

Warszawa, 16.11.2018 r.

Prof. dr hab. Jerzy Nawrocki  
Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie  
Al. Kraśnicka 2cd  
20-718 Lublin

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Mariusza Burzyńskiego z Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk pt. „Paleomagnetyzm, własności magnetyczne oraz petrografia skał metamagmowych Zachodniego Spitsbergenu”, wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. Marka Lewandowskiego Szaniawskiego oraz dr. Krzysztofa Michalskiego (opiekun pomocniczy).**

Recenzję tę wykonano w związku z pismem w tej sprawie Dyrektora Instytutu Geofizyki PAN (znak NS-420-15/18), 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. Zasadniczym elementem rozprawy doktorskiej Pana mgr. Mariusza Burzyńskiego są jednak trzy załączniki przygotowane w postaci kopii publikacji, ujmujących w pełni jej zakres. Publikacje te ukazały się w czasopismach *Journal of the Geological Society, London* (IF=2,683), *Geophysical Journal International* (IF=2,528) i *Minerals* (IF=1,835). Ich pełne referencje są następujące:

- A. Michalski, K., Manby, G., Nejbart, K., Domańska-Siuda, J. & Burzyński, M. 2017. Using palaeomagnetic and isotopic data to investigate late to post-Caledonian tectonothermal processes within the Western Terrane of Svalbard. *Journal of the Geological Society*, 174 (3), 572-590.
- B. Burzyński, M., Michalski, K., Nejbart, K., Domańska-Siuda, J. & Manby, G. 2017. High-resolution mineralogical and rock magnetic study of ferromagnetic phases in metabasites from Oscar II Land, Western Spitsbergen – towards reliable model linking mineralogical and palaeomagnetic data. *Geophysical Journal International*, 210 (1), 390-405.
- C. Burzyński, M., Michalski, K., Manby, G. & Nejbart, K. 2018. Mineralogical, rock-magnetic and palaeomagnetic properties of metadolerites from Central Western Svalbard. *Minerals*, 8 (7), 279.

Pan mgr Mariusz Burzyński jest pierwszym autorem prac "B" i "C", a jego udział w przygotowaniu wszystkich prac nie został określony procentowo, lecz poprzez wypunktowanie zakresu rzeczowego prac. I tak w pierwszej pracy było to uczestnictwo w pracach terenowych, przygotowanie próbek, współudział w badaniach petromagnetycznych i

petrograficznych oraz w końcowej interpretacji wyników, współudział w przygotowaniu rozdziałów odnoszących się do tych elementów, przygotowanie dwóch figur, jednego załącznika i jednej tabeli. W pracy "B", poza udziałem w pracach terenowych, były to: przygotowanie koncepcji badań, badania petromagnetyczne z interpretacją, udział w badaniach mineralogicznych i ich interpretacji, przygotowanie figur i tabel, napisanie 60% tekstu publikacji. Dla potrzeb publikacji "C", poza zakresem wymienionym dla publikacji "B", jej główny autor przeprowadził i współinterpretował analizy paleomagnetyczne. Brak wskazania udziału procentowego w stosunku do całości prac i kontrasygnaty współautorów, poza publikacją „C”, gdzie zakresy im przypadające zostały w niej wymienione, jest tutaj pewnym niedociągnięciem, ale zakładam w dobrej wierze, że wśród autorów pozostałych publikacji istnieje pełna zgodność, co do ich wkładu.

Publikacja „A” zawiera wyniki badań paleomagnetycznych 205 próbek metabazytów z 10 lokalizacji na Ziemi Oskara II (zachodnia część wyspy Spitsbergen). Poza analizami paleomagnetycznymi, dla trzech próbek zawierających łuszczyki wykonano też oznaczenia wieku izotopowego metodą  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (*in situ* LA-ICP-MS). Całość pracy uzupełniają pomiary anizotropii podatności magnetycznej oraz badania petrografii skał i mineralogii faz magnetycznych, do czego wykorzystano mikroskopię optyczną i elektronową z przystawką BSE, a także kilka metod magnetometrycznych (nakładanie izotermicznej pozostałości magnetycznej (IRM), pętle histerezy, tzw. test Lowriego tj. rozmagnesowanie IRM, nakładanej w trzech różnych kierunkach i polach). Dane petromagnetyczne i mineralogiczno-petrograficzne, odniesione do cech strukturalnych badanych ciał skalnych, wskazują, że pierwotne nośniki namagnesowania w tych prekambryjskich skałach się nie zachowały. Rekrystalizacja minerałów ferromagnetycznych nastąpiła głównie w trakcie kaledońskiego metamorfizmu facji zieleńcowej. Zdaniem autorów wyniki oznaczeń wieku izotopowego metodą  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  wskazują na występowanie trzech zdarzeń termicznych w okresach: 426 – 380 Ma (zdarzenie kaledońskie *sensu lato*), 377 – 326 Ma (zdarzenie swalbardzkie ?) i ok. 300 Ma (zdarzenie związane z procesami ryftowymi). Zdefiniowano trzy składowe charakterystyczne naturalnej pozostałości magnetycznej. Ich głównymi nośnikami są pirotyn, magnetyt i maghemit. Składowe o średnich i wyższych temperaturach blokujących dostarczyły szeregu biegunów paleomagnetycznych, które nie nawiązują swoim położeniem do krzywych referencyjnych pozornej wędrówki bieguna charakterystycznego dla Bałtyki, Laurenti i Laurosji. W projekcji południowej są one odchylone znacząco na wschód. Aby wyjaśnić tę rozbieżność testowano kilka modeli rotacji badanego obszaru. Rotacje zapewniające postulowany przez część badaczy związek przestrzenny obszaru badań

ze złożonym terranem Pearya (dzisiejsze północne krańce Kanady) i będące w zgodzie z danymi paleomagnetycznymi uzyskanymi w tej pracy, zdaniem autorów nie pasują do dosyć dobrze rozpoznanych ogólnych ram paleotektonicznych i paleogeograficznych tej części świata. Stąd autorzy pracy faworyzują rozwiązanie, które tłumaczy rotacje biegunów paleomagnetycznych poprzez regionalne, blokowe rotacje tektoniczne, które zmodyfikowały pierwotną geometrię całego obszaru badań.

W publikacji "B" rozwinięto w szczególny sposób analizy faz ferromagnetycznych z metadolerytów i metawulkanitów z odsłoneń na Ziemi Oskara II-go. Poza analizami na całej skale wykonano analizy wyseparowanych z niej cząstek magnetycznych, w obrębie których zidentyfikowano poszczególne minerały magnetyczne, odpowiedzialne za utrwalenie charakterystycznych kierunków paleomagnetycznych, przedstawionych w publikacji "A". Do identyfikacji minerałów, poza mikroskopem optycznym, zastosowano mikrosondę elektronową CAMECA SX 100. Badania metodami magnetometrycznymi dotyczyły również całej skały i wyodrębnionych z niej minerałów. W ich ramach wykonano zwykłe analizy termomagnetyczne, analizy termomagnetyczne izotermicznej pozostałości magnetycznej, nakładanej w trzech kierunkach i trzech różnych polach, a także analizy parametrów pętli histerezy. Wnioski płynące z pracy dotyczą znaczącej poprawy, dzięki przyjętej nowej metodyce, wiarygodności identyfikacji faz ferromagnetycznych, a także określenia ich relacji z etapami przeobrażania badanych skał. I tak metadoleryty zawierają wrostki magnetytu w tytanicie. Magnetyt występuje tam również w paragenezie z minerałami metamorficznymi i pirotynem. Metawulkanity zawierają zaś magnetyt i hematyt, które są również powiązane z procesami metamorficznymi. Wyniki badań ewidentnie sugerują, że nie ma minerałów ferromagnetycznych z okresu przed metamorfizmem badanych skał. Rozkład faz magnetycznych nastąpił w czasie metamorfizmu kaledońskiego. Szansa na przetrwanie reliktyw minerałów ferromagnetycznych istnieje zdaniem autorów jedynie w przeobrażonych wulkanitach.

Publikacja „C”, skoncentrowana na kolejnych sześciu odsłonięciach metadolerytów z południowo-zachodniej części Ziemi Oskara. Stwierdzono, że i tutaj pierwotny skład mineralny uległ remineralizacji w czasie kaledońskiego zdarzenia metamorficznego facji zieleńcowej. Składowe o wyższych temperaturach blokujących uzyskano w próbkach pochodzących tylko z dwóch lokalizacji. W skałach tych w obrębie frakcji ferromagnetycznej

dominuje metamorficzny pirotyn i tlenki żelaza. Bieguny paleomagnetyczne, oparte na składowych o wyższych temperaturach blokujących, podobnie jak we wcześniejszych lokalizacjach z tego typu składowymi, nie nawiązują swoim położeniem do krzywej referencyjnej sporządzonej dla Laurosji. Otrzymane rezultaty wskazują, że pokaledońska modyfikacja tektoniczna kierunków paleomagnetycznych, charakterystycznych dla metabazytów, jest prawdopodobnie szerszym zjawiskiem, obejmującym zachodni Svalbard, a jej przyczyną może być tektonika lokalna, wyrażona małej i dużej skali fałdowaniem skał w wybranych miejscach obszaru badań.

#### Ocena rozprawy.

##### *Elementy pozytywne, w tym zasługujące na wyróżnienie.*

Pan mgr Mariusz Burzyński odpowiadał za określenie zakresu badań ujętych w publikacjach "B" i "C". Należy uznać, że właściwie zaplanował badania, dostosowując ich metodykę do postawionych celów. Umiejętność integracji danych z wielu metod analitycznych też nie budzi zastrzeżeń. Na wyróżnienie zasługuje prezentowana przez niego wnikliwa i wszechstronna analiza nośników magnetycznych. Niewielu badaczy decyduje się na badania paleomagnetyczne skał, które podległy metamorfizmowi i w których należy spodziewać się złożonego zapisu paleomagnetycznego, wielu generacji nośników magnetycznych. Prezentacja wyników badań w przedłożonych publikacjach jest optymalna. Jej bardziej szczegółowe elementy przesunięto do załączników. Obszar wiedzy o własnościach paleomagnetycznych i petromagnetycznych zmienionych metamorficznie dolerytów i wulkanitów ulega powiększeniu z każdą kolejną publikacją. Kandydat właściwie interpretuje wyniki badań mineralogicznych i petromagnetycznych, a także wyniki analiz składowych namagnesowania, co dowodzi, że w pełni opanował warsztat badawczy. Aby pogłębić wiedzę o minerałach magnetycznych i ich związku z procesami geologicznymi, nie waha się wyjść poza badania standardowe, przeprowadzając analizy na minerałach wyodrębnionych za pomocą separatora magnetycznego z całej skały, co w przypadku skał krystalicznych jest w dużej mierze nowatorskie.

Wszechstronna analiza minerałów magnetycznych pozwoliła na określenie ich związku z historią geologiczną badanych skał i w konsekwencji z utrwalonymi za ich sprawą charakterystycznymi kierunkami pozostałości magnetycznej. W pracach z udziałem Pana

mgr. Mariusza Burzyńskiego można zauważyć konsekwentne i przemyślane dążenie do rozwiązania za pomocą metody paleomagnetycznej trudnego problemu tektogenezy i paleogeografii jednostek strukturalnych zachodniego Spitsbergenu. Wyniki badań są prezentowane w czasopismach o znaczących współczynnikach wpływu. Dobór metodyki badań i organizacji zespołu badawczego, który zapewniał jak najbardziej profesjonalną dokumentację i interpretację tych elementów prac, w których kandydat się nie specjalizuje, lub ma w ich zakresie jeszcze zbyt małe doświadczenie, były też generalnie właściwe. Zastępującym na wyróżnienie osiągnięciem rozprawy jest wykazanie, że zapis paleomagnetyczny, pochodzący nawet ze skał metamorficznie zmienionych, może być wysoce użyteczny dla rekonstrukcji paleotektonicznych. Połączenie dotychczas uzyskanych danych z lepszym rozpoznaniem tektonicznym obszaru badań, a także z danymi paleomagnetycznymi z formacji osadowych pasa fałdowo-nasunięciowego zachodniego Spitsbergenu, z pewnością w przyszłości pozwoli na bardziej jednoznaczne zdefiniowanie mechanizmów odpowiedzialnych za rotację biegunów paleomagnetycznych uzyskanych z metadolerytów i metawulkanitów.

#### *Uwagi krytyczne.*

W pracy "B" autorzy nie bardzo wskazali, jakich jakościowo nowych wniosków dostarczyły analizy na separatach magnetycznych, których ze względu na silne namagnesowanie i obfitość nośników w skałach krystalicznych generalnie się nie stosuje, natomiast od wielu lat z powodzeniem wykonuje się je dla skał osadowych, zwłaszcza węglanów. Być może zwiększają one wyłącznie dokumentację i wiarygodność badań na całej skale? Nie jest dobrym zwyczajem publikowanie zdjęcia tego samego preparatu mikroskopowego w dwóch jednak odrębnych pracach, nie powołując się na jedną z nich (praca "B", figura 2). To samo dotyczy: dosłownego powtórzenia części metodyki z pracy "A" w pracy "B", str. 393). Również znaczna część opisu petrograficznego metadolerytów jest przeniesiona z pracy "A" do pracy "B", bez cytowania tej pierwszej. Część pracy "B" o tytule „Whole rocks experiments” znajduje się również w pracy "A". Figury z wykresem zmian paleoszerokości i z krzywą referencyjną pozornej wędrówki paleobieguny pojawiają się w pracy "B" (Fig. 11b, 12) bez odniesienia do pierwowzoru z pracy "A". Pewnym usprawiedliwieniem może być to, że pierwsze dwie prace były procedowane w wydawnictwach w zbliżonym czasie.

Koncepcję blokowych rotacji podłoża krystalicznego zachodniego Spitsbergenu można również wspierać wynikami paleomagnetycznymi uzyskanymi ze skał osadowych permu i triasu. Dane paleomagnetyczne z tego typu skał o wiele łatwiej dowiązać do paleohoryzontu. W tym miejscu należy wspomnieć, że biegun wczesnotriasowy z fiordu Tryghamna (Nawrocki, 1999, EPSL), czyli obszaru który leży w pobliżu odsłoneń badanych dla potrzeb przedłożonej pracy doktorskiej, oparty wprawdzie na niewielkiej liczbie próbek skał griesbachu, jest odchylony od krzywej referencyjnej w tym samym kierunku, co bieguny z metadolerytów.

Inne, bardziej szczegółowe uwagi są następujące:

1. 380 Ma trudno uznać za „Caledonian”, nawet z określeniem „sensu lato”. Etap kaledońskich przekształceń litosfery zakończył się około 415 mln. lat temu.
2. Mapki lokalizacyjne we wszystkich przedłożonych pracach wymagają podania źródła, nawet jeśli zostały zmodyfikowane. Domyślam się, że autorzy sami nie określili przedstawionych tam granic geologicznych.
3. Figura 5 z publikacji „A” nie ma oznaczeń literowych dla figur składowych, które są wymieniane w tekście.
4. Niskotemperaturowe składowe mogą również wyrażać lepką pozostałość magnetyczną, opartą na wielodomenowych ziarnach tlenków żelaza.
5. W załączniku pracy „A”, przedstawiającym wyniki badań AMS, zapis 10-3 nie oznacza dziesięć do potęgi minus trzeciej.
6. W publikacji „B” na figurze 13 (siatka stereograficzna) nie oznaczono szerokości geograficznej.
7. Przed podanymi w nawiasach sformułowaniami w języku angielskim w polskojęzycznej części pracy należy wpisać skrót „ang.”.
8. 2.5 mld. lat to dokładnie granica archaiku i proterozoiku, a nie późny archaik.
9. W języku polskim nazwy obszarów, które nie są związane z regionalizacją geograficzną, takie jak „zachodniospitsbergeński pas fałdowo nasunięciowy”, należy pisać w całości małymi literami.
10. Na mapkach lokalizacyjnych (np. str. 15) przedstawiono nie istniejące już od wielu lat w podziałach formalnych wydzielenie „trzeciorzęd”, a stosowana również tam nazwa „Caledonian rocks” nie nawiązuje do żadnego formalnego podziału skał.

11. Prostokąt z obszarem badań na mapce ogólnej z miejscem badań częściowo nie pokrywa się z obszarem przedstawionym na mapce szczegółowej.
12. Co to znaczy, że elipsoidy AMS są bardzo dobrze zdefiniowane? Nie podano wartości granicznych, które wskazywałyby na statystycznie ważne osie AMS.
13. Coś co trwa 50 milionów lat (377-326 Ma) raczej nie powinno nazywać się zdarzeniem, czy też epizodem termicznym. Większość podanego przedziału czasowego wynika z błędu metody. Jeśli już zakładamy, że gdzieś w tym przedziale czasowym to zdarzenie miało miejsce, to najlepiej napiszmy dosłownie, że gdzieś w tym okresie takowe było, lub podajmy średnią datę i jej błąd.

#### Podsumowanie i rekomendacja

Przedłożona rozprawa zawiera oryginalne i znaczące osiągnięcia badawcze kandydata, który wykazał się bardzo dobrą znajomością wielu metod analiz minerałów magnetycznych, a także umiejętnością integracji informacji analitycznej, pochodzącej z różnych metod, a także wyciągania właściwych z niej wniosków. Opanował również zasady analizy składowych pozostałości magnetycznej i odnoszenia jej wyników do ogólnych ram paleogeograficznych i elementów regionalnej tektoniki. Ogólna wiedza teoretyczna o dyscyplinie naukowej, którą się zajmuje, nie budzi też większych zastrzeżeń. Przedstawione uwagi krytyczne mają głównie charakter porządkujący i zapewne zostaną uwzględnione w kolejnych publikacjach Pana mgr. Mariusza Burzyńskiego. Jego 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 wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jerzy Nawrocki