

dr hab. Marek Kasprzak  
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego  
Uniwersytet Wrocławski  
pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław  
marek.kasprzak@uwr.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra Michała Glazera  
pt. „Charakterystyka obszarów podatnych na występowanie  
wieloletniej zmarzliny z zastosowaniem metody inwersyjnego  
obrazowania oporności na przykładzie rejonu podszczytowego  
Babiej Góry, przedpoła Storglaciären (Tarfala) oraz zlewni  
Fuglebekken (Spitsbergen)” wykonanej pod kierunkiem  
dr hab. Wojciecha Dobińskiego

---

### Podstawa sporządzenia recenzji oraz kryteria oceny rozprawy

Recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego. prof. dr hab. Leszka Marynowskiego w oparciu o uchwałę Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi WNP UŚ z dnia 24 listopada 2020 r.

Podstawą recenzji były kryteria wskazane w art. 187. *Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zmianami)*. Określono w nim, że:

1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.
2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.
3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.
4. Do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim. W przypadku, gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim.

Dalsze wytyczne w tym zakresie wnosi art. 13. *Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późn. zmianami)*:

1. Rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką promotora albo pod opieką promotora i promotora pomocniczego, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, lub oryginalne dokonanie artystyczne, oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.
2. Rozprawa doktorska może mieć formę maszynopisu książki, książki wydanej lub spójnego tematycznie zbioru rozdziałów w książkach wydanych, spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopismach naukowych, określonych przez ministra właściwego do spraw nauki na podstawie przepisów dotyczących finansowania nauki, jeżeli odpowiada warunkom określonym w ust. 1.
3. Rozprawę doktorską może stanowić praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, jeżeli odpowiada warunkom określonym w ust. 1.
4. Rozprawę doktorską może także stanowić samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej, jeżeli wykazuje ona indywidualny wkład kandydata przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy, odpowiadający warunkom określonym w ust. 1.
5. Za zgodą rady jednostki przeprowadzającej przewód, rozprawa doktorska może być przedstawiona w języku innym niż polski.
6. Rozprawa doktorska powinna być opatrzona streszczeniem w języku angielskim, a rozprawa doktorska przygotowana w języku obcym również streszczeniem w języku polskim. W przypadkach, gdy rozprawa doktorska nie ma formy pisemnej, powinna być opatrzona opisem w języku polskim i angielskim.

W wykonaniu recenzji pod uwagę wzięto także *Uchwałę nr 433/2019 z dnia 24 września 2019 r. Senatu UŚ w przedmiocie sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora*, w której określono zasady sporządzania recenzji.

## **Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana Michała Glazera została zrealizowana pod opieką dr hab. Wojciecha Dobińskiego w Katedrze Geomorfologii przy Zespole (badawczym) „Lód i permafrost” w Instytucie Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego. Praca poświęcona jest zagadnieniu permafrostu, który definiowany jest jednoznacznie jako górna część skorupy ziemskiej pozostająca w temperaturze równej lub niższej 0 °C przez okres przynajmniej dwóch następujących po sobie lat. Ścisłe podejście definicyjne do istoty permafrostu zostało w pracy wyraźnie zachowane i jest szczególnie istotne. Rodzi bowiem wiele implikacji z uwagi na występujące możliwość obniżania punktu zamarzania wody, szczególnie w środowisku wybrzeży morskich, na które oddziałuje zasolona woda morska lub podłoża znajdującego się pod dużym ciśnieniem, jak w przypadku spągu lodowców. Tematyka taka poruszana jest w części prezentowanego dorobku doktoranta.

Podjęte przez doktoranta zagadnienie jest niezwykle aktualne. Permafrost, będący efektem oddziaływania mroźnego klimatu na litosferę i hydrosferę, uważany jest za jeden z najważniejszych markerów globalnych zmian środowiska i poddany jest wnikliwym obserwacjom pod auspicjami

Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), m.in. w sieci Global Terrestrial Network on Permafrost (GTN-P). Badania termiki podłoża prowadzone w pojedynczych odwiertach coraz częściej uzupełniane są rozpoznaniem stanu podłoża przy pomocy metod obrazowania geofizycznego, w tym tomografii elektrooporowej, pomiarów sejsmicznych czy georadarowych, jak i symulacji opartych o dane dostarczane z badań teledetekcyjnych (np. Czekirda et al. 2019, Transient Modelling of Permafrost Distribution in Iceland, Front. Earth Sci). Choć niemal każda z tego typu prac wnosi nowe informacje do rozpoznania permafrostu w skali co najmniej regionalnej, wiele zagadnień dotyczących permafrostu pozostaje wciąż otwartych, przykładowo jakie jest faktyczne rozprzestrzenienie permafrostu reliktoowego w Europie i jakie dokładnie warunki sprzyjają jego przetrwaniu.

W recenzowanej rozprawie widzę dwa główne wątki. Jeden z nich nastawiony jest na rozwiązywanie podstawowych problemów badawczych związanych z zagadnieniem permafrostu na obszarach górskich i polarnych. Autor zajmuje się specyfiką permafrostu na wybrzeżu morskim na SW Spitsbergenie, w dolinie lodowcowej Tarfala (w szwedzkiej gminie Kiruna) oraz w masywie Babiej Góry w Beskidzie Żywieckim. Drugi, niemniej ważny, to wątek metodyczny nastawiony w przewadze na interpretację modeli inwersyjnych uzyskanych przez przetwarzanie danych z pomiarów metodą tomografii elektrooporowej 2D.

Realizowana rozprawa była związana z projektem badawczym jej promotora, dr hab. Wojciecha Dobińskiego, pt. „Interakcja lodowców i wieloletniej zmarzliny jako środowiskowe kontinuum pomiędzy obszarem zlodowaconym i peryglacjalnym w Tarfali, Skandynawia i okolicy Hornsundu, Spitsbergen”, którego celami było podjęcie próby detekcji permafrostu górskiego na prawdopodobnej dolnej granicy występowania w izolowanych masywach górskich, opis przestrzennego występowania wieloletniej zmarzliny na lodowcowym przedpolu lodowca i określenie geofizycznej charakterystyki, zasięgu oraz zmienności permafrostu między wybrzeżem morskim a stokami górskimi”. Mając to na uwadze, należy odnotować, że określenie kierunków badań, zarysowanie koncepcji oraz konstrukcja części głównych wniosków przedstawionych w pracy należy do kierownika projektu. W rozprawie zostało to wyraźnie, czytelnie zaznaczone i nie budzi moich zastrzeżeń.

Kluczową sprawą mającą wpływ na charakterystykę rozprawy jest także fakt, że została ona zrealizowana i przedstawiona jako cykl czterech artykułów naukowych. Wszystkie artykuły zostały poddane już wcześniej merytorycznej weryfikacji w tzw. procesie *peer review* (niezależnej oceny recenzentkiej innych naukowców), który jest fundamentem prowadzenia badań w skali międzynarodowej. Oznacza to, że ich poziom naukowy został już uprzednio oceniony jako odpowiednio wysoki, odpowiadający wymogom stawianym przez redakcje konkretnych czasopism. Wszystkie przedstawione przez doktoranta artykuły naukowe są dwu- lub wieloautorskie.

## **Formalna strona rozprawy doktorskiej**

Zasadniczą częścią pracy doktorskiej Pana mgr Michała Glazera jest cykl czterech artykułów naukowych (numerowanych jako załączniki I–IV), raportujących oryginalne wyniki badań. Artykuły ukazały się na łamach następujących czasopism:

1. Dobiński W., Glazer M., Bieta B., Mendecki M.J., 2016, Poszukiwanie wieloletniej zmarzliny i budowa geologiczna Babiej Góry w świetle wyników obrazowania elektrooporowego. *Przegląd Geograficzny* 88 (1), 31–51.
2. Dobiński W., Grabiec M., Glazer M., 2017, Cold-temperate transition surface and permafrost base (CTS–PB) as an environmental axis in glacier–permafrost relationship, based on research carried out on the Storglaciären and its forefield, northern Sweden. *Quaternary Research* 88, 551–569.
3. Dobiński W., Glazer M., 2018, Probable two-layered permafrost formation, as a result of climatic evolution in mountainous environment of Storglaciären forefield, Tarfala, Northern Scandinavia. *Polish Polar Research* 39 (2), 177–209.
4. Glazer M., Dobiński W., Marciniak A., Majdański M., Błaszczak M., 2020, Spatial distribution and controls of permafrost development in non-glacial Arctic catchment over the Holocene, Fuglebekken, SW Spitsbergen. *Geomorphology* 358, 107128.

Wszystkie artykuły zostały opublikowane w dobrze rozpoznawalnych w środowisku geograficznym czasopismach branżowych. Trzy spośród tych czasopism znajdują się na liście JCR. Nie są to czasopisma topowe, ale ich *impact factor*, biorąc pod uwagę dyscyplinę Nauk o Ziemi i środowisku, jest przyzwoity. Na tym tle wyróżnia się publikacja w „*Geomorphology*” – czasopiśmie oficyny wydawniczej Elsevier, które jest poczytne, często cytowane i posiada najwyższy z przywołanej listy IF, obecnie 3.819, przy wskaźniku pięcioletnim 3.948.

Deklarowany udział doktoranta w przygotowaniu przedstawionych artykułów wynosi od 30 do 60%. Ma on najwyższy, dominujący udział w opracowaniu artykułu opublikowanego w czasopiśmie „*Geomorphology*” (zestawienie w tab. 1. poniżej).

Tabela 1. Wskaźniki bibliometryczne i deklarowany procentowy udział doktoranta w przygotowaniu opublikowanych artykułów naukowych.

Nr artykułu	Rok publikacji	Impact factor czasopisma	Liczba punktów MNiE (d. MNiSW)	Udział doktoranta w przygotowaniu artykułu [%]
1	2016	–	70	30
2	2017	2.133	100	30
3	2018	1.118	40	40
4	2020	3.681	100	60

Artykuły tworzą dominującą pod względem objętości część tomu rozprawy. Zostały one poprzedzone syntetycznym omówieniem badań podzielonym na następujące części – *Wstęp, Cele pracy i dobór obszarów badawczych, Struktura pracy doktorskiej, Metody badawcze, Wyniki i interpretacja, Wnioski, Bibliografia* – mieszczącymi się na stronach 5–24. W spisie literaturowym tej części zamieszczono 49 pozycji. Tu też kończy się ciągła numeracja stron. Cały tom wraz z załączonymi artykułami i zsztytymi oświadczeniami udziału procentowego w tworzeniu artykułów współautorskich zawiera się na 118 stronach (kalkulacja oparta na zakresach stron podanych w nagłówkach artykułów).

## Uwagi dotyczące problemu badawczego i postawionych hipotez badawczych

W pracy poruszono trzy główne zagadnienia. Były to:

1. Próba detekcji permafrostu górskiego na prawdopodobnej dolnej granicy występowania w izolowanych masywach górskich na przykładzie Babiej Góry (1725 m n.p.m.).
2. Opis przestrzennego występowania wieloletniej zmarzliny w strefie marginalnej Storglaciären i obrazowanie geofizyczne relacji między lodowcem a przemarzniętym podłożem.
3. Określenie geofizycznej charakterystyki, zasięgu oraz zmienności permafrostu występującego między brzegiem morskim a stokami góorskimi u stóp masywu Fuglebekken na Spitsbergenie.

Należy podkreślić, że mimo iż każde z tych zagadnień dotyczy wprost zagadnienia permafrostu, to w zasadzie wszystkie mogłyby być tematami osobnych postępowań badawczych.

Zagadnienie pierwsze nawiązuje do podejmowanych we wcześniejszych latach badań W. Dobińskiego dotyczących Tatr i innych wysokogórskich części Karpat. Wykazały one, że dolną granicę formowania współczesnego permafrostu należałoby przeprowadzić tu na wysokości ok. 2400 m n.p.m., natomiast niżej, od wysokości ok. 2000 m n.p.m., gdzie średnia roczna temperatura powietrza wynosi ok.  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , panują warunki sprzyjające przetrwaniu permafrostu wykształconego w czasie ostatniego plejstocenijskiego ochłodzenia. Postawiono hipotezę, że w masywach górskich środkowej Europy, cechujących się surowymi warunkami klimatycznymi, przetrwanie zmarzliny możliwe jest także na niższych wysokościach. Hipotezę tę postanowiono przetestować na przykładzie Babiej Góry, gdzie średnia roczna temperatura dla piętra szczytowego oscyluje niewiele poniżej  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Postawiona hipoteza jest w mojej ocenie słuszna, a w aspekcie klimatycznym wybór regionu badawczego można uznać za logiczny. Istnieje wiele dowodów wskazujących na możliwość przetrwania reliktowych, izolowanych form permafrostu w Alpach (nawet poniżej górnej granicy lasu; Kneisel et al., 2000), a przede wszystkim w gruncie osłoniętym grubookruchowymi pokrywami zwietrzelinowymi (blokowiskami, gładzowiskami – precyzyjniejsze sformułowanie niż użyty regionalizm „gołoborza”). Pomiary termiczne w obrębie pokryw stokowych tego typu jednoznacznie wykazują, że latem izolują one podłoże od wysokich temperatur, a zimą utrudniają uformowanie ciągłej pokrywy śnieżnej i umożliwiają głęboką penetrację zimnego powietrza w głąb swojego profilu (Harris and Pedersen 1998, Kirchner et al. 2001, Gude et al. 2003, Žák et al. 2004, Kirchner et al. 2007, Zacharda et al. 2007). W załączonym artykule tworzącym składankę rozprawy (Dobiński et al. 2016) słusznie też omawiane są przykłady występowania sporadycznego permafrostu w środowisku jaskiniowym (opisywane choćby przez Hercman et al. 2010, Gradzińskiego et al. 2017), znane przecież z obszaru Karpat, ale co ciekawe występujące jeszcze na początkach XX w. w Sudetach. Wobec postawionej hipotezy, przy możliwie szeroko omówionych zagadnieniach klimatycznych, topograficznych, geologicznych i hydrogeologicznych obszaru testowego, brakuje mi jednak refleksji nad faktycznym wpływem podłoża geologicznego na potencjalne zachowanie permafrostu, a dokładnie rodzajem skał podłoża i ich cechami fizycznymi. Ma to bowiem podstawowy wpływ na potencjalne przetrwanie wieloletniej zmarzliny, do czego nawiązuje zresztą przeprowadzona dyskusja z otrzymanymi wynikami. Ale o tym w dalszej części recenzji.

Zagadnienie drugie realizowano w strefie peryglacialnej na wyższych szerokościach geograficznych, gdzie warunki do współczesnego tworzenia permafrostu powszechnie występują. Głównym celem prac było przede wszystkim metodyczne dopełnienie i zweryfikowanie materiału zebranego wcześniej przez W. Dobińskiego i M. Grabca (Dobiński 2011) dokumentującego agradację permafrostu w podłożu odsłanianym spod ustępującego lodowca górskiego. Ich zadaniem było obrazowanie elektrooporowe strefy przebadanej także przy użyciu georadaru (GPR). Nie pomijając niewątpliwych zalet GPR, a szczególnie szybkości pozyskiwanych danych, decyzja o zastosowaniu ERT dawała szansę otrzymania wyniku łatwiejszego w interpretacji pod względem cech termicznych podłoża. Mimo, że w tym przypadku schemat agradacji permafrostu istniał już wcześniej, można przyjąć, że przed wykonaniem badań nie podano wystarczająco przekonujących dowodów geofizycznych. Podjęte zamierzenie ten stan rzeczywiście zmieniło, stało się też podstawą do formułowania tezy na temat wykształcenia dwóch oddzielnych horyzontów permafrostu w dolinie Tarfała.

Doktorant, opisując problem badawczy na s. 6, nie uniknął jednak pewnej niejednoznaczności, pisząc o „relacji między lodowcem a permafrostem”. Podążając za nurtem definicyjnym obecnym w badaniach promotora pracy i przyjmując, że masa lodu tworząca lodowiec sama w sobie też ma cechy permafrostu, należałoby tu raczej pisać o „lodowcu i zmianach termicznych odsłanianego podłoża”. Oczywiście traktuję ten fragment tekstu wyłącznie jako skrót myślowy.

Trzecie zagadnienie poruszone w rozprawie dotyczy permafrostu na wybrzeżu morskim, a dokładniej w części lądowej wybrzeża morskiego na Spitsbergenie. Permafrost znajdujący się w strefie oddziaływania klimatu morskiego charakteryzuje się stosunkowo wysoką temperaturą (ok. – 1 do –3 °C) i jak zauważa doktorant, może szybciej reagować na zmiany środowiska niż grunt mocniej schłodzony. Powinien być więc objęty szczególną uwagą. Głównym celem podjętych badań było rozpoznanie cech i układu przestrzennego permafrostu na obranym obszarze badań. Za hipotezę, nie wyrażoną wprost, uznać należy, że specyficzne warunki wspomniane powyżej, w tym intruzja wód morskich w głąb lądu, decydują o właściwościach przemarzania podłoża. W tym miejscu muszę niestety wytknąć doktorantowi zbyt powierzchowne podejście do nakreślenia tła badań i cytowanej literatury w sporządzonym przez niego komentarzu do rozprawy, co dziwi z uwagi na gotowy, kompletny materiał w przygotowanej publikacji. Zwracam uwagę, że ani Baranowski (1968), ani Chmal et al. (1988) nie zajmowali się *stricte* zagadnieniem miąższości pokrywy osadowej pokrywającej badany obszar wybrzeża. Co więcej, zawarte przez nich spostrzeżenia dotyczące możliwości oddziaływania wody morskiej na permafrost w lądowej części wybrzeża, to naprawdę pojedyncze zdania przedstawione w formie przypuszczeń, w przypadku Baranowskiego (1968) formułowane zresztą na podstawie pomiarów termicznych prowadzonych niemal przy samej linii brzegowej, a w przypadku Chmala et al. (1988) zestawione też z możliwością występowania wód geotermalnych.

Tutaj podjętą tematykę uważam chyba za najbardziej istotną i odkrywczą, i to nie z tego względu, że sam się nią zajmuję. Ma ona fundamentalne znaczenie nie tylko dla prognozowania dalszych przekształceń środowiska w strefie wybrzeży Arktyki, ale i funkcjonowania infrastruktury posadowionej na permafroście strefy brzegowej wysokich szerokości geograficznych. Co ciekawe zagadnienie występowania intruzji morskiej w głąb lądu na wybrzeżach Arktyki do niedawna nie było szerzej rozpoznane, a istniejące schematy rozwinięcia permafrostu zbyt uproszczone, a w wielu przypadkach po prostu błędne i w tej postaci przerysowywane / powtarzane w innych pracach (tutaj

warto porównać prace hydrogeologiczne tworzone na podstawie badań w okolicach Longyearbyen (np. Liestøl 1975, Haldorsen et al. 2010, Ploeg et al. 2012).

## Uwagi dotyczące metodyki badań i etapów ich realizacji

Podstawą warsztatu badawczego doktoranta jest zastosowanie metod geofizycznych oraz interpretacja uzyskanych danych pomiarowych. Do jego specjalności należy bez wątpienia metoda tomografii elektrooporowej, ale w pracach wykorzystano także GPR oraz wielokanałową analizę fal powierzchniowych (ang. *Multi-Channel Analysis of Surface Waves Surveys*, MASW). Gwarancją dobrej jakości prowadzonych pomiarów zapewniała współpraca z uznanymi specjalistami z zakresu geofizyki, w tym M. Grabcem i M. Majdańskim.

W tym miejscu szerzej odniosę się do badań elektrooporowych, które uważam, zakładam że słusznie, jako główny wkład doktoranta w dzieło. Warte podkreślenia jest, że doktorant traktuje pomiary i przetwarzanie danych nie jako czarną skrzynkę, ale udowadnia, że panuje nad całym procesem zbierania i analizy danych. Otrzymywane dzięki pomiarom wartości oporności elektrycznej podłoża są wartościami pozornymi, niejako uśrednionymi dla całego profilu badanego podczas pojedynczego pomiaru. Uzyskanie modelu oporności właściwej (rzeczywistej) wymaga przeprowadzenia inwersji, a więc dopasowania obliczonej odpowiedzi modelu do skończonego zestawu danych pomiarowych. Duża część pracy doktoranta polegała więc na testowaniu otrzymywanych rozwiązań i predefiniowanych parametrów inwersji – doktorant pisze o stosowaniu 50-ciu różnych procesów inwersji. Finalnie możliwe było więc wybranie do dalszej interpretacji tych rozkładów oporności, które w oparciu o wiedzę na temat badanego terenu najlepiej mogły odwzorowywać rozkład oporności ośrodka skalnego. Podejmowano także próby modelowania syntetycznego, tj. takiego, w którym to operator zadaje strukturę ośrodka i generuje odpowiedź modelu na zadany układ pomiarowy i dopiero później poddaje dane standardowej inwersji. Jest to szczególnie przydatne do określania struktur nawiązujących do skomplikowanej budowy geologicznej lub gdy struktury te są niezgodne z założeniami trójwymiarowego rozkładu oporności, pozwalając unikać błędnych interpretacji. Doktorant w swoich analizach stosuje także rutynowo autorską procedurę analizy współczynnika głębokości wykonywanego badania (ang. *depth of investigation index*, DOI; Glazer et al. 2014), co ma na celu określić dolną granicę rzetelności modeli opornościowych oraz miejsca występowania artefaktów inwersji. Dodam, że problem spadku jakości danych geofizycznych wraz z głębokością obrazowanego profilu jest znany, aczkolwiek często bywa niewystarczająco dyskutowany w prowadzonych analizach.

Znając specyfikę modelowania inwersyjnego ERT w oprogramowaniu Res2Dinv (Geotomo, Malesja), doceniam wnikliwe i przede wszystkim krytyczne podejście doktoranta do jakości interpretacyjnej otrzymywanych modeli. Choć nie mam przekonania, czy przedstawione opisy metodyki modelowania pozwoliłyby komukolwiek na wierne odtworzenie tego procesu bez podania dodatkowych danych, to zwracam uwagę, że z reguły jest to proces eksperymentalny. Nie mam wątpliwości, co do wysokich kwalifikacji doktoranta w tym zakresie.

Chciałbym się odnieść jeszcze do metodyki prowadzenia prac terenowych. Stosowano tutaj ciągi pomiarowe z odstępami elektrod co 5 m, a w celu uszczegółowienia wyników (poprawienia rozdzielczości, zazwyczaj kosztem długości profilu i głębokości prospekcji) odstępy te zmniejszono

nawet do 0,5 m. Co ważne, część pomiarów była powtarzana z wykorzystaniem innej metody akwizycji elektrod (stosowano takie metody jak: Schlumberger, dipol-dipol, Wenner- $\alpha$ ). Z pewnością doktorant borykał się z oczywistymi trudnościami przy stosowaniu metody elektrooporowej, w tym uciążliwościami w transportowaniu i wnoszeniu sprzętu, wyznaczaniu ciągów pomiarowych po linii prostej przy istniejących przeszkodach terenowych, niewystarczającym uziemieniu elektrod, zmianami pogody w trakcie kampanii pomiarowej, awariach zasilania, czy też niszczenia sprzętu przez zwierzęta – dokuczliwe zwłaszcza na Spitsbergenie. Nie są one wyraźnie wzmiankowane w tekście, jednak musiały ważyć na podejmowanych w terenie decyzjach.

Przyglądając się sposobie planowania pomiarów geofizycznych, podniosę pod dyskusję dwie sprawy: (i) czy w przypadku badań na Diablaku, niemożliwe było przejście linią pomiarową przez rumowisko skalne obsypujące od strony NNE kopułę szczytową? Biorąc pod uwagę istniejący stan wiedzy, to właśnie pod nim byłyby największe szanse na zachowanie ośrodka niskiej temperatury skał, a w sytuacji jego drobnych rozmiarów, potencjalnie wykonane ciągi pomiarowe mogłyby go mijać. Zdaję tu sobie sprawę z konieczności stosowania być może nasączonych wodą gąbek w celu zapewnienia odpowiedniego kontaktu elektrod z podłożem czy też stosunkowo niewielkiej mocy aparatury ABEM (250W ?). Dodatkowo mierząc ośrodek skalny o wierzchniej, słabo przewodzącej prąd części (powietrze w pustkach między elementami skalnymi), spodziewać można się istotnych utrudnień interpretacyjnych uzyskanych wyników (Mościcki 2010). Działania takie są jednak możliwe, co pokazują liczne prace prowadzone na lodowcach gruzowych. (ii) Na ile duża ilość przeprowadzonych pomiarów na wybrzeżu morskim w rejonie Hornsundu wpłynęła na jakość analizy i czy nie dało się przeprowadzić metodą *roll-along* jednego syntetycznego profilu od podstawy stoku Fugle'a po sam brzeg morski, zastępując profile Hor7, Hor6 i Hor 9? Na ile potrzebne okazały się profile poprzeczne do linii spadku: Hor8 i Hor10? Nie kwestionując chęci jak najszerszego rozpoznania geofizycznego tego obszaru, stawiam tezę, że być może lepiej było skupić się na wykonaniu mniejszej ilości zaplanowanych ciągów pomiarowych, ale powtórzyć pomiary w odstępie kilku tygodni, ponieważ dynamika termiczna warstwy czynnej zmarzliny i jednocześnie zmiany ilość wody w stanie ciekłym w podłożu są w sezonie letnim w tej strefie znaczne. Uwagi te, jak wcześniej napisałem, mają charakter dyskusyjny i nie podważają obranych schematów prac pomiarowych.

## **Uwagi dotyczące uzyskanych wyników, ich interpretacji i wniosków końcowych**

Wszystkie przedstawione do recenzji artykuły naukowe przeczytałem, zresztą bezpośrednio po ich opublikowaniu, z dużym zainteresowaniem, ponieważ podejmowana tematyka pokrywa się z moimi zainteresowaniami badawczymi. Być może nie będę tu dlatego obiektywny, pisząc, że w mojej ocenie zaprezentowane wyniki są wartościowe i ważne. Wyrażam jednak nadzieję, że podobnie traktować je będą i inne osoby zainteresowane zagadnieniami permafrostu, czy też regionalnymi badaniami geologiczno-geomorfologicznymi.

Badania elektrooporowe przeprowadzone w piętrze szczytowym Babiej Góry przyniosły zobrazowanie fliszowych serii magurskich, gdzie różnice oporności elektrycznej podłoża układały się zgodnie z granicami między poszczególnymi, różniącymi się między sobą pod względem cech litologicznych i strukturalnych warstw piaskowca z możliwymi przetawieniami łupków. Najwyższe wartości badanej cechy uzyskano dla warstwy przypowierzchniowej, najsilniej zwietrzałej, spękanej,



zawierającej pustki powietrzne i nabierającej w sąsiedztwie cech pokrywy grubofrakcyjnej (w tekście oryg. „gołoborza”).

W konkluzji opublikowanego na podstawie wykonanych badań artykułu autorzy uznali, że mimo sprzyjających warunków topoklimatycznych, możliwość przetrwania relikтового permafrostu na Babiej Górze jest niska. Najwyższe z uzyskanych wartości oporności właściwej, rzędu 3,5 k $\Omega$ .m, choć bardzo wysokie jak na piaskowiec (co spowodowane jest istotną zmianą jego struktury w górnej części profilu wietrzeniowego), są wciąż za niskie w porównaniu do wyników otrzymywanych dla ciał skalnych znajdujących się w stanie przemarznięcia. W temperaturze 0 °C drastycznie obniża się zdolność przewodzenia prądu elektrycznego przez ciała skalne, a otrzymane wartości oporności (aczkolwiek z wyjątkami) z reguły są wyższe niż 10 k $\Omega$ .m, przyjmując też wartości o rzędy wielkości większe, co w praktyce oznacza brak przewodności. Autorzy niepowodzenie w poszukiwaniu permafrostu fosylnego na Babiej Górze tłumaczą szczególnymi warunkami geologicznymi i głęboką penetracją wody z powierzchni w głąb górotworu. Warunki hydrogeologiczne, a przede wszystkim krenologiczne tego masywu są zresztą dobrze znane, m.in. dzięki kartowaniu prof. A. Łajczaka. Finalnie wysunięta zostaje także propozycja badań na potencjalnie lepszym stanowisku w masywie granitowym Chopoka (2024 m n.p.m.) w Tatrach Niżnych.

Przekornie można napisać, że badania Chopoka pod wieloma względami powinny być wykonane w pierwszej kolejności lub zamiast badań Diablaka, i to nie ze względu na różnicę wysokości na korzyść Chopoka, ale właśnie bardziej odpowiednie podłoże skalne, a dokładniej przepuszczalność i pojemność wodną ośrodka skalnego. Granit, w związku ze swoją małą porowatością, przeciętnie 0,76%, nie stanowi ośrodka gromadzącego i przewodzącego wodę, nie licząc stref głęboko zwietrzałych i stref uskokowych zawierających rozwinięty system szczelin. Piaskowiec wręcz odwrotnie. Flisz karpacki charakteryzuje się najsilniej przepuszczalną strefą przypowierzchniową. Wartości współczynnika filtracji są rzędu  $k = n \cdot 10^{-6}$  do  $k = n \cdot 10^{-5}$  m/s (Paszkiwicz, 2009). Mam nadzieję, że planowane badania Chopoka uda się w przyszłości przeprowadzić. Z chęcią przedyskutuję wyniki pomiarów otrzymywane na granitach w odniesieniu do badań geoelektrycznych prowadzonych w Karkonoszach.

Prace badawcze prowadzone u czoła lodowca Storglaciären w Szwecji pozwoliły w sposób czytelny i stosunkowo jednoznaczny zobrazować permafrost, cechujący się tu bardzo wysokimi wartościami oporności elektrycznej (powyżej 12 k $\Omega$ .m), oraz warstwę czynną o miąższości 2,5–4 m. Pomiaru prowadzone z małymi odstępami między elektrodami wykazały dodatkowo nieregularną, przypowierzchniową warstwę utworów gliniastych przykrytych rumoszem skalnym o równie wysokich opornościach współtworzącą warstwę czynną. Miąższość i ciągłość strefy skrajnie wysokich oporności podłoża wzrasta wraz z oddalaniem się od czoła lodowca, co ma według autorów dobrze tłumaczyć proces współczesnego przemarzania gruntu. Stwierdzone anomalie o znacząco podwyższonych opornościach (nawet do 190 k $\Omega$ .m) po analizie wspartej modelowaniem syntetycznym, zinterpretowano jako permafrost związany z obecnością jądra lodowego moreny czołowej lodowca. Na podstawie wynikowego obrazowania inwersyjnego autorzy rozróżnili (załącznik III) dwa rodzaje permafrostu w podłożu badanej doliny. Znajdujący się głębiej i skutecznie izolowany od strumienia ciepła od powierzchni terenu permafrost fosylny oraz kształtowany współcześnie permafrost przy powierzchni terenu. Stwierdzono, że obie te struktury łączą się przed czołem lodowca Storglaciären. Wraz z wynikami pomiarów GPR dało to podstawy do rozwinięcia modelu integrującego środowisko glacialne z peryglacialnym W. Dobinskiego. W tej części rozprawy pan

Michał Grazer bardzo rzetelnie opisuje wkład poszczególnych współautorów w uzyskane rezultaty badań.

Niepodważalnym i bardzo wartościowym osiągnięciem tej części rozprawy jest dostarczenie bezpośrednich dowodów wspierających koncepcję interakcji między środowiskiem glacialnym i peryglacialnym, w tym rozróżnienie masy lodu ciepłego od masy lodu zimnego lodowca oraz granicy między nimi (CTS – *cold-temperature transition surface*). Dzięki pomiarom GPR granicę tę (CTS) świetnie zobrazowano, podobnie jak strefę kontaktową przymarzniętego do podłoża lodu zimnego w strefie czołowej lodowca, gdzie przechodzi ona w strefę permafrostu ośrodka skalnego. Możliwe było połączenie uzyskanych danych geofizycznych z dwóch środowisk (glacialnego i peryglacialnego) pozyskanych innymi metodami. Mniej entuzjastycznie podchodzę do interpretacji zmierzających w kierunku rozdzielania wiekowego permafrostu na podstawie pomiarów ERT. Tezy dotyczące dwóch rozdzielnych wiekowo poziomów permafrostu w dolinie Tarfala rozwinięte zostały w osobnym artykule Dobińskiego i Glazeta (2018) z załącznika III. Tekst szeroko nakreśla przedmiot rozważań i mocno opiera się na modelach konceptualnych. Silnie brakuje mi w nim jednak danych obserwacyjnych i dyskusji na temat zagadnień hydrogeologicznych i krążenia wód podziemnych, w tym w sposób sufozyjny, co potencjalnie mogłoby być czynnikiem skutecznie różnicującym oporności elektryczne podłoża. Należy się spodziewać, że wody ablacyjne, płynące w spągu lodowca pod dużym ciśnieniem, mogą silnie drenować podłoże także w strefie marginalnej. Niestety to pole badawcze, patrząc na stan wiedzy prezentowanej w literaturze, pozostawia wciąż wiele otwartych kwestii. Zachęcam doktoranta do odniesienia się do tej kwestii, zwłaszcza, że lepiej zna lokalne uwarunkowania środowiskowe doliny Tarfala. Doceniam tym samym, że uzyskane wyniki pozwalają na dyskusję. Świadczy to o ich dużym potencjale.

Badania przeprowadzone na Ziemi Wedela Jarlsberga w rejonie Fiordu Horn na Spitsbergenie zaowocowały najbogatszym zbiorem przetworzonych i interpretowanych danych geofizycznych prezentowanych w artykułach zebranych w rozprawie. Pozwoliły one na zobrazowanie zmienności oporności elektrycznej podłoża w bardzo szerokiej, jak na standardowe badania ERT, strefie od stożków napływowo-osypiskowych u podnóża Fugleberget do najmłodszej z wyniesionych teras morskich przy brzegu fiordu. Rozpoznanie tej strefy konfrontowano z mapą utworów czwartorzędowych Pękali (1989).

Co udało się stwierdzić na podstawie wykonanej kampanii pomiarowej? Dobrze rozpoznano warstwę czynną, wskazując na głębokie tajanie podłoża do 4 m p.p.t. Na odcinku przebiegającym po powierzchni wyniesionych teras morskich badania ERT zestawiono z wynikami analizy MASW, co finalnie umożliwiło wyłączenie z modeli inwersyjnych partii, za których powstanie odpowiedzialne były zbyt skomplikowane warunki geologiczne przy powierzchni terenu. Wreszcie udowodniono, że wraz z oddalaniem się od brzegu morskiego permafrost cechują coraz wyższe oporności. Sformułowano hipotezy, że wynika to albo z transgresji morskiej, albo z działalności wód ablacyjnych lodowca Hansbreen, skutkującymi przemyciem sedymentu i usunięciem drobniejszej frakcji. Dotyczy to zewnętrznego odcinka najdłuższego z analizowanych profili, znajdującego się w zasięgu wąskiego (50–100 m) sandru rozwiniętego wzdłuż moreny końcowej lodowca Hansa. Proszę zauważyć, w kontekście stawianych hipotez, że jest on elementem stosunkowo młodym w morfologii obszaru i powstał współcześnie do formowania moreny końcowej lodowca Hansa w LIA. Badania ERT opublikowane niedawno (Kasprzak 2020) pokazują podobną sytuację na podłożu skał litych, jest więc

to temat do dalszej dyskusji i być może struktura podłoża nie będzie tu czynnikiem tak decydującym jak oddalenie od morza czy pośrednio wiek wyniesienia powierzchni terasy morskiej.

W prezentowanym artykule z załącznika III stwierdzono, że najmłodsza terasa morska (4,5–6 m n.p.m.) jest w całości wolna od struktur wskazujących na obecność permafrostu związanego z lodem, co nie wyklucza jednocześnie występowania permafrostu w stanie kriotycznym (bez przejścia fazowego wody z cieczy w lód). Analiza modeli inwersyjnych doprowadziła do wniosków, że intruzja wody morskiej sięgać może nawet do 450 m w głąb lądu. Oba te wnioski potwierdzają podobne spostrzeżenia z prac geofizycznych prowadzonych wcześniej w okolicy (Kasprzak et al. 2017, Strzelecki et al. 2017). Uzyskane wyniki dały podstawę do stworzenia syntetycznego modelu zasięgu i formy wykształcenia permafrostu w strefie podstokowej Fugleberget. Zaprezentowano go w formie graficznej jako fig. 11. omawianego artykułu.

Sprawą dyskusyjną pozostaje wyznaczenie zasięgu przestrzennego stropu (*table*) i spągu (*base*) permafrostu w strefie brzegu morskiego. Z uwagi na oczywiste ograniczenia powodowane prowadzeniem pomiarów wyłącznie na lądzie, granicę tę autorzy prowadzą hipotetycznie, wskazując możliwość występowania permafrostu podwodnego – w głębszych poziomach podłoża pod dnem morskim. Na temat tego podejścia do problemu chętnie podyskutuję ze wszystkimi autorami artykułu. Jak dotąd nie przedstawiono dowodów na istnienie permafrostu podwodnego SW wybrzeży Spitsbergenu (nie licząc kalkulacji Werenskiold z 1922 r. i jest to niezgodne z tworzonymi później modelami termicznymi (Kristensen et al. 2008). Przedstawiony artykuł uważam za duże osiągnięcie naukowe doktoranta, dobrze zwieńczające przedstawiony dorobek.

## Uwagi dotyczące konstrukcji rozprawy

Konstrukcja rozprawy scharakteryzowana została ogólnie już w rozdziale pt. „Formalna strona rozprawy doktorskiej”. Jest ona poprawna. Zgodnie z wymienianymi wcześniej uwagami być może jej czytelnik będzie czuł niedosyt pewnych informacji po zapoznaniu się z wstępnym opisem poprzedzającym składankę artykułów. Należy jednak pamiętać, że zadaniem tego opisu nie jest wyczerpanie wszystkich informacji pojawiających się w załączonych publikacjach. W przesłanym mi tomie nie zamieszczono streszczenia treści w języku angielskim.

Styl wypowiedzi w tekstach napisanych w języku polskim uważam za dobry i komunikatywny. Z uwagi na oczywiste uwarunkowania nie podejmuję się oceny stylu wypowiedzi autora / autorów w języku angielskim. Nie jestem *native speakerem*, a co ważniejsze, teksty te podlegały wcześniejszym recenzjom i korektom redakcyjnym.

Chciałbym natomiast zwrócić uwagę na nieprawidłowości typograficzne, których doktorant nie ustrzegł się w tekście rozprawy, niepoddany rzecz jasna korekcie profesjonalnego redaktora. Są to zasady dotyczące tekstów drukowanych, które nie wchodzą w zakres nauczania języka polskiego na żadnym etapie edukacji szkolnej i nie znajdują się w programie studiów. Tym niemniej, mając na uwadze potencjalną możliwość redagowania różnych materiałów w czasie pracy na uczelni i nierozdzielne połączenie nauki z drukiem, a więc językiem pisanym, wskazuję na potrzebę rozróżniania i odpowiedniego stosowania znaków „dywiz”, „pauza”, „półpauza” i „minus”. Przykładowo zakresy wartości rozdzielamy pauzą lub coraz częściej półpauzą, np. 2015–2021, a nie dywizem – w tekście brak konsekwencji, co najwyraźniej widać w bibliografii. Niestety zasady te nie

są zachowywane nawet przez redakcję techniczną czasopisma, w którym opublikowano jeden z załączonych artykułów. Podobnie formatowanie tekstu nie może zawierać zdublowanego oddzielania od siebie akapitów – albo stosujemy wcięcie akapitowe, albo odstęp akapitowy. Nie łączymy tych sposobów. Inne zauważone potknięcia typograficzne pominię. Sprawy te nie są *meritum* oceny i nie ważą o ogólnie pozytywnym odbiorze konstrukcji rozprawy.

## Konkluzja

Przechodząc do zakończenia recenzji, chciałbym stwierdzić, że mimo podnoszonych wątpliwości i drobnych mankamentów, rozprawa doktorska pana mgr Michała Glazera zawiera istotny wkład badawczy w rozpoznanie obszarów występowania permafrostu, rozpoznanie jego struktury, podobnie jak stosowania obrazowania geofizycznego. Oceny przedstawionego dorobku doktoranta nie ułatwiają fakty, że rozprawa realizowana była według raczej ścisłego planu projektu grantowego i odzwierciedla w pewnej mierze wnioski jego kierownika, a więc promotora rozprawy. Tym niemniej doktorant starał się jasno w komentarzu do artykułów sygnalizować, gdzie występowała granica między dorobkiem własnym i wkładem współautorów opublikowanych artykułów. Być może było to jedną z największych trudności przy tworzeniu finalnej wersji rozprawy.

Bez wątpliwości niemożliwe byłoby otrzymanie i zaprezentowanie wyników badań bez umiejętności analitycznych i biegłości w posługiwaniu się metodami geofizycznymi doktoranta. W tym miejscu wyrażam pewien żal, że jak dotąd nie opublikował on artykułu przeglądowego na temat stosowania tomografii elektrooporowej w badaniach geologiczno-geomorfologicznych, ponieważ, jak się wydaje, jest jedną z niewielu osób w Polsce, która ma ku temu odpowiednie predyspozycje – wiedzę teoretyczną i praktykę. Opublikował on natomiast już inny artykuł metodyczny związany z analizą danych uzyskanych w badaniach elektrooporowych (Grazer et al., 2014, *Application of DOI index...*, *Studia Quaternaria* 31). Oczywiście uwagę tę wstawiam jedynie na marginesie – przedstawiony dorobek pisarski w postaci czterech artykułów, w tym trzech indeksowanych w bazie WoS, wystarczająco potwierdza wiedzę i umiejętności badawcze doktoranta.

W konkluzji stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska Pana mgr. Michała Glazera pt. „Charakterystyka obszarów podatnych na występowanie wieloletniej zmarzliny z zastosowaniem metody inwersyjnego obrazowania oporności na przykładzie rejonu podszczytowego Babiej Góry, przedpola Storglaciären (Tarfala) oraz zlewni Fuglebekken (Spitsbergen)” wykonana pod kierunkiem dr hab. Wojciecha Dobińskiego spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim z uwzględnieniem kryteriów wskazanych w art. 13.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późn. zmianami) i wnioskuję o dopuszczenie pracy do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Autorowi rozprawy gratuluję zakończenia tego etapu procesu naukowego, życzę udanej publicznej obrony rozprawy i realizacji dalszych planów.

*Michał Kleszcz*