

Zofia Rączkowska  
Zakład Badań Geośrodowiska  
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN  
31-018 Kraków, ul. Św. Jana 22

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Eweliny Broś pt. „Younger Dryas glaciation in the High Tatra Mountains” („Zlodowacenie Tatr Wysokich w młodszym dryasie”)

### Uwagi wstępne

Przedmiotem recenzowanej rozprawy są zlodowacenia Tatr w okresie późnego glacjału. Autorka rozważa przebieg zlodowaceń Tatr Wysokich poczynając od starszego dryasu aż do holocenu, następnie podejmuje odtworzenie warunków klimatycznych w ostatnim okresie zimnym plejstocenu, w oparciu o analizy geomorfologiczne i metodę datowania kosmogenicznym izotopem  $^{10}\text{B}$ , na podstawie badań w czterech dolinach w słowackiej części Tatr Wysokich.

Zlodowacenie Tatr w plejstocenie i rzeźba glacialna były przedmiotem zainteresowania badaczy od początku badań naukowych w Tatrach, a równocześnie ze względu m.in. na niedostatek metod pozwalających określić wiek form rzeźby, ilość i zasięg zlodowaceń wciąż są dyskutowane. Niniejsza rozprawa wpisuje się w nowy etap badań zlodowaceń tatrzańskich, w którym możliwe jest wykorzystanie metody datowań radiometrycznych w oparciu o izotopy kosmogeniczne oraz stosunkowo dokładnego numerycznego modelu terenu ułatwiającego analizy geomorfologiczne i morfostratygraficzne a także modelowania matematycznego warunków paleoklimatycznych.

### Ocena metodyki badań

Postępowanie badawcze Autorki jest właściwie. Do rozpoznania przebiegu zlodowacenia Tatr w młodszym drysie Autorka zastosowała metody geomorfologiczną i datowania kosmogenicznymi izotopami, uzupełnione przez analizę wszystkich materiałów kartograficznych i bibliograficznych z obszaru badań. W metodzie geomorfologicznej zastosowała terenowe kartowanie geomorfologiczne, poprzedzone analizą zdjęć satelitarnych, ortofotomap, wcześniejszych tematycznych map analogowych i modelu DEM. Do datowania wieku wykorzystwała metodę datowania izotopami kosmogenicznymi, stosując izotop  $^{10}\text{B}$ . Autorka właściwie pobrała 47 prób do datowań, na następnie samodzielnie wykonała datowania w laboratorium politechniki (ETHZ) w Zurychu. Zgromadziła w ten sposób bogaty zestaw właściwych, bardzo szczegółowych danych. Warto podkreślić wkład Autorki w pozyskanie danych terenowych, a szczególnie laboratoryjnych, co wymagało od niej nabycia nowej umiejętności datowania metodą izotopów kosmogenicznych. Zgromadzone dane pozwoliły Autorce w pełni zrealizować cel rozprawy.

### Uwagi formalne

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Eweliny Broś napisana jest w języku angielskim. Praca liczy 243 strony, w tym 93 ryciny i 20 tabel oraz 12 stron nieliczbowanych zawierających załączniki. Układ pracy jest zasadniczo właściwy. Tytuł rozprawy odpowiada jej treści. Praca składa się z 8 rozdziałów, z których część jest podzielona na podrozdziały

oraz 3 załączników. Na początku pracy umieszczono streszczenie w języku polskim i angielskim. Na końcu pracy umieszczono oddzielne spis literatury liczący 309 pozycji oraz spisy rycin, tabel, akronimów i załączników.

W pierwszym, stosunkowo obszernym, zajmującym 40 stron, rozdziale wstępnym Autorka przedstawia cel i przedmiot badań oraz strukturę rozprawy na tle bardzo szczegółowego omówienia dotychczasowego stanu badań zlodowaceń Tatr, tych z okresu plejstocenu jak i okresu małej epoki lodowej i holocenu. Celem rozprawy jest rozpoznanie przestrzennego i czasowego zasięgu zlodowaceń Tatr Wysokich w okresie deglacjacji, a poprzez analizę ich stylu, położenia linii równowagi bilansowej oraz uwarunkowań topoklimatycznych poznanie czynników wpływających na pojawianie się i zanik zlodowaceń w tym okresie.

Cel rozprawy został jasno sformułowany. Cel rozprawy jest uzupełniony poprzez przyjęte przez Autorkę założenia, które częściowo mają charakter hipotezy (pkt. 1, 3). Autorka zakłada że:

1. najmłodsze moreny i reliktowe lodowce gruzowe w Tatrach Wysokich powstały w w młodszym dryasie, ostatnim zimnym okresie plejstocenu (11.7-12.9 ka BP)
2. formy glacialne w najwyższych częściach cyrków lodowcowych można pogrupować ze względu na ich wykształcenie oraz stan zachowania i tym samym odróżnić młodsze od starszych
3. zlodowacenie w okresie młodszego dryasu było typu „marginal mountain glaciation” (występowały lodowce karowe lub niszowe) i było bardzo uwarunkowane przez lokalne warunki topoklimatyczne oraz że rozwijały się wtedy także lodowce gruzowe
4. przestrzenny i czasowy zasięg zlodowaceń, ich chronologia i końcowa deglacjacja obszary mogą być badane przez zastosowanie kombinacji metody morfostratygraficznej i datowania w oparciu o izotop berylu  $^{10}\text{B}$
5. szczegółowe rozpoznanie zlodowacenia młodszego dryasu stwarza podstawę do rozważań na temat warunków paleoklimatycznych i w tym okresie oraz ich lokalnej zmienności.

Zaletą omówienia historii glacialnej Tatr jest odnoszenie wyników badań tatrzańskich do stanu wiedzy z obszaru półkuli północnej, szczególnie z Alp. Omówienie to świadczy o bardzo dobrej znajomości przez Autorkę literatury przedmiotu, zarówno w zakresie problemów badawczych jak i wyników badań z poszczególnych obszarów górskich. Niestety Autorka wykazała równocześnie duży brak staranności w cytowaniu literatury, gdyż wiele z pozycji jest pominiętych w spisie literatury lub brak jednoznaczności co do daty cytowanego opracowania.

W drugim rozdziale, zajmującym 15 stron, Autorka przedstawia obszar badań. Do badań wybrała cztery doliny w słowackiej części Tatr, dwie położone na południowym skłonie masywu – doliny Veľka Studená i Pät' Spišských Plies oraz dwie położone na skłonie północnym – Dolina Litvorová oraz Dolina Rovienký. Autorka charakteryzuje środowisko geograficzne każdej z nich oraz omawia główne cechy budowy geologicznej i klimatu obszaru badań. Uzupełnieniem charakterystyki obszaru badań są ortofotomapy, będące równocześnie mapami lokalizacyjnymi dla dalszej części pracy. Autorka wybrała do badań cyrki lodowcowe położone po północnej i południowej stronie Tatr, różnią się one jednak wielkością, co może utrudniać dalsze analizy. Szkoda, natomiast że Autorka nie wykorzystwała w omówieniu najnowszych danych ujętych w Atlasie Tatr opublikowanym w 2015 roku, a omawiając piętrowość klimatu, roślinności i procesów geomorfologicznych nie cytuje prac A. Kotarby (1976, 2002; Kotarba i in. 1987), który jako pierwszy ujął łącznie te trzy elementy, pisząc o piętrach geoekologicznych. Ponadto można było pominąć opis ruchu turystycznego i parków narodowych.

W rozdziale trzecim, zajmującym 26 stron, przedstawiono metody badań odpowiednie do realizacji stawianych celów, dzieląc je na metody geomorfologiczne, zastosowane do rozpoznania rzeźby badanego obszaru, w szczególności wykształcenia oraz rozmieszczenia form glacialnych i peryglacialnych, i metodę datowania z zastosowaniem izotopu kosmogenicznego berylu  $^{10}\text{B}$ . Autorka bardzo szczegółowo i jasno omawia metodę datowania, poczynając od historii i zasad datowania metodą izotopów kosmogenicznych, poprzez omówienie sposobu pobierania prób do datowań, ich przygotowania do pomiaru wieku i samych zasad wykonywania pomiaru. Omówienie to jest poparte bogato cytowaną literaturą i rycinami pokazującymi schematy datowań oraz sposób i miejsce poboru. Autorka pobrała łącznie 47 prób do datowań, 19 z Veľkej Studenej Doliny, 13 z Doliny Päť Spišských Plies, 8 z Doliny Litvorovej i 7 z Doliny Roviének. W rozdziale tym umieszczono tabele (3.2; 3.6) i ryciny (3.9, 3.11-3.14) zawierające wyniki datowań, które powinny się znaleźć w rozdziałach z wynikami badań.

Część analityczna rozprawy obejmuje kolejne 3 rozdziały i zajmuje 100 stron czyli około 40% jej objętości.

W rozdziale czwartym, zajmującym 20 stron, Autorka przedstawia charakterystykę geomorfologiczną badanych obszarów, skupiając się na rzeźbie glacialnej i peryglacialnej, załączając dla każdego z nich mapy geomorfologiczne. W oparciu o dane geomorfologiczne i uzyskane daty analizuje przebieg zlodowaceń w okresie późnego glaciału oddzielnie dla każdego obszaru. Zaletą jest podsumowanie wyników dla poszczególnych dolin, wykonane według takiego samego schematu. Rozdział zamyka synteza przedstawiająca chronostratygrafię dla Tatr Wysokich (tab. 4.2, ryc. 4.2) z jasno wykazanymi zlodowaceniami w okresie starszego dryasu i młodszego dryasu rozdzielonymi okresami bez obecności lodowców oraz późniejszą aktywnością lawin skalnych.

Rozdział piąty, zajmujący 29 stron, zawiera rekonstrukcje poszczególnych lodowców oraz ocenę położenia linii równowagi bilansowej lodowców (ELA) w okresie deglacjacji, a także dokonane w oparciu ich wyniki rekonstrukcje paleoklimatyczne wraz z opisem warunków klimatycznych. Rekonstrukcji zasięgu, miąższości i kierunków spływu lodowców Autorka dokonała oddzielnie dla okresów starszego i młodszego dryasu, w oparciu o dane geomorfologiczne z dokładnością 1 m w poziomie i 10 m w pionie korzystając różnych narzędzi GIS i wcześniejszych badań w tym zakresie. Na podstawie danych klimatycznych z stacji na szczycie Łomnicy Autorka określiła położenie ELA współcześnie, a korzystając z wielu metod (AAR, AABR, MELM, TSAM) dokonała rekonstrukcji ELA w okresie starszego i młodszego dryasu, w tym ostatnim oddzielnie dla północnego i południowego skłonu Tatr, uprzednio szczegółowo analizując metody i wyniki w tym zakresie z Alp. Ponadto korzystając z modelowania matematycznego określiła warunki termiczne lata i opady w tym okresie, uzyskując wyniki bardziej zbliżone do alpejskich niż do wcześniejszych rekonstrukcji paleoklimatycznych dla polskich Tatr.

W rozdziale szóstym, zajmującym 16 stron zawarto swoiste podsumowanie wyników badań. Autorka przedstawia w nim całościowy obraz deglacjacji i rozwoju rzeźby peryglacialnej w okresie późnego glaciału oddzielnie dla każdego z analizowanych cyrków, odnosząc swoje wyniki do wcześniejszych badań. Wskazuje także obszary trudne do interpretacji ze względu na wyniki datowań. Analizując aktywność lodowców gruzowych podaje, że w okresie młodszego dryasu nie rozwijały się w Tatrach dolinne lodowce gruzowe jak w Alpach, natomiast przykład takiego lodowca występuje w Świstówce Roztockiej, chociaż nie datowano dotychczas jego wieku.

Rozdział 7, zajmujący 23, zawiera dyskusje dotyczącą rzeźby glacialnej i peryglacialnej badanego obszaru wraz z interpretacjami form rzeźby i wyników badań, które Autorka

proceeds referring to the results of earlier studies. The author aims to clarify differences in the proven range of glaciers and the way of their disappearance (marginalization) using selected topoclimatic factors. She also takes into account the attempts of interpretation of difficult areas in view of the results of dating. The discussion covers the period from the late glacial, when moraine ridges and ice masses were formed, to the small ice age, in which only moraine ridges could develop. The author analyzes the obtained results in the context of earlier studies, which testifies to her scientific reliability, although it is often necessary to disagree with earlier interpretations of the relief. The results concerning the glaciation of the studied area in the younger dryas are compared with the results from other mountain areas in Europe. Additionally, she reconstructs the climate of the Tatra in the younger dryas referring to the alpine studies.

Chapter 8, occupying 2 pages, contains precisely formulated, taken into account, conclusions arising from the work, containing a summary of the most important results of the studies and answers to the questions raised as the goal of the thesis.

The rich list of literature contains both Polish and foreign, which testifies to the author's theoretical preparation for the studies. It requires, however, a significant correction, in accordance with the generally accepted rules, the completion of the names of the authors, e.g. p. 206, where the co-authors are still Rączkowski and Reichwalder, the work has the title „Vysvetlivky ku geologickej mape Tater”, the removal of uncited works and the completion of the missing references.

Basically, the thesis is written in a clear language. Unfortunately, some fragments of the thesis are characterized by a lack of care in citation, which I will mention below:

Str. 16 - cited missing in the list: Hoelze et al. 2003; Tyráček 1995; Raab, Völkel 2003; Zejszner 1956; Kłapyta, Zasadni 2018

Str. 17 - cited missing in the list: Denton et al. 2005; Carlton 2013; Mangerud et al. 1974

Str. 18 - cited missing in the list: Heinrich 1988, Rasmussen et al. 2003, 2014; Berger, Loutre 1999; Gräminger et al. 2017, Wirsig PhD dissertation 2015); Broecker 2006; Broecker et al. 1985

Str. 19 - cited missing in the list: Isarin, Renssen 1999; Renssen et al. 2015; Rasmussen et al. 2014; Kelly et al. 2004; Pallas et al. 2007;

Not specified: Ivy-Ochs et al. 2006 „a” or „b”, Makos et al. 2013 „a” or „b”

Str. 20 - Not specified: Staszic 1815 „a” or „b”

Str. 23 - is cited Nemčok 1994 and it should be Nemčok et al. 1994

Str. 27 - cited missing in the list: Wójcik, Rączkowski 2015, Kłapyta, Zasadni 2018

Not specified: Ivy-Ochs et al. 2006 „a” or „b”, Makos et al. 2013 „a” or „b” Sarikaya et al. 2008 „a” or „b”

Str. 28 - cited missing in the list: Zasadni 2009; Baumgart-Kotarba, Kotarba 1995

Not specified: Makos et al. 2013 „a” or „b”

Str. 29 - cited missing in the list: Baumgart-Kotarba, Kotarba 1994

Str.30 - cited missing in the list: Więckowski 1984; Szeroczyńska 1984

Str. 31 - cited missing in the list: Haeberli 2000; Haeberli et al. 2010; Berthling 2011; Haeberli 1985; Not specified: Makos et al. 2013 „a” or „b”

Str. 32 - cited missing in the list: Haeberli 2000; Kotarba 1986, 2002, 2007; Kaszowski et al. 1988; Nemčok 1974; Nemčok, Mahr 1974;

Str. 33 - cited missing in the list: Kędzia, Kotarba 2004; Not specified: Uxa, Mida 2017 „a” or „b”

Str. 34 - cited missing in the list: Kędzia, Kotarba 2004;

Str. 37 - not specified: Makos et al. 2013 „a” or „b”

Str. 39 - cited missing in the list: Lindner 2008

Str. 41 - cytowane brak w spisie: Delaloye et al. 2003, ; Hanson 2004; Morand 2008; Gądek 2012; Delaloye, Lambiel 2005; Delaloye 2007; Gądek, Kotyrba 2008;

Str. 42 - cytowane brak w spisie: Makos et al. 2012 ; nie podano dokładnie: Makos et al. 2013 „a” czy „b”

Str. 43 - cytowane brak w spisie: Makos et al. 2012 ; nie podano dokładnie: Makos et al. 2013 „a” czy „b” w tabeli 1.2

Str. 44 - cytowane brak w spisie: Dzierżek 1999; Makos 2015; nie podano dokładnie: Makos et al. 2013 „a” czy „b”

Str. 45 - cytowane brak w spisie: Kłapyta, Zasadni 2018, Makos 2012; nie podano dokładnie: Makos et al. 2013 „a” czy „b”

Str. 47 - cytowane brak w spisie: Kotarba 2004; Lindner 2009; Wiśliński 2002;

Str. 49 - cytowane brak w spisie: Zemp et al. 2012;

Str. 50 - cytowane brak w spisie: Hess 1996;

Str. 67 - cytowane brak w spisie: Andrusov 1965;

Str. 49 - cytowane brak w spisie: Zemp et al. 2012;

Str. 68 - cytowane brak w spisie: Lexa et al. 2000;

Str. 69 - w podpisie ryc. 2.10 jest cytowane Nemčok 1994 a powinno Nemčok et al. 1994

Str. 71 - cytowane brak w spisie: Hess 1996;

Str. 72 - cytowane brak w spisie: Kłapowa 1974;

Str. 79 - cytowane brak w spisie: Kronig et al. 2018; nie podano dokładnie: Wirsig et al. 2016 „a” czy „b”

Str. 80 - cytowane brak w spisie: Ivy-Ochs, Kober 2007; Kutschera 2013;

Str. 69 - nie podano dokładnie: Ivy-Ochs et al. 2006 „a” czy „b”; Wirsig et al. 2016 „a” czy „b”; w podpisie tab. 3.3 jest cytowane a brak w spisie Ochs, Ivy-Ochs 1997

Str. 95 - jest cytowane Heyman 2016 a w spisie jest Heyman et al. 2016

Str. 155 - cytowane brak w spisie: Nye 1952; Jania 1997; Paterson 1994; Kerschner 1978; nie podano dokładnie: Wirsig et al. 2016 „a” czy „b”

Str. 156, 162, 163, 164 - cytowane brak w spisie: Pellitero et al. 2016;

Str. 168 - cytowane brak w spisie: Ben, Evans 1988; Khun 1981, 1989; Oerlemans 1989, 2005; Maish 1982; Jania 1997;

Str. 169 - cytowane brak w spisie: Pederson et al. 2010; Pederson, Egholm 2013; Coleman et al. 2009;

Str. 170 - cytowane brak w spisie: Dahl, Nesje 1992; Pellitero et al. 2015;

Str. 171 - cytowane brak w spisie: Gross et al. 1997, 1976; Kerschner 1990; Kerschner, Ivy-Ochs 2007; Maisch 1992; Kuhleemann et al. 2009; Andrews 1975; Nesje 1992;

Str. 172 - cytowane brak w spisie: Benn et al. 2014; Andrews 1975; Haeberli 1985; Kerschner 1978; Hughes et al. 2003;

Str. 173 - cytowane brak w spisie: Barsch 1978; Haeberli 1985;

Str. 174 - cytowane brak w spisie: Pellitero et al. 2015;

Str. 176 - cytowane brak w spisie: Maisch 1987;

Str. 177 - cytowane brak w spisie: Ivy-Ochs 2015;

Str. 180 - cytowane brak w spisie: Hughes 2009;

Str. 191 - cytowane brak w spisie: Barsch 1966; Dobiński 1997; nie podano dokładnie: Uxa, Mida 2017 „a” czy „b”;

Str. 192, 194, 196 - nie podano dokładnie: Uxa, Mida 2017 „a” czy „b”;

Str. 193 - cytowane brak w spisie: Makos et al. 2012;

Str. 196 - cytowane brak w spisie: Wirsig et al. 2017;

Str. 198 - cytowane brak w spisie: Ballantyne, Harris 1994; Shakesby 1997; Ballantyne, Murton 2017; Wdowiak 1961;

Str. 200 - cytowane brak w spisie: Krizek, Mida 2013;

Str. 204 - cytowane brak w spisie: Barsch 1966;  
Str. 205 - cytowane brak w spisie: Lowe et al. 2008; Rasmussen et al. 2014; Kelly et al. 2004;  
Str. 208 - cytowane brak w spisie: Abermann PhD dissertation 2011; Kołaczek 2015;  
Str. 211 - cytowane brak w spisie: Kołaczek 2015;  
Str. 212 - cytowane brak w spisie: Isarin et al. 1998; Renssen et al. 2001;

Rozprawa jest bardzo bogato i znakomicie ilustrowana. Ryciny nie są jedynie ozdobą ale stanowią integralną część merytorycznej treści rozprawy. Warto pokreślić, że są przygotowane według założonych wcześniej jednakowych schematów co ułatwia śledzenie treści rozprawy. Jedyne brak jest objaśnienia znaczka w lewym górnym rogu poszczególnych części ryciny 6.2.. Ważnym uzupełnieniem dokumentacji uzyskanych wyników są tabele zamieszczone w tekście i załącznikach.

#### Uwagi merytoryczne

Określenie przebieg zlodowaceń w okresie deglacjacji Tatr jest nadal jest otwartym zagadnieniem badawczym ważnym ze względów poznawczych, podobnie jak rekonstrukcje paleoklimatyczne, które oprócz znaczenia lokalnego mają wkład w rekonstrukcje klimatu w tym okresie w szerszym kontekście. Autorka zastosowała do ich określenia najbardziej nowoczesne podejście włączając w to samodzielnie wykonane datowania izotopami kosmogenicznymi. Ich zastosowanie sprawia, że z większą precyzją i wiarygodnością możemy oceniać przebieg i zasięgi zlodowaceń. W analizie rzeźby wykorzystywała ona szeroki zestaw danych zarówno terenowych jak i pozyskanych z analiz kameralnych uzyskanych przy zastosowaniu szerokiego spectrum metod i narzędzi badawczych. Korzystając z zebranych danych określiła przebieg zlodowacenia wybranych dolin tatrzańskich, o różnej ekspozycji w okresie późnego glacjału – starszego i młodszego dryasu, dowiodła, że w późniejszym okresie lodowce w Tatrach nie występowały. Ponadto stosując modele matematyczne określiła warunki paleoklimatu w okresie ostatniego zlodowacenia w Tatrach. W trakcie omawiania wyników swoich badań oraz ich interpretacji i dyskusji Autorka odnosiła się do stosownej literatury, co świadczy nie tylko o jej dobrej znajomości literatury przedmiotu ale także o umiejętności prowadzenia przez nią dyskusji naukowych. Na wyróżnienie zasługuje szata graficzna pracy. Postępowanie badawcze oraz sposób przedstawienia wyników świadczy o dojrzałym podejściu do podjętego zagadnienia.

Najważniejsze osiągnięcia pracy moim zdaniem to:

- 1/ Czasowe i przestrzenne określenie zlodowaceń badanych dolin w okresie od późnego glacjału do holocenu, a tym samym poszerzenie i uszczegółowienie wiedzy o zlodowaceniach Tatr w plejstocenie.
- 2/ Stwierdzenie, że młodszy dryas (12.2-11.6 ka) był ostatnim okresem występowania lodowców i aktywności lodowców gruzowych w Tatrach, a w holocenijskich okresach oziębienia klimatu lodowce się nie utworzyły.
- 3/ Stwierdzenie, że poprzednie zlodowacenie miało miejsce w starszym dryasie ok. 15.2 ka BP i zakończyło się przed ociepleniem Bølling-Alløred, kiedy dna cyrków glacialnych były wolne od lodu.
- 4/ Stwierdzenie, że w okresie starszego dryasu lodowce zajmowały jedynie dna cyrków, w młodszym dryasie pozycję marginalną w tych cyrkach.
- 5/ Określenie położenia linii równowagi bilansowej lodowców w obu okresach i wykazanie, że różnice między nimi wynoszą zaledwie 30-100 m

6/ Wykazanie i określenie różnic w geomorfologicznym zapisie i stylu zlodowaceń oraz położeniu granicy równowagi bilansowej lodowców pomiędzy północnym i południowym skłonem Tatr

7/ Rekonstrukcje klimatu w okresie młodszego dryasu dowodzące, że był on nie tylko zimniejszy, z temperaturą lata niższą o ok. 3.5 – 4 °C, niż obecnie ale bardziej wilgotny, z opadami wyższymi o ok. 30%.

#### Uwagi dyskusyjne

Autorka podaje, że brak bezpośrednich dowodów na obecność wieloletniej zmarzliny w Tatrach (str. 41), ale w Miedzianej Kotlinie została ona stwierdzona (m.in. Gądek, Grabiec 2008; Gądek i in. 2009, ), jakkolwiek w Tatrach nie stwierdzono aktywnych form wskaźnikowych wieloletniej zmarzliny, a np. aktywne grunty strukturalne położone na takiej samej wysokości (dolina Mięguszwiecka) nie są związane z obecnością wieloletniej zmarzliny.

Autorka w badaniach wykorzystuje datowanie lawiny skalnej, przekraczającej moreny młodszego Dryasu w Dolinie Pięciu Stawów Spiskich. Pewne wątpliwości co do interpretacji wyników datowań wnosi możliwość złożenia osadów tej lawiny na płatach lodu, które następnie wskutek wytopienia mogły zaburzyć położenia gładów lawinowych, co z kolei mogło wpłynąć na wynik datowań.

W rekonstrukcjach paleoklimatycznych (rozdział 7) dyskusyjne wydają się analogie z Alpami, co do zróżnicowania warunków paleoklimatycznych w obrębie Tatr, ze względu na różną rozległość (masywność) obu porównywanych obszarów.

#### Uwagi końcowe

Stwierdzam, że mgr inż. Ewelina Broś wykazała się bardzo dobrą znajomością literatury w zakresie podejmowanej w pracy tematyki i ogólną wiedzą teoretyczną w zakresie glaciologii oraz geomorfologii glacialnej oraz peryglacialnej. Odpowiedziała na cele postawione w rozprawie. Doktorantka samodzielnie zgromadziła dane i materiały, zaplanowała i prowadziła badania, poprawnie zanalizowała ich wyniki i napisała rozprawę, która odpowiada jej przeznaczeniu jako rozprawy doktorskiej. Świadczy to o umiejętności prowadzenia przez nią samodzielnej pracy naukowej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi dogłębne i obszerne studium deglacjacji czterech dolin tatrzańskich w okresie późnego glacjału, łączące rozpoznanie ilości, czasu i zasięgu zlodowaceń z rekonstrukcjami klimatu w tym okresie. Wnosi ono istotny wkład w poznanie historii zlodowaceń tatrzańskich, także ze względu na zastosowanie do datowania form rzeźby metody izotopów kosmogenicznych. Rozprawa ponadto poszerza wiedzę na temat czynników wpływających na rozwój, przebieg i zanik zlodowaceń oraz zmienności warunków paleoklimatycznych w badanym okresie.

Z powyższych względów stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca mgr inż. Eweliny Broś w pełni spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 13 Ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych z dn. 14.03.2003 (Dz.U. 03.65.595 z dn. 16.04.2003) i niniejszym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Kraków, 5 czerwca 2019 r



/prof. dr hab. Zofia Rączkowska/