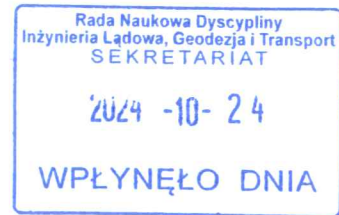


Olsztyn, październik 2024 r.

prof. dr hab. Zofia Rzepecka
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Geoinżynierii
Katedra Geodezji



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Viktora Szabó

**pt. „Analiza możliwości synergii obserwacji teledetekcyjnych z grawimetrycznymi oraz istotności czynników wpływających na obserwowane zmiany poziomu wód gruntowych rejestrowanych przez satelity GRACE i GRACE FO”,
napisanej pod kierunkiem
dr. hab. inż. Katarzyny Osińskiej-Skotak
oraz dr. inż. Tomasza Olszaka**

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję niniejszą opracowano na podstawie Uchwały nr 991/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 2 lipca 2024 r., w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora Panu mgr. inż. Viktorowi Szabó.

2. Ocena formalna recenzowanej rozprawy

Recenzowana rozprawa została opracowana na podstawie cyklu pięciu artykułów dotyczących problematyki zgodności wyników obserwacji GRACE i GRACE FO z obserwacjami teledetekcyjnymi wilgotności gleby oraz obserwacjami absolutnymi przyspieszenia siły ciężkości. Cykl publikacji, stanowiących podstawę przygotowanej dysertacji, zamieszczono w załącznikach stanowiących ostatni rozdział dysertacji. Publikacje te są poprzedzone tabelami pokazującymi potwierdzony procentowy udział poszczególnych autorów w ich przygotowaniu oraz punktację MEiN i współczynniki IF przypisane tym artykułom. W czterech spośród pięciu artykułów cyklu Doktorant jest pierwszym autorem, a jego udział procentowy wynosi od 80% do 100%. W publikacji, wymienionej jako pierwszy

artykuł cyklu, Doktorant jest piątym autorem, a jego udział procentowy został oszacowany na 10%. Punktacja MEiN łącznie wynosi 440 punktów (z tego 224,5 punktów udziału Autora rozprawy), a sumaryczny IF 5,7 (2,9 po uwzględnieniu procentowego udziału Doktoranta).

Całość rozprawy (bez załączników) zajęła 92 strony, struktura długości rozdziałów jest raczej prawidłowa, aczkolwiek uważam, że rozdział 7, zawierający podsumowanie, powinien być dłuższy i podawać bardziej konkretne uzasadnienie udowodnienia tezy i spełnienia przyjętych celów badawczych, poparte głębszą dyskusją i odwołaniami do konkretnych wniosków z poszczególnych publikacji. Pracę uzupełniono wykazem użytych skrótów, co stanowi ułatwienie dla czytelnika, szczególnie przy pierwszym czytaniu rozprawy. Bibliografia zawiera około 240 pozycji literatury, z których korzystał Autor w trakcie przygotowania pracy. W większości są to artykuły anglojęzyczne opublikowane w drugiej i trzeciej dekadzie XXI wieku. W pracy umieszczono 6 rysunków i 31 wzorów matematycznych wykorzystanych do wykonania odpowiednich obliczeń. Od strony językowej praca napisana jest poprawnie i zrozumiale, interpunkcja jest prawidłowa, wtrącane nazwy anglojęzyczne są konieczne i prawidłowo użyte, pracę czyta się płynnie.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1. Zawartość poszczególnych części rozprawy – ocena, uwagi, pytania

Tytuł rozprawy budzi wątpliwości. Można zauważyć, że składa się on z dwóch części: „Analiza możliwości synergii obserwacji teledetekcyjnych z grawimetrycznymi” oraz „Analiza istotności czynników wpływających na obserwowane zmiany poziomu wód gruntowych rejestrowanych przez satelity GRACE i GRACE FO”. Pierwsza część tytułu zakłada poszukiwanie zgodności między pomiarami odnoszącymi się do wyznaczania wilgotności gleby SM (techniką AMSR-E) a pomiarami grawimetrycznymi (satelitarnymi i naziemnymi). Wiadomo jednak, że pomiary grawimetryczne odnoszą się do całkowitej zawartości wody (TWS), a nie tylko wilgotności gleby. Przyjmuje się, że w skład TWS, oprócz SM wchodzi także GWS (wody gruntowe), SWE (wody zawarte w pokrywie śnieżnej) oraz zawartość wody w roślinach (CWS). Sam Autor, w opisie publikacji [3] podaje, że można zaobserwować zależność ΔTWS „od grupy zmiennych, w skład których wchodzi: zawartość wody w warstwie śnieżnej, wilgotność gleby na wszystkich warstwach oraz spływ podpowierzchniowy” (strona 59 rozprawy). Część druga tytułu odnosi się do wód gruntowych. Jeżeli Autor, na potrzeby

pracy, nie zdefiniował tego pojęcia inaczej, to w hydrologii wodami gruntowymi nazywa się „wody podziemne, zalegające na większych głębokościach niż wody przypowierzchniowe. Nie podlegają bezpośrednim wpływom czynników atmosferycznych” oraz „Wody gruntowe mają znaczenie przede wszystkim dla zaopatrzenia rolnictwa w wodę. Mogą być źródłem wody dla osiedli ludzkich lub zakładów przemysłowych” (cytaty pochodzą z Wikipedii, https://pl.wikipedia.org/wiki/Wody_gruntowe). Wyniki pomiarów grawimetrycznych zależą od ilości wody gruntowej, ale aby oddzielić tę zależność od innych czynników potrzebujemy dodatkowych informacji na temat struktury udziału poszczególnych składowych TWS w całym sygnale obserwowanym grawimetrycznie. Dodatkowo należy zauważyć, że w całej rozprawie, oprócz tytułu, sformułowanie „wody gruntowe” występuje tylko w publikacji [2], gdzie we wnioskach Doktorant napisał, że zmiany poziomu wody z -11 m do -8 m nie mogą być zaobserwowane przez GRACE (więcej o tym wniosku podaję przy opisie publikacji [2]). Autor raczej używa sformułowania „wody przypowierzchniowe”, p. np. sformułowanie tezy rozprawy. Wody przypowierzchniowe należałoby rozróżnić od wód gruntowych. W mojej opinii, np. we wstępie rozprawy, należało ustalić nazewnictwo, podając co Autor rozumie przez wody przypowierzchniowe, wody gruntowe, wilgotność gleby etc. Proszę o wyjaśnienie znaczenia tytułu rozprawy w autoreferacie w trakcie obrony pracy.

Rozprawa doktorska została przygotowana na podstawie pięciu powiązanych tematycznie publikacji, stanowiących załączniki pracy. Treść rozprawy została poprzedzona streszczeniami (w języku polskim i angielskim) i spisem treści. Jednostronicowe streszczenie zawiera krótkie, bardzo ogólne uzasadnienie wybranej tematyki pracy oraz zarys podjętych badań. W mojej opinii, **ogólna tematyka rozprawy**, dotycząca badania zmian całkowitej zawartości wody różnymi metodami, jest ciekawa i ważna, ma duży potencjał badawczy, ma charakter interdyscyplinarny, a wyniki prowadzonych badań mogą być wykorzystane w wielu różnych dziedzinach nauki.

Wykaz bibliograficzny pięciu artykułów, stanowiących podstawę pracy, zawarto w rozdziale pierwszym pracy.

Rozdział drugi, pod tytułem „*Motywacja, cele i hipotezy badawcze*” zawiera bardziej rozwinięty opis motywacji podjęcia tematyki pracy, w rozdziale tym wyszczególniono tezę badawczą, podano dwa główne cele badawcze oraz dodatkowo zdefiniowano pięć aspektów badawczych, do których przyporządkowano numery odpowiednich publikacji. Rozdział ten kończy się rysunkiem uproszczonego schematu przeprowadzonych prac badawczych oraz relacji między publikacjami tworzącymi cykl. **Tezę pracy** Autor sformułował następująco: „*Istnieją uwarunkowania, dla których występuje duża zgodność rejestracji zmian zawartości*

wód przy powierzchniowych obserwowanych za pomocą mikrofalowych technik teledetekcyjnych w zestawieniu ze zmianami całkowitego ekwiwalentu wodnego obserwowanymi przez satelitarne misje grawimetryczne”. Takie sformułowanie tezy rozprawy doktorskiej wydaje mi się zbyt słabe. Słowa „istnieje” możemy użyć nawet wtedy, kiedy dla tysiąca różnych uwarunkowań występuje brak zgodności, a dla jednego tylko przypadku zaistniała zgodność. Zgodność mogła nastąpić przez przypadek. Wartość informacyjna tak postawionej tezy jest niska. Inny naukowiec, chcący wykorzystać tę informację, nie będzie wiedział, czy dla jego przypadku ta zgodność nastąpi czy nie, w rezultacie i tak sam będzie musiał to zbadać. Tak sformułowana teza powinna zostać uzupełniona o wymienienie takich uwarunkowań, dla których zgodność występuje, i takich kiedy nie można się jej spodziewać. Proszę o zaproponowanie bardziej konkretnego sformułowania tezy doktoratu.

Rozdział trzeci rozprawy, zatytułowany „*Wstęp*”, ponownie pokazuje znaczenie misji satelitarnych GRACE i GRACE FO w pozyskiwaniu danych umożliwiających pogłębianie wiedzy o Ziemi. Wyeksponowano tu także konieczność wyboru odpowiedniej metodyki opracowania grawimetrycznych obserwacji satelitarnych, w tym odpowiedniego filtrowania tych obserwacji, a także łączenia tych obserwacji z obserwacjami prowadzonymi przy użyciu innych sensorów i prowadzenie wielowymiarowej analizy związanej z różnymi czynnikami, wpływającymi na zmiany pola siły ciężkości Ziemi. Jako przykład takiego innego sensora, Autor podaje teledetekcyjną technikę pomiaru wilgotności gleby za pomocą radiometru mikrofalowego zastosowanego w misji AMSR-E. W rozdziale tym pada sformułowanie „*AMSR-E zbiera dane dotyczące wilgotności gleby, opadów atmosferycznych, pokrywy śnieżnej i innych istotnych aspektów związanych z obiegiem wody w środowisku*”. Niemniej jednak, Autor w całej pracy wymienia obserwacje AMSR-E zawsze w kontekście wyznaczania wilgotności gleby SM, a w rozdziale 4.6 pracy podaje sposób wyznaczania wilgotności gleby SM na podstawie pomiarów mikrofalowych AMSR-E. W tym miejscu rozdziału trzeciego należało wyjaśnić, które składowe TWS (SM, GWS, CWS, SWE) zawarte są w wykorzystanych do badań obserwacjach AMSR-E. Koniecznie należałoby podać do jakiej głębokości gleby/gruntu mierzona jest SM i poprowadzić rozważania czy ta głębokość obejmuje już wody gruntowe. Dobrze byłoby także wyjaśnić dlaczego dane dotyczące zawartości wody w glebie zostały pozyskane z misji AMSR-E, a nie z któregoś z wielu dostępnych modeli typu GLDAS. Informacje zawarte w tym rozdziale przedstawiono na 3 stronach.

Kolejny, czwarty rozdział doktoratu, zatytułowany „*Podstawy teoretyczne*”, przygotowany na podstawie istniejącej literatury przedmiotu, przedstawia podstawy

teoretyczne wykorzystanych technik pomiarowych, czyli satelitarnych pomiarów grawimetrycznych w ramach GRACE i GRACE FO oraz teledetekcyjnych pomiarów zmian wilgotności gleby AMSR-E. W podstawowym wzorze na wyznaczenie zmian TWS z pomiarów grawimetrycznych GRACE (wzór 1, str. 18) użyto nieprawidłowej kolejności indeksów n, m . Podano przegląd literatury dotyczącej tych technik pomiarowych, sposobu ich działania i możliwych zastosowań, pokazano ich możliwości i ograniczenia. Doktorant, poszukując dla siebie przestrzeni do badań wśród ogromnej liczby prac z zakresu możliwości i sposobów wykorzystania obserwacji GRACE i AMSR-E, eksponuje dwie, istotne według niego, kwestie:

- możliwość wykorzystania informacji zawartych w danych zebranych przez czujniki charakteryzujące się większym szumem sygnału (takimi jak obserwacje AMSR-E), w globalnej analizie zmienności całkowitej zawartości wody ΔTWS pozyskanej z GRACE,
- konieczność przeprowadzenia analizy istotności czynników wpływających na zmianę zawartości wody w glebie, rejestrowaną przez satelity GRACE i GRACE FO.

Uważam, że w tym rozdziale powinny znaleźć się też informacje dotyczące podstaw teoretycznych absolutnych naziemnych pomiarów grawimetrycznych i sposobów ich opracowania. Trochę informacji znajdziemy na ten temat dopiero w podrozdziale 5.3, przy opisie wykorzystanych danych. Omawiany rozdział zajmuje 13 stron pracy.

W rozdziale piątym, najdłuższym, bo zajmującym prawie 22 strony rozprawy, opisano metodykę badań oraz wykorzystane zasoby danych. Poszczególne metody i zbiory danych przypisano także do odpowiednich artykułów cyklu. Pokróctce opisano równania wykorzystywane do uzyskania rozwiązania GRACE poziomu drugiego (L2) na podstawie współczynników rozwinięcia potencjału w szereg funkcji harmonicznych, dane rozwiązania poziomu trzeciego (L3) z GRACE w postaci zmian TWS, dane SM z AMSR-E poziomu trzeciego L3, wyniki pomiarów absolutnych przyspieszenia siły ciężkości prowadzone na stacji grawimetrycznej JOZE w Józefosławiu oraz dane modeli globalnych GLDAS. Do opracowania tych danych wykorzystano różne metody matematyczne, takie jak skalowanie danych TWS z wykorzystaniem różnych metod (modelowanie hydrologiczne, interpolacja, wspomaganie danymi z innych źródeł, metody uczenia maszynowego), filtracja danych GRACE, metody dekompozycji sygnału, metody statystyczne w postaci wybranych testów i statystyk, analiza maksymalnej kowariancji, metody rekonstrukcji sygnału z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego. Podane opisy i wzory dotyczące różnych metod matematycznych wykorzystanych w pracy są bardzo dobrze przedstawione, skrótowy opis algorytmów uczenia maszynowego także w mojej opinii jest bardzo dobry i świadczy o rozległej wiedzy Autora

pracy w tej dziedzinie. Natomiast we wzorach (3) i (4) ponownie nieprawidłowo podano kolejność indeksów n, m , co w tym miejscu jest o tyle dziwne, że Autor pod wzorem (3) podaje interpretację fizyczną występujących we wzorach współczynników, typu $C_{10}, C_{21}, S_{21}, C_{20}$, (a nie $C_{01}, C_{12}, S_{12}, C_{02}$ – bo takie wynikałyby z użytej notacji). Na etapie opisu współczynników kolejność indeksów jest już dobra.

W rozdziale szóstym, na 13 stronach tekstu, dokonano syntetycznego opisu wyników badań uzyskanych w poszczególnych publikacjach cyklu. W publikacji [1] przedstawiono wyniki porównań zmian przyspieszenia siły ciężkości g uzyskanych z odpowiednio opracowanych zbiorów obserwacji GRACE, grawimetru absolutnego FG5 oraz z modeli GLDAS. Zmiany wartości g na podstawie zawartości wody uzyskanej z modeli GLDAS, traktowano jako sumę ekwiwalentnej zawartości wody w glebie (SM), śniegu (SWE) i roślinach (CWS). Tutaj ponownie należy nadmienić, że do prawidłowej interpretacji wyników musimy wiedzieć, czy przy obliczeniach na podstawie danych GLDAS uwzględniony został ważny komponent TWS, jakim jest GWS (Ground Water Storage), oznaczający ekwiwalentną zawartość wody w wodach gruntowych. Czyli, do jakiej głębokości gleby, użyty model GLDAS podaje SM, czy wartości GWS są w nim uwzględniane. We wnioskach podano, że opracowane obserwacje ze wszystkich trzech źródeł wykrywają ekstremalne zdarzenia hydrologiczne (powódź z 2010 roku oraz suszę z 2015 roku). Uzyskane wartości anomalii zmian g różnią się w zależności od źródła danych, ale ich znaki są zgodne, co skutkuje wysokimi wartościami współczynników korelacji. Na tym etapie, w mojej opinii, wykorzystanie lokalnych zmian g do porównań z uśrednionymi czasowo i przestrzennie wynikami z GRACE wymaga dodatkowej, głębszej dyskusji. W publikacji [2] badano wpływ wybranego rodzaju filtru stosowanego przy opracowaniu obserwacji GRACE na uzyskane wyniki. Jakość wyników oceniano na podstawie ich zgodności z wynikami absolutnych pomiarów g pomierzonych na stacji JOZE. We wnioskach dysertacji podano, że zmiana poziomu wód gruntowych o 3 m (z -11 m do -8 m) może być wykryta przez pomiary satelitarne, natomiast w samej publikacji stwierdzono, że nie może. Przy filtracji Gaussa najlepsze wyniki uzyskano dla promienia wygładzania równego 300 km, co jest zgodne z istniejącą już wiedzą na ten temat. Badając filtry anizotropowe DDK stwierdzono, że rozwiązania poziomu szóstego RL06 uzyskane przez GFZ z użyciem tych filtrów, odstają od rozwiązań uzyskanych przez JPL i CSR, przy czym te ostatnie 2 typy rozwiązań także lepiej pasowały do wyników z pomiarów absolutnego przyspieszenia g . Dla rozwiązań RL05 uzyskano zgodność wyznaczenia zmian g ze wszystkich trzech centrów obliczeniowych. Ostateczną konkluzją z przeprowadzonych

badania było stwierdzenie, że obserwacje satelitarne wykonane przez misję GRACE mogą być z powodzeniem stosowane w badaniach prowadzonych w obserwatorium JOZE oraz do wzmocnienia realizacji IGRF, o ile zostały uprzednio odpowiednio przefiltrowane. Przy opisie tej publikacji doszło do znaczącej nieścisłości, a mianowicie niezgodności wniosków przedstawionych w rozprawie, z tymi podanymi w samej publikacji. W treści publikacji [2], na stronie 115 rozprawy, podano stwierdzenie „*When considering the compatibility between terrestrial gravity measurements and GRACE filtered data, it can be noticed that the change in the water table from -11 m to about -8 m below the Earth Surface is not recorded from the satellite’s level because the phenomenon is purely local*”. Jednocześnie na stronie 56 rozprawy, przy opisie publikacji [2] stwierdzono, że „*Zmiana poziomu wód gruntowych z -11 m do -8 m może być widoczna z pulapu satelitów grawimetrycznych*”. Proszę o wyjaśnienie powstałej sprzeczności w podawanych wnioskach. **Publikacja [3]** jest poświęcona rekonstrukcji sygnału TWS z GRACE (rozwiązanie RL06 z CSR) na podstawie 32 parametrów publikowanych w modelu GLDAS (NOAH). Wyznaczono współczynniki zależności w modelu funkcji regresji algorytmem XGBoost. Omawiając model regresji w publikacji, pokazano liniową zależność do wyrażenia zmiennej TWS jako funkcji liniowej kolejnych parametrów występujących w modelu GLDAS, co sugeruje, że w trakcie obliczeń z wykorzystaniem algorytmów nauczania maszynowego (ML), XGBoost w tym przypadku, obliczane są tylko 2 współczynniki. W samej pracy (str. 58) także nie objaśniono działania tego algorytmu. Autor powinien był przynajmniej odesłać czytelnika do podrozdziału 5.10, gdzie ogólne zasady ML zostały całkiem dobrze wyjaśnione. Uzyskano zadowalające wyniki modelowania, co umożliwiło wykonanie analizy istotności wykorzystanych parametrów. Do analizy tej wykorzystano metody stosowane w dziedzinie wytłumaczalnej sztucznej inteligencji (XAI). Potwierdzono dużą istotność takich parametrów jak SM we wszystkich warstwach, SWE oraz spływ podpowierzchniowy (sub-surface run-off), a niską w przypadku zawartości wody w roślinności (CWS). Tutaj pewne wątpliwości budzi użycie parametrów wyrażanych różnymi jednostkami w jednym modelu regresyjnym. Różne parametry GLDAS mają różne jednostki. Przykładowo, wspomniany tutaj parametr SM, jakiegokolwiek warstwy by nie dotyczył, jest podawany w $[kg\ m^{-2}]$, co zwykle przeliczamy na metry lub inne jednostki długości. Podobnie CWS. Natomiast parametr sub-surface run-off podawany jest w jednostkach prędkości zmian, mianowicie w $[kg\ m^{-2}s^{-1}]$, co można przedstawić w postaci $[m\ s^{-1}]$. Aby wyrazić drogę przez prędkość musimy dysponować znaną wartością drogi na wybrany moment czasu oraz wiedzieć ile czasu upłynęło od tego momentu. Proszę o dyskusję na ten temat. Dodatkowo, na podstawie literatury wiadomo, że modelujemy TWS jako sumę SM+GWS+CWS+SWE,

w związku z tym wiadomo, które z czynników są istotne, gdyż wchodzi w skład TWS. Sprawdzenie ich istotności mogłoby polegać tylko na przyjrzeniu się jaką część, np. procentową, TWS stanowią kolejne, ww. parametry. Na potrzeby niniejszej recenzji popatrzyłam pod tym kątem na model CLM, punkt siatki modelu w pobliżu JOZE, o współrzędnych (52.125^0 , 21.125^0), okres od lutego 2003 roku do lutego 2024 roku. Na podstawie uzyskanych wyników mogę stwierdzić, że wielkość SM do głębokości strefy korzeniowej roślin (SM_RZ) stanowi od 18 do 21% wartości TWS, GWS to od 78 do 81% TWS, SWE stanowi od 0 do 3% TWS, CWS natomiast daje od 0 do 0.015% TWS, co pokrywa się z wnioskiem uzyskanym przez Autora na podstawie wyrafinowanego algorytmu XGBoost. Należy nadmienić, że jeśli założymy, że pomiar SM obejmuje wody gruntowe GWS, to suma SM_RZ+GWS stanowi od 96 do 100% TWS. W **publikacji [4]** porównywano TWS uzyskane z misji GRACE z SM z AMSR-E. W badaniach wykorzystano analizę maksymalnej kowariancji. Pokazano wiele przypadków braku zgodności pomiędzy tymi wielkościami. Jako wnioski z przeprowadzonych badań wskazano, między innymi, wzrost zgodności sygnałów między obserwacjami GRACE i AMSR-E na terenach zalesionych i dużych otwartych terenach rolniczych oraz brak zgodności na terenach wiecznej zmarzliny i na terenach Europy. Z pewnym zdziwieniem przyjąłam uzasadnienie zgodności wyników GRACE i AMSR-E na terenach z dużą ilością roślin (zalesienia, uprawy). Mianowicie Autor uzasadnia to „*istotnością parametru dotyczącego warunków tlenu w strefach korzeniowych gleby*” (str. 61 rozprawy, powtórzono też na str. 62). Dlaczego tlenu? Czy jest to wniosek poparty literaturą? W mojej opinii chodzi raczej o wodę, p. np. „*Jedno drzewo w ciągu roku absorbuje ok. 3 tys. litrów wody opadowej (...)*” (cytat z <https://www.poznan.lasy.gov.pl>). Wszystkie wątpliwości związane z próbami wyjaśnienia TWS przez samą tylko SM pozostają tu nadal istotne. **Publikacja [5]** wykorzystuje algorytm uczenia maszynowego do rekonstrukcji sygnału GRACE na podstawie obserwacji SM z AMSR-E. Do oceny jakości wyników użyto kilku różnych miar jakości, takich jak NSE, RMSE, NRMSE, R^2 , opisanych w 5.7 rozprawy. Zbadano wyniki z 21 różnych algorytmów uczenia maszynowego, dostępnych jako gotowe procedury Pythona, w otwartych bibliotekach takich jak scikit-learn, PyCaret i numpy. I tu powstaje pytanie dlaczego aż tyle? Czy były to wszystkie procedury ML dostępne w tych bibliotekach? Zwykle znając podstawy teoretyczne działania wybranych algorytmów powinniśmy umieć przewidzieć, które z algorytmów nadają się do naszego problemu. Użycie tak wielu procedur wygląda trochę na poruszanie się po omacku. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyciągnięto różnorodne wnioski, nie zawsze zgodne z wnioskami z publikacji [4]. Pokazano ponownie brak zgodności wyników GRACE i AMSR-E na terenach wiecznej zmarzliny (ale gdyby uwzględnić SWE to

może by pasowało?), ale oprócz tego brak zgodności wystąpił także na terenach Amazonii i intensywnego rolnictwa. Jednakże w publikacji [4] oraz w pracy na stronie 61 Autor pisze, że „Naturalnie zalesione obszary i duże otwarte przestrzenie wykorzystywane w rolnictwie przyczyniają się do wzrostu zgodności sygnałów między obserwacjami GRACE i AMSR-E (...)”. Ponownie brakuje konsystencji pomiędzy wnioskami, tym razem pomiędzy dwiema kolejnymi publikacjami. Ostatecznym wnioskiem było stwierdzenie, że dane teledetekcyjne mogą być z sukcesem wykorzystane do uzupełnienia brakujących obserwacji GRACE w okresie 11-miesięcznego braku obserwacji (lipiec 2017 do maja 2018). Czy na pewno wniosek ten, przedstawiony w tak ogólnej postaci, został potwierdzony badaniami? Proszę o dyskusję na ten temat. Zastanawia także fakt uzyskania tak dużego rozrzutu wyników uzyskanych przy badaniu różnych algorytmów ML (współczynnik korelacji od 0.761 do -0.485). Czy to oznacza, że niektóre z tych algorytmów działają nieprawidłowo?

W **rozdziale 7**, na czterech stronach, Doktorant zamieścił podsumowanie wyników swoich badań. Autor stwierdza, że na podstawie przeprowadzonych analiz potwierdzono postawioną tezę badawczą o istnieniu takich uwarunkowań, dla których występuje zgodność pomiędzy wartościami zmian zawartości wód przypowierzchniowych obserwowanych za pomocą AMSR-E a wartościami zmian całkowitej zawartości wody obserwowanymi przez satelitarne misje grawimetryczne. Ten rozdział w mojej opinii powinien być dłuższy, teza powinna zostać rozszerzona o podanie opisu odpowiednich uwarunkowań wraz z podaniem całościowych, spójnych wniosków.

Rozdział 8 zawiera wykaz użytych w pracy skrótów, natomiast w **rozdziale 9** umieszczono bibliografię, zawierającą około 240 pozycji literatury, z których korzystał Autor w trakcie przygotowania pracy. Cykl pięciu publikacji, stanowiących podstawę przygotowanej dysertacji, zamieszczono w **rozdziale 10**.

4. Stopień spełnienia kryteriów pracy doktorskiej

Na podstawie Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, praca doktorska powinna spełniać trzy podstawowe kryteria, które na potrzeby recenzowanej pracy można przedstawić następująco:

- a) Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie
- b) Rozprawa doktorska prezentuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej
- c) Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

W swojej rozprawie Doktorant wykazał się szeroką wiedzą z zakresu nowoczesnych satelitarnych i naziemnych pomiarów grawimetrycznych, w zakresie metod prowadzenia i opracowania tych pomiarów. Dowodzi to wystarczającej wiedzy z zakresu geodezji wyższej. Do oceny wyników Autor potrafi zastosować metody statystyki matematycznej. Wykazał się znajomością i umiejętnością zastosowania najnowszych metod i algorytmów nauczania maszynowego i sztucznej inteligencji. Większość moich uwag odnosi się bardziej do wiedzy z zakresu hydrologii, a nie geodezji. Uważam, że pierwsze kryterium jest spełnione.

Odnosnie kryterium drugiego, dotyczącego samodzielnej pracy naukowej, należy stwierdzić, że Doktorant posiada doskonałą znajomość narzędzi aktualnie wykorzystywanych do pracy naukowej w dziedzinie nauk technicznych. Chodzi tu o znajomość metod obliczeniowych prowadzonych z wykorzystaniem narzędzi komputerowych i nowoczesnych algorytmów oraz wykonywanie obliczeń na dużych zbiorach danych. Wyniki obliczeń prezentowane są w pracy i artykułach cyklu na bardzo dobrych, czytelnych wykresach, przygotowanie których wymaga dobrej znajomości narzędzi komputerowych, wykorzystania nowoczesnych języków programowania i wybranych procedur zawartych w bibliotekach uzupełniających. Daje to bardzo dobre podstawy do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych dowodzą opublikowane artykuły cyklu, w których Doktorant jest pierwszym (a w przypadku publikacji w prestiżowym *International Journal of Hydrology Science and Technology* – jedynym) autorem. Pewne zastrzeżenia może budzić brak głębszej dyskusji uzyskanych wyników przy dowodzeniu spełnienia tezy naukowej doktoratu, mam nadzieję, że rozszerzona dyskusja zostanie zaprezentowana na obronie doktoratu.

Trzecie kryterium mówi o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego. Problemem naukowym było znalezienie warunków, w których występuje zgodność pomiędzy obserwacjami zmian zawartości wody uzyskanymi z pomiarów grawimetrycznych i teledetekcyjnych oraz rozpoznanie istotności czynników wpływających na wyniki uzyskiwane z grawimetrycznych pomiarów GRACE. Doktorant w trakcie swoich badań wskazał tereny i okresy, na których taka zgodność występuje. Zbadał także istotność czynników o największym wpływie na modelowanie sygnału zmian TWS, wykorzystując do tego model NOAA z grupy łądowych modeli asymilacyjnych GLDAS. Wskazał na możliwości dalszego wykorzystania wyników swoich badań.

5. Podsumowanie, wnioski i konkluzja

Dorobek Doktoranta, przedstawiony w postaci pięciu załączonych publikacji, zamieszczonych w uznanych czasopismach, uważam za dobry.

Podsumowując swoją ocenę pracy podkreślam, że Doktorant podjął się potrzebnego, ale trudnego oraz bardzo szerokiego tematu, a niektóre wymienione powyżej sugestie i uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny. Obniżają one częściowo moją ocenę pracy, jednakże biorąc pod uwagę całość dokonań Doktoranta, ostatecznie wyrażam swoją pozytywną opinię o pracy. Stwierdzam, że opiniowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r., art. 187 – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z. 2023 r., poz. 742 z późn. zm.) i na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie Pana magistra Viktora Szabó do publicznej obrony rozprawy doktorskiej przed Radą Dyscypliny Naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport Politechniki Warszawskiej.

Prof. dr hab. Zofia Rzepecka

