



WYDZIAŁ NAUK O ZIEMI I KSZTAŁTOWANIA ŚRODOWISKA

INSTYTUT GEOGRAFII I ROZWOJU REGIONALNEGO

ZAKŁAD GEOGRAFII FIZYCZNEJ

ul. Cybulskiego 34, 50-205 Wrocław

Prof. dr hab. Zdzisław Jary

Wrocław, 15.06.2023.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr Martyny E. Górskiej**

**pt.**

### **Zapis wietrzenia mrozowego ziaren kwarcu w mikromorfologii i uziarnieniu – badania eksperymentalne**

napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Barbary Woronko  
oraz prof. dr hab. Małgorzaty Pisarskiej-Jamroży

Wietrzenie mrozowe jest powszechnie występującym procesem doprowadzającym do mechanicznej dezintegracji skał, który zachodzi wskutek wielokrotnych przejść temperatury wokół 0°C. Warunki sprzyjające wietrzeniu mrozowemu panują w środowisku peryglacjalnym: na przedpolu lodowców i lądolodów, w wysokich szerokościach geograficznych oraz w wysoko położonych obszarach górskich. Współczesne środowisko peryglacjalne pokrywa niemal ¼ powierzchni lądów kuli ziemskiej. W plejstocenie zasięg środowiska peryglacjalnego często przekraczał granice jego dzisiejszego występowania. Jednym z wielu problemów badań procesu wietrzenia mrozowego jest określenia czynników determinujących efektywność wietrzenia mrozowego oraz jego wydajność, w szczególności możliwość produkcji cząstek pylastych, które tworzą pokrywy peryglacjalnych lessów Europy. Do chociażby częściowego rozwiązania tych problemów niezbędne są badania eksperymentalne. Pani mgr **Martyna Górską** nawiązuje swoimi badaniami symulacyjnymi do klasycznych prac eksperymentalnych szeroko komentowanych w literaturze geomorfologicznej, przedstawiając rozprawę doktorską pt. „Zapis wietrzenia mrozowego ziaren kwarcu w mikromorfologii i uziarnieniu – badania eksperymentalne”.

Rozprawa doktorska Pani mgr **Martyny Górskiej** składa się z trzech związanych tematycznie recenzowanych publikacji naukowych poprzedzonych wspólnym streszczeniem:

1. **Górska M.E.**, Woronko B., Kossowski T.M., Pisarska-Jamroży M., 2022. Micro-scale frost-weathering simulation – Changes in grain-size composition and influencing factors. Catena,

212, 106106. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106106>

Q1 (Web of Science), IF = 6.367, MEiN = 140 pkt

2. **Górska M.E.**, Woronko B., 2022. Multi-stage evolution of frost-induced microtextures on the surface of quartz grains – An experimental study. *Permafrost and Periglacial Processes*, 33, 470-489. <https://doi.org/10.1002/ppp.2164>

Q1 (Web of Science), IF = 4.262, MEiN = 100 pkt

3. **Górska M.E.**, Woronko B., Kossowski T.M., 2023. Factors influencing the development of microtextures on cold-climate aeolian quartz grains revealed by experimental frost action. *Permafrost and Periglacial Processes*, 34, 259-283. <https://doi.org/10.1002/ppp.2179>

Q1 (Web of Science), IF = 4.262, MEiN = 100 pkt

Wszystkie publikacje są wieloautorskie, a **Doktorantka** jest ich pierwszym autorem. Wkład Pani mgr **Martyny Górskiej** w przygotowanie powyższych publikacji wynosi odpowiednio 40, 55 i 45%. **Doktorantka** uczestniczyła we wszystkich etapach procesu przygotowania publikacji, pełniąc funkcję autora korespondencyjnego i udzielając odpowiedzi recenzentom. **Jej** udział w powstawaniu publikacji jest udokumentowany stosownymi oświadczeniami. Prace te zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych posiadających współczynnik wpływu (Impact Factor, IF). Sumaryczny IF recenzowanego zbioru publikacji wynosi 14.891, a suma punktów ministerialnych wynosi 340.

W autoreferacie poprzedzającym artykuły naukowe, zredagowanym w polskiej i angielskiej wersji językowej, **Doktorantka** zamieściła listę publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, streszczenie rozprawy ze spisem literatury oraz oświadczenia autorów potwierdzające charakter i procentowy udział **Doktorantki** w przygotowanie publikacji.

Pani mgr **Martyna Górska** przeprowadziła badania eksperymentalne w zakresie wietrzenia mrozowego w skali mikro. Obiektem badań były trzy rodzaje ziaren kwarcu frakcji piaszczystej (0,5-1,0 mm) poddane wietrzeniu mrozowemu w warunkach kontrolowanych. Przedmiot badań obejmował zagadnienie zmian uziarnienia osadów oraz powstawania mikrostruktur na powierzchni ziaren kwarcu na skutek działalności zamrozu.

**Doktorantka** sformułowała następujące cele badawcze:

1. Przeprowadzenie długookresowego (do 1000 cykli zamarzania-odmarzania) eksperymentu laboratoryjnego symulującego wietrzenie mrozowe ziaren kwarcu frakcji piaszczystej w skali mikro;
2. Rozpoznanie efektów krótko- i długookresowego wietrzenia mrozowego ziaren kwarcu frakcji piaszczystej, w tym:
  - 2.1. określenie zmian rozkładu uziarnienia ziaren kwarcu wywołanych zamrozem w porównaniu z rozkładem początkowym,
  - 2.2. określenie wpływu zamrozu na zmiany w mikromorfologii powierzchni ziaren kwarcu.



W celu osiągnięcia wyżej wymienionych celów badawczych Pani mgr **Martyna Górską** zaplanowała następujące zadania badawcze:

1. Przygotowanie eksperymentu laboratoryjnego, w tym zaprogramowanie działania urządzenia zamrażająco-odmrażającego i ustawienie parametrów symulowanych warunków, pobór próbek w terenie, przygotowanie ziaren kwarcu do eksperymentu;
2. Przeprowadzenie eksperymentu laboratoryjnego, w tym pobór próbek po 50, 100, 300, 700 i 1000 cyklach zamrażania-odmarzania;
3. Analizy laboratoryjne ziaren kwarcu poddanych eksperymentalnemu wietrzeniu mrozowemu, w tym analiza uziarnienia i analiza mikromorfologii powierzchni ziaren;
4. Opracowania statystyczne otrzymanych wyników analizy uziarnienia i analizy mikromorfologii powierzchni ziaren;
5. Interpretacja wyników.

Metodologia badań przeprowadzonych w ramach niniejszej rozprawy, decydująca o przebiegu eksperymentu, została opracowana wspólnie z promotorkami pracy: prof. dr hab. **Barbarą Woronko** i prof. dr hab. **Małgorzatą Pisarską-Jamroży**.

W badaniach eksperymentalnych wykorzystano trzy rodzaje kwarcu frakcji 0,5-1,0 mm: dwa rodzaje kwarcu żyłowego ( $Q_W$  z Wojcieszowa oraz  $Q_K$  z Kletna), który został mechanicznie rozdrobniony przy użyciu młyna skalnego i młotka, oraz ziarna kwarcu ze środowiska eolicznego ( $Q_A$  – wydma śródlądowa w miejscowości Sławiny, Nizina Środkowomazowiecka). Ziarna frakcji grubego piasku (0,5-1 mm) odseparowano przy użyciu wytrząsarki mechanicznej. Próbkę kwarcu żyłowego dodatkowo umyto w waniencie ultradźwiękowej. Pod binokulem usunięto ziarna inne niż kwarc. Uzyskane w rezultacie powyższych zabiegów ziarna frakcji grubego piasku zostały podzielone na próbki o masie ok. 2 g oraz umieszczone na szalkach Petri'ego jako: (1) próbki suche, (2) próbki nawilżone, oraz (3) próbki mokre. Nawilżone i mokre próbki do symulacji procesu wietrzenia mrozowego przygotowano przy użyciu wody destylowanej oraz wody o niskiej i wysokiej mineralizacji. Dla każdego rodzaju kwarcu użytego w eksperymencie ( $Q_W$ ,  $Q_K$ ,  $Q_A$ ) zostały przygotowane próbki referencyjne, zawierające oryginalne ziarna nie biorące udziału w eksperymencie.

Symulacja wietrzenia mrozowego została przeprowadzona przez **Doktorantkę** w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych przy użyciu komercyjnej zamrażarki zapewniającej jednolite warunki temperaturowe i wilgotnościowe, odprowadzanie skroplin i automatyczne odszranianie, wyposażonej w oprogramowanie umożliwiające automatyczne zmiany temperatury w zakresie od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $+10^{\circ}\text{C}$ . Pełny cykl zamrażania-odmarzania trwał 4 godziny i składał się z trzech etapów: (1) fazy zamrażania (2 godz.), podczas której temperatura spadała do  $-5^{\circ}\text{C}$ ; (2) fazy stałej (1 godz.), podczas której temperatura utrzymywana była na poziomie  $-5^{\circ}\text{C}$  oraz (3) fazy odmarzania (1 godz.), podczas której temperatura wzrastała do  $+10^{\circ}\text{C}$ . Próbkę kwarcu były wyjmowane z urządzenia po określonej liczbie (50, 100, 300, 700 i 1000) cykli zamrażania-odmarzania i pozostawione do wyschnięcia w temperaturze pokojowej (ok.  $20-22^{\circ}\text{C}$ ).



W pierwszej publikacji przedstawiono rezultaty badań wpływu krótkookresowej działalności wietrzenia mrozowego (do 300 cykli zamrażania-odmrażania) na rozkład uziarnienia próbki kwarcu żyłowego. Przeanalizowano łącznie 42 próbki kwarcu  $Q_w$  i  $Q_k$  (suche oraz nawilżone i mokre przy użyciu wody o różnej mineralizacji). Kolejne partie składające się z 14 próbek ( $7 \times Q_w$  oraz  $7 \times Q_k$ ) analizowano po 50, 100 i 300 cyklach zamrażania-odmrażania. Analizę uziarnienia wykonano za pomocą analizatora cząstek Malvern Morphologi G3, a analizę mikromorfologii powierzchni ziaren przeprowadzono pod skaningowym mikroskopem elektronowym (SEM). Następnie przeprowadzono szereg analiz statystycznych (analiza wykresów pudełkowych, test Kołmogorowa-Smirnowa, analiza składowych głównych (PCA) oraz analiza skupień). Efekty symulowanego wietrzenia mrozowego zauważono we wszystkich próbkach na każdym etapie eksperymentu. Stwierdzono różne reakcje badanych dwóch typów ziaren kwarcu żyłowego na procesy wietrzenia mrozowego. Ziarna zbudowane z przylegających do siebie kryształów kwarcu ( $Q_w$ ), były bardziej odporne na wietrzenie mrozowe od ziaren z przestrzenią porową pomiędzy kryształami kwarcu ( $Q_k$ ). Najpoważniejsze zmiany w rozkładzie uziarnienia odnotowano w obrębie frakcji bardzo grubego (1,0-2,0 mm) oraz grubego (0,5-1,0 mm) piasku. Z kolei produkcja cząstek frakcji pyłastej okazała się nieznaczająca. Zwrócono uwagę na duży wpływ pierwotnych (związanych ze strukturą wewnętrzną kwarcu) oraz wtórnych (związanych z przygotowaniem próbki) defektów ziaren kwarcu na przebieg eksperymentu. Wprowadzono również termin *lag time* dla określenia przedziału czasu niezbędnego do zmanifestowania się efektów działalności wietrzenia mrozowego w skali mikro.

W drugiej publikacji obiektem badań były mokre próbki kwarcu  $Q_w$  (w autoreferacie **Doktorantka** pomyłkowo dodała kwarc  $Q_k$  – str. 20) zanurzone w wodzie nisko i wysoko zmineralizowanej, które poddano analizie mikromorfologii powierzchni ziaren (SEM – co najmniej 20 przypadkowo wybranych ziaren) po 50, 100, 300, 700 i 1000 cyklach zamrażania-odmrażania (próbka referencyjna + 10 próbek). Cztery mikrostruktury okazały się diagnostyczne dla wietrzenia mrozowego: małe i duże przełamy muszlowe (cf i CF; ang. *conchoidal fractures*) oraz małe i duże *breakage blocks* (bb i BB). Obserwacje mikrostrukturalne powierzchni badanych ziaren kwarcu umożliwiły identyfikację dwóch rodzajów wietrzenia mrozowego: (1) wietrzenia fizycznego, które wyraża się rozwojem mikrostruktur cf, CF, bb, BB i przeważa w trakcie pierwszych 300 cykli zamrażania-odmrażania oraz (2) wietrzenia chemicznego dominującego po 300 cyklach zamrażania-odmrażania, którego produktem jest skorupa powstająca z wytrącania składników rozpuszczonych w wodzie w czasie zamrażania, zacierająca pierwotną mikrorzeźbę ziaren i ograniczająca dalsze wietrzenie fizyczne. Wyróżniono trzy etapy ewolucji mikrorzeźby w procesie wietrzenia mrozowego: (1) etap inicjalny, w którym powstaje głównie mikrostruktura CF, (2) etap rozwoju z dominacją mikrostruktur cf oraz (3) etap zaawansowany zdominowany przez mikrostruktury typu bb i BB. Taka ewolucja mikrorzeźby mrozowej może zostać zmodyfikowana lub przerwana przez proces „odmładzania”, polegający na odświeżeniu, niezwiędniętej powierzchni ziaren. Zaobserwowano również, że wietrzenie mrozowe ziaren zanurzonych w wodzie wysoko zmineralizowanej było bardziej efektywne.

W trzeciej publikacji badaniami objęto mokre próbki kwarcu pochodzenia eolicznego  $Q_A$ , zanurzone w wodzie nisko zmineralizowanej, które poddano analizom mikromorfologii ziaren kwarcu i statystycznym po 0, 50, 100, 300, 700 i 1000 cyklach zamarzania-odmarzania. Analizę nanostrukturalną (TEM) wykonano dla ziaren próbki referencyjnej oraz po 100 i 1000 cyklach zamarzania-odmarzania. W rezultacie wietrzenia mrozowego powstawały mikrostruktury cf i CF, bb i BB oraz pęknięcia na powierzchni ziaren. Liczba tych mikrostruktur była stosunkowo niewielka do 700 cykli zamarzania-odmarzania, a jej znaczny wzrost nastąpił dopiero po 1000 cyklach zamarzania-odmarzania. Stwierdzono, że ziarna  $Q_A$  są bardziej odporne na procesy wietrzenia mrozowego niż ziarna kwarcu żyłowego ( $Q_w$ ,  $Q_k$ ) i charakteryzują się dłuższym *lag time*. **Doktorantka** uważa, że podatność ziaren eolicznych, transportowanych w zimnym klimacie, na powstawanie mikrostruktur mrozowych zależy od wewnętrznych cech ziaren kwarcu, będących efektem procesów eolicznych oraz pierwotnej struktury ziaren. Wskutek procesów eolicznych dochodzi do modyfikacji struktury ziaren kwarcu prowadzącej do powstania podpowierzchniowej strefy uderzeniowej (ang. *impact zone*). Grubość tej strefy wpływa na głębokość, do jakiej mogą rozwijać się mikrostruktury pochodzenia mrozowego. Podatność ziaren eolicznych na powstawanie mikrostruktur mrozowych uzależniona jest również od pierwotnych i wtórnych defektów sieci krystalicznej. Liczba mikrostruktur mrozowych na powierzchni ziaren kwarcu pochodzenia eolicznego zależy od kształtu ziaren, a w szczególności ich kulistości. Pani mgr **Martyna Górka** doszła do wniosku, że ziarna charakteryzujące się niską kulistością wykazują mniejszą podatność na powstawanie mikrostruktur mrozowych.

Podsumowując przedstawione wyżej dokonania uważam, że **Doktorantka** zrealizowała w satysfakcjonującym stopniu cele badawcze rozprawy doktorskiej, chociaż rezultaty **Jej** badań w pewnych zakresach zapewne okazały się zaskakujące. Pani mgr **Martyna Górka** opracowała rygorystyczną metodologię: przeprowadziła długookresową symulację eksperymentalną wietrzenia mrozowego ziaren kwarcu frakcji piaszczystej w skali mikro oraz przeprowadziła szczegółowe badania mikromorfologiczne wykorzystując nowoczesną aparaturę badawczą. Rezultaty badań wnoszą wiele nowych elementów do dotychczasowego stanu wiedzy o procesie wietrzenia mrozowego ziaren piasku kwarcowego. **Doktorantka** potwierdziła hipotezę, że przebieg wietrzenia mrozowego uzależniony jest głównie od czynników wewnętrznych takich jak wewnętrzna struktura ziaren kwarcu oraz zwróciła uwagę na istotność cech odziedziczone z poprzednich środowisk sedymentacyjnych.

Wszystkie publikacje naukowe wchodzące w skład rozprawy naukowej są bardzo dobrze zredagowane i udokumentowane odpowiednimi tabelami i przejrzystymi figurami. W tekście autoreferatu zauważyłem kilka błędów literowych, interpunkcyjnych i stylistycznych, ale nie mają one wpływu na ogólnie dobry odbiór tekstu.

W rozprawie doktorskiej dostrzegłem kilka drobnych niejasności:

- spis cytowanej literatury został sporządzony bardzo starannie i sam w sobie stanowi cenną bazę danych bibliograficznych. Zauważyłem drobną usterkę: notka



bibliograficzna Cwojdziński i Kozdrój (2011), występująca w autoreferacie i publikacji nr 1 (*Catena*) jest niepełna;

- w tej samej publikacji (tabela 3) i w autoreferacie **Doktorantka** używa różnych dolnych granic frakcji pylastej (0,002 lub 0,004 mm), a w tabeli 3 tej publikacji niepotrzebnie prezentuje w kilku wierszach zerowe udziały najdrobniejszych frakcji (zarówno dla  $Q_w$  i  $Q_k$ );
- próbki kwarcu frakcji grubego piasku (0,5-1 mm) do eksperymentu uzyskano przy użyciu wytrząsarki mechanicznej. Analizę uziarnienia próbek referencyjnych oraz próbek w trakcie eksperymentu wykonano przy użyciu analizatora cząstek Malvern Morphologi G3. To dwie różne metody opierające się na różnych założeniach. W próbkach referencyjnych stwierdzono dominację frakcji 1-2 mm, a w eksperymencie stwierdzono produkcję ziaren bardzo grubego piasku (1-2 mm), która jest skutkiem rozpadu tej frakcji. Nie dostrzegłem komentarza na temat wpływu metody;
- w publikacji nr 1 badano wpływ krótkookresowej działalności wietrzenia mrozowego na zmiany uziarnienia próbki kwarcu żyłowego ( $Q_w$  i  $Q_k$ ). Przypuszczam, że pomimo starannego procesu homogenizacji, już od samego początku występowały dość znaczne różnice uziarnienia wśród próbek referencyjnych oraz 42 próbek wykorzystanych w eksperymencie. W jakim stopniu „błąd metody” mógł wpłynąć na rezultaty i wnioski z przeprowadzonej symulacji?

Konkludując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa Pani mgr **Martyny E. Górskiej pt. „Zapis wietrzenia mrozowego ziaren kwarcu w mikromorfologii i uziarnieniu – badania eksperymentalne”** zasługuje na wyróżnienie i spełnia wymogi formalne i merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. z późniejszymi zmianami, określone w art. 187 Ustawy (Dz.U.2018; poz. 1668) i może być podstawą jej publicznej obrony. Rekomenduję zatem Wysockiej Radzie Naukowej Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu dopuszczenie Pani mgr **Martyny E. Górskiej** do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

