

SN.410.2.2023

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
Wpłynęło	17-05-2024r @
№ kuz. ....	zab. ....
Ref. ....	.....

Zofia Rączkowska

Zakład Badań Geośrodowiska

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

31-018 Kraków, ul. Św. Jana 22

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. Juliana Podgórskiego pt. „Badanie procesów zachodzących na powierzchni lodowca andyjskiego w dobie intensyfikacji zmian klimatu w oparciu o metody teledetekcyjne”

Przedstawiona do recenzji praca doktorska dotyczy zagadnienia zmian lodowców górskich pod wpływem zmian klimatu, szczególnie długotrwałych susz. Problematyka ta ma duże znaczenie, gdyż kurczące się lodowce górskie stanowią często początek dużych rzek i główne źródło zaopatrzenia w wodę obszarów poniżej, często gęsto zaludnionych, a zjawiska susz są prognozowane dla wielu obszarów górskich w związku ze zmianami klimatu.

Problematykę tę podjął w swojej rozprawie doktorskiej mgr Julian Podgórski skupiając badania na przemianach powierzchni andyjskiego lodowca Universidad, w środkowym Chile, wskutek długotrwałej suszy w okresie 2013-2023.

Rozprawę doktorską Juliana Podgórskiego stanowi opracowanie obejmujące:

1/ Omówienie zestawu publikacji w skład, którego wchodzi streszczenia w języku polskim i angielskim, właściwe omówienie w języku polskim liczące 43 strony i w języku angielskim liczące 41 stron oraz bibliografia licząca 8 stron.

2/ Trzy załączniki, którymi są powiązane tematycznie i stanowiące spójną całość, artykuły:

i/ Podgórski J., Pętlicki M., 2020, Detailed lacustrine calving iceberg inventory from very high resolution optical imagery and object-based image analysis. Remote Sensing, 12, 11, 1807, <https://doi.org/10.3390/rs12111807>

udział własny Doktoranta – 75%

ii/ Podgórski J., Kinnard Ch., Pętlicki M., Urrutia R., 2019, Performance assessment of TanDEM-X DEM for mountain glacier elevation changes detection. Remote Sensing, 11, 2, 187, <https://doi.org/10.3390/rs1120187>

udział własny Doktoranta – 60%

iii/ Podgórski J., Pętlicki M., Fernández A., Urrutia R., Kinnard Ch., 2023. Evaluating the impact of the Central Chile Mega Drought on debris cover, broadband albedo, and surface drainage system of Dry Andes glacier. *Science of Total Environment*, 905, 166907, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166907>

Wszystkie publikacje wchodzące w skład rozprawy są współautorskie. W każdej z nich mgr Julian Podgórski jest pierwszym autorem, a w jednej jest autorem korespondencyjnym. Udział Doktoranta w ich przygotowaniu wynosi 60-75%, co potwierdzają załączone oświadczenia współautorów. Doktorant szczegółowo opisał na czym polegał jego udział w każdej publikacji. Artykuły zostały opublikowane w renomowanych czasopismach, indeksowych w międzynarodowych bazach.

#### *Wartość naukowa rozprawy*

Rozprawa doktorska mgr. Juliana Podgórskiego zawiera oryginalne wyniki badań Doktoranta prowadzonych w dotkniętym tzw. megasuszą obszarze Chile na lodowcu Universidad. Uzyskane wyniki pozwoliły, a kompleksowe poznanie reakcji lodowca na zmiany klimatu, poprzez opis i analizę dynamiki procesów działających na lodowcu w warunkach długotrwałej suszy oraz przemian powierzchni lodowca wskutek ich aktywności, a także na objaśnienie interakcji pomiędzy poszczególnymi komponentami środowiska przyrodniczego a funkcjonowaniem powierzchni lodowca.

W pierwszej publikacji Doktorant podjął problem zdalnego kartowania lodu o różnym stopniu pokrycia i zanieczyszczenia materiałem skalnym oraz wody o różnej zawartości materiału skalnego, który rozwiązał w oparciu o wyniki kartowania i analizy gór lodowych w jeziorze proglacialnym przed czołem lodowca San Quintín. Zaprezentowano autorską procedurę do kartowania obszarów lodu z wtopionym materiałem skalnym lub pokrytego osadami opartą na obiektowej analizie obrazów połączonej z klasyfikacją nadzorowaną metodą uczenia maszynowego (algorytm Losowych Lasów Decyzyjnych) oraz na operacjach morfologicznych na wykrytych kształtach. Zweryfikowano jej skuteczność. Liczba gór lodowych, wykrytych z jej użyciem była zbliżona tych do liczby wykrytej przez ręczne kartowanie (odpowiednio 3184 i 3213 góry lodowe). Ponadto wyznaczono, w postaci prawa potęgowego, związek pomiędzy polem powierzchni góry lodowej na wysokości lustra wody a jej objętością oraz wykazano, że rozkład log-normalny jest lepszym od prawa potęgowego i rozkładu wykładniczego przybliżeniem rozkładu wielkości gór lodowych w badanym

jeziorze. Wskazano na podobieństwo procesów zaangażowanych w powstawanie i ewolucję gór lodowych w jeziorach i zatokach morskich.

Druga publikacja przedstawia wpływ suszy na zmiany morfometrii lodowca Universidad w pierwszych latach suszy (2000-2013). Oszacowano zmiany w wysokości powierzchni lodowca, czyli jego miąższości i wykazano zróżnicowanie przestrzenne tempa obniżania powierzchni lodowca wzdłuż transektu podłużnego, a na jeziorze wzdłuż transektu poprzecznego. Stwierdzono ogólne obniżenie jego powierzchni o średnio  $6,77 \pm 0,34$  m, a najbardziej intensywne, wynoszące nawet 45 m, w strefie ablacji. Podnoszenie powierzchni lodowca zidentyfikowano jedynie w najwyższej części strefy akumulacji oraz w strefie bezpośrednio powyżej lodospadu w zachodnim cyrku lodowcowym. Stwierdzono, że osłabienie tempa ablacji przez pokrywą gruzową w pasach moren na jeziorze przyczynia się do rozwoju obniżeń odsłoniętego lodu pomiędzy nimi. Natomiast gruba warstwa gruzu na czole lodowca będąca wynikiem obniżania powierzchni, lokalnie ogranicza topnienie lodowca, ale nie zapobiega ubytkowi lodu i recesji jeziora. Ważnym osiągnięciem naukowym w tym artykule była ocena wartości TanDEM-X DEM dla badań glaciologicznych. Potwierdzono, że dokładność modelu TanDEM-X DEM jest wystarczająca do badania zmian wysokości lodowców, przy czym ważne jest zweryfikowanie obecności suchego śniegu i wyeliminowanie stoków o nachyleniu powyżej  $40^\circ$ .

W trzeciej publikacji Doktorant podjął próbę kompleksowego określenia wpływu długotrwałej suszy, na procesy zachodzące na powierzchni lodowca Universidad i na mechanizm zmian jego powierzchni. W oparciu o analizę danych teledetekcyjnych dla okresu 2013-2022 przedstawiono zmiany albedo, pokrywy osadowej i śnieżnej, facji lodowcowych, zasięgu lodowca oraz sieci drenażu na jeziorze lodowca. Stwierdzono lokalne cofanie krawędzi lodowca, głównie jeziora, nierównomierne rozszerzanie się pokrywy osadowej na powierzchni lodowca, szczególnie intensywne, z przesuwaniami jej górnej granicy ku górze, w jego niższych partiach, spadek albedo na całym lodowcu, na jeziorze wskutek akumulacji materiału, a w strefie akumulacji z powodu odsłaniania lodu lodowcowego, wzrost o ponad 500 m wysokości linii równowagi ELA, kurczenie się strefy akumulacji lodowca, różnokierunkowe zmiany gęstości i rzędu sieci strumieni – wzrost na odsłoniętym lodzie i spadek na morenach, zmianę zasilania sieci drenażu poprzez zastąpienie wody opadowej wodą z topniejącego lodowca, znaczny wzrost przepływu wody na powierzchni lodu z powodu topnienia lodu i zmniejszonego drenażu na odsłoniętych morenach. Objasniono mechanizm zmian zachodzących na powierzchni lodowca. Wykazano zróżnicowanie reakcji poszczególnych części lodowca na zmiany klimatu, w tym zagrożenie całkowitego zaniku lodowców w małych cyrkach oraz trendy zmian.

### *Wartość merytoryczna rozprawy*

Rozprawa doktorska mgr. Juliana Podgórskiego wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. We wstępie w omówieniu publikacji Doktorant rzeczowo przedstawia motywacje podjęcia badań i wykazując się dobrą znajomością literatury dotyczącej zagadnień podejmowanych w rozprawie, co świadczy o jego dobrym przygotowaniu teoretycznym. Omawia zmiany klimatu, ich wpływ na lodowce górskie, procesy działające na lodowcach, szczególnie związane z rozwojem pokrywy osadowej i sieci drenażu na lodowcu. Przedstawia obszar badań i uzasadnia wybór lodowców do badań szczegółowych oraz ich reprezentatywność dla regionu, w którym się znajdują. Następnie jasno formułuje pytanie badawcze „Jakie procesy zachodzą na powierzchni lodowca górskiego pod wpływem pustynnienia – ewolucji lokalnego klimatu ku cieplejszemu i bardziej suchemu?” i cel pracy, którym jest weryfikacja postawionej przez niego hipotezy roboczej o treści: „Długotrwała susza wywołuje zmianę charakteru interakcji pomiędzy powierzchnią lodu, wodą roztopową, materiałem skalnym a atmosferą. Zmiany obserwowane obecnie na powierzchni lodowca są skutkiem intensyfikacji procesów, które zachodziły tam już wcześniej, jeszcze przed początkiem suszy”. Szczegółowe cele pracy obejmują zatem analizę poszczególnych procesów zachodzących na lodowcu, takich jak zmiany wielkości lodowca, charakteru jego powierzchni, położenia linii równowagi oraz zmienność parametrów sieci drenażu w dolnej części strefy ablacji, a także danych meteorologicznych. Jako cele poboczne wskazano zweryfikowanie użyteczności numerycznego modelu terenu TanDEM-X DEM dla badań glaciologicznych, przedstawienie nowej metody ilościowego szacowania ilości materiału skalnego na powierzchni lodowca na zdjęciach średniorozdzielczych oraz wykazanie skuteczności obiektowej analizy obrazu w połączeniu z uczeniem maszynowym w kartowaniu obszarów lodu przemieszanego z osadami.

Zestaw metod przyjętych do rozwiązania każdego z podejmowanych, ujętych w celach cząstkowych, zagadnień wydaje się odpowiedni. W badaniach stosowano głównie metody teledetekcyjne. Wykorzystano zobrażenia powierzchni lodowca pochodzące z różnych źródeł – zdjęcia satelitarne, lotnicze, wykonane przy użyciu UAV (dronów) i lotniczego skanowania laserowego oraz numeryczne modele terenu. Zdjęcia satelitarne zastosowano do opracowania szczegółowych map powierzchni lodowca – facji lodowcowych, zasięgu śniegu i pokrywy osadowej oraz do śledzenia zmian albedo. Do skartowania obecność osadów, w tym pyłu i gruzu, na powierzchni lodowca wykorzystano opracowany nowy wskaźnik spektralny *Glacial Rock Abundance Index* (GRAI). Numeryczne modele terenu użyto do oceny różnic miąższości lodowca pomiędzy wybranymi latami, wyznaczenia tempa obniżenia powierzchni

lodowca oraz zmian sieci drenażu w dolnej części lodowca. W analizach wykorzystano m.in. obiektową analizę obrazów w połączeniu z klasyfikacją algorytmem uczenia maszynowego Losowych Lasów Decyzyjnych, a także oraz inne metody geostatystyczne.

Wyniki badań mgr J. Podgórski przedstawia w formie odrębnego omówienia poszczególnych artykułów stanowiących trzon rozprawy. Każdy z rozdziałów zawiera opis stosowanych metod i uzyskanych wyników wraz z ich interpretacją i dyskusją z wykorzystaniem danych z literatury oraz zasadniczo niebudzące wątpliwości wnioski dotyczące analizowanego zagadnienia.

W odrębnym rozdziale końcowym Doktorant omawia główne wyniki swoich badań, wskazując, że stanowią one realizację celów rozprawy. Przedstawia na ich podstawie całościowy obraz ewolucji Lodowca Universidad w warunkach ekstremalnej suszy. W obrębie lodowca Doktorant wyróżnia trzy środowiska o odmiennych wzorcach reakcji na zmiany klimatu: strefę ablacji, strefy akumulacji w głównych cyrkach lodowych oraz pomniejsze cyrki lodowe, dla których przedstawia funkcjonowanie w warunkach zmian klimatu, objaśniając interakcje pomiędzy poszczególnymi komponentami środowiska (albedo, pokrywą gruzową, lodem, wodą roztopową). Wskazuje na różnice przemian i przyszłych zmian poszczególnych części lodowca. Zawarte w tym rozdziale omówienie wykazuje umiejętność Doktoranta krytycznej analizy uzyskanych wyników oraz ich interpretacji na tle literatury przedmiotu.

#### *Uwagi krytyczne*

-Na rys. 1.1.D Doktorant podwójnie używa dużych liter co jest mylące. Nie objaśnia liter w części D rycina co utrudnia jej percepcję.

-Str. 28, akapit 3 i str.30 akapit 1 powtórzenia dotyczące albedo .

-Ryc. 2.11 i 2.12 są cytowane po raz pierwszy po rycinie 2.13 i 2.14. Kolejność numeracji rycin niepoprawna.

-Doktorant w metodach nie wspomina o danych meteo z jakich korzystał i sposobie ich pozyskania i analizy.

-Tytuł rozprawy sugeruje czynność niedokończoną, czyli „Badanie” co proponuję usunąć.

#### *Ocena końcowa*

W podsumowaniu mojej oceny stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa Pana mgr. Juliana Podgórskiego, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego jakim jest określenie zmian funkcjonowania powierzchni lodowca w warunkach długotrwałej suszy będącej wynikiem zmian klimatu. Wnosi wkład w poznanie wpływu wzrostu temperatury

powietrza i spadku wielkości opadów na procesy geomorfologiczne i hydrologiczne na lodowcu i przemiany jego powierzchni. a także ukazuje zróżnicowanie reakcji poszczególnych części lodowca na zmiany klimatu. Ponadto wnosi wkład metodyczny w zakresie teledetekcji. Opublikowanie wyników w recenzowanych, renomowanych czasopismach dowodzi wysokiego poziomu merytorycznego badań mgr. Juliana Podgórskiego, który znajduje uznanie międzynarodowych specjalistów z tego zakresu.

Rozprawa odzwierciedla szeroką wiedzę teoretyczną, jak i doświadczenie badawcze mgr. Juliana Podgórskiego. Doktorant odpowiedział w pełni na cele postawione w rozprawie. Zgromadził właściwe dane i materiały, dogłębnie je zanalizował i ujął w zaplanowanym jako całość cyklu artykułów, który wraz z omówieniem, odpowiada przeznaczeniu tego opracowania jako rozprawy doktorskiej. Wykazał się umiejętnością stawiania problemów naukowych, znajomością literatury przedmiotu i zdolnością wnioskowania. Świadczy to o umiejętności prowadzenia przez niego samodzielnej pracy naukowej. Publikacje przedstawione do oceny są współautorskie, należy jednak podkreślić wysoki udział Doktoranta w ich przygotowaniu.

Z powyższych względów stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. Juliana Podgórskiego spełnia warunki określone w Ustawie z dn. 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. 1668, z późn. zmianami) i wnioskuję o dopuszczenie mgr. Juliana Podgórskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Kraków, 15.05.2024

