



Wrocław, dnia 10 maja 2024 r.

dr hab. Mateusz Czesław Strzelecki prof. UWr
Centrum Badań Regionów Zimnych im. Alfreda Jahna
Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki I
50-137 Wrocław

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR SZYMONA ŚLEDŹ PT.
OPTIMALIZACJA PRZETWARZANIA ZDJĘĆ Z BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW
POWIETRZNYCH NA POTRZEBY ANALIZY DYNAMIKI RZEŻBY TERENU
W BADANIACH Z ZAKRESU GEOMORFOLOGII GLACJALNEJ**

1. PODSTAWA FORMALNA

Recenzję opracowano na podstawie umowy zawartej z prorektorem UAM Panią prof. dr hab. Katarzyną Dziubalską-Kończak - Umowa nr – WG-20/2024 z dnia 08.03.2024 r. Do oceny przedstawiono rozprawę doktorską przygotowaną na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu pod kierunkiem Prof. UAM dr hab. inż., Jana Piekarczyka oraz Prof. UAM dr hab. Marka Ewertowskiego.

2. STRUKTURA ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Szymona Śledzia składa się z dwóch części. W pierwszej części zamieszczono streszczenie w języku polskim i angielskim oraz komentarz do cyklu publikacyjnego liczący 15 stron. Zarys podjętej problematyki badawczej bazuje na przeglądzie literatury liczącym 38 pozycji z dorobku polskiej i zagranicznej teledetekcji oraz geomorfologii glacialnej. Doktorant zwięźle przedstawił cele badawcze i zakres metodyczny wykonanych prac badawczych, a także syntetycznie omówił wyniki wraz z ich interpretacją i najważniejszymi prawidłowościami i konkluzjami. Tekst jest



napisany poprawnie, bez większych błędów językowych i literówek. Druga część stanowi załącznik w postaci cyklu trzech artykułów opublikowanych w języku angielskim, które ukazały się w czasopismach naukowych w latach 2020-2023. Spójny cykl artykułów stanowią więc:

- I. Śledź, S., Ewertowski, M. W., & Piekarczyk, J. (2021). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) surveys and Structure from Motion photogrammetry in glacial and periglacial geomorphology. *Geomorphology*, 378.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107620> (Q2 Web of Science; 93 percentyl Scopus (2021); IF2021 = 4.139; MEiN2021 = 100 pkt
 Liczba cytowań: Google Scholar: 75; Scopus: 56; Web of Science: 50)
- II. **Śledź, S.**, & Ewertowski, M. W. (2022). Evaluation of the Influence of Processing Parameters in Structure-from-Motion Software on the Quality of Digital Elevation Models and Orthomosaics in the Context of Studies on Earth Surface Dynamics. *Remote Sensing*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/rs14061312>
 Q1 Web of Science; 90 percentyl Scopus (2022); IF2022 = 5.349; MEiN2022 = 100 pkt
 Liczba cytowań: Google Scholar: 10; Scopus: 9; Web of Science: 7
- III. **Śledź, S.**, Ewertowski, M. W., & Evans, D. J. A. (2023). Quantification of short term transformations of proglacial landforms in a temperate, debris - charged glacial landsystem, Kvíárjökull, Iceland. *Land Degradation & Development*, 34(17), 5566-5590. <https://doi.org/10.1002/ldr.4865>
 Q2 Web of Science; 91 percentyl Scopus (2022); IF2022 = 4.377; MEiN2023 = 200 pkt. Liczba cytowań: Google Scholar: 0; Scopus: 0; Web of Science: 0

Wszystkie trzy artykuły zostały opublikowane w recenzowanych międzynarodowych czasopismach naukowych, w tym jeden we wiodącym czasopiśmie geograficznym poświęconym degradacji krajobrazu o wysokich wartościach wskaźnika IF (4.377, - *Land Degradation and Development*).

Należy zauważyć, że Doktorant był głównym pomysłodawcą badań i wiodącym autorem o dominującym wkładzie w tworzeniu artykułów, stanowiących ten spójny cykl publikacyjny.



Doktorant odpowiadał za większą część pracy nad artykułami (konceptualizację, metodologię, przeprowadzenie analiz, opracowanie wizualizacji, współudział w napisaniu oryginalnych manuskryptów oraz przygotowanie ich wersji poprawionych po recenzji). Wyniki, które stanowiły podstawę artykułów składających się na rozprawę doktorską Doktorant zaprezentował także na najważniejszych konferencjach geomorfologicznych tj. IGC 2022 w Coimbrze oraz EGU 2023 we Wiedniu. Cały jego dorobek jest dalece powyżej średniego na tym etapie kariery.

Biorąc pod uwagę przedstawione informacje stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska: 1) Stanowi cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach naukowych; 2) Zawiera streszczenie rezultatów w języku angielskim i polskim; czyli spełnia wymagania formalne określone w art. 187 ust. 3 oraz ust. 4 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.).

3. CELE BADAWCZE

Rozprawa dotyczy zagadnienia zastosowania materiałów fotogrametrycznych pochodzących z Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP) w badaniach z zakresu geomorfologii glacialnej. Doktorant postawił przed sobą aż cztery ambitne cele badawcze:

1) rozpoznanie braków w aktualnym stanie wiedzy dotyczących aplikacji BSP w badaniach geomorfologicznych, w tym przetwarzania zdjęć wykonanych z BSP do metod Structure from Motion SfM; 2) wykonanie testów różnych parametrów przetwarzania zdjęć metodą SfM na dokładność analiz i materiałów fotogrametrycznych; 3) przedstawienie propozycji automatyzacji metody SfM opartej na skryptach w optymalizacji przetwarzania zdjęć z BSP 4) wykorzystanie innowacyjnych rozwiązań na przykładzie analizy dynamiki rzeźby proglacialnej lodowca Kviár na Islandii.

4. TEMATYKA ARTYKUŁÓW

W Artykule I (Śledź i in. 2021) – opublikowanym wspólnie z prof. Ewertowskim i Piekarczykiem w czasopiśmie *Geomorphology* (wiodące czasopismo geomorfologiczne)



Doktorant wykonał pogłębiony przegląd prac naukowych wykorzystujących BSP i metody SfM do analiz zmian rzeźby glacialnej.

Oprócz wykonania inwentaryzacji typów badań (tj. kartowanie geomorfologiczne, analiza dynamiki rzeźby terenu, badania przebiegu procesów geomorfologicznych, badania osadów powierzchniowych) w których wykorzystywano wspomniane techniki, w artykule przeanalizowano rozkład przestrzenny badań z podziałem na regiony polarne vs. wysokogórskie.

Patrząc na bogaty materiał i doskonałą szatę graficzną (kartograficzną) publikacji można wyłącznie ubolewać, że z tak ciekawym materiałem Doktorant nie zaryzykował publikacji w *Earth Science Reviews*, co mogło przynieść jeszcze większy efekt wpływu na rozwój dyscypliny. Nie można jednak nie zauważyć, że już w niecałe trzy lata od publikacji artykuł został zacytowany ponad 80 razy i wpłynął na sposób w jaki geomorfologowie glacialni przygotowują swoje strategie nalotów i kartowań geomorfologicznych.

Artykuł II (Śledzi i Ewertowski 2022) przynosi już opis rezultatów autorskich badań teledetekcyjnych jakie Doktorant wykonał w trakcie doktoratu. Artykuł opublikowany w jednym z nielicznych czasopism z domu wydawniczego MDPI, które zachowało wysokie standardy w procesie recenzji – *Remote Sensing*, jest zapisem eksperymentu jaki wykonano w oprogramowaniu Agisoft Metashape w celu wyjaśnienia jak poszczególne parametry obliczeniowe oprogramowania wpływają na budowane w nim cyfrowe modele wysokościowe i ortomozaiki – czyli podstawowe materiały fotogrametryczne wykorzystane przez geomorfologów glacialnych w badaniach zmian rzeźby obszarów zlodowaconych i polodowcowych. Co istotne dla ważności eksperymentu, zgodnie z informacją wyniesioną z inwentaryzacji badań geomorfologicznych z użyciem danych z BSP (Artykuł I), oprogramowanie Agisoft miało dominującą pozycję wśród użytych programów do przetwarzania zdjęć z BSP. Efektem testów było wypracowanie trzech skryptów w języku Python (a) najkrótszy czas obliczeń; (b) optymalnego; oraz (c) najdokładniejszy, które pozwolą na ułatwienie pracy w oprogramowaniu Agisoft Metashape w tym wspomogą zarządzanie wieloma projektami jednocześnie, co ma szczególną wagę w przypadku zespołów pracujących w kilku lokalizacjach i różnych formach rzeźby. Doktorant nie poprzestał wyłącznie na udostępnieniu skryptów w otwartym dostępie, ale postanowił potwierdzić przydatność



wypracowanych rozwiązań w praktyce. Artykuł III (Śledź i in. 2023) opublikowany w *Land Degradation and Development* (dom wydawniczy Wiley) jest opisem badań na krótko-okresową transformacją proglałajnego krajobrazu lodowca Kviár, w których w trakcie przetwarzania zdjęć z BSP wykorzystano drugi schemat postępowania Śledzia i Ewertowskiego (2022) – optymalny. W pracy Doktorant miał okazję współpracować z jednym z najwybitniejszych współczesnych geomorfologów glacialnych – profesorem Davidem Evansem z Durham University. Materiał przedstawiony w artykule można rozdzielić na trzy działy – pierwszy opisujący zmiany ukształtowania przedpoła Kviárjokull (dane 2014-2022), drugi – porównujący dynamikę rzeźby wykrytą wokół badanego lodowca z innymi lodowcami na Islandii i Svalbardzie, trzeci – ponownie wkraczający w obszar metodyczny wykazujący ograniczenia metody SfM i kroków weryfikujących dokładność DEM, w szczególności w przypadku obliczeń różnic wysokości form terenu.

5. OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Z uwagi na to, że naukowo nie zajmowałem się metodyką lotów i wykonywania zdjęć z BSP do analiz fotogrametrycznych, a jedynie wykorzystywałem w swoich badaniach gotowe materiały (ortofotomapy, cyfrowe modele terenu) przygotowane w oparciu o zdjęcia z BSP, w recenzji skoncentrowałem się przede wszystkim na ocenie pracy pod kątem wniosków jakie wyciągnął Doktorant dla dokładniejszego zobrazowania zmian zachodzących w środowisku glacialnym.

Jednym z ważnych wyzwań badawczych geomorfologii glacialnej jest wyjaśnienie reakcji systemów lodowcowych na gwałtowne zmiany klimatyczne i związane z nimi uaktywnienie ekstremalnych procesów geomorfologicznych zachodzących po recesji lodowców na ich przedpolach. Jest to szczególnie istotne w okresie intensywnego ocieplenia klimatu, które w ostatnich latach doprowadziło nie tylko do odsłonięcia nowych obszarów proglałajnych spod szybko wycofujących się lodowców, ale również zintensyfikowało przekształcanie form powstałych w okresie małej epoki lodowej przez rzeki lodowcowe i ruchy masowe wywołane degradacją pogrzebanych brył/jąder lodowych. Z rzeźby przedpoła lodowca można zatem wyczytać przebieg i efektywność procesów geomorfologicznych związanych z post-glacialną transformacją krajobrazu. Mgr Śledź podjął się tego wyzwania, wybierając jedno z najbardziej zróżnicowanych pod względem ukształtowania przedpól



lodowcowych na Islandii - zawierającą formy pozostawione przez awanse i recesje lodowca podczas neoglacjału, małej epoki lodowej oraz współcześnie, strefę proglacialną lodowca Kvíár. Dobór obszaru badań nie był przypadkowy. Przedpole lodowca, zostało dokładnie skartowane i opisane przez zespół prof. Evansa (Bennet i in. 2012), co pozwoliło zaprojektować eksperymenty terenowe tak aby przyjrzeć się reakcji na deglacjację i zmieniające się warunki klimatyczne różnym typom form: terasie kemowej, sandrowi, pagórkom lodowo-morenowym oraz terenom pagórkowatym z krętymi grzbietami. Ubolewać należy, że Doktorant, choć posiadał potrzebne dane, nie pokusił się o kwantyfikację zmian linii brzegowej jeziora proglacialnego, co dopełniłoby ten kompleks kluczowych form ukształtowania przedpól lodowcowych. Z drugiej strony, analizę samego rozwoju misy jeziornej i zmian powierzchni jeziora można wykonać wyłącznie na podstawie fotointerpretacji i porównań zasięgów z ortofotomap, bez konieczności analiz SfM i DoDs, co było celem testów wykonanych przez Doktoranta.

Za duże osiągnięcie pracy uważam, wykrycie przyspieszenia w ostatnich latach w degradacji kompleksów pagórków lodowo-morenowych, co zdaje się powszechną sytuacją na przedpolach lodowców arktycznych i subarktycznych w ostatnich dwóch dekadach. Jestem pod dużym wrażeniem pracy jaką Doktorant włożył w skartowanie tak trudnego terenu i testowanie swojego podejścia w projektowaniu nalotów oraz późniejszym przetwarzaniu na obszarze obfitującym w wodne akweny, utrudniające budowę modeli i kwantyfikację zmian powierzchni. Ze zbiornikami wodnym związana jest jedna z ciekawszych obserwacji przedstawionych w artykule III – o wpływie odległości od jeziora na stabilność moren. Pytanie czy podane szacunki ok. 130 m od zbiornika, kiedy w terenie dochodziło do stabilizacji form to przypadek wyłącznie miejscowy czy można tą wartość uznać za wskaźnikową dla saturacji gruntu przez wody jeziorne? Pozostając w tematyce jezior wytopiskowych na przedpolu badanego lodowca – interesuje mnie geneza ciągu nieregularny zagłębień jakie powstały po 2016 roku – co zdaniem Doktoranta mogło spowodować tak gwałtowne wytopienie brył martwego lodu właśnie w tej części moreny? Będę też wdzięczny



za informacje czy zbiornik są połączone i nie są zaczynem szlaku, którym w przyszłości mogą spłynąć wody z jeziora proglacialnego (GLO)?

Z innych ciekawszych rezultatów obejmujących badania przedpola lodowca Kviár uznaję wychwycenie stabilności powierzchni sandru w latach 2016-2022. Z rycin i map przedstawionych w publikacji III nie mogłem jednak wyczytać, czy sandr jest wciąż aktywny i wciąż płyną nim rzeki lodowcowe. Chciałbym również poprosić Doktoranta o uzupełnienie informacji o pokryciu sandru roślinnością. Czy stabilność jego powierzchni nie wynikała właśnie z ustabilizowania koryt i łach przez pokrywę roślinną? Proponuję, aby Doktorant poświęcił fragment dyskusji podczas obrony doktoratu właśnie zagadnieniu szaty roślinnej wkraczającej na obszary proglacialne i ewentualnemu wpływowi na dokładność modeli terenu. Ciekawi mnie również opinia Doktoranta, czy istnieją już na tyle dokładne kamery, które byłyby w stanie wykonywać zdjęcia o rozdzielczości umożliwiającej rozróżnienie gatunków roślin porastających formy polodowcowe?

Pod koniec chciałem wrócić do jednego z wątków poruszonych w pierwszym artykule cyklu – mianowicie wykorzystania danych z BSP w kartowaniach krajobrazów periglacialnych. Informacje przedstawione w inwentaryzacji tematyki badań (Tabela I, artykuł I), w których wykorzystano BSP sugerują, że ich aplikacja do kartowań rzeźby periglacialnej jest jednostkowa i ograniczona wyłącznie do kartowania geomorfologicznego. Właściwie nie wymieniono badań, które kwantyfikowałyby zmiany ukształtowania terenu. Czy można to tłumaczyć stabilnością form i długim okresem ich degradacji liczoną w dziesiątkach lat w przeciwieństwie do form polodowcowych, które mogą spłynąć w ciągu paru dni? Jestem ciekaw zdania Doktoranta, dlaczego ta metodologiczna rewolucja w badaniach krajobrazów zimnych nie objęła w tak dużym stopniu krajobrazów periglacialnych, z pominięciem lodowców gruzowych, których przykłady badań znalazły się w przeglądzie. Chciałem zauważyć, że w zeszłym roku ukazała się w *Geomorphology* praca Harkema i in. (2023), która jest prawdopodobnie zapowiedzią zmiany w tej materii. Jestem ciekaw opinii Doktoranta o tym artykule i zastosowaniu pół-automatycznej techniki COSI-Corr. Czy można ją będzie



zastosować w tak dynamicznie zmieniającym się krajobrazie jak chociażby przedpole lodowca Kviár?

W konkluzjach Doktorant rozważał kwestię użyteczności algorytmów sztucznej inteligencji w analizach fotogrametrycznych, upatrując w nich szansę na skrócenie czasu obliczeń oraz zapewnienie lepszej kontroli nad coraz to dokładniejszymi i liczniejszymi zbiorami zdjęć z BSP. Jestem bardzo ciekaw zadania Doktoranta, jakiego elementu w rozwoju/uczeniu AI brakuje nam jeszcze, aby mogła nie tylko poprawiać dokładność analiz przestrzennych, ale proponować własne interpretacje typów form i procesów doprowadzających do ich degradacji? Czy to kwestia najbliższych miesięcy, czy jednak wciąż przez wiele najbliższych lat potrzebne do tego będzie oko doświadczonego geomorfologa?

6. WNIOSKI

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, składająca się z cyklu trzech publikacji powiązanych ze sobą tematycznie, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych w geomorfologii glacialnych. Wyniki kartowań geomorfologicznych i interpretacji danych teledetekcyjnych potwierdzają poprawność i przydatność wykorzystanych technik do poprawy jakości i dokładności cyfrowych modeli terenu wykorzystywanych w interpretacjach rozwoju rzeźby glacialnej jak i kwantyfikacji krótkotrwałych zmian w ukształtowaniu obszarów proglacialnych.

Doktorant udowodnił, że potrafi prowadzić interdyscyplinarne badania naukowe, a ich wyniki analizować i interpretować. Jestem pełen uznania dla dociekliwości naukowej i konsekwencji Doktoranta w dążeniu do osiągnięcia postawionych celów badawczych prowadząc zarówno obserwacje i pomiary w tak trudnym i wymagającym terenie jak i tworząc krytyczną analizę wykorzystania UAV w badaniach z zakresu geomorfologii glacialnej.

Mając na uwadze zastosowaną kombinację metod teledetekcyjnych, geomorfologicznych, kartograficznych i geo-informacyjnych, spójną interpretację danych oraz przedstawienie prawidłowości istotnych dla rozwoju badań nad wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych na potrzeby geomorfologii glacialnej, wysoce oceniam kompetencje naukowe mgr Śledzia. Na wyróżnienie zasługują wszystkie części rozprawy. W pierwszej Doktorant



potrafił skonfrontować się z dorobkiem wiodących badaczy wykorzystujących BSP w badania krajobrazów lodowcowych i peryglacjalnych, w drugiej wykonał żmudne obliczenia i testy oprogramowania, które dały nam szansę na unifikację schematów postępowania i lepsze warunki do studiów porównawczych, finalnie udowodnił, że wypracowane podejście sprawdza się w jednym z najbardziej dynamicznych środowisk proglacjalnych jaki niewątpliwie są przedpola lodowców południowej Islandii.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Szymona Śledzia zasługuje na wyróżnienie i spełnia warunki określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.). Wnioskuje do Rady naukowej Dyscypliny Nauki o Ziemi i środowisku Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie Pana mgr Szymona Śledzia do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.