



Wrocław, dnia 25 listopada 2020 r.

dr hab. Mateusz Czesław Strzelecki
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego
Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska
Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki I
50-137 Wrocław

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR KRZYSZTOFA SENDERAKA PT.
„ZAPIS WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH W STRUKTURZE WEWNĘTRZNEJ
STOKÓW USYPISKOWYCH POŁUDNIOWEGO SPITSBERGENU”**

1. PODSTAWA FORMALNA

Recenzję opracowano na podstawie umowy zawartej z Dziekanem Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego – Panem prof. drem hab. Leszkiem Marynowskim - Umowa nr – 122651 z dnia 29.09.2020 r.

Do oceny skierowano rozprawę doktorską przygotowaną w Centrum Studiów Polarnych przy Wydziale Nauk Przyrodniczych UŚ pod kierunkiem zespołu promotorskiego w osobach dr hab. prof. UŚ Bogdana Gądka oraz dr Marty Kondrackiej.

2. STRUKTURA ROZPRAWY

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Krzysztofa Senderaka składa się zasadniczo z dwóch części. W pierwszej części zamieszczono streszczenie w języku polskim oraz komentarz do cyklu publikacyjnego liczący 29 stron. Zarys podjętej problematyki badawczej bazuje na przeglądzie literatury liczącym 88 pozycji z dorobku polskiej i zagranicznej geomorfologii regionów zimnych. Doktorant zwięźle przedstawił cele badawcze, obszar badań, zakres metodyczny wykonanych prac badawczych, a także syntetycznie omówił wyniki wraz z ich interpretacją i najważniejszymi prawidłowościami i konkluzjami.

Druga część stanowi załącznik w postaci cyklu trzech artykułów opublikowanych w języku angielskim, które ukazały się w czasopiśmie naukowych w latach 2017-2020. Spójny cykl artykułów stanowią więc:

I. Senderak, K., Kondracka, M., Gądek, B., 2017. Talus slope evolution under the influence of glaciers with the example of slopes near the Hans Glacier, SW Spitsbergen, Norway.



Geomorphology, 285, 225-234, DOI:10.1016/j.geomorph.2017.02.023. – 70% udziału, IF = 3,308 (2017).

II. Senderak, K., Kondracka, M., Gądek, B., 2020. Processes controlling the development of talus slopes in SW Spitsbergen: the role of deglaciation and periglacial conditions. *Land Degradation & Development*, 1-16, DOI:10.1002/ldr.3716. – 70% udziału, IF = 3,775 (2020).

III. Senderak, K., Kondracka, M., Gądek, B., 2019. Postglacial talus slope development imaged by the ERT method: comparison of slopes from SW Spitsbergen, Norway and Tatra Mountains, Poland. *Open Geosciences*, 11, 1084-1097, DOI: 10.1515/geo-2019-0084. – 70% udziału, IF = 0,985 (2019).

Wszystkie trzy artykuły zostały opublikowane w recenzowanych międzynarodowych czasopismach naukowych, w tym dwa we wiodących czasopismach geomorfologicznych o wysokich wartościach wskaźników IF, a ostatnia wykazana publikacja, w nowym czasopiśmie z kręgu nauk o Ziemi wydawany w formule *open access*.

Należy zauważyć, że Doktorant był głównym pomysłodawcą badań i wniósł dominujący wkład w tworzeniu artykułów (we wszystkich artykułach jego udział wyniósł 70%). Doktorant jest pierwszy i korespondencyjnym autorem wszystkich publikacji stanowiącym ten spójny cykl publikacyjny. Mając na uwadze zastosowaną kombinację metod geomorfologicznych i geofizycznych, spójną interpretację danych oraz przedstawienie prawidłowości istotnych dla rozwoju badań nad ewolucją stoków w regionach polarnych/złodowaconych, wysoce oceniam kompetencje naukowe mgr Senderaka, które pozwolą mu w przyszłości dalej rozwijać karierę naukową.

3. CELE BADAWCZE

Za ambitny cel doktoratu mgr Senderak obrał rozpoznanie zapisu warunków środowiskowych w strukturze wewnętrznej stoków usypiskowych, położonych w różnej odległości od współcześnie funkcjonujących lodowców. W tym miejscu chciałbym zauważyć, że przedstawiona praca doktorska jest, według mojej wiedzy, pierwszym opracowaniem



wykonanym w polskiej jednostce naukowej, wykorzystującym koncepcję paraglacjału (*sensu* Ballantyne 2002) do wytłumaczenia ewolucji stoków usypiskowych, we wciąż zlodowaconym środowisku arktycznym.

Badania terenowe przeprowadzono na południu Spitsbergenu, w obrębie trzech dolin lodowcowych – Dolinie Lodowca Hansa, Dolinie Rev oraz Dolinie Brattegg. Obserwacje prowadzone w Arktyce oraz bazujące na ich podstawie prawidłowości zostały porównane z funkcjonowaniem systemu stoku usypiskowego Szerokiego Piargu (Dolina Rybiego Potoku, Miękusowieckie Szczyty, Tatry), uwolnionego spod wpływu lodowców kilka tysięcy lat temu. Doktorant sformułował także kilka celów szczegółowych w zakresie ewolucji krajobrazu postglacjalnego: (1) określenie interakcji pomiędzy systemami stokowym i glacialnym; (2) sprawdzenie czy zmiany warunków środowiskowych zapisane w strukturze wewnętrznej stoków usypiskowych potwierdzają słuszność funkcjonujących w literaturze modeli rozwoju stoków (opracowane na podstawie obserwacji powierzchniowych) i ewentualne skorygowanie/uzupełnienie tych modeli; (3) ustalenie etapu rozwoju badanych stoków; (4) próbę rozpoznania przebiegu deglacjacji obszaru górskiego na podstawie danych geofizycznych o strukturze wewnętrznej stoków usypiskowych.

Aby osiągnąć stawiane cele Doktorant wykorzystał optymalną moim zdaniem kombinację metod geomorfometrycznych, geofizycznych i geomorfologicznych, z powodzeniem stosowanych w badaniach peryglacjalnych form terenu w środowiskach górskich i polarnych.

4. TEMATYKA ARTYKUŁÓW

W Artykule I – opublikowanym w *Geomorphology* Doktorant opisał etapy ewolucji stoków usypiskowych schodzących ze zboczy Fugleberget i Fannytoppen, położonych po zachodniej i wschodnie stronie doliny lodowca Hansa (Hansbreen, południowy Spitsbergen). Te stosunkowo młode formy, utworzone zostały na powierzchni stoków górskich odsłoniętych przez szybką recesję lodowca, jaka ma miejsce od zakończenia małej epoki lodowej (patrzac na dokładną lokalizację profili geofizycznych, badaniami objęto stożki tworzone w XXI wieku). W artykule uchwycono zatem inicjalny etap kształtowania stożków we wstępnej fazie paraglacjalnej, gdy krajobraz wciąż zdominowany jest przez aktywny, acz wycofujący się lodowiec, a osady glacialne zaczynają metamorfozę w środowisku peryglacjalnym (np. przez



wietrzenie i sortowanie mrozowe). Bardzo ciekawą obserwacją jest wykrycie wieloletniej zmarzliny w młodych osadach stożka, zalegających nad częścią stożka, w której pogrzebany jest lód lodowcowy.

W Artykule II opublikowanym w jednym z najważniejszych czasopism naukowych poświęconych rozwojowi i degradacji krajobrazów (*Land Development and Degradation*, 200 pkt. MNiSW) Doktorant przeanalizował i opisał mechanizmy kontrolujące rozwój stoków usypiskowych w dolinie Rev, o szczątkowym poziomie zlodowacenia. W tym przypadku stożki rozwijają się obecnie w warunkach wygasającego paraglacjału, w którym procesy peryglacjalne zdominowały przekształcanie rzeźby glacialnej, a wręcz doprowadziły do jej zatarcia w trakcie ostatnich kilku tysięcy lat. Z drugiej strony, przedstawione dane pokazują jak ważną rolę w utrzymaniu 'glacialnego dziedzictwa' (w tym przypadku pogrzebanego lodu lodowcowego) w post-glacialnym krajobrazie pełni efektywna dostawa rumoszu skalnego ze stoków górskich. Przeprowadzenie badań na tym obszarze pozwoliło uchwycić znaczenie miąższości pokrywy usypiskowej w ochronie pozostawionych przez wycofujący się lodowiec brył (fragmentów) lodu i tworzeniu przestrzeni do rozwoju wieloletniej zmarzliny. Jednym z efektów ciągłej dostawy materiału z obrywów, osuwisk i lawin śnieżnych jest wykształcenie lodowców gruzowych. W artykule opisano również ciekawą prawidłowość dotyczącą, ponownie, roli grubości pokrywy osadowej w konserwacji permafrostu. W badanych stokach rozprzestrzenianie zmarzliny zachodzi wyłącznie, gdy miąższość osadów stokowych przekracza grubość warstwy czynnej (*active layer*), która w tych gruboziarnistych formacjach dochodzi do 5 m. Trudnym do przeoczenia elementem tej pracy jest doskonała rycina (*Figure 12*) przedstawiająca ogólny model rozwoju stoków usypiskowych doliny Rev. To graficzny majstersztyk i ilustracja, która moim zdaniem na stałe zapiszę się wśród osiągnięć polskiej geomorfologii peryglacjalnej.

Naturalnym zamknięciem opisu para-peryglacjalnej ewolucji stoków usypiskowych jest Artykuł III – opublikowany w *Geosciences*, w którym oprócz stoków znajdujących się w na etapie paraglacjalnym (Fugleberget), gdy materiał stokowy zagrzebuje lód lodowcowy pozostawiony wzdłuż masywu górskiego przez wycofujący się lodowiec; oraz etapie



peryglacialnym (Gullichsenfjellet), gdy rozwój stoku kontrolowany jest przez procesy mrozowe i zmiany w obrębie wieloletniej zmarzliny; dzięki włączeniu stanowiska z Tatr Wysokich (Szeroki Piarg), ujęty został dodatkowo etap aluwacyjny, gdy stoki nie poddane są już wpływowi zmarzliny i lodowców, a rozwój ich rzeźby, kontrolują procesy stokowe uruchamiane przez opady deszczu lub zejścia lawin śnieżnych. Ciekawą obserwacją zawartą w tym pomysłowym porównaniu jest opis struktur kieszeniowych na tatrzańskim stoku i potwierdzenie w skalnym podłożu usypiska obecności reliktovej zmarzliny.

Za słabszy element artykułu uważam szatę graficzną. Szkoda, że Doktorant nie zdecydował się na zamieszczenie dokładniejszych map geomorfologicznych w rycinie 1 i 2. Nie zrozumiał jest też wypukły kształt jeziora polodowcowego na rycinie 6.

5. OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Jednym z ważnych wyzwań badawczych geomorfologii peryglacialnej jest wyjaśnienie reakcji systemów stokowych na gwałtowne zmiany klimatyczne i związane z nimi uaktywnienie ekstremalnych procesów geomorfologicznych. Jest to szczególnie istotne w okresie intensywnego ocieplenia klimatu, które w ostatnich latach doprowadziło nie tylko do odsłonięcia nowych stoków spod szybko wycofujących się lodowców, ale również zintensyfikowało przekształcanie powierzchni stoków przez soliflukcję, spływy błotne i gruzowe. Obserwujemy, że w coraz cieplejszej i wilgotniejszej Arktyce, systemy stokowe dopasowują się do zmieniających się warunków wietrzniowych (m.in. częstsze opady deszczu, płytsza pokrywa śnieżna niezapewniająca izolacji przed mrozem) oraz zaczynają zatracać mechanizm stabilizujący ich wewnętrzną strukturę, czyli wieloletnią zmarzlinę.

Równocześnie, na obszarach zlodowaconych, rozwój stoków zależy od tempa i skali deglacjacji pozostawiającej na i u podstawy stoków masy niezlityfikowanych osadów glacialnych, lodu lodowcowego, a w przypadku skalnych fragmentów stoków, może doprowadzić do serii obrywów skalnych związanych z glacialnym rozprężeniem mas skalnych (*glacial debuttressing*). Z rzeźby stoków można zatem wyczytać przebieg i efektywność procesów geomorfologicznych związanych z post-glacialną transformacją krajobrazu. Czy można jednak wykorzystać ich budowę do rekonstrukcji zmian klimatu, warunkującego



intensywność przekształcanie morfologii stoków? Na to pytanie postanowił odpowiedzieć w swoim doktoracie mgr Senderak i zrobił to w ciekawy sposób.

Za najciekawszy wątek rozprawy przewijający się we wszystkich publikacjach, ale najmocniej zarysowany w Artykule II, uważam dyskusje nad mechanizmami kontrolującymi rozwój lodowców gruzowych. W literaturze przedmiotu widoczne jest rozróżnienie między lodowcami gruzowymi pochodzenia lodowcowego (*glacier derived rock glaciers*), a formami pochodzenia lawinowego (*avalanche derived rock glaciers/talus rock glaciers*). Doktorant uważa, że na podstawie jego badań, w dolinie Rev formowały się lodowce gruzowe będące swoistą mieszanką dwóch wspomnianych typów. Jestem ciekaw czy zdaniem Doktoranta da się rozpoznać, że dany lodowiec gruzowy ma pochodzenie lodowcowe, gdy nie posiada już w sobie lodu lodowcowego, a o jego aktywności (ruchu) decyduje nadbudowa zmarzliny zasilanej lodem pochodzącym z kompresji śniegu lawinowego? Jak zapisałoby się to wewnętrznej strukturze lodowca i czy można byłoby to potwierdzić metodami geofizycznymi? W tym miejscu chciałbym również poznać opinie mgr Senderaka czy w przypadku doliny Rev nie mamy do czynienia z kolejnym typem lodowców gruzowych – tzw. lodowców gruzowych pochodzenia morenowego (*moraine rock glaciers*)? W tym przypadku intensyfikacja procesów stokowych zasypywałaby kolejnymi warstwami osadów, morenę boczną lodowca wypełniającą w przeszłości dolinę Rev.

Patrząc na dolinę Rev, zastanawiająca jest rola jeziora (tj. termiki jego wód) w kształtowaniu kształtu wieloletniej zmarzliny schodzącej w kierunku brzegu zbiornika. Kształt permafrostu z obrazów elektrooporowych przedstawionych na rycinach 5 – 7 (Artykuł II) przypomina klinową formę opisaną przez Marka Kasprzaka z zespołem wzdłuż wybrzeża Hornsundu (Kasprzak et al. 2017). Czyżby zmarzlina w lodowcach gruzowych i stokach doliny Rev jest aż tak wrażliwa na temperaturę wody w lokalnym jeziorze aby podobnie jak wzdłuż wybrzeży morskich tajać od strony spągu?

Ostatnią kwestią związaną z lodowcami gruzowymi, która co prawda nie związana jest bezpośrednio z tematyką pracy, ale nurtuje mnie od lat, to współczesny ruch tych form. Czy jest szansa, że w trakcie prowadzonych badań i wyjazdów terenowych na Spitsbergen Doktorant i



współpracujący z nim zespół prowadził obserwacje ruchu i przemieszczania się czół lodowców gruzowych?

Stawiam również pytanie, które nasuwa się lekturze rozprawy, a dotyczy najmłodszych (paraglacialnych) stoków. Czy zmarzlina, którą wykryto w młodych stożkach nadbudowywanych wzdłuż zboczy doliny lodowca Hansa to nowa generacja zmarzliny, tworzonej wraz z postępującą recesją lodowca w XX i XXI wieku, czy przeciwnie, odsłonięcie stoków przez wycofujący się współcześnie lodowiec dało miejsce i warunki do spełnienia starej generacji zmarzliny (kilkanaście tysięcy lat) z partii szczytowych okolicznych masywów górskich, gdzie zmarzlina funkcjonowała od tysięcy lat?

Chciałbym również zwrócić uwagę na pominięcie w dyskusji we wszystkich trzech publikacjach zagadnienia wałów podstokowych (*protales rampart*) – czy wynika to z trudności identyfikacji czy po prostu z stwierdzonego w terenie braku wystąpienia tych form. Osobiście uważam, że formy przypominające ‘ramparty’ występują chociażby na Revdalstoppen – ale jestem ciekaw opinii na ten temat Doktoranta.

Czy odnalazłem w pracy słabe strony? W mojej ocenie w rozprawie zabrakło artykułu przeglądowego, w którym Doktorant skonfrontowałby swoje ciekawe i nowatorskie wyniki z klasycznymi pracami na temat rozwoju stoków arktycznych. Po części ta dyskusja odbywa się w Artykule 2 i 3, ale klasyczny ‘state of art review’ byłby optymalnym podsumowaniem zrealizowanych badań. Zachęcam mgr Senderaka, aby pomyślał o takim artykule w przyszłości. Ufam, że podczas obrony rozprawy, Doktorant przedstawi zwięzłą historię koncepcji kształtowania stożków usypiskowych w klimatach zimnych i pokaże miejsca, w których jego badania wypełniły lukę lub zmieniły utarte schematy.

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 geomorfologii peryglacialnej na podstawie badań geofizycznych i



analiz morfometrycznych w platformie GIS. Wyniki kartowań geomorfologicznych z wykorzystaniem tomografii elektrooporowej oraz sondowań georadarowych potwierdziły poprawność i przydatność wykorzystanych metod do rozpoznania struktury wewnętrznej stożków usypiskowych oraz umożliwiły ustalenie stanu aktualnego i etapów rozwoju badanych systemów stokowych w różnych fazach deglacji.

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 obserwacje w tak trudnym i wymagającym terenie.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Krzysztofa Senderaka 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.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego o dopuszczenie Pana mgr Krzysztofa Senderaka do publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.