

Kraków, 14 czerwca 2023

dr hab. Michał Pętlicki  
Pracownia Geografii Fizycznej IGiGP  
Wydział Geografii i Geologii  
Uniwersytet Jagielloński  
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków  
michal.petlicki@uj.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Barzyckiej pt.  
*„Zastosowanie metod teledetekcyjnych i naziemnych do wykrywania  
zasięgu stref glacialnych lodowców”*

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Dyrektora Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, dr hab. Ewy Łupikaszy, z dnia 18 maja 2023 r., sporządzone w oparciu o uchwałę Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z dnia 18 kwietnia 2023 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu doktorskim mgr inż. Barbary Barzyckiej. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Jacek Jania, promotorem pomocniczym dr inż. Małgorzata Błaszczyk.

### **Problematyka rozprawy doktorskiej oraz cele badawcze**

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa skupia się na opracowaniu metod wykrywania facji lodowcowych na podstawie danych radarowych, głównie satelitarnych zobrażeń radarowych z syntetyczną przysłoną (SAR). Ze względu na silne ocieplenie klimatu w skali globalnej, spowodowane w dużej mierze antropogeniczną emisją CO<sub>2</sub>, obserwujemy obecnie stopniowy zanik firnu a tym samym stref akumulacji lodowców, zarówno w rejonach górskich jak i regionach polarnych. O ile w przypadku lodowców górskich średnich szerokości geograficznych wyznaczenie zasięgu stref glacialnych może być z powodzeniem osiągnięte przy pomocy dość prostych metod opartych o wykorzystanie optycznych zdjęć satelitarnych, o tyle w przypadku regionów polarnych, szczególnie tych o dużym zachmurzeniu i długim okresie trwania nocy polarnej, konieczne jest zastosowanie bardziej wyszukanych metod. Doktorantka trafnie wybrała więc do tego celu dane SAR, a więc pochodzące z sensora aktywnego, niezależnego od zachmurzenia i nasłonecznienia, by następnie wyznaczyć zasięgi poszczególnych facji na podstawie analizy współczynnika rozproszenia wstecznego  $\sigma_0$ , dekompozycji polarymetrycznej Pauli oraz dekompozycji polarymetrycznej  $H/\alpha$ . Podjęta problematyka jest ważna i mieści się w głównym nurcie teledetekcyjnych badań lodowców Arktyki, a wykorzystanie zarówno danych satelitarnych jak i naziemnych (georadar, płytkie rdzenie) pozwoliło na unikalną analizę zarówno możliwości jak i ograniczeń zastosowania danych SAR w badaniach facji lodowcowych.

## Struktura rozprawy doktorskiej

Zasadniczą część rozprawy doktorskiej stanowi cykl trzech artykułów naukowych:

- [I] **Barzycka B.**, Błaszczuk M., Grabiec M., Jania J. (2019). Glacier facies of Vestfonna (Svalbard) based on SAR images and GPR measurements. *Remote Sensing of Environment*, 221, 373-385.
- [II] **Barzycka B.**, Grabiec M., Jania J., Błaszczuk M., Pálsson F., Laska M., Ignatiuk D., Aðalgeirsdóttir G. (2023). Comparison of three methods for distinguishing glacier zones using satellite SAR data. *Remote Sensing*, 15(3), 690.
- [III] **Barzycka B.**, Grabiec M., Błaszczuk M., Ignatiuk D., Laska M., Hagen J.O., Jania J. (2020). Changes of glacier facies on Hornsund glaciers (Svalbard) during the decade 2007–2017. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112060.

W każdej z prac cyklu Doktorantka jest pierwszym i wiodącym autorem. Wedle załączonych oświadczeń, udział procentowy wkładu merytorycznego mgr inż. Barzyckiej w powstanie niniejszych artykułów oszacowany został odpowiednio na 60, 79 oraz 75%, co stanowi pożądaną, wysoki poziom, jednoznacznie wskazujący na jej wiodącą rolę w procesie badawczym. Nieco razi tak dokładne wyznaczanie udziału procentowego współautorów na poziomie 2-3%. Rozumiem, że takie były wymagania formalne, jednakże otwartą pozostaje kwestia czy wkład na poziomie 2% jest jeszcze na tyle istotny by stanowić wystarczającą podstawę dla współautorstwa artykułu naukowego?

Wymieniony cykl artykułów zamieszczony jest w tekście rozprawy jako zbiór załączników (strony 56–112), opatrzone rozszerzonym streszczeniem pracy w języku polskim (strony 10–33). Pracę dopełniają jednostronicowe streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, spis literatury, podziękowania oraz oświadczenia o wkładzie autorskim; całość zamyka się na 112 stronach maszynopisu. Opisane w rozprawie badania były realizowane przez Kandydatkę w ramach Centrum Studiów Polarnych na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach.

## Merytoryczna ocena pracy

Rozprawa ma przede wszystkim charakter metodyczny, skupia się na opracowaniu i ocenie nowych metod wyznaczania zasięgu facji na lodowcach Arktyki. Powoduje to, że stosunkowo niewiele miejsca poświęcono na głębszą analizę i szerszy opis zachodzących zmian. Oprócz wykorzystania polarymetrycznych metod analizy radarowych obrazów satelitarnych, ważną częścią pracy jest ich nawiązanie do pomiarów dokonanych in situ przy pomocy georadaru i płytkich wierceń, co pozwoliło na krytyczną i skrupulatną ocenę uzyskanych wyników. Niewątpliwie stanowi to jedną z najmocniejszych stron rozprawy, znacznie zwiększając jej wartość naukową. Należy także nadmienić, że obszar badań nie był ograniczony jedynie do sąsiedztwa Polskiej Stacji Polarnej (lodowce fiordu Hornsund), lecz rozszerzono go o niezwykle interesujący obiekt jakim jest Vestfonna, a także o jedną z czap lodowych Islandii. Tym samym można mieć nadzieje, że wypracowane metody są uniwersalne i mogą być w przyszłości z powodzeniem stosowane także w innych rejonach Arktyki. Poniżej przedstawię ocenę poszczególnych publikacji cyklu artykułów stanowiących główną część rozprawy.

## **Artykuł I: Glacier facies of Vestfonna (Svalbard) based on SAR images and GPR measurements**

W pierwszym artykule cyklu, opublikowanym w czasopiśmie *Remote Sensing of Environment* (wydawnictwo Elsevier), przedstawiono porównanie kilku metod wyznaczania zasięgów facji na czapie lodowej Vestfonny (Ziemia Północno-Wschodnia, Svalbard) w oparciu o zobrazowania SAR i profile georadarowe (GPR). Początkowo strefy glacialne wyznaczono na podstawie współczynnika rozpraszania wstecznego ( $\sigma_0$ ) obrazów SAR. Kontynuując wcześniejsze badania zespołu, zastosowano miarę IRE profili georadarowych w celu rozróżnienia poszczególnych facji. Następnie zestawiono wyniki klasyfikacji facji opartej na IRE z wynikami analizy polarymetrycznej zobrazowań SAR w paśmie C, stwierdzając wysoką skuteczność segmentacji H- $\alpha$ .

Jak już wcześniej wspominałem, wysoko oceniam próbę powrotu do archiwalnych danych georadarowych i użycie ich w nowym kontekście. Wypada także pogratulować bardzo przejrzyste napisanego tekstu artykułu, pomimo skomplikowanej tematyki i dużego zakresu wykorzystanych danych. Można by było oczekiwać lepszej jakości grafik, szczególnie wektorowych, których część jest mało czytelna. Biorąc pod uwagę spójność całego cyklu artykułów, można mieć też zastrzeżenia co do wyboru poszczególnych metod. W późniejszych pracach Doktorantka odchodzi zarówno od użycia algorytmu centroidów (k-means) jako narzędzia analizy skupień (artykuł II), jak i od współczynnika IRE jako miary rozpraszania sygnału w profilach georadarowych (artykuł III). W sposób oczywisty nasuwa się pytanie, jak wyglądałyby wyniki przedstawione w tym artykule gdyby Kandydatka zdecydowała się na zmianę metod zgodnie z późniejszym podejściem?

Ubolewam, że w treści artykułu i dalszej części rozprawy nie odnalazłem też szerszego zastosowania wypracowanych metod do wyznaczenia zasięgu facji dla całej czapy lodowej Vestfonny, pomimo całkowitego jej pokrycia zobrazowaniami ERS-2 (Ryc. 1) zaprezentowano jedynie wyniki dla wycinka obejmującego bezpośrednio sąsiedztwo profilu georadarowego (Ryc. 6 i 7).

Artykuł ten bardzo udanie wprowadza czytelnika w całość tematyki poruszanej w rozprawie, wyznaczając linie badawczą dotyczącą wyznaczania facji lodowcowych przy użyciu danych radarowych, która zostaje rozwinięta w kolejnych dwóch pracach.

## **Artykuł II: Comparison of Three Methods for Distinguishing Glacier Zones Using Satellite SAR Data**

W drugim artykule cyklu, który ukazał się na łamach czasopisma *Remote Sensing* (wydawnictwo MDPI), opisano wyniki porównania możliwości wykrywania zasięgu stref glacialnych za pomocą analiz polarymetrycznych bazujących na podwójnej polaryzacji z metodami opartymi o popularny współczynnik  $\sigma_0$  dla danych o polaryzacji podwójnej. Obszar badań obejmował islandzką czapę lodową Langjökull oraz trzy lodowce uchodzące do morza w rejonie fiordu Hornsund na Spitsbergenie. Przedstawione wyniki, wskazujące na porównywalny potencjał wszystkich analizowanych metod, otwierają możliwości szerszego wykorzystania ogólnodostępnych danych SAR o podwójnej polaryzacji do wyznaczania zasięgu facji lodowcowych, tym samym kładąc podwaliny pod wielkoskalowe, regionalne bądź nawet globalne analizy zmian zasięgu występowania poszczególnych stref lodowcowych. Można ubolewać, że artykuł dotyczący tak ważnej tematyki nie został opublikowany w czasopiśmie zapewniającym znacznie szerszy odbiór, jak miało

miejsce w pozostałych częściach cyklu. Problematyczne wydają się wyniki analiz dla obszarów silnego uszczelinienia (np. Ryc. 4, Hornbreen). Kandydatka trafnie diagnozuje to zagadnienie, jednak niestety wydaje się że niewłaściwe klasyfikowanie, jako strefa firnu, szczelin w obrębie strefy lodu lodowcowego będzie trudne do wyeliminowania ze względu na naturę rozpraszania/odbicia fal radarowych na tego typu powierzchniach. Zaprezentowane grafiki dość jasno pokazują, że dla danej metody i typu zobrazowania wyniki te potrafią znacznie się różnić (Ryc. 3 i 4). W przypadku dobranych do analizy lodowców wydaje się, że tego typu problemy nie mają znaczenia dla całościowych wyników - strefa o silnym uszczelinieniu występuje przede wszystkim w pobliżu czoła lodowca, gdzie wiadomo skądinąd, że występuje lód lodowcowy. Jednakże myśląc o szerszym zastosowaniu przedstawionych metod, należy mieć też na uwadze mniej sprzyjające przypadki, kiedy silne uszczelinienie występuje w pobliżu linii równowagi. Wydaje się też, że wyniki analizy dokładności klasyfikacji  $\sigma_0$ +GMM-EM, Pauli+GMM-EM oraz segmentacji  $H/\alpha$ Wishart w wykrywaniu stref glacialnych w porównaniu do wyników interpretacji wizualnej profili georadarowych (Ryc. 5) wyglądałyby zgoła odmiennie, gdyby porównanie to obejmowało także silnie uszczelinioną strefę czołową lodowców Hansa i Hornbreen. Brakuje także porównania wcześniej stosowanej (artykuł I) metody klasyfikacji  $\sigma_0$  opartej o algorytm centroidów z zaproponowaną w niniejszej pracy metodą  $\sigma_0$ +GMM-EM wykorzystującą algorytm *Gaussian Mixture Model-Expectation Maximization*. Niestety, wyniki przedstawione w niniejszej pracy nie mogły zostać w pełni wykorzystane w artykule III zamykającym cykl, ponieważ powstał on trzy lata później.

### **Artykuł III: Changes of glacier facies on Hornsund glaciers (Svalbard) during the decade 2007–2017**

W ostatnim artykule cyklu, opublikowanym na łamach czasopisma *Remote Sensing of Environment* wydawnictwa Elsevier, Kandydatka przedstawia zastosowanie wypracowanych metod do analizy zmian zasięgu facji w latach 2007-2017 na trzech lodowcach fiordu Hornsund na Spitsbergenie: Lodowcu Hansa, Storbreen oraz Hornbreen. Zaprezentowane wyniki wskazują jednoznacznie na szybki zanik warstwy firnu oraz zmniejszający się udział pokrycia lodowców lodem nałożonym. Ma to szerokie implikacje dla przyszłej ewolucji tych lodowców, przyspieszoną recesję, zmiany sieci drenażu, struktury termicznej oraz siedlisk dla ekosystemów glacialnych. Jednym z poruszonych problemów, zgodnych ze szczegółowymi celami rozprawy, jest kwestia zależności pomiędzy powierzchniowym bilansem masy a zmianami zasięgu strefy akumulacji. Wg Doktorantki występuje zależność liniowa między bilansem masy lodowca a powierzchnią strefy firnu (Fig. 7). Istnienie takiej korelacji wydaje się zrozumiałe, szczególnie w przypadku serii postępujących po sobie lat o negatywnym bilansie masy - z biegiem czasu kolejne obszary pokryte wcześniej firnem odsłaniają nowe połacie lodu lodowcowego. Szkoda że brakuje danych dotyczących bilansu masy Lodowca Hansa w sezonie 2012/13. Spowodowane jest to podaniem w biuletynie WGMS błędnej, bardzo wysokiej wartości dla strefy wysokościowej 450-500 m n.p.m. Wydaje się, że można było się pokusić o wypełnienie tej luki metodami statystycznymi co pozwoliłoby na przedstawienie pełniejszego obrazu zależności między bilansem masy i zmianami zasięgu firnu w analizowanych latach, gdyż obecnie opiera się on o jedynie siedem punktów (Ryc. 7). Zabrakło także niestety informacji czy przedstawione zależności są istotne statystycznie.

## Uwagi ogólne

Czytając rozprawę, zwróciłem uwagę jak istotne jest wykorzystanie archiwalnych danych georadarowych i technięcie w nie nowego życia poprzez porównanie z danymi satelitarnymi. Często praktyka jest taka, że zespoły badawcze wciągnięte w wir projektów skupione są jedynie na ciągłym zbieraniu nowych danych, podczas gdy warto czasem wrócić do dawnych pomiarów i robiąc użytek z postępu w dziedzinie m.in. zdolności obliczeniowych czy metod obróbki danych, wykorzystać je do nowych analiz. Dlatego też niezwykle cieszy wykorzystanie np. danych georadarowych z Vestfonny, pozyskanych jeszcze w ramach programu Międzynarodowego Roku Polarnego (IPY). Godnym podkreślenia jest też, że Artykuły I oraz III ukazały się na łamach czasopisma z absolutnie najwyższej półki jeśli chodzi o badania teledetekcyjne (*Remote Sensing of Environment*). Duża w tym zasługa staranności opracowania obszernego zestawu danych zarówno satelitarnych jak i in situ, co niewątpliwie zasługuje na uznanie.

Niestety Doktorantka nie ustrzegła się w autoreferacie kilku dość istotnych błędów redakcyjnych oraz dotyczących terminologii. Przede wszystkim wielokrotnie myli wysokość linii równowagi bilansowej (ang. ELA) z samą linią równowagi bilansowej czy też jej położeniem. Stwierdzenie, że minimum zasięgu stref lodowców przypada na koniec sezonu ablacyjnego jest moim zdaniem nieuprawnione - zazwyczaj wówczas zasięg strefy lodu lodowcowego osiąga swoje maksimum. Zamiennie stosuje terminy „czapa lodowa” i „czapa lodowcowa”. Kandydatka niejednokrotnie używa także redundantnych połączeń wyrazowych („pasma C-band”, „strefy glacialne lodowców”). Dodatkowo, na mapach obszaru badań w artykułach II i III można odnaleźć „Spitsbreggen”, co szczególnie dziwi w przypadku publikacji w tak szacownym czasopiśmie jak *Remote Sensing of Environment*. Zastanawia też, jak podczas procesu recenzyjnego uchowało się wielokrotne niewłaściwe użycie słowa kwantyl zamiast kwartył (art. III).

Problematyczna jest też niska swoistość opracowanych metod w stosunku do obszarów silnie uszczelinionych. O ile dla rozważanych lodowców i czap lodowych silne uszczelinienie praktycznie nie występowało w pobliżu strefy akumulacji, tym samym ułatwiając poprawną identyfikację strefy firnu, o tyle dla wielu lodowców Arktyki może to stanowić problem. W rejonie badań - fiordzie Hornsund - dobrym przykładem wydaje się być lodowiec Paierla, który w pobliżu linii równowagi jest silnie spękany. Innym, nie tak odległym przykładem może być lodowiec Nathorsta, który w wyniku szarży pokrył się gęstą siecią szczelin poprzecznych sięgającą wysoko w obszar akumulacji. Ciekaw jestem, na ile wypracowane w niniejszej rozprawie metody sprawdzałyby się dla takich lodowców, np. przy wykorzystaniu algorytmu sigma0+GMM-EM dla zobrażeń Sentinel-1.

Ponieważ głównym celem pracy było *opracowanie nowych metod teledetekcyjnych i naziemnych do wykrywania zasięgu stref glacialnych lodowców oraz weryfikacja tych metod poprzez zastosowanie na wybranych lodowcach Arktyki*, rozprawa nie zawiera żadnej hipotezy badawczej i nie stawia sobie za nadrzędny cel rozwiązanie problemu badawczego. Niestety wydaje się być to największą słabością rozprawy, która niejako zatrzymuje się tuż przed przedstawieniem istotnych wyników, pomimo że jednymi ze szczegółowych celów badawczych są *określenie zasięgu stref glacialnych lodowców Hornsundu oraz analiza ich zmian w skali dekady a także ustalenie związku pomiędzy zmianami w zasięgach stref glacialnych a powierzchniowym bilansem masy Lodowca Hans*. Wg mojej skromnej opinii, cele te zostały osiągnięte jedynie częściowo. Przede wszystkim brakuje wyznaczenia za-

sięgu stref glacialnych dla całego obszaru Hornsundu, a nie jedynie dla trzech lodowców. Co więcej, o ile wypracowane w niniejszej pracy metody są poprawne, nie widzę większych przeszkód żeby analizę rozszerzyć nie tylko na resztę fiordu Hornsund lecz nawet na cały Svalbard od roku 2016 przy wykorzystaniu zobrażeń pochodzących z satelity Sentinel-1; w końcu jednym z głównych wniosków artykułu II jest porównywalna jakość wyników metody sigma0 z metodami polarymetrycznymi a dane są ogólnodostępne. Pomimo tych uwag, można stwierdzić że dobór tematyki artykułów cyklu pokrywa się z głównym i szczegółowymi celami pracy, tworzą one też pomimo pewnych nieścisłości spójną całość. Mając na uwadze zatrważająco wysokie tempo zanikania strefy akumulacji wybranych lodowców w rejonie Hornsundu (co Kandydatka przedstawiła w ostatnim artykule cyklu), pozostaje mieć nadzieję, że wypracowane metody znajdą zastosowanie także w innych obszarach globu, gdzie pokrywa firnu zdoła przetrwać dłużej.

Przedstawione artykuły stanowią istotny wkład Doktorantki w badania zmian zasięgu stref glacialnych oraz wykorzystania w tym celu danych radarowych. Niewątpliwie zaprezentowany cykl artykułów pokazuje umiejętność postawienia problemów badawczych, dobrania odpowiednich metod niezbędnych do ich rozwiązania oraz ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku.

## Konkluzja

Podsumowując, niniejszym wydaję o przedstawionej mi do recenzji rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Barbary Barzyckiej **opinię jednoznacznie pozytywną** oraz stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie Kandydatki do publicznej obrony pracy doktorskiej. Jednocześnie, zważywszy na fakt, że większość artykułów cyklu opublikowano w jednym z najbardziej prestiżowych czasopism dot. teledetekcji, wnioskuję o rozważenie **wyróżnienia** rozprawy.



.....  
dr hab. Michał Pęćlicki