



Warszawa, 26.08.2018 r.

Prof. dr hab. Jerzy Nawrocki

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

ul. Rakowiecka 4

00-975 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Dudzisz z Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk pt. „Palaeomagnetic and rock magnetic investigations of the Triassic rocks from Svalbard Archipelago”, wykonanej pod kierunkiem dr. hab. Rafała Szaniawskiego prof. IGF PAN oraz dr. Krzysztofa Michalskiego (opiekun pomocniczy).**

Recenzję tę wykonano w związku z pismem w tej sprawie Z-cy Dyrektora ds. Naukowych Instytutu Geofizyki PAN (znak NS-420-11/18), informującym o powołaniu mnie przez Radę Naukową IGF PAN na recenzenta.

#### Zakres rozprawy.

Przedłożona rozprawa składa się ze streszczenia, wstępu, krótkiej prezentacji wyników, a także krótkiego podsumowania i wskazania perspektyw dalszych badań dedykowanych rozwiązaniu problemów, które w ramach niniejszej rozprawy nie zostały rozwiązane. Zasadniczym elementem rozprawy doktorskiej Pani mgr Katarzyny Dudzisz są jednak trzy załączniki przygotowane w postaci kopii publikacji, ujmujących w pełni jej zakres. Publikacje te ukazały się w czasopismach *Polar Research* (IF=1.5), *Tectonophysics* (IF=2.686) i *Geological Magazine* (IF=2.341). Ich pełne referencje są następujące:

- A. Dudzisz K., Szaniawski R., Michalski K., Manby G., 2016. Applying the anisotropy of magnetic susceptibility technique to the study of the tectonic evolution of the West Spitsbergen fold-and-thrust belt. *Polar Research*, v. 35, 31683.
- B. Dudzisz K., Szaniawski R., Michalski K., Chadima M., 2018. Rocks magnetism and magnetic fabrics of the Triassic rocks from the West Spitsbergen Fold-and Thrust Belt and its foreland. *Tectonophysics*, v. 728-729, 104-118.
- C. Dudzisz K., Michalski K., Szaniawski R., Nejbort K., Manby G., 2018. Palaeomagnetic, rock-magnetic and mineralogical investigations of the Lower Triassic Vardebukta Formation from the southern part of the West Spitsbergen Fold and Thrust Belt. *Geological Magazine*, First View, DOI: [https:// doi.org?10.1017/S0016756817001145](https://doi.org/10.1017/S0016756817001145).

Pani mgr Katarzyna Dudzisz jest pierwszą autorką każdej z wymienionych prac, a jej udział w ich przygotowaniu wynosił odpowiednio 55%, 65% i 50%.

Publikacja „A” zawiera wyniki badań anizotropii podatności magnetycznej (AMS) skał triasowej formacji Vardebukta z pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu, w jego fragmencie odsłaniającym się w rejonie Fiordu Hornsund. W sumie analizie poddano około 160 próbek tej formacji. Poza pomiarami AMS wykonano również badania nośników magnetycznych za pomocą analiz termomagnetycznych, w których analizowano zmiany wartości podatności magnetycznej oraz zmiany nałożonej w trzech kierunkach i trzech różnych polach izotermicznej pozostałości magnetycznej (tzw. test Lowriego). Ponadto dla wybranych próbek analizowano parametry pętli histerezy. Parametry te, łącznie z generalnie niską podatnością, wskazują, że nośnikiem podatności magnetycznej są głównie minerały paramagnetyczne. Najistotniejszym wnioskiem z tej pracy jest to, że w części odsłonięć osie maksymalnej podatności magnetycznej dobrze korespondują z osią maksymalną elipsoidy naprężenia tektonicznego. Stąd autorzy uznali, że metoda AMS może być z powodzeniem zastosowana w innych obszarach pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu. I tak też się stało. W publikacji „B” badaniami objęto wychodnie triasu w rejonie Belsundu i Sassenfjorden. Ten drugi obszar wybrano zapewne po to, aby porównać zapis AMS z miejscem, gdzie w odległości około 50 km od pasa fałdowo-nasunięciowego warstwy triasowe leżą płasko. Szczególny nacisk w tej pracy położono na badania petromagnetyczne. Poza stosowaną wcześniej metodyką, nowością są tutaj pomiary anizotropii w wysokich polach za pomocą specjalnego magnetometru (ang. torque magnetometer), co odbyło się w laboratorium ETH w Zurichu. Nakładanie izotermicznej pozostałości magnetycznej wykonywano również w zakresie niskich temperatur. Badania te potwierdziły wcześniejszą obserwację, że elipsoidę AMS kształtują głównie minerały paramagnetyczne. Pomiary AMS pozwoliły na wydzielenie trzech grup próbek o różnych właściwościach. Pierwsza grupa o najniższej podatności magnetycznej i elipsoidzie AMS o zbliżonych wartościach foliacji i lineacji łączona jest głównie z gruboziarnistą litologią. Druga grupa o nieco wyższych wartościach podatności magnetycznej wykazywała spłaszczony kształt elipsoidy AMS. Grupa trzecia, o najwyższych wartościach podatności magnetycznej, charakteryzowała się wydłużonym lub zbliżonym do kuli kształtem elipsoidy AMS, a także zamianą miejscami osi maksymalnej i minimalnej podatności magnetycznej (ang. inverse magnetic fabrics). Zaobserwowano również różnice w wielkości frakcji ferromagnetycznej w skałach triasowych z pasa fałdowo-nasunięciowego i jego przedpola. Na pierwszym obszarze dominują ziarna pseudo-jednodomenowe magnetytu, natomiast na drugim – ziarna jednodomenowe. Zamianę

miejscami osi elipsoidy AMS w części próbek wy tłumaczono obecnością węgla żelaza, najprawdopodobniej syderytu. Wyrażona poprzez AMS struktura magnetyczna skał triasowych z pasa fałdowo-nasunięciowego zdaniem autorów odzwierciedla kompresyjny etap ewolucji tego pasa a także niski stopień deformacji wewnętrznych. Osadowa struktura magnetycznej skał triasowych z obszaru Sasseenfjorden charakteryzuje się uporządkowaną w kierunku NNE-SSW lineacją, co według autorów odzwierciedla kierunek triasowych prądów morskich, w reżimie których zachodziła sedymentacja.

Publikacja „C”, skoncentrowana na triasowych skałach formacji Vardebukta z rejonu fiordu Hornsund, rozwija wcześniejsze badania w kierunku analiz kierunków paleomagnetycznych, a także bardziej wyrafinowanych studiów petrologiczno-mineralogicznych. Dla 5 próbek wykonano również analizy refleksyjności wityryny. Badania próbek z 13 lokalizacji ujawniły bardzo duże zróżnicowanie własności magnetycznych skał tej samej formacji na dosyć małym obszarze. Natężenia naturalnej pozostałości magnetycznej zmieniają się w zakresie trzech rzędów wielkości a jej struktura jest skomplikowana w wyniku częściowego nakładania się składowych o normalnej i odwrotnej polarności. Mimo otrzymania kierunków o zmiennej polarności, składowe charakterystyczne na poziomie zarówno próbek, jak i uśrednione dla lokalizacji, nie są antypodalne, nie spełniają na żadnym poziomie rozfałdowania warstw wymogów testu inwersji. Ich najlepsza zbieżność następuje po całkowitej korekcie tektonicznej, kiedy to inklinacja kierunku charakterystycznego przyjmuje strome wartości (70-80°). Stąd pojawia się wniosek, że ta składowa pozostałości magnetycznej utrwaliła się po jurze, ale przed głównym epizodem deformacji skał pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu. Magnetyt powstały z siarczków żelaza jest jej głównym nośnikiem. Pozostałości pierwotnego namagnesowania mogły przetrwać w zawierających magnetyt litoklastach i ziarnach kwarcowych. Badania refleksyjności wityryny, wsparte wynikami wcześniejszych badań termochrometrycznych, wykazały, że południowa część pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu była podgrzana do temperatur niższych od 200°C. Na figurze 15tej odniesiono bieguny paleomagnetyczne, otrzymane dla badanych sześciu lokalizacji, do krzywej pozornej wędrówki bieguna paleomagnetycznego charakterystycznego dla Bałtyki. Tylko dwa z nich można uznać za zbieżne z krzywą referencyjną.

Istotne problemy nie rozwiązane podczas kilkuletnich badań lub otwarte dzięki nim Pani mgr Katarzyna Dudzisz opisała w krótkim rozdziale rozprawy zatytułowanym „Outlook for future”. Przedstawione tam główne wyzwania na przyszłość to:

- dokładna identyfikacja nośników namagnesowania dzięki szerszej aplikacji diagramów FORC oraz analizy mikroskopowej wysokiej rozdzielczości, włączając w nią badania elektronowym mikroskopem transmisyjnym (TEM);
- rozszerzenie badań AMS na północną część pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu w celu dalszej weryfikacji modelu kompresyjnego jego powstania;
- rozszerzenie badań AMS w kierunku poza-fazowej AMS (ang. out-of-phase AMS), co powinno pozwolić na znacznie szybszą i dokładniejszą niż dotychczas separację struktury ferromagnetycznej i paramagnetycznej skał, a w konsekwencji dostarczyć więcej informacji na temat czynników tektonicznych porządkujących zapis AMS.

#### Ocena rozprawy.

*Elementy pozytywne, w tym zasługujące na wyróżnienie.*

Pani mgr Katarzyna Dudzisz właściwie zaplanowała badania, dostosowując ich metodykę do postawionych celów. Wykazała się przy tym dużą umiejętnością integracji danych z wielu metod analitycznych. Na uwagę zasługuje prezentowana przez nią wnikliwa i wszechstronna analiza nośników magnetycznych, a także biegłość w prezentacji i interpretacji danych określających anizotropię podatności magnetycznej badanych skał. Bardzo przemyślana, czytelna i wręcz wzorowa graficznie jest prezentacja wyników badań w przedłożonych publikacjach. Obszar wiedzy o minerałach magnetycznych i związku zapisu anizotropii podatności magnetycznej ze zjawiskami geologicznymi ewidentnie powiększa się z każdą kolejną publikacją. Kandydatka właściwie interpretuje wyniki różnorodnych badań petromagnetycznych, co dowodzi, że w pełni opanowała warsztat badawczy. Wyniki z obszaru, w którym się specjalizuje, uzupełnia o dane z innych metod badawczych (np. refleksyjność wityrynit). Dla rozwiązania konkretnego problemu nie waha się wykonywać badań innych niż standardowe, takich jak chociażby analizy anizotropii magnetycznej w wysokich polach, przeprowadzone przez nią w ETH Zurich.

Zastosowanie tutaj badań AMS jest nowym podejściem metodycznym do problemu genezy pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu, zapewne oczekiwanym przez geologów strukturalnych zajmujących się tektogenezą Spitsbergenu. Wszechstronna analiza minerałów magnetycznych już na tym etapie badań pozwoliła na odtworzenie elementów historii diagenety triasowych formacji skalnych i zróżnicowania ich własności magnetycznych.

Rozprawa i badania Pani mgr Katarzyny Dudzisz zasługują na szczególne wyróżnienie. Nie trudno zauważyć w niej konsekwentne, bardzo przemyślane dążenie do rozwiązania za pomocą metod petro- i paleomagnetycznych bardzo istotnego ale i zarazem trudnego problemu tektogenezy pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu. Co więcej, nie zawsze spotykana w środowisku naukowym wola szybkiego upubliczniania wyników badań została wyrażona tutaj faktem, że w bardzo krótkich odstępach czasu Pani mgr Katarzyna Dudzisz podsumowuje etapy badań, publikując wyniki w czasopismach o znaczących współczynnikach wpływu. Wyróżniająca jest też umiejętność doboru metodyki badań i organizacji zespołu badawczego, który zapewniał jak najbardziej profesjonalną dokumentację i interpretację tych elementów prac, w których kandydatka się nie specjalizuje, lub ma w ich zakresie jeszcze zbyt małe doświadczenie. Po wykonaniu prac ujętych w rozprawie, Pani mgr Katarzyna Dudzisz potrafiła zdefiniować stan niewiedzy, a także nakreślić zakres i metodykę działań, które mają doprowadzić do osiągnięcia postawionych celów naukowych. Oceniając jej dorobek nie można pominąć też faktu, że badania wykonała w skomplikowanym i trudnym pod względem logistycznym terenie. Ważnym i zasługującym na wyróżnienie osiągnięciem rozprawy jest stwierdzenie, że skały triasowe południowej części pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu uległy silnemu przemagnesowaniu jeszcze przed deformacją skał, ale już po okresie jurajskim. Dalsze prace powinny pozwolić na dowiązanie tego zdarzenia do procesów magmowych lub/i tektonicznych, które zapewne miały wpływ na regionalne utlenienie siarczkowych minerałów żelaza.

#### *Uwagi krytyczne.*

Kandydatka często w przedłożonych publikacjach rozciąga wnioski oparte o wyniki badań względnie niewielkiego obszaru badanych struktur geologicznych na całe prowincje



tektoniczne Spitsbergenu. Szczęśliwie, w kilku miejscach, zwłaszcza związanych z planami dalszych prac, przychodzi niezbędna refleksja co do potrzeby zwiększenia przestrzennej reprezentatywności wyników badań. Dysponując danymi AMS tylko z kilku fragmentów południowej części pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu trudno ostatecznie zdecydować o pełnym wsparciu modelu czystej ortogonalnej kompresji, która byłaby odpowiedzialna za powstanie tego pasa. Podobnie, dane tylko z okolicy Sassendalen to za mało, aby udowodnić zbieżność osi maksymalnej podatności z regionalnymi kierunkami prądów morskich. W tym miejscu chciałbym wskazać, że kierunki NE-SW osi maksymalnej anizotropii wcześniej zanotowano w skałach permskich z nieodległych odstępów w rejonie Kapp Wijk (Nawrocki, 1999; EPSL, 169, 59-70). Deklarowany jako cel prac postulat lepszego zrozumienia zdarzeń termicznych, które dotknęły Spitsbergen w późnym mezozoiku i kenozoiku, został zrealizowany w ograniczonym zakresie i tylko w okolicach Hornsundu.

Porównywanie otrzymanych biegunów paleomagnetycznych z krzywą referencyjną Torsvika i Cocks (2005; *Norw. J. Geol.*, 85, 73-86) nie jest najlepszym rozwiązaniem. Istnieją nowsze wersje krzywej referencyjnej dla Bałtyki i stabilnej Europy, w tym również pozbawione błędów inklinacji (Torsvik i in., 2012; *Earth-Science Reviews*, 114, 325-368), co jest sprawą bardzo istotną, gdy porównujemy bieguny utrwalone już po diagenecie skał, czyli takie, które błędów inklinacji zawierać już nie powinny.

W częściach wstępnych prac, opisujących historię badań związku obszaru Spitsbergenu z tzw. stabilną Europą, pominięto istotny ich etap; nie wspomniano o pracach Jeleńskiej (1987; *Tectonophysics*, 139, 99-106) i Jeleńskiej i Vincenza (1987; EPSL, 85, 173-182), wskazujących że bieguny karbońskie i permskie uzyskane ze skał Spitsbergenu nie są zbieżne z równowiekowymi biegunami charakteryzującymi stabilną Europę. Stąd, aby wyjaśnić między innymi tę kwestię, podjęto ponownie badania paleomagnetyczne skał tego wieku (Nawrocki, 1999; EPSL, 169, 59-70).

Biegun paleomagnetyczny z dolnotriasowej formacji Vardebukta, badanej w centralnej części pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu (fiord Tryghamna), gdzie uzyskano kierunki paleomagnetyczne o zmiennej polarności uznane za pierwotne (Nawrocki, 1999; EPSL, 169, 59-70; Nawrocki i Grabowski, 2000; *Geological Quarterly*, 44, 109-117), jest na figurze w tekście rozprawy (Fig. 2.2., str. 13), jak również na tej samej figurze w publikacji

„C” źle ulokowany na sferze w układzie *in situ*. W układzie po korekcie tektonicznej (upady warstw zbliżone do pionowych) jest on w odróżnieniu od triasowych biegunów z centralnej części Spitsbergenu, otrzymanych przez Hounslowa i in. (2008; Geol. Soc. Am. Bull., 120, 1305-1325), nieco oddalony od ścieżki referencyjnej, co może wspierać koncepcje o blokowych rotacjach w obrębie pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu (Lewandowski i in., 2005; AGU Fall Meeting (conference abstracts), 5-9 December, San Francisco).

Sformułowania „magnetostratigraphic recognition using magnetic reversals” (str. 15) należałoby unikać, skoro stratygrafia magnetyczna bazuje głównie na odwróceniach pola magnetycznego i tylko one są elementem globalnej skali stratygraficznej (GPTS). W innym miejscu na tej samej stronie rozprawy odniesiono się do zakresu dotychczasowych prac bez podania referencji. Nawet jeśli coś wykonano skąpo (ang. sparsely), to referencje takie są również niezbędne.

Twierdzenie, że wychylone często pionowo i miejscami ponasuwane skały triasu reprezentują niski stopień deformacji nie jest w pełni dla odbiorcy czytelne. Stąd, aby nie wprowadzać czytelnika w błąd, należałoby stosować pojęcie „deformacji wewnętrznej skał”, która rzeczywiście w oparciu o dane AMS może być tutaj uznana za niewysokiego stopnia.

W publikacjach, w związku z dyskusją na temat paramagnetycznego charakteru podatności magnetycznej, poza danymi z analiz pętli histerezy, istotna byłaby figura z krzyżową korelacją podatności magnetycznej i izotermicznej pozostałości magnetycznej.

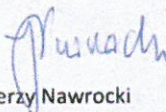
W publikacji „C”, w miejscu gdzie opisywane są tytanomagnetyty, brak informacji o ewentualnym występowaniu wewnętrznych odmieszkań tytanu. Jest to ważne, gdyż dzięki migracji tytanu mogły powstać fragmenty o składzie czystego magnetytu, będące potencjalnym stabilnym nośnikiem pierwotnej pozostałości magnetycznej.

Osie AMS prezentowane na dolnej półsferze powinny być oznaczane wypełnionymi symbolami.

#### Podsumowanie i rekomendacja

Przedłożona rozprawa zawiera oryginalne i znaczące osiągnięcia badawcze kandydatki, która rozwiązując problem naukowy w sposób oryginalny wykazała się bardzo dobrą znajomością wielu metod analiz minerałów magnetycznych, a także umiejętnością integracji wielowątkowej informacji analitycznej i przedstawiania właściwych z niej wniosków.

Opanowała również zasady analizy składowych pozostałości magnetycznej i odnoszenia jej wyników do realiów budowy i historii geologicznej obszaru badań. Wykazała się także dużą ogólną wiedzą teoretyczną o dyscyplinie naukowej, którą się zajmuje. Przedstawione uwagi krytyczne nie mają rangi zasadniczej. Mają charakter porządkujący i zapewne zostaną uwzględnione w kolejnych publikacjach Pani mgr Katarzyny Dudzisz. Jej rozprawa spełnia wszystkie wymogi określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dn. 14 marca 2003 r o st. naukowym i tytule naukowym oraz o st. i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2014 r., poz. 1852 ze zm.) i w związku z tym wnioskuje o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę szereg ponadprzeciętnych elementów rozprawy, które zostały już wymienione w niniejszej recenzji, stawiam również wniosek o jej wyróżnienie.



Jerzy Nawrocki