

Prof. dr hab. inż. Paweł Wielgosz

Olsztyn, 25.06.2025r.

Katedra Geodezji

Instytut Geodezji i Budownictwa

Wydział Geoinżynierii

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr Oktawii Specht

pt. „**METODA MONITORINGU BATYMETRYCZNEGO STREFY BRZEGOWEJ
NA BAZIE FUZZI WIELOMODALNYCH DANYCH GEOPRZESTRZENNYCH
POZYSKANYCH PRZY UŻYCIU SENSORÓW POKŁADOWYCH
BEZZAŁOGOWYCH PLATFORM POMIAROWYCH**”

Podstawą formalną recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Wydziału Nawigacyjnego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni nr RWNB/51/02/2025 z dnia 6 marca 2025r.

Struktura rozprawy

Podstawą przedstawionej rozprawy doktorskiej jest obszerna, licząca 162 strony monografia składająca się ze wstępu, trzech zasadniczych rozdziałów, wniosków końcowych oraz dodatkowo wykazu skrótów, bibliografii, wykazów rysunków i tabel, streszczenia w j. polskim oraz w j. angielskim.

Cel i teza rozprawy

Głównym **celem** rozprawy zdefiniowanym przez doktorantkę **jest opracowanie monitoringu batymetrycznego strefy brzegowej na bazie fuzji wielomodalnych danych geoprzestrzennych pozyskanych przy użyciu sensorów pokładowych bezzałogowych platform pomiarowych**. W odniesieniu do celu rozprawy doktorantka stawia tezę, że przy użyciu zaproponowanej metody będzie możliwe uzyskanie jakości danych wymaganej dla kategorii specjalnej Międzynarodowej Organizacji Hydrograficznej (IHO). Dodatkowo zostało sformułowanych dziewięć celów pomocniczych, pozwalających etapami zrealizować cel zasadniczy.

Omówienie rozprawy doktorskiej

We wstępie doktorantka przybliża problematykę monitoringu batymetrycznego, w szczególności strefy brzegowej, wymienia stosowane tu urządzenia i metody pomiarowe, zwracając uwagę na duże różnice w możliwości ich stosowania i w uzyskiwanych dokładnościach pomiaru głębokości. Następnie omawia główne etapy procesu opracowania danych batymetrycznych oraz najczęściej stosowane metody integracji danych z różnych źródeł. Metody te oparte są na głównie na interpolacji danych. Zwraca uwagę na występującą niską dokładność map batymetrycznych w przypadku zastosowania danych geoprzestrzennych o wysokiej dokładności łącznie z danymi o niższej dokładności. Doktorantka we wstępie definiuje również główny i pomocnicze cele oraz tezę rozprawy, a także omawia wykorzystane w rozprawie narzędzia i metody. Dalej skrótowo przedstawia strukturę rozprawy. Wstęp ten stanowi dobre wprowadzenie w problematykę badań doktorantki.

Rozdział 1 „Analiza metod integracji danych hydroakustycznych i optoelektronicznych stosowanych w hydrografii” przedstawia omówienie najpierw urządzeń hydroakustycznych, w tym echosond jedno i wielowiązkowych, a następnie urządzeń optoelektronicznych - kamery fotogrametrycznej i LiDARu.

Doktorantka przedstawia tu budowę, zasady działania echosondy jedno i wielowiązkowej, charakterystyki, dokładności oraz zastosowanie uzyskanych z nich danych pomiarowych. Ponadto analizuje czynniki wpływające na dokładność pomiaru głębokości przy zastawianiu obu typów echosond, a dodatkowo w formie tabelarycznej przedstawia wymagania dokładnościowe IHO dla kategorii szczególnej, specjalnej oraz 1b i 2.

Następnie doktorantka przechodzi do omówienia cyfrowych kamer fotogrametrycznych bliskiego zasięgu, przedstawia ich budowę, zasady działania, obszary zastosowania oraz charakteryzuje dane pomiarowe, w szczególności uzyskiwane dokładności pomiaru głębokości w zastosowaniach batymetrycznych. Kolejno wymienia czynniki wpływające na dokładność pomiaru głębokości, w tym algorytmy i metody opracowania zdjęć, podsumowując tą część tabelą określającą uzyskiwane dokładności z poszczególnych metod.

Ostaną omówioną metodą pomiarową jest LiDAR. Podobnie jak w przypadku poprzednich metod pomiarowych, doktorantka przedstawia klasyfikację, budowę i sposób działania skanerów laserowych, charakteryzuje dane pomiarowe, przedstawia analizę czynników wpływających na uzyskiwane dokładności oraz istniejące metody ekstrakcji linii brzegowej i ich dokładności.

Należy podkreślić, że omówienie urządzeń pomiarowych doktorantka uzupełnia odpowiednimi schematami i rysunkami poglądowymi wyjaśniającymi ich funkcjonowanie oraz sposoby wykonywania pomiarów.

Po omówieniu metod pomiarowych, w dalszej części tego rozdziału, Doktorantka przechodzi do przeglądu i analizy istniejących metod modelowania powierzchni terenu w strefie brzegowej, omawia metody tworzenia siatki TIN i grid, wady i zalety tych siatek, przybliża popularną metodę interpolacji kriging, choć nie precyzuje jaki rodzaj krigingu omawia.

Na zakończenie tego rozdziału Doktorantka przechodzi do omówienia metod fuzji wielomodalnych danych geoprzestrzennych w pomiarach batymetrycznych, przybliżając ogólną problematykę fuzji danych o różnej charakterystyce, a także analizuje wady i zalety metod fuzji zdecentralizowanej i scentralizowanej.

Kolejny **rozdział 2** „Metoda monitoringu batymetrycznego strefy brzegowej na bazie fuzji wielomodalnych danych geoprzestrzennych” przedstawia założenia autorskiej metody monitoringu batymetrycznego. Doktorantka omawia wybraną metodykę opracowania danych z echosondy jedno i wielowiązkowej, analizuje przykłady opracowania danych na akwenach testowych. Następnie przedstawia metodykę opracowania zdjęć lotniczych w zadaniu wyznaczenia głębokości (wybierając algorytm SVR) i dość szczegółowo omawia podstawy matematyczne opracowania zdjęć, również analizując przykłady opracowania dla obszaru testowego. Dalej omawia metodyki ekstrakcji linii brzegowej z danych z mobilnego i lotniczego skaningu laserowego (LiDAR) z analizą przykładów zastosowania wybranych technik. Ostatnią omówioną i przeanalizowaną metodyką jest ekstrakcja linii brzegowej na podstawie ortofotomapy. Przedstawienie wybranych metodyk i algorytmów doktorantka uzupełnia wieloma schematami i rysunkami poglądowymi pozwalającymi na lepsze zrozumienie ich implementacji w jej badaniach.

Doktorantka po przedstawieniu wybranych metod cząstkowych proponuje autorską, kompleksową metodę monitoringu batymetrycznego. W pierwszej kolejności proponuje procedurę opracowania wielomodalnych danych pomiarowych składającą się z modułów (1) opracowania danych głębokowodnych, (2) opracowania danych płytkowodnych, (3) wyznaczania linii brzegowej. Następnie przedstawia gotowy moduł wielosensorycznej fuzji danych pomiarowych w środowisku GIS, w którym integracja danych oparta jest o metodę średnich ważonych.

Rozdział 3 „Badanie i weryfikacja metody modelowania powierzchni terenu w strefie brzegowej” przedstawia wyniki szerokich analiz zastosowania opracowanej przez Doktorantkę metody monitoringu batymetrycznego na wybranych obszarach testowych w oparciu o rzeczywiste dane pomiarowe zebrane w toku pięciu kampanii pomiarowych (w tym jednej, kompleksowej kampanii z jednoczesnym wykorzystaniem wszystkich technik pomiarowych). Autorka omawia tu szczegółowo sposoby pozyskania danych testowych i ich charakterystykę, a następnie przedstawia wyniki fuzji w oparciu o zaproponowaną metodę w dwóch wariantach wyznaczania wag.

W drugiej części tego rozdziału Autorka przedstawia analizę nazwaną „analizą ilościową”, ale zawierającą również elementy jakościowe. W tej części Doktorantka przedstawia graficznie i numerycznie różnice głębokości z danych i z modelu w obu wariantach, analizuje histogramy i dystrybuanty częstości występowania błędów określenia głębokości dla wszystkich obszarów testowych. Ostatecznie potwierdza, że zaproponowana autorska metoda monitoringu spełnia wymagania dokładnościowe IHO dla kategorii specjalnej.

Na zakończenie rozprawy doktorantka formułuje „**Wnioski końcowe**”. Na początku tego rozdziału przypomina cel i tezę rozprawy oraz streszcza przeprowadzone badania, a następnie formułuje 11 wniosków. Wnioski te generalnie potwierdzają zalety zaproponowanej metody, potwierdzają również osiągnięcie celu rozprawy i pozytywne zweryfikowanie jej tezy oraz wskazują na obszary zastosowania wyników rozprawy. W końcowej części Doktorantka formułuje przyszłe, perspektywiczne kierunki badań.

Ocena rozprawy doktorskiej

Obecny rozwój zdalnych technik pomiarowych w batymetrii wymaga ciągłego doskonalenia metod opracowania nowych danych, a także, z uwagi brak jednej uniwersalnej metody pomiarowej, wymusza poszukiwanie nowych metod fuzji różnego rodzaju danych. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Oktawii Specht wpisuje się w ten aktualny problem badawczy i przedstawia ciekawe, autorskie rozwiązanie technologiczne, które zostaje pozytywnie zweryfikowane w toku specjalnie zaprojektowanych kampanii pomiarowych. Należy podkreślić, że Doktorantka przedstawia kompleksową „*metodę monitoringu batymetrycznego strefy brzegowej na bazie fuzji wielomodalnych danych geoprzestrzennych pozyskanych przy użyciu sensorów pokładowych bezzałogowych platform pomiarowych*” obejmującą pełen ciąg technologiczny –

od wykonania pomiarów, poprzez ich wstępną analizę i przetworzenie, po fuzję danych i opracowanie wynikowego modelu. Właściwie opracowana metoda jest już gotowa do praktycznego zastosowania trudnym zadaniu w monitoringu strefy brzegowej, spełniając jednocześnie rygorystyczne wymagania dokładnościowe IHO dla kategorii specjalnej pomiarów batymetrycznych. Jest to bez wątpienia duża zaleta tej pracy.

W odniesieniu to celu i tezy rozprawy są one sformułowane prawidłowo, a na podstawie wyników przedstawionych w rozprawie można również stwierdzić, że cel został osiągnięty, a teza potwierdzona. Układ samej rozprawy jest także prawidłowy i czytelny, stanowi spójny ciąg logiczny – od przedstawienia problemu badawczego, poprzez omówienie istniejących metod pomiarowych, następnie przedstawienie części składowych zaproponowanej metody oraz finalnego rozwiązania, do przedstawienia badań i weryfikacji w zastosowaniach praktycznych nowej metody oraz sformułowania na bazie tych badań wniosków końcowych.

Doktorantka poprawnie operuje językiem polskim, poszczególne części pracy są przejrzyste, zrozumiałe, praktycznie bez literówek i błędów edytorskich. Jedyne zastrzeżenia można mieć do stosowania w kilku przypadkach jedno lub dwuzdaniowych akapitów (np. s.8 i s.12). Rysunki i schematy generalnie są dobrej jakości i czytelne. Uwagi krytyczne można tu mieć np. do braku skali na rys. 1.6 utrudniającego porównanie stopnia pokrycia pomiarami, czy stosowania minimalistycznej skali na rysunkach w rozdziale 2 (np. rys. 2.3, 2.6, 2.19 i 2.23). Ponadto na rys. 1.15 odwrotnie opisano legendę

Zastosowane metody badawcze są również poprawne, oparte o przegląd aktualnej literatury, i dość dokładnie przedstawione. W mojej ocenie jednak zbyt skrótowo przedstawiono stosowaną później technikę Structure for Motion (SfM), a w omówieniu metod opracowania danych nieco za bardzo skupiono się na metodach interpolacyjnych, pomijając metody oparte o modelowanie danych (np. kolokacja najmniejszych kwadratów, modelowanie funkcjami powierzchniowymi, czy też funkcjami sklejanymi). Brakuje tu rozważenia zalet i wad obu podejść w integracji danych wielomodalnych, tym bardziej, że w geodezji bardzo często stosowane jest jednak modelowanie. Na s.78 Doktorantka podaje poziom prawdopodobieństwa 95% dla przedziału 2,45 sigma, podczas gdy wydaje się, że w rozkładzie normalnym ten poziom jest osiągany już dla 2 sigma.

W części przedstawiającej wyniki badań zastanawiająca jest bardzo wysoka zgodność modeli z obu wariantów wagowania. Z uwagi na duże różnice wag (Tab. 3.4, 3.6, 3.7, 3.8) można było pokusić się o bardziej szczegółową analizę takiego

stanu rzeczy. Przy czym przy porównaniu obu modeli pomocny byłby stosowany standardowo w takich porównaniach wskaźnik RMS oparty o odchyłki pomiędzy modelami w punktach siatki grid. Pozwoliło by to na kategoryczne stwierdzenie o tożsamości modeli. Nieco zaskakujące są wyniki w tab. 3.10, 3.12, 3.16, 3.18 dotyczące RMSE i MAE, gdzie RMSE jest mniejszy o rząd wielkości od MAE, a przecież wskaźnik MAE stosowany jest zamiast RMSE z uwagi na jego odporność na wartości odstające, co w rezultacie prowadzi do sytuacji, że generalnie powinien osiągać mniejsze wartości od RMSE (przez brak potęgowania). Proszę o sprawdzenie tych wyników, gdyż być może nie wyciągnięto pierwiastka podczas obliczania RMSE. Także w tabelach 3.15 i 3.17 przy maksymalnej głębokości 11 m RMS wynosi ponad 43 m i 49 m, być może również nie wyciągnięto pierwiastka przy obliczeniach (wzór 3.2).

Podsumowanie recenzji

Podsumowując, Doktorantka wykazała się dobrą znajomością dyscypliny Inżynieria lądowa, geodezja i transport w obszarze, w którym prowadzi swoje badania, opracowała autorską i nowatorską technologię monitoringu batymetrycznego, która stanowi oryginalne rozwiązanie aktualnego problemu naukowo-technologicznego o wysokich walorach praktycznych. Badania Doktorantki charakteryzują się znacznym, dalszym potencjałem i z pewnością Kandydatka jest gotowa do dalszej, samodzielnej pracy naukowej, w której może wykorzystać ten potencjał. Przedstawione powyżej nieliczne uchybienia nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę rozprawy.

Wobec powyższego należy stwierdzić, że recenzowana rozprawa spełnia wszystkie kryteria właściwe dla rozpraw doktorskich, co uzasadnia postawienie wniosku o przyjęcie rozprawy doktorskiej, dopuszczenie jej do publicznej obrony i kontynuowanie czynności w ramach przewodu doktorskiego mgr Oktawii Specht.