych. Przywołuje tutaj własne doświadczenia zawodowe w zakresie budowy piętrzących, a zwłaszcza elektrowni szczytowo-pompowej Żarnowiec. Niestety, nie każdy zna schemat lokalizacyjno-wysokościowy i techniczno-technologiczny pracy tego obiektu, co ułatwiłoby lepsze rozumienie zamieszczonych w pracy, dosyć ogólnych i wybiórczych komentarzy, dotyczących występujących tam problemów rumowiskowych.

To wprowadzenie ogólnie i poprawnie ujmuje zagadnienia inżynierskie dotyczące kwestii rumowiskowo-morfologicznych na etapie projektowania obiektów, a także systematycznego ich monitorowania i oceny stanu w okresie ich eksploatacji. W podsumowaniu tej części pracy Autor:

- Krytycznie odnosi się do wykorzystania w praktyce projektowej, stosowanych obecnie modeli numerycznych, wykorzystujących głównie empiryczne formuły na transport rumowiska;

- Postuluje za niezbędne opracowanie uniwersalnego modelu tego transportu, opartego na zaawansowanym opisie fizyki zjawisk towarzyszących transportowi osadów i dających wiarygodne wyniki w najszerszym - jak pisze - zakresie warunków. Sugeruje jednocześnie, że prezentowane w rozprawie podejście, oparte na wielowarstwowym opisie fizycznego procesu transportu cząstek stałych, spełnia takie wymagania.

Moim zdaniem, to bardzo ambitny pogląd, który jednak niesłusznie i w zbyt uproszczony sposób - negatywnie ocenia część obecnie dostępnych modeli hydrodynamicznych dla złożonych warunków rzek, ich systemów i zabudowy. Wystarczy wymienić modele FESWMS, RMA i AdH należące do rodziny SMS (*Surface Modelling Simulation*, US Corps of Engineers), czy też modele z rodziny HEC-Ras (US Corps of Engineers), czy też Mike 21 (DHI - Danish Hydraulic Institute). Są to od wielu lat rozwijane i na bieżąco weryfikowane modele systemowe, ujmujące zarówno jedno a częściej dwuwymiarową nieustalona dynamikę złożonych systemów rzecznych jak i zróżnicowane - wielorodzajowe podejście do transportu rumowiska, dostosowane do lokalnych uwarunkowań.

Zarówno Rozdział 2 pt. *Przegląd literatury dotyczącej modelowania koryt otwartych* jak analiza *Wykazu literatury* (Rozdział - punkt 9) ocenianej rozprawy potwierdzają brak takiego rozpoznania przez Autora. Pozycje literaturowe cytowane w pracy, odniósł Autor przede wszystkim do podstaw transportu rumowiska i jego parametryzacji w określonych warunkach ustalonej dynamiki przepływu, a wnioski i sugestie odnosi do znacznie szerszego obszaru zagadnień praktycznych (np. zbiorniki retencyjne). To moim zdaniem nieuprawnione oceny, wynikające przede wszystkim z braku doświadczenia w rozwiązywaniu złożonych zagadnień w obszarze wód powierzchniowych.

Oczywiście, w pełni zgadzam się z koniecznością prac nad rozwojem poprawnego odwzorowania transportu rumowiska, ale uważam, że trzeba rozumieć i umieć ocenić ilościowo całą złożoność warunków wpływających na przebieg procesu transportu i jego dynamiki, przekładających się na uwarunkowania dynamiki morfologicznej rzek i ich systemów. Wymaga to dużego doświadczenia, a w inżynierii prostsze z pozoru rozwiązania, ukierunkowane na określony efekt końcowy są często bardziej efektywne, ponieważ jak wiadomo – każdy model w określonym stopniu upraszcza proces fizyczny.

2. Przedmiot, cel i zakres rozprawy

W końcówce Rozdziału 2. (*Przegląd literatury dotyczącej modelowania koryt otwartych*), w podsumowaniu (p-kt 2.4 *Podsumowanie*), Autor odniósł się do własnych badań nad wielowarstwowym modelem transportu osadów dla przepływu w korytach otwartych, w relacji do badań zespołowych nad tym modelem, zarówno dla warunków falowych w morskiej strefy przybrzeżnej jak i dla koryt.

Potwierdza to udział Autora w rozwoju i aplikacji tego modelu w warunkach koryt otwartych, związany z opisem naprężeń stycznych, stanowiących źródło ruchu osadów.

W tej sytuacji, niezależnie od publikacji wielo-autorskich (np. Sobczak, Kaczmarek, Biegowski) oraz źródła podstawowego konceptu wielowarstwowego, można uznać, że oceniana rozprawa doktorska integruje wkład Autora w sformułowanie tego modelu, jego szeroką weryfikację na podstawie danych literaturowych i własnych badań terenowych oraz rozwój tego podejścia dla warunków silnie nachylonego dna koryta otartego. To ważne, ponieważ pozwala lepiej zrozumieć opisane skrótowo w Rozdziale 3, tezę, cel i zakres pracy.

Teza pracy, zaprezentowana w punkcie 3.1 i odniesiona do dynamiki dna pochyłego stanowi, że całkowity transport rumowiska w takich warunkach winien uwzględniać:

- pionową wielowarstwową strukturę transportu i segregacji osadów wraz z pionowym rozkładem prędkości przepływu i naprężeń stycznych,
- udział sił grawitacji przyspieszających lub opóźniających ruch ziaren w zależności od kierunku nachylenia dna.

W punkcie 3.2, Autor podaje, że:

"Celem pracy jest opracowanie i weryfikacja teoretycznego modelu transportu i segregacji osadów niespoistych i niejednorodnych granulometrycznie, z pionowymi rozkładami ich prędkości i koncentracji oraz składu granulometrycznego, w warunkach przepływu w korycie otwartym nad dnem lokalnie nachylonym zgodnie lub przeciwnie w kierunku ruchu osadów, w zakresie od zera do nachyleń zbliżonych do wartości kąta tarcia wewnętrznego."

Zakres pracy powtarza cel w skrócie dodając, że weryfikacja obejmuje dane literaturowe i terenowe, rozszerzając ogólnie - opisowo charakter tych danych.

Te zapisy, jak widać wprowadzają pewien chaos informacyjny, także na tle przeglądu literaturowego, ale uznają istotny wkład Autora w opracowanie przedmiotowego modelu.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Rozdziały rozwijające tezę, cel i zakres pracy, to:

Rozdz. 4. Wielowarstwowy model transportu rumowiska w warunkach przepływu w korytach otwartych.

To 36-cio stronicowy rozdział, w którym opisano sam model dla rumowiska jednorodnego geometrycznie, przy założeniu ustalonych warunków ruchu wolnozmiennego. Zawiera on także teoretyczną analizę wstępnych wyników obliczeń, a także weryfikację zastosowania modelu dla danych literaturowych, pod kątem oceny odwzorowania wartości i rozkładu w pionowym układzie przepływu następujących parametrów i charakterystyk: (i) naprężeń stycznych, (ii) prędkości transportowanych ziaren, (iii) koncentracji referencyjnej rumowiska i miąższości warstw jego transportu, (iv) koncentracji i prędkości transportowanego materiału a także (v) sumarycznej wartości transportu osadów w pionie.

Rozdz. 5 Transport rumowiska niejednorodnego granulometrycznie.

To 16-to stronicowy rozdział rozwijający matematyczny opis modelu w kierunku transportu zróżnicowanego granulometrycznie, na bazie parametrów transportowanego materiału charakteryzowanych średnicą miarodajną. Rozdział, zawiera opis własnych badań terenowych Autora i weryfikację wyników modelowych na podstawie tych danych pomiarowych.

Rozdz. 6. Wielowarstwowy model transportu rumowiska w warunkach przepływu w kanale otwartym nad lokalnie silnie nachylonym dnem.

To 22-u stronicowy rozdział wprowadzający do modelu wielowarstwowego dodatkowo składową ciężaru ziaren rumowiska, związana z nachyleniem dna koryta otwartego wraz z weryfikacją efektów tej modyfikacji modelu na podstawie danych laboratoryjnych.

Rozdz. 7. Podsumowanie i wnioski.

Zawiera trzystronicowe podsumowanie pracy.

Uwagi i komentarze do wielowarstwowego modelu transportu rumowiska (w zakresie Rozdziałów 4-6)

Denne naprężenia styczne przepływu, jako podstawowa siła sprawcza ruchu rumowiska dennego (wlezonego) w korytach otwartych, to obecnie kluczowe założenie w podejściu do oceny potencjalnych możliwości i wartości transportu tego rumowiska. Podobnie, w przypadku rumowiska zawieszonoego, prędkość opadania ziaren w wodzie stojącej w opozycji do prędkości wody, stanowi jeden z głównych elementów ograniczających jego ruch. Oczywiście, zarówno siła sprawcza w postaci naprężeń ścinających jak i ograniczenie transportu materiału, związane z prędkością opadania ziaren, są jednocześnie - parametrycznie uwzględniane w formułach/modelach transportu rumowiska dennego i zawieszonoego, przy odpowiednich założeniach modelowych. Założenia te uwzględniają oczywiście przechodzenie jednej formy transportu w drugą i odwrotnie, w zależności od parametrów przepływu wody i samego materiału/osadu.

Autor, rozwijając model w kierunku zintegrowanego wielowarstwowego ujęcia ruchu rumowiska w jednym opisie formalnym:

- Poszerzył rodzajowo warstwy ruchu rumowiska, wyróżniając dwie warstwy: gęstą i kontaktową jako strefę transportu przy dnie lub jego źródła w dnie, oraz dwie warstwy: wewnętrzną i zewnętrzną w strefie transportu zawieszonoego;
- Stosownie do tego założenia i prac innych badaczy, opisane zostały składowe naprężeń ścinających, których rozkład w pionie, związany jest z rozkładem prędkości w pionie i skutkuje adekwatnym rozkładem koncentracji osadów w pionie.

Przyjęte do opisu warstwowego transportu osadów założenia, w tym upraszczające dotyczące pionowego rozkładu naprężeń a także wykorzystanie formuły Meyer-Petera i Mullera do ustalenia parametrów w warstwie kontaktowej, nie budzą zastrzeżeń. Są to

założenia trafne, a uproszczenia opisu są zwykle przyjmowane, jako ograniczenia modelowego odwzorowania procesu fizycznego, oczywiście w granicach dopuszczonych warunkami aplikacji. Dopiero weryfikacja w zróżnicowanych warunkach przepływu i parametrów rumowiska wskazuje na poprawność przyjętych założeń.

Jeśli chodzi o założenia dotyczące modelu przepływu wody, Autor oparł się na równaniu Bernoulliego, które bilansuje energię mechaniczną w kolejnych przekrojach poprzecznych przepływu i w korytach otwartych jest stosowane w warunkach ruchu wolnozmiennego, ale nie rwącego. Oznacza to, że jest stosowane na ogół dla spadków dna poniżej 10, a właściwie nawet 8 stopni. Dla większych i znaczących wartości spadków dna, gdzie istotną rolę odgrywa składowa ciężaru sekcji wody w kierunku wyznaczonym przez dno, nie można przyjąć takiego przybliżenia, ponieważ tangens kąta nachylenia dna nie jest w przybliżeniu równy sinusowi tego kąta, a jego cosinus nie równa się w przybliżeniu wartości jeden. Jest to związane z przyjęciem do opisu równań układu kartezjańskiego z poziomą osią "x", a praca składowej ciężaru sekcji przepływu wywołująca stratę/spadek energii mechanicznej musi być odniesiona do dna nachylonego, czyli układu kartezjańskiego z osią "x1" - pochyloną zgodnie z kierunkiem dna. Oznacza to konieczność przejścia z układu o osi „x1” - zgodnej z nachyleniem dna do układu osi poziomej "x". Aby uniknąć straty wartości przy powtórnym rzutowaniu siły tarcia na oś "x", kąt nachylenia dna powinien być odpowiednio mały (poniżej 8-10 stopni), co jednocześnie zapewnia utrzymanie odległości pomiędzy pionowymi przekrojami poprzecznymi - liczone wzdłuż poziomej osi "x". Przy znaczących wartościach spadku dna w korytach otwartych, stosuje się na ogół równanie wektorowe pędu. Równanie to, albo zachowuje układ kartezjański z pochyloną osią "x1" z czytelnym odwzorowaniem wpływ składowych siły ciężkości na parametry ruchu, albo stosuje się przejście na układ z poziomą osią "x" rzutując powtórnie te składowe poprzez zastosowanie cosinusa kąta nachylenia dna. To znane zasady przy formułowaniu równań przepływu i ich numerycznej reprezentacji.

W swojej pracy, Autor:

- Po pierwsze, rozumie ruch wolnozmienny jako bardzo bliski jednostajnemu, co jest niepoprawne. Przy tym założeniu, nie można byłoby np. zastosować tego podejścia w zbiornikach retencyjnych, gdzie zwierciadło wody jest bliskie poziomemu, nachylenie dna zróżnicowane, a głębokości różniące się o rząd wielkości.

To założenie, moim zdaniem zostało sformułowane, aby spadki: dna, zwierciadła i energii były w przybliżeniu sobie równe tak, jak przyjmuje się w empirycznych formułach na transport rumowiska. Jednak od bardzo dawna przyjmuje się, że lokalna/chwilowa wartość spadku energii/tarcia reprezentuje w wystarczającym stopniu warunki sprzyjające aplikacji formuł/parametrów empirycznych w ruchu wolnozmiennym – spokojnym lub rwącym.

- Po drugie "nie zauważa", że znaczący spadek dna zmienia układ sił, a co za tym idzie naprężenia styczne i inne parametry, liczone jak poprzednio, obarczone są

sporym błędem, na skutek braku przejścia z układu o pochylonej osi "x1" do układu o poziomej osi "x". W tej sytuacji także składowa ciężaru ziarna - przyspieszająca lub opóźniająca ruch, powinna być skorygowana do układu odniesienia.

Być może, przy zastosowanych obliczeniach, numerycznie to są błędy porównywalne z innymi założeniami upraszczającymi tak jak w przypadku pojęć spadek linii energii (równanie Bernoulliego) i spadek tarcia (równanie pędu), ale merytorycznie wymagałoby to korekty. W przypadku lokalnych zmian spadku w warunkach ruchu spokojnego, zwłaszcza w obszarze cofki zbiornika wodnego, zaniedbuje się te niuanse dotyczące energii i-pędu wiedząc, że to przypadki wysokich głębokości przepływu przy bardzo niskich spadkach zwierciadła wody, a tym samym dominująca jest pionowa składowa ciężaru sekcji przy bliskim zeru spadku energii. Jednak przedstawione w Rozdziale 6 aplikacje dotyczą ruchu rwącego, występującego przy ostrym - dodatnim nachyleniu dna i zwierciadła wody na całej długości kanału. W takich przypadkach warto pamiętać, że wartość cosinusa kąta nachylenia dna, dla 10° , 20° i 35° , osiąga odpowiednio wartości: 0,98, 0,94 i 0,82. Daje to zróżnicowane wartości błędów.

Zaprezentowane w pracy podejście jest obarczone takimi "nieścistościami", które moim zdaniem, są częściowo widoczne w wynikach weryfikacji modelu. Zwracam na to uwagę, aby Autor rozwijając swoje podejście w przyszłości nie zaniedbywał istoty rzeczy w formalizmie fizyczno-matematycznym i w rozumieniu stosowanych równań.

Uwagi i komentarze do weryfikacji podstawowego wielowarstwowego modelu transportu rumowiska jednorodnego granulometrycznie (Rozdział 4)

To ważna część pracy, w której Autor zebrał dostępne dane laboratoryjne z wielu ośrodków badawczych, dokonał ich segregacji pod kątem możliwości weryfikacyjnych proponowanego przez siebie podejścia i przeprowadził analizy i oceny ilościowe na potrzeby tej weryfikacji.

Generalnie, wyniki są zadowalające, ale wymagają komentarza, który niżej zamieszczam.

Wyniki weryfikacji uzyskane w zakresie elementów pionowego rozkładu naprężeń i prędkości przemieszczania się ziaren, a także koncentracji referencyjnej i miąższości warstw, potwierdzają dobre dopasowanie modelu dla zróżnicowanych warunków dynamicznych przepływu i parametrów rumowiska.

Kluczowe dla praktyki inżynierskiej, są wyniki weryfikacji dotyczące pionowego rozkładu koncentracji transportu rumowiska oraz całkowitej masy (objętości) tego transportu. W tym przypadku wyniki nie są jednoznaczne, w szczególności:

- i. Przedstawione na rysunkach 18 i 19 wyniki weryfikacji rozkładów koncentracji rumowiska w warstwach zawieszonych i kontaktowej różnią się wielokrotnie od koncentracji pomiarowej na różnych głębokościach przepływu. Autor zastosował dla koncentracji skalę logarytmiczną bez podziałki pomocniczej, co utrudnia porównanie, ale jednak te różnice są istotne i mogą wynikać z uproszczenia rozkładu naprężeń, głównie powyżej granicy warstwy kontaktowej.

- ii. Jeśli chodzi o sumaryczny transport rumowiska, także wyniki są zróżnicowane, ale:
- Zaprezentowane na rys. 22 sumaryczne wyniki z czterech źródeł pomiarowych, potwierdzają wysoką zgodność z modelem dla transportu w średnim zakresie (od 00002 do 0,001 m³/m/s), rozbieżność 2-3 krotną dla wyższych wartości transportu i niejednoznaczne wyniki dla bardzo małych wartości transportu, co można tłumaczyć trudnościami pomiarowymi;
 - Zaprezentowane na rysunku 24 wyniki, wykazują różnice 4-6 krotne w stosunku do pomiaru;
 - Rysunek 22 potwierdza problem odwzorowania koncentracji w strefie rumowiska zawieszzonego. Tutaj Autor starał się jednocześnie wykazać wyższość modelu wielowarstwowego nad aplikacją formuły Meyer-Petera i Mullera. Niestety, zapomniał lub nie zwrócił uwagi, że ta formuła jest obowiązująca dla rumowiska o średnicy większej od 0,4 mm (patrz *Meyer-Peter, E.; Müller, R. Formulas for bed-load transport. In Proceedings of the 2nd IAHR Congress, Stockholm, Sweden, 7-9 June 1948; IAHR: Delft, The Netherlands, 1948; Volume A2, pp. 1-26*), a obliczenia oraz porównania zostały przeprowadzone dla $d = 0,19$ mm.

Myślę, że w dalszych pracach warto zwrócić uwagę na te aspekty założeń modelowych pod kątem efektywności aplikacyjnej modelu.

Uwagi i komentarze do weryfikacji wielowarstwowego modelu transportu rumowiska w realnych warunkach transportu rumowiska zróżnicowanego granulometrycznie (Rozdział 5)

Założenia przyjęte dla transportu mieszaniny, na potrzeby segregacji frakcji, są poprawne.

Weryfikację tej wersji modelu przeprowadzono dla rzeczywistych warunków Wisły, na poziomie odcinka rzeki pomiędzy kilometrami 863 i 869. To część pracy obejmująca także udział Autora w realizacji trudnych pomiarów terenowych, wymagających doświadczenia i specjalistycznego sprzętu. Jak zaznaczono w pracy, pomiary zostały zrealizowane w ramach projektu *US-Poland Technology Transfer USTTP-05*. Opisano przebieg pomiarów i przedstawiono typowe charakterystyki granulometryczne zawiesiny mineralnej, o średnicy d_{50} mieszczącej się w granicach 0,24–0,60 mm (rys. 26). Pionowe rozkłady koncentracji drobnych frakcji (0,07–0,20 mm) pokazano na rysunku 27, a odpowiadające im pionowe rozkłady prędkości – na rys. 28.

Na podstawie analizy przebiegu koncentracji zawiesiny w pionie, Autor zdecydował się na weryfikację wyników obliczeń w warstwie relatywnie bliskiej dna.

Sądząc z wyników weryfikacji, zaprezentowanych na rys. 31 w skali logarytmicznej (także nie zawierającej linii pośrednich), to głębokość nie przekraczająca ok. 1,05 m. Przedstawione na tym rysunku wyniki weryfikacji koncentracji sumarycznych są poprawne ale także niejednoznaczne. Obserwuje się różnice zarówno ilościowe jak i

profilowe. Moim zdaniem dobrze została odwzorowana przez model segregacja frakcji drobniejszych (rys. 32).

To ważna część pracy i szkoda, że Autor szerzej nie skomentował uzyskanych wyników, lecz przedstawił je jedynie wybiórczo. Brak także oceny autorskiej tej części weryfikacji, co byłoby wartościowe – niezależnie od efektów. Przykładowo:

- brak komentarza dotyczącego warunków przepływowych i dynamicznych w przekrojach,
- dlaczego wybrano te trzy piony, brak lokalizacji tych wybranych pionów pomiarowych w przekrojach i komentarza dotyczącego ewentualnego wpływu/braku wpływu oddziaływań poprzecznych na kształtowanie się parametrów transportu,
- itd., brak także generalnej oceny tej weryfikacji, także w kontekście dokładności pomiarów.

Uwagi i komentarze do weryfikacji wielowarstwowego modelu transportu rumowiska w warunkach silnie nachylonego dna koryta (Rozdział 6)

Założenia przyjęte do uwzględnienia wpływu kąta nachylenia dna na prędkość przesuwania się ziaren w strefie gęstej i kontaktowej są poprawne i zgodne ze stosowanym w tym zakresie podejściem, z jednym wyjątkiem. Nieprawidłowość dotyczy braku uwzględnienia przejścia z układu kartezjańskiego o nachylonej osi "x1" do układu o poziomej osi "x", do czego odniosłam się wyżej, w ocenie modelu.

Jeśli chodzi o weryfikację zaproponowanej wersji wielowarstwowego modelu transportu rumowiska w warunkach silnie nachylonego dna koryta, mam następujące uwagi i komentarze:

- i. Weryfikacja tej wersji modelu, w zakresie dodatnich wartości spadku dna (z wyjątkiem danych Damgaard'a i in., 2003), nie budzi większych zastrzeżeń, ale wymaga komentarza w kilku przypadkach:
 - Ilościowa weryfikacja intensywności transportu osadów (dane Luque), w dużej mierze wykazuje zgodność mieszczącą się w granicach dwukrotnych różnic, ale niepokoi brak zgodności kierunkowej dla wyższych wartości nachylenia dna, warto się nad tym zastanowić w dalszych pracach;
 - Komentarz Autora do przytoczonych na rysunku 53 wyników weryfikacji modelu na danych Smarte'a i Jaeggi dla spadków dna od 3 do 20 stopni, odniesiony do zaniżonych wyników aplikacji formuły Meyer-Petera i Mullera, jest nieprawidłowy. Już wcześniej zwróciłam uwagę na ograniczenia zastosowania tej formuły, ma ona zastosowanie do spadków dodatnich nie przekraczających 2%, czyli 1,15° nachylenia (patrz *Meyer-Peter, E.; Müller, R. Formulas for bed-load transport. In Proceedings of the 2nd IAHR Congress, Stockholm, Sweden, 7-9 June 1948; IAHR: Delft, The Netherlands, 1948; Volume A2, pp. 1-26*).
- ii. Weryfikacja tej wersji modelu dla danych Damgaard'a i in. (2003), nie tylko niepokoi, ale wymaga wyjaśnienia ze strony Autora, z uwagi na następujące kwestie:

- Laboratoryjne stanowisko badawcze autorów tego opracowania, to stanowisko wymuszające przepływ pod ciśnieniem, dla dużego zakresu nachylenia dna (od -20° do $+20^{\circ}$), przy utrzymywaniu prędkości przepływu wody poniżej 1 m/s, na potrzeby analizy form dennych, przy zróżnicowanych nachyleniach dna;
- Takie warunki nie odpowiadają założeniom modelu, a podane wyniki w zakresie weryfikacji koncentracji osadu przedstawione są w skali utrudniającej ocenę; zastosowano skalę logarytmiczną z krokiem o dwóch rzędach różnic wartości;
- Realne rozbieżności uzyskanych obliczeniowo wartości koncentracji (nie wnikając już nawet w sposób interpretacji parametrów ruchu) - w stosunku do pomiarowych potwierdzają rozbieżność warunków wyjściowych i sięgają:
 - 30-40-krotnych wartości dla poziomego dna,
 - 20-krotnych wartości dla kąta nachylenia dna -10° oraz 10-80-krotnych wartości dla kąta nachylenia dna $+10^{\circ}$,
 - są pozytywnie zgodne dla kątów nachylenia dna $\pm 20^{\circ}$, co wynika z dominacji składowej ciężaru, przy obniżeniu wpływu/deniwelacji form dennych.

Proszę o ustosunkowanie się do powyższego, w świetle cytowanej i powołanej w rozprawie doktorskiej pracy tych autorów.

Reasumując tę część pracy, można stwierdzić, że wyniki nie są jednoznaczne, a popełnione błędy są zapewne jednym z czynników merytorycznych i ilościowych obniżających jakość tego podejścia.

4. Podsumowanie oceny

Opiniowana rozprawa doktorska Pana Łukasza Sobczaka pt. **Dynamika rumowiska niejednorodnego granulometrycznie w warunkach przepływu z ruchomą warstwą nachylonego dna**, jest opracowaniem naukowym o zróżnicowanym poziomie merytorycznym.

Jej atutem jest niewątpliwie szeroki zakres badań, zarówno poszukujących lepszego odwzorowania transportu rumowiska na bazie wielowarstwowego modelu integrującego strefę jego wleczenia i unoszenia, jak i porównawczych na bazie dostępnych danych laboratoryjnych oraz własnych terenowych - w złożonych warunkach rzeki Wisły. Słabością są widoczne mankamenty czy też błędy, wynikające zapewne głównie z braku doświadczenia w hydraulice koryt otwartych. W moim przekonaniu, w polskiej literaturze przedmiotu brak jest poważnych, monograficznych opracowań i publikacji, uwzględniających rozwój tej dziedziny w ostatnich kilkudziesięciu latach.

W przedstawionej ocenie rozprawy doktorskiej Pana Łukasza Sobczaka, komentując zauważone błędy/niedostatki analityczne czy porównawcze, starałam się skierować uwagę Autora-Doktoranta na rozwój tego podejścia z odpowiednią korektą tak, aby podnieść jakość wyników badań, a tym samym ich praktycznych efektów.

W tej sytuacji, w ocenie nie odniosłam się już do podsumowania zawartego w rozprawie doktorskiej. Uważam, że cel pracy został osiągnięty a teza w dużej mierze udowodniona, ale sporo pozostaje do wykonania, w tym także pogłębiona analiza i korekta wyników dotychczas uzyskanych.

Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska Pana Łukasza Sobczaka pt. **Dynamika rumowiska niejednorodnego granulometrycznie w warunkach przepływu z ruchomą warstwą nachylonego dna**, jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego oraz wykazuje wymaganą ustawowo - ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta, a także dokumentuje Jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przedmiotem rozprawy jest trudne i ciągle rozwijane w zakresie naukowym i aplikacyjnym zagadnienie transportu rumowiska w korytach otwartych, ważne z inżynierskiego punktu widzenia. W tym zakresie praca doktorska Pana Łukasza Sobczaka stanowi wkład w rozwój dyscypliny naukowej, udokumentowany wynikami zaprezentowanymi w rozprawie.

Zawarte w opinii wątpliwości i uwagi krytyczne nie umniejszają w istotny sposób wartości merytorycznej rozprawy, której szeroki zakres, zarówno w odniesieniu do badań własnych jak i analiz porównawczych, doceniam.

Praca Pana Łukasza Sobczaka spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zawarte w art. 187 ust.1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - obowiązującego Prawa o szkolnictwie wyższym (Załącznik do obwieszczenia Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 1 marca 2021 r., poz. 478), a także wymagania zawarte w art. 13 ust.1 ustawy z 4.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (akt uchylony).

Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana Łukasza Sobczaka do publicznej obrony.



Kraków, Luty 2022 roku