

dr hab. inż. Adam Szymkiewicz, prof. nadzw. PG
Politechnika Gdańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego

Gdańsk, 23. 08. 2018

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Stelli

pt. *Hydrodynamiczne i litodynamiczne przydenne procesy dalekiego przybrzeża morza bezpływowego*

promotor: dr hab. inż. Rafał Ostrowski, prof. IBW PAN

1. Podstawa opracowania

Podstawą recenzji rozprawy doktorskiej mgr Magdaleny Stelli pt. *Hydrodynamiczne i litodynamiczne przydenne procesy dalekiego przybrzeża morza bezpływowego* jest pismo Dyrektora Instytutu Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk, dr hab. inż. Waldemara Świdzińskiego, prof. IBW PAN, z dnia 05.04.2018, przekazane mi wraz z egzemplarzem rozprawy. Oceny pracy dokonałem odnosząc się do przepisów *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późn. zm.)*.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa ma formę maszynopisu liczącego 110 stron. Jej zasadnicza część została podzielona na 7 rozdziałów. Ponadto praca zawiera spis treści, spis oznaczeń, spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Spis literatury liczy 85 pozycji, z czego 35 w języku polskim, pozostałe w języku angielskim

Pierwszy rozdział pracy stanowi wstęp, w którym Autorka przedstawia motywację do podjęcia badań określonych w temacie rozprawy. Zawarto tu krótką charakterystykę strefy przybrzeżnej morza, ze szczególnym uwzględnieniem pojęcia głębokości zamknięcia (depth of closure, DoC), jako umownej granicy obszaru zmian morfologicznych wywołanych ruchem osadów. Wskazano jednak, że ruch osadów i towarzyszące mu zmiany morfologiczne mogą występować również na głębokościach większych od przyjętej głębokości zamknięcia. Przytoczono szereg pozycji literatury, w których opisano takie zjawiska, również w rejonie polskiego wybrzeża Bałtyku. Autorka wskazała na istotne znaczenie ruchu osadów w strefie dalekiego przybrzeża dla planowania robót czerpalnych, migracji zanieczyszczeń związanych z osadami czy też posadowienia obiektów inżynierskich na dnie morza.



W bardzo krótkim rozdziale drugim określono cel i zakres pracy. Celem pracy było zbadanie procesów transportu osadów w strefie dalekiego przybrzeża, a przede wszystkim identyfikacja mechanizmów umożliwiających powstawanie i ruch form dennych na głębokościach rzędu 15-20 m. Zgodnie z tezą sformułowaną przez Autorkę na takich głębokościach może wystąpić przemieszczanie się form dennych zbliżonych do fal piaskowych, znanych z wybrzeży podlegających pływowi. W przypadku Morza Bałtyckiego przyczyną ruchu osadów miałyby być współdziałanie falowania i prądów wiatrowych. Zakres pracy podporządkowany jest udowodnieniu powyższej tezy i obejmuje przegląd literatury dotyczącej hydrodynamiki i morfodynamiki strefy brzegowej, ze szczególnym uwzględnieniem roli prądów, opracowanie modelu teoretycznego opisującego ruch wody i osadów, pozyskanie danych pomiarowych niezbędnych do aplikacji modelu i wykonanie szeregu obliczeń dla różnych wariantów współdziałania fal i prądu.

W Rozdziale 3 Autorka opisuje występujące na Bałtyku zjawiska przepływu związanego z prądami morskimi i falowaniem oraz towarzyszące im procesy transportu osadów. Poszczególne rodzaje prądów zostały szczegółowo jako potencjalnych mechanizmów wywołujących ruch osadów w strefie dalekiego przybrzeża. Omówiono prądy wiatrowe, dryfowe, bezwładnościowe, prądy związane z gradientami ciśnienia hydrostatycznego i gęstości, prądy kompensacyjne oraz pływowe. Opisano również procesy falowania, w szczególności fale stojące (sejsze). W odniesieniu do każdego rodzaju przepływu Autorka ocenia jego potencjał do wywołania transportu osadów. Przeprowadzona analiza pozwala Autorce stwierdzić, że to prądy wiatrowe są najbardziej prawdopodobnym czynnikiem wywołującym w połączeniu z falowaniem ruch osadów dennych. Końcowa część rozdziału poświęcona została skrótowemu omówieniu wybranych zagadnień związanych z transportem osadów.

Rozdział 4 zawiera opis wykorzystanego w pracy modelu matematycznego ruchu osadów wywołanego kombinacją prądu i falowania. Jest to model trójwarstwowy, opracowany i rozwijany w IBW PAN, m.in. przez promotora pracy (Kaczmarek i Ostrowski 2002). Istotnym wyróżnikiem jest jego trójwarstwowa struktura, w której w profilu pionowym wyróżnia się warstwę wleczenia, warstwę kontaktową i obszar zewnętrzny. Autorka opisuje sposób określania pionowego profilu prędkości przepływu falowo-prądowego, proponując związek między prędkością wiatru i prędkością powierzchniową wody oraz wprowadzając zróżnicowane profile prędkości dla ruchu zdominowanego przez prąd i falowanie. Następnie omówiono wyznaczanie rozkładu pionowego koncentracji osadu w poszczególnych warstwach modelu. Ze względu na związek między prędkością przepływu, umowną szorstkością dna oraz ruchem osadów cała procedura ma charakter iteracyjny. Autorka przedstawia podstawowe równania modelu, a także schemat ilustrujący etapy prowadzonych obliczeń.

Rozdział 5 poświęcony jest badaniom terenowym w rejonie prowadzonego przez IBW PAN Morskiego Laboratorium Brzegowego w Lubiatowie. Pomiary miały charakter kompleksowy, obejmowały parametry wiatru i falowania, profile pionowe prędkości przepływu wody oraz batymetrię, profile brzegowe i analizę granulometryczną osadów. Wyniki pomiarów prędkości przepływu pozyskano z Instytutu Morskiego. Badania wykonywane były w dwóch stacjach pomiarowych (w odległości odpowiednio ok. 2 km i 2.7 km od brzegu) z zastosowaniem prądomierza akustycznego. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów z okresu 2 miesięcy, od 30.04 do 30.06.2014. Przeprowadzona została analiza statystyczna kierunków i prędkości przepływu na różnych głębokościach. Pomiary parametrów



wiatru były prowadzone za pomocą anemometru znajdującego się na lądzie. W celu uzyskania wartości prędkości reprezentatywnych dla obszaru morskiego (które są większe niż nad lądem) Autorka przeprowadziła porównanie pomiarów z wynikami modelu operacyjnego ICM i zaproponowała odpowiednią korektę wartości mierzonych w MLB Lubiatowo. Na tej podstawie został wyznaczony wspomniany wcześniej związek między prędkością wiatru a prędkością przepływu wody w warstwie przypowierzchniowej. Autorka analizowała również parametry falowania, mierzone za pomocą kierunkowej boi falowej. Pomiary te nie są prowadzone w sposób ciągły, w pracy wykorzystano dane z kilku okresów pomiarowych od 2006 do 2015 roku. Na tej podstawie obliczono teoretyczne głębokości zamknięcia, a także wyznaczono falowe prędkości orbitalne na górnej granicy warstwy przydennej, wymagane w modelu ruchu osadów. W końcowej części rozdziału zostały opisane pomiary batymetryczne i sonarowe wykonane w 2017 na obszarze ok. 1.5 km² w odległości ok. 2.5 km od brzegu. Na pozyskanych obrazach rzeźby dna morskiego można zauważyć formy przypominające fale piaszczyste.

Bardzo istotną częścią pracy jest Rozdział 6, zawierający wykonane przez Autorkę obliczenia. Głębokości zamknięcia obliczone wzorami Hallermeiera i Birkemeiera porównano wartościami wyznaczonymi na podstawie parametru Shieldsa dla warunków falowych występujących na obszarze badań. Następnie Autorka porównała pomierzone prędkości przepływu z wartościami wyznaczonymi z modelu teoretycznego dla określonych parametrów wiatru. Kolejnym etapem obliczeń było określenie natężenia transportu osadów. Obliczenia wykonano dla czterech kombinacji przepływu falowego i prądowego, z różnymi założeniami odnośnie szorstkości dna. W końcowej części rozdziału przeanalizowano bardziej szczegółowo kilka wybranych zdarzeń sztormowych z okresu, w którym były prowadzone pomiary. Przedstawione wyniki obliczeń pozwalają stwierdzić, że: (i) przyjęty przez Autorkę model teoretyczny poprawnie odwzorowuje pionowe rozkłady prędkości przepływu falowo-prądowego, (ii) w obszarze badań występują okresowo warunki falowo-prądowe sprzyjające intensywnemu ruchowi osadów na głębokości większej niż głębokość zamknięcia wyznaczona ze wzorów empirycznych.

Ostatni, siódmy rozdział zawiera podsumowanie pracy. Omawiając pokrótce wyniki poszczególnych etapów badań, Autorka wskazuje na istotną rolę współdziałania prądu wiatrowego i falowania, jako czynnika wywołującego ruch osadów w strefie dalekiego pobrzeża. Jednocześnie sygnalizuje potrzebę dalszych badań, w szczególności powtórzenia badań sonarowych i batymetrycznych, które umożliwiłyby zaobserwowanie ewolucji form dennych w czasie.

Ocena pracy

W pracy podjęto tematykę ruchu osadów wywołanego przez łączne oddziaływanie prądów i fal w obszarze dalekiego przybrzeża południowego Bałtyku. Problem ten ma istotne znaczenie naukowe i praktyczne. Transport osadów na skutek kombinacji działania fal i prądów jest zagadnieniem bardzo trudnym w opisie naukowym, omawianym przez wielu autorów, ale ciągle nie w pełni rozpoznany. Istotne jest, że większa część opublikowanych prac naukowych dotyczy wybrzeży pływowych, gdzie dominującym czynnikiem powodującym transport osadów są prądy pływowe. Właśnie z pływami wiąże



się zwykle powstawanie i ruch form dennych zwanych falami piaskowymi. Natomiast w mniejszym stopniu zjawisko to jest badane w akwenach bezpływowym, w których podstawowe znaczenie mają inne rodzaje prądów, np. analizowane w rozprawie prądy wiatrowe. W odniesieniu do praktycznych aspektów pracy należy podzielić przedstawioną we wstępie argumentację Autorki o dużym znaczeniu transportu osadów poza umownie przyjmowaną głębokością zamknięcia zarówno dla inżynierii brzegowej, jak i pełnomorskiej.

Praca ma spójną koncepcję naukową, z jasno sformułowaną tezą i logicznym ciągiem badań prowadzącym do jej uzasadnienia. Jak wspomniano powyżej, według postawionej przez Autorkę tezy prądy wiatrowe współdziałając z falowaniem przyczyniają się do ruchu fal piaskowych na głębokościach rzędu 15-20 m, czyli poza głębokością zamknięcia wyznaczoną ze wzorów empirycznych. Badania Autorki zmierzające do wykazania prawdziwości tej tezy obejmowały kilka etapów:

- przegląd literatury obejmujący przede wszystkim różne rodzaje prądów morskich i określenie ich potencjalnej możliwości wywoływania transportu osadów,
- opis teoretyczny przepływu wody i transportu osadów, za pomocą modelu trójwarstwowego Kaczmarka i ostrowskiego (2002)
- wykorzystanie danych pomiarowych dotyczących falowania i profilu prędkości prądu w wybranym rejonie brzegowym.

Głównymi osiągnięciami autorki są:

- identyfikacja prądu wiatrowego jako możliwego czynnika sprawczego ruchu osadów we współdziałaniu z falowaniem,
- szczegółowa analiza pomiarów falowania, wiatru i profili prędkości z obszaru badań,
- adaptacja trójwarstwowego modelu transportu osadów rozwijanego w IBW PAN do konkretnych warunków współoddziaływania prądu wiatrowego i falowania w obszarze badań,
- obliczenie ilości osadu, która może być potencjalnie transportowana w strefie dalekiego przybrzeża dla różnych kombinacji warunków prądowo-falowych.

Jak zauważyła sama Autorka w podsumowaniu, pewnym mankamentem pracy jest brak pomiarów przemieszczania się rzeczywistych form dennych. Autorka dysponowała tylko jednym zestawem pomiarów sonarowych rzeźby dna, kolejne badania planowane są jako kontynuacja pracy.

Poniżej przedstawiam pytania i uwagi o charakterze dyskusyjnym, które nasunęły mi się podczas czytania rozprawy.

1. W Rozdziale 1 Autorka definiuje pojęcie głębokości zamknięcia odnosząc się m.in. do pracy Hallermeiera (1981). Warto dodać, że w przywoływanej pracy zdefiniowano dwie głębokości charakterystyczne. Pierwsza, położona bliżej brzegu odpowiada granicy strefy intensywnego transportu osadów i związanych z tym istotnych zmian morfologicznych, natomiast druga wyznacza zewnętrzny (odmorski) zasięg strefy wpływu falowania na ruch osadów. Wartości zewnętrznej głębokości podawane przez Hallermeiera (1981) dla różnych miejscowości na wybrzeżach USA wynoszą od 5 do 50 m. Obliczenia przedstawione w Rozdziale 7 rozprawy

(Tabela 12) można by uzupełnić o oszacowanie głębokości zewnętrznej według wzoru podanego w przytoczonej pracy Hallermeiera.

2. Tytuł Rozdziału 3 wydaje się zbyt długi i nie do końca trafny. Jak należy rozumieć określenia "procesy litodynamiczne i morfodynamiczne" w odniesieniu do faktycznej zawartości podrozdziału 3.3 ? Podrozdział 3.3 jest dość ogólnikowy i mało precyzyjny, w szczególności ostatni akapit (str. 33). W tej części pracy spodziewałbym się znaleźć przynajmniej skrótowy przegląd modeli transportu osadów, w szczególności w warunkach przepływu falowo-prądowego (n.p. Soulsby 1997, van Rijn 2007a,b). Należy też zauważyć, że pełny opis dynamiki osadów opiera się na równaniu zachowania masy transportowanej substancji (n.p. równanie Exnera), a wyznaczenie pionowego rozkładu prędkości wody i koncentracji osadu jest tylko elementem takiego opisu, aczkolwiek mającym kluczowe znaczenie (n.p. Amoudry i Souza 2011).
3. Zaproponowana przez Autorkę zależność prędkości przypowierzchniowej prądu od prędkości wiatru (wzór (28), str. 36) jest nieciągła dla prędkości wiatru 8 m/s. Czy wprowadzenie takiego zróżnicowania było konieczne? Jaki jest współczynnik korelacji między proponowanym wzorem a danymi pomiarowymi? Na ile wiarygodne są pomiary prędkości powierzchniowej, skoro na str. 46 Autorka pisze, że wyniki pomiarów w warstwie powierzchniowej należy traktować ze szczególną ostrożnością ?
4. Na rys. 68 do 72 widać, że na stacji pomiarowej 2 prędkość przypowierzchniowa jest w każdym przypadku znacząco większa od prędkości w kolejnych, głębiej położonych warstwach pomiarowych. Różnice takie nie występują w przypadku stacji pomiarowej 1. Jakie mogą być przyczyny tych różnic ?
5. Na jakiej podstawie zostały przyjęte parametry c_0 , c_m i ϕ we wzorach (50)-(51). Czy są one zależne od charakterystyki uziarnienia osadów ?

Powyższe uwagi nie umniejszają dużej wartości merytorycznej pracy, traktuję je jako punkt wyjścia do ewentualnej dyskusji podczas obrony.

Strona redakcyjna rozprawy nie budzi większych zastrzeżeń. Praca napisana jest w sposób zwięzły, komunikatywnym językiem. W niektórych miejscach zauważa się pewne niedoskonałości stylistyczne, ale nie przeszkadzają one w lekturze. Błędy literowe są nieliczne. Niektóre strony (np. 68-75) drukowano w orientacji poziomej, co powoduje że numer strony pojawia się w nieodpowiednim miejscu na górze strony. Wzory przygotowano z użyciem dwóch edytorów, przez co widoczne są pewne różnice w kroju czcionek (np. wzory (27) i (29) na str. 36. Rysunki i tabele są czytelne, odwołania do literatury i opis pozycji bibliograficznych wykonano w sposób prawidłowy. Umieszczony na początku spis symboli jest bardzo pomocny dla czytelnika.



Wniosek końcowy

Moim zdaniem oceniana rozprawa doktorska całkowicie spełnia wymogi określone w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595 z późn. zm.)*. Stanowi oryginalne rozwiązanie skomplikowanego problemu naukowego, jakim jest określenie mechanizmów transportu osadów w strefie dalekiego przybrzeża Bałtyku. Rozprawa doktorska wykazuje również ogólną wiedzę teoretyczną Autorki w zakresie inżynierii morskiej, a także umiejętność prowadzenia przez Autorkę samodzielnych badań naukowych. Wnioskuje zatem o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Autorki do obrony.

Literatura

- Amoudry, L. O., & Souza, A. J. (2011). Deterministic coastal morphological and sediment transport modeling: A review and discussion. *Reviews of Geophysics*, 49(2).
- Hallermeier, R. J. (1981). A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, 4, 253-277.
- Kaczmarek, L. M., & Ostrowski, R. (2002). Modelling intensive near-bed sand transport under wave-current flow versus laboratory and field data. *Coastal Engineering*, 45(1), 1-18.
- Soulsby, R. (1997). *Dynamics of marine sands: a manual for practical applications*. Thomas Telford.
- Van Rijn, L. C. (2007a). Unified view of sediment transport by currents and waves. I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. *Journal of hydraulic engineering*, 133(6), 649-667.
- Van Rijn, L. C. (2007b). Unified view of sediment transport by currents and waves. II: Suspended transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6), 668-689.

Adam Szyndler