Warszawa 26.01.2025

Prof. dr hab. inż. Marzena Osuch

Zakład Hydrologii i Hydrodynamiki

Instytut Geofizyki PAN

Ul. Księcia Janusza 64

01-452 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej pt. ”Nowe metody wspomagania obserwacji hydrologicznych wykorzystujące bezzałogowe statki powietrzne i uczenie maszynowe” autorstwa Radosława Szostaka, przygotowanej na Akademii Górniczo Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, na Wydziale Fizyki i Informatyki stosowanej, w Katedrze Zastosowań Fizyki Jądrowej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Przemysław Wachniew, prof. AGH, natomiast promotorem pomocniczym dr hab. inż. Mirosław Zimnoch, prof. AGH.

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z późniejszymi zmianami.

2. Charakterystyka i opis rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy istotnych problemów zidentyfikowanych przez badaczy z Zespołu Fizyki Środowiska AGH, uzupełnionych o analizę aktualnej literatury. Problemy te koncentrują się wokół trzech głównych zagadnień: (a) rozpoznania rzędnej lustra wody w małych rzekach z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (UAV), fotogrametrii i uczenia maszynowego, (b) poprawy jakości danych termowizyjnych z UAV oraz (c) szacowania parowania terenowego, również z wykorzystaniem UAV.

Moim zdaniem, podjęta tematyka jest aktualna i ważna. Wykorzystanie dronów wyposażonych w kamery RGB, termowizyjne i multispektralne rewolucjonizuje badania hydrologiczne.

Kamery RGB umożliwiają tworzenie precyzyjnych ortofotomap i modeli terenu, co jest kluczowe dla analizy morfologii koryt rzecznych i identyfikacji obszarów zalewowych. Kamery termowizyjne pozwalają na pomiar temperatury powierzchni wody, co jest istotne dla monitorowania zanieczyszczeń termicznych i identyfikacji źródeł wód podziemnych. Kamery multispektralne dostarczają informacji o stanie roślinności wodnej i brzegowej, co jest cenne w badaniach, nad jakością wody i bioróżnorodnością. Dzięki dronom możemy uzyskiwać dane o procesach zachodzących w środowisku wodnym, które wcześniej były trudno dostępne lub wymagały znacznych nakładów czasowych i finansowych, np. pomiary przepływu wody, wilgotności gleby czy wysokości lustra wody. Badania z wykorzystaniem dronów otwierają nowe możliwości w hydrologii, pozwalając na lepsze zrozumienie dynamiki procesów hydrologicznych i bardziej efektywne zarządzanie zasobami wodnymi.

Rozprawa doktorska została przygotowana w formie monografii składającej się z pięciu rozdziałów, prezentujących:

1. Wstęp, zawierający motywację, cele pracy i hipotezy badawcze.
2. Przegląd aktualnych osiągnięć i wyzwań pomiarowych w hydrologii.
3. Opis trzech nowatorskich metod wykorzystujących dane teledetekcyjne uzyskane za pomocą UAV w zastosowaniu do: a. szacowania rzędnych lustra wody w małych rzekach, b. automatycznej kalibracji obrazów termowizyjnych przy użyciu optymalizacji metodą gradientów, c. szacowania parowania terenowego.
4. Dyskusję uzyskanych wyników dla opracowanych metod.
5. Podsumowanie.

Całość pracy liczy 166 stron. Zastosowany podział pracy jest niewłaściwy i utrudnia tok rozumowania. Należałoby wydzielić oddzielne rozdziały dla każdego z trzech głównych tematów: (a) szacowanie rzędnych lustra wody, (b) analiza obrazów termowizyjnych, (c) szacowanie parowania terenowego. Taki podział ułatwi czytelnikowi zrozumienie specyfiki każdego zagadnienia i pozwoli na bardziej logiczne powiązanie wyników z dyskusją.

Swoje komentarze i uwagi przedstawię kolejno dla trzech analizowanych tematów.

Pierwszy temat dotyczy szacowania stanów wody w małych strumieniach przy pomocy analizy fotogrametrycznej danych pochodzących z bezzałogowych statków powietrznych (BSP) oraz uczenia maszynowego.

Dość powszechnie stosuje się bezzałogowe statki powietrzne (UAV, popularnie zwanych dronami) do opracowania Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT). Proces tworzenia NMPT rozpoczyna się od zaplanowania trasy przelotu, uwzględniając odpowiednie pokrycie terenu i wysokość lotu dla uzyskania zdjęć o wysokiej rozdzielczości. Następnie dron, wyposażony w kamerę, wykonuje serię zdjęć z różnych perspektyw, pokrywając cały obszar. Zebrane zdjęcia są przetwarzane za pomocą specjalistycznego oprogramowania, które wykorzystuje techniki fotogrametryczne do stworzenia chmury punktów, a na jej podstawie generuje NMPT. Ostatnim etapem jest weryfikacja i korekta wygenerowanego modelu, aby zapewnić jego dokładność i zgodność z rzeczywistością. Ta technika została wykorzystana do szacowania rzędnych lutra wody na odcinkach kilku rzek. Były to odpowiednio:

GRO – około 700 metrowy odcinek rzeki Kocinki w pobliżu miejscowości Grodzisko z pomiarami w dwóch różnych terminach: 19 grudnia 2020 (GRO20) i 13 lipca 2021 (GRO21).

RYB – około 700 metrowy odcinek rzeki Kocinki w pobliżu miejscowości Rybna również z dwoma terminami pomiarów: 19 grudnia 2020 (RYB20) i 13 lipca 2021 (RYB21).

AMO – dane z badań przeprowadzonych przez zespół Filippo Bandini na około 2.3 km odcinku rzeki Åmose Å w Dani z nalotów przeprowadzonych w dniu 21 listopada 2018 r.

Dane teledetekcyjne były weryfikowane na podstawie pomiarów in-situ rzędnej lustra wody. Liczba punktów pomiarowych była różna w poszczególnych odcinkach rzek i zmieniała się od 36 dla GRO21 do 84 dla GRO20. Zdecydowanie więcej było punktów pomiarowych w przypadku AMO18, było to 7235 punktów pomiarowych. Porównanie pomiarów naziemnych i teledetekcyjnych wskazało na różnice w estymowanych wartościach. Najmniejszy średni błąd oszacowania uzyskano dla GRO21 i było to 0.012 m. Z kolei największe wartości wyznaczono dla GRO20 i AMO18 i było to 0.020 m.

Wyniki te są zadawalające i błędy są mniejsze niż te pokazywane np. na rysunku 3.1.3 gdzie kolorem czerwonym zaznaczono obszary, w których NMPT jest równy rzeczywistemu poziomowi wody ±5cm. Z kolei w tabelach 4.1.2-4.1.4 w kolumnach opisanych, jako próbkowanie pokazane są wartości dopasowania NMPT wzdłuż środka i brzegu rzeki. Wyznaczone wartości dopasowania np. RMSE [m] z tabeli 4.1.2 zmieniają się od 0.185 (GRO20) do 0.449 (RYB20) dla środka rzeki natomiast od 0.259 m do 0.404 m przy brzegu. Skąd biorą się te różnice w oszacowaniach prezentowanych w różnych miejscach pracy? Jak rozłożone są różnice pomiędzy pomiarami naziemnymi i teledetekcyjnymi?

W dalszej części dane teledetekcyjne zostały zastosowane do uczenia maszynowego z wykorzystaniem splotowej sieci neuronowej przy zastosowaniu dwóch podejść. W pierwszym z nich rzędne lustra wody są wyznaczane za pomocą bezpośredniej regresji z wykorzystaniem enkodera. Natomiast w drugim testowanym podejściu rozwiązanie bazuje na średniej ważonej NMPT z wykorzystaniem maski wag przewidzianej przez sieć typu autoenkoder.

Rysunki 4.1.6 i 4.1.7 pokazują wyniki weryfikacji rzędnych stanów wody dla obu testowanych typów podziału danych na kalibrację i weryfikację tj. stratified i all-in-case-out dla obu testowanych podejść (regresja bezpośrednia i uśrednianie maską w oparciu o pomiary in-situ oraz z rastra NMPT wzdłuż brzegu rzeki i wzdłuż środka rzeki. Porównanie wskazuję, że lepsze dopasowanie uzyskano dla danych uśrednionych maską niż dla regresji bezpośredniej. Z kolei lepsze wartości współczynników opisujące dopasowanie uzyskano dla danych wydzielonych metodą stratified niż dla all-in-case-out.

Porównanie NMPT próbkowanego dla środka rzeki oraz wzdłuż brzegu wskazuje na różnicę estymowanych rzędnych, która zależy od analizowanego odcinka rzeki. Najmniejsze różnice są dla GRO21, natomiast największe dla RYB20 (około 40cm). Proszę o wyjaśnienie przyczyny tak dużych różnic dla pomiarów opisanych jako RYB20 które były przeprowadzone 19 grudnia 2020 r a także dla AMO18. Czy NMPT dla środka rzeki pokazuje dno rzeki? Czy też powierzchnię wody? Czy są dostępne przekroje poprzeczne i podłużne tego odcinka rzeki?

Z kolei wyniki porównania dla RYB21 wskazują na znaczne różnice pomiędzy bezpośrednim zastosowaniem NMPT a wynikami symulacji i pomiarami. Dla tego przypadku profile wyznaczone bezpośrednio z NMPT dla środka i brzegów rzeki mają podobne wartości. Sytuacja ta jest różna od RYB20. Co jest tego przyczyną?

Zastosowanie metod uczenia maszynowego znacznie poprawiło oszacowania rzędnych lustra wody w przypadku RYB21. Dlaczego w tym przypadku było najskuteczniejsze?

Uwagi to tego tematu:

Moim zdaniem w pracy brakuje opisu obszaru badań oraz map terenu pokazujących rzeki, zasięg misji, lokalizacje naziemnych punktów referencyjnych oraz zdjęć z prac terenowych choćby takich jak w pracy Szostak i in. (2024).

Bardzo ważnym elementem pracy naukowej jest dyskusja uzyskanych wyników w kontekście innych prac z danej tematyki. Niestety, w tej rozprawie doktorskiej brakuje dyskusji porównawczej wyników z wynikami innych badań, zarówno polskich, jak i zagranicznych, z uwzględnieniem różnic i podobieństw między nimi. Autor ograniczył się jedynie do podsumowania wyników.

W pracy przedstawiono, że podczas kampanii badawczych korzystano z drona DJI S900 oraz kamery Sony ILCE a6000 z obiektywem Voightlander SUPER WIDE HELIAR VM 15 mmf/4.5. Ustawienia misji zakładały pokrycie przednie 80% natomiast boczne 60%. Wysokość nalotu wynosiła 77 m AGL. Finalny NMPT był o rozdzielczości 20mm. W pracy nie ma informacji czy naloty we wszystkich lokalizacjach były przeprowadzone w taki sam sposób. Czy dane dla rzeki Åmose Å są pozyskane w

taki sam sposób oraz jaka jest ich rozdzielczość? Niestety w spisie literatury nie ma pracy Bandini i in. (2019), przypuszczam że powinno to być odwołanie do Bandini i in. (2020).

Temat drugi dotyczył analizy temperatury powierzchni wody, mierzonej za pomocą kamery termowizyjnej zamontowanej na dronie (UAV).

Termowizja, jako metoda pomiaru temperatury powierzchni wody, wykazuje pewne ograniczenia. Właściwości optyczne wody, a w szczególności jej przezroczystość w zakresie promieniowania podczerwonego, powodują, że pomiar może być zakłócony przez odbicia promieniowania z otoczenia. Niekorzystny wpływ na dokładność pomiaru mają również czynniki atmosferyczne, takie jak wilgotność powietrza i opady. Termowizja dostarcza informacji wyłącznie o temperaturze powierzchniowej wody, ignorując temperaturę w głębszych warstwach. Dodatkowo, parametry techniczne kamer termowizyjnych, takie jak rozdzielczość i dokładność, różnią się, co wpływa na precyzję pomiarów. W przypadku aplikacji dronowych, gdzie kluczowa jest miniaturyzacja, stosuje się kamery niechłodzone, które charakteryzują się większą wrażliwością na zmiany temperatury (zarówno komponentów wewnętrznych, jak i otoczenia), co zwiększa niepewność pomiaru i może być źródłem dryftu temperatury oraz efektu winietowania.

Eksperymenty przeprowadzone w ramach tej pracy pozwoliły na analizę czasu potrzebnego do osiągnięcia stabilizacji temperatury przez kamerę. Nie udało się natomiast odkodować czynników skalujących z surowych danych. W kolejnym etapie, w celu korekcji efektu winietowania, zastosowano algorytm typu "single image". Stwierdzono, że korekcja nie była skuteczna dla obrazu z rzeką znajdującą się przy lewej krawędzi kadru, co sugeruje, że algorytm wymaga homogenicznego tła. Skuteczność algorytmu była oceniana na podstawie zmiany odchylenia standardowego temperatury obrazu przed i po korekcji. Niemniej, ocena skuteczności algorytmu wyłącznie na podstawie tej miary jest niewystarczająca i wymagałaby porównania z pomiarami *in situ*.

Jako wynik nalotu z wykorzystaniem kamery Zenmuse H20T uzyskano między innymi obrazy termiczne zapisane w formacie Radiometric JPEG (R-JPEG). Jest to bezstratny format kompresji, który zachowuje kalibrację radiometryczną obrazów termicznych, gdzie każdy piksel reprezentuje określoną temperaturę. Ze względu na szyfrowanie obrazu, standardowe narzędzia, takie jak Agisoft Metashape i Pix4Dmapper, nie umożliwiają bezpośredniej interpretacji obrazów termicznych. Z tego powodu w tej pracy analizowano mozaikę zdjęć z nalotów na wysokości 50 m przy poziomie nakładania się (overlap) wynoszącym 80% zarówno bocznym, jak i czołowym. Analiza bezpośrednio uzyskanych zdjęć ujawniła występowanie pasów o wyróżniającej się temperaturze. W celu poprawy spójności obrazów dla całego obszaru, zaproponowano optymalizację metodą gradientów, w celu niwelowania różnic pomiędzy zdjęciami termicznymi, wykorzystując nakładanie się obrazów. Procedura ta obejmowała korejestrację par obrazów, w tym znajdowanie punktów charakterystycznych za pomocą algorytmu SIFT, dopasowanie punktów charakterystycznych za pomocą algorytmu FANN oraz estymację optymalnej transformacji macierzowej za pomocą algorytmu RANSAC. Określono również parametry charakteryzujące skuteczną transformację. Następnie optymalizowano parametry georeferencji dla wszystkich obrazów jednocześni. Metoda ta została zastosowana w celu minimalizacji różnic temperatury powierzchni terenu miedzy pokrywającymi się obrazami. W wyniku zastosowanie tej metody uzyskano termiczną ortofotomapę dla obszaru badań. Porównanie temperatury powierzchni wody uzyskanych z obrazów termowizyjnych z pomiarami naziemnymi wykazało, że największą poprawę wyników, widoczną, jako zmniejszenie RMSE, uzyskano dla optymalizacji spójności, która dodatkowo wyeliminowała błędy pomiarowe podczas początkowej fazy lotu.

Zaproponowane rozwiązanie jest bardzo ciekawe i warte dalszej analizy. W Instytucie Geofizyki PAN również prowadziliśmy prace nad opracowaniem schematu przetwarzania obrazów termowizyjnych z zestawu Matrice 300RTK z kamerą Zenmuse H20T. Opracowany schemat postepowania umożliwia otrzymanie spójnych ortofotomap termicznych, zweryfikowanych na podstawie pomiarów in-situ. Szczegółowy opis tego schematu znajduje się w pracy

Alphonse, A. B., Osuch, M., Wawrzyniak, T., & Hanselmann, N. (2024). Spatio-temporal variability of surface temperatures in High Arctic periglacial environment using UAV thermal imagery and in-situ measurements. GIScience & Remote Sensing, 61(1). https://doi.org/10.1080/15481603.2024.2435851

Uważam, że warto porównać oba dostępne rozwiązania.

W przypadku tego tematu również nie ma przedstawionej mapy obszaru badań. Opis obszaru badań jest bardzo lakoniczny. Pomiary były wykonywane głownie w miesiącach zimowych (grudzień, styczeń oraz pod koniec marca) w różnych warunkach odnośnie zachmurzenia. Jaki jest wpływ warunków meteorologicznych a w szczególności zachmurzenia, na jakość pomiarów temperatury powierzchni wody z wykorzystaniem drona (UAV)?

W tej części pracy również nie ma dyskusji wyników a jest tylko ich podsumowanie.

Trzeci temat dotyczył szacowania ewapotranspiracji na podstawie zdjęć termowizyjnych z UAV

W opracowaniu tym zaadaptowano algorytm Priestley-Taylor Jet Propulsion Laboratory (PT-JPL), który był już wcześniej wykorzystywany do estymacji ewapotranspiracji na podstawie danych satelitarnej misji ECOSTRESS. W modelu tym zastosowano zmodyfikowaną wersję równania Priestleya-Taylora, służącego do szacowania parowania potencjalnego. Niezbędne dane pozyskano w ramach kampanii pomiarowej w dniach 7-9 lipca 2023 nad rzeka Kocinka. Naloty wykonywano przy użyciu drona DJI Matrice 300 RTK oraz dwóch kamer: multispektralnej Micasense RedEdge-MX i termowizyjnej DJI Zenmuse H20T. W wyznaczonym obszarze o wymiarach około 240x270 m wykonano 12 lotów z kamerą termowizyjną i jeden lot z kamerą multispektralną. W centrum obszaru badań umieszczono stację meteorologiczną, która rejestrowała dane meteorologiczne, radiacyjne i glebowe, niezbędne do zastosowania metody kowariancji wirów i adaptacji metody PT-JPL.

Pozyskane zdjęcia termowizyjne przetworzono za pomocą algorytmu minimalizującego różnice między nakładającymi się obrazami. Następnie utworzono termiczne ortofotomapy. Użyto oprogramowania fotogrametrycznego (nie określono, jakiego). Zestaw równań wykorzystanych do wyznaczenia ewapotranspiracji metodą PT-JPL przedstawiono w tabeli 3.3.4. Niestety, w tabeli tej brakuje jednostek.

W kolejnym kroku przeprowadzono interpolację danych do rozdzielczości przestrzennej 20 cm i rozdzielczości czasowej 0,5 godziny.

Rysunek 4.3.4 przedstawia oszacowania ewapotranspiracji metodą PT-JPT dla pełnych godzin zegarowych. Niestety, rysunek ten jest nieczytelny. Moim zdaniem, interpolacja danych w czasie była niepotrzebna. Pierwsze pomiary z UAV w ramach tej kampanii zostały wykonane 7 lipca 2023 roku około godziny 20:00, co oznacza, że dane z wcześniejszych godzin są ekstrapolowane, a nie interpolowane.

W dalszym kroku wyznaczono ewapotranspirację zgodnie z algorytmem PT-JPL oraz bazując na kowariancji wirów. Wyniki porównania są przedstawione na rys. 4.3.8, gdzie linią ciągłą pokazane są wyniki szacowane metodą PT-JPL. Nie rozumiem, dlaczego w ten sposób zostały pokazane dane przestrzenne próbkowane z krokiem około 3 godzin. Dodatkowo, mam pytanie o czas potrzebny na wykonanie nalotu z kamerą termiczną lub multispektralną. Zazwyczaj takie loty są wykonywane na niższej wysokości z mniejszą prędkością niż w przypadku kamery RGB. Czy można zatem przedstawiać te pomiary jako chwilowe? Czy wyniki z pomiarów z krokiem 3 godzin można przedstawiać w postaci ciągłej linii (rysunek 4.3.8)?

Na rysunku 4.3.8 jest odwołanie do pracy Zhang i in. (2021). Niestety nie ma wymienionej tej pracy w spisie bibliografii.

Proszę o wyjaśnienie wyników z negatywnymi wartościami ewapotranspiracji.

Do oceny zmienności przestrzennej ewapotranspiracji wykorzystano dane z kamery termowizyjnej i multispektralnej. Czy dane te zostały zweryfikowane na podstawie pomiarów naziemnych? Jakie są różnice w wynikach temperatury powierzchni gruntu uzyskanych z pomiarów UAV i pomiarów in situ? Pomiary były realizowane w dniach 7-9 lipca 2023 roku. W tym okresie panowała bezchmurna pogoda. Jakie warunki pogodowe wpływały na jakość danych pomiarowych?

W tej części pracy dotyczącej szacowania ewapotranspiracji również nie ma dyskusji wyników a jest tylko ich podsumowanie.

Korekta tekstu

Analiza tekstu rozprawy wskazuje, że praca była przygotowywana w pośpiechu. Tekst pracy powinien być, co najmniej jeszcze raz sprawdzony pod względem literówek, słownictwa, odwołań do tabel i rysunków oraz bibliografii. Co to jest „szybkość wiatru”? Kolejny przykład to „Pennmanna-Monteitha”. Aktualnie w pracy są odwołania do tabeli x czy też rysunku x. W tekście są odwołania do prac, których nie wymieniono w spisie literatury jak np. Bandini i in. (2019), Zhang i in. (2021). Takich przykładów jest zdecydowanie więcej.

Podsumowanie

Moim zdaniem, podjęta tematyka jest aktualna i ważna. Wykorzystanie dronów wyposażonych w kamery RGB, termowizyjne i multispektralne dostarcza cennych danych do lepszego rozpoznawania procesów hydrologicznych. Zaproponowane metody umożliwiają (a) poprawę jakości oszacowania rzędnej lustra wody małych rzek oraz (b) automatyczną kalibrację obrazów termowizyjnych przy użyciu optymalizacji metodą gradientów i stanowią nowe i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. W przypadku szacowania ewapotranspiracji na podstawie danych z UAV mam problemy z oceną wyników ze względu na niepełny opis metody (brak jednostek), brak weryfikacji temperatury powierzchni gruntu, zastosowane metody opracowania (interpolację i ekstrapolację danych przestrzennych w czasie) oraz formę prezentacji.

Uważam, że rozprawa powinna zostać uzupełniona o opis obszaru badań wraz z mapami analizowanego terenu, pokazującymi rzeki, zasięg misji, lokalizacje naziemnych punktów referencyjnych oraz zdjęcia z prac terenowych, takie jak w pracy Szostak i in. (2024). Takie informacje znacznie ułatwiłyby interpretację wyników.

Bardzo ważnym elementem prac naukowych jest dyskusja uzyskanych wyników z innymi pracami dotyczącymi tej samej tematyki. Niestety, w tym przypadku zupełnie brakuje takiej dyskusji, a rozdział zatytułowany "dyskusja wyników" zawiera jedynie podsumowanie pracy.

Moim zdaniem, przedstawiona rozprawa powinna zostać poprawiona i uzupełniona. Dopiero po wprowadzeniu tych poprawek rozprawa będzie mogła spełniać standardy pracy doktorskiej.

3. Wniosek końcowy

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa nie spełnia wymogów ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym w zakresie sztuki, określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późn. zm.), i w związku z tym wnoszę o jej niedopuszczenie do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Marzena Ewa Osuch

Elektronicznie podpisany przez Marzena Ewa Osuch
Data: 2025.02.04 11:41:42 +01'00'