

Warszawa 25 sierpnia 2022

Dr hab. Krzysztof Michalski

Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk

Ul. Księcia Janusza 64

01-452 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Jakuba Bazarnika**

**pt. „Ewolucja tektonotermalna kaledońskiego podłoża Półwyspu Mossel, Ny-Friesland, Svalbard.”, przygotowanej pod opieką naukową dr hab. inż. Jarosław Majki z Uniwersytetu w Uppsali i Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie przy udziale opiekuna pomocniczego dr Magdaleny Pańczyk - Nawrockiej z Państwowego Instytutu Geologicznego - Państwowego Instytutu Badawczego.**

**Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Autor rozprawy definiuje główny cel pracy jako zrekonstruowanie historii tektono-metamorficznej skał podłoża krystalicznego NE Svalbardu, należących do kompleksu Atomfjella (terrano zachodniego Ny-Friesland) i grupy Mosselhalvøya (terrano Nordaustlandet). W prezentowanej pracy doktorant podejmuje się rozwiązanie następujących zagadnień szczegółowych:

- (1) Ustalenie wieku protolitu skał metamagmowych występujących w obrębie kompleksu Atomfjella.
- (2) Ustalenie charakteru protolitu dajek maficznych oraz skał ultramaficznych kompleksu Atomfjella poprzez analizę składu chemicznego i izotopowego.
- (3) Określenie proveniencji skał metaosadowych północnej części Ny-Friesland (kompleks Atomfjella i grupa Mosselhalvøya) w celu uzyskania informacji o obszarach alimentacyjnych.
- (4) Rekonstrukcji warunków ciśnienia i temperatury (P-T) oraz określenie wieku metamorfizmu skał kompleksu Atomfjella i grupy Mosselhalvøya.

- (5) Analizy granicy kompleksu Atomfjella i grupy Planetfjella w celu bardziej precyzyjnego zdefiniowania charakteru tego kontaktu wraz z testowaniem hipotez dotyczących jego genezy.

Podstawowy materiał analityczny rozprawy składa się z 67 próbek skał metamorficznych reprezentujących różne jednostki Nowej Fryzji – zarówno kompleks Atomfjella jak i grupę Mosselhalvøya. Trzy reprezentatywne próbki z obu terranów przeznaczono do badań petrochronologicznych, które miały na celu określenie P-T metamorfizmu oraz datowanie epizodów metamorficznych. 18 próbek reprezentujących ultramafity i dajki maficzne poddano analizie geochemicznej. Do analizy proveniencji skał magmowych wybrano 8 próbek skał metaokruchowych i dwie próbki skał metawulkanicznych. Analizę wieku U/Pb cyrkonów wykonano dla 7 próbek metamagmowych.

W oparciu o uzyskane dane doktorant formułuje szereg wniosków końcowych dotyczących historii paleogeograficznej i struktury tektonicznej Półwyspu Mossel:

1. W oparciu o wyniki badań petrochronologicznych skał metamorficznych, jak również na podstawie analizy proveniencji skał metaosadowych autor stwierdza, że grupę Mosselhalvøya należy zaliczyć do kompleksu Atomfjella i terranu Zachodniego Ny-Friesland, a nie jak dotychczas uważano, do supergrupy Lomfjorden i terranu Nordaustlandet. Kompilując dane geochemiczne i obserwacje przejawów metamorfizmu w amfibolitach jak i w ultramafitach zlokalizowanych w stropie kompleksu Atomfjella autor nie potwierdza istnienia na granicy kompleksów Atomfjella i Mosselhalvøya głębokiego rozłamu tektonicznego, wzdłuż którego miałyby nastąpić implementacja wyżej wymienionych skał.
2. Jednocześnie sugeruje przesunięcie granicy terranów z dotychczas ustanowionej linii na uskoku Mosselhalvøya w kierunku wschodnim, na granicę pomiędzy grupą Mosselhalvøya a grupą Veterranen, gdzie przebiega strefa przesuwcza Eolussletta (linia Veterranen).
3. W wyniku badań porównawczych proveniencji cyrkonów detrytycznych z terranu Zachodniego Ny-Friesland z innymi rejonami orogenu kaledońskiego w obrębie Arktyki, oraz analizując otrzymane daty epizodów magmatyzmu w tym regionie, autor wykazuje bardzo bliską zależność pomiędzy skałami terranu Zachodniego Ny-Friesland a sekwencjami północno-wschodniej Grenlandii.

### Mocne strony przedstawionej pracy:

1. Przede wszystkim należy podkreślić unikalny charakter przedstawionych w rozprawie danych. Materiał analityczny został pozyskany z północnego obszaru Nowej Fryzji (głównie Półwysep Mossel, Zatoka Mossel i Dolina Mossel, pojedyncze próby pobrano ze wschodnich wybrzeży Wijdefiordu – ok. Dirksodden i Reinsbukkdalen). Logistyka prac badawczych w rejonie północnego - wschodniego Svalbardu jest nieporównywalnie trudniejsza w stosunku do prac prowadzonych w rejonie zachodniego Spitsbergenu. Rozbudowany program badawczy przedstawiony w rozprawie musiał przynajmniej częściowo opierać się o transport morski. Tymczasem obszary północnego Spitsbergenu są permanentnie zagrożone blokadą pakiem lodowym Oceanu Arktycznego. „Okno lodowe” otwiera się tutaj zazwyczaj dopiero w sierpniu, są jednak sezony kiedy żegluga w opisywanym rejonie jest zupełnie niemożliwa. Autor rozprawy był aktywnym uczestnikiem dwóch międzynarodowych ekspedycji w rejon północno - wschodniego Svalbardu – warsztatów geologicznych SVALGEOBASE (2013) oraz prac terenowych CASE 18 – Mosselbukta (2015). Większość prac terenowych wykonano w sezonie 2015. Autor był wtedy członkiem zespołu naukowego ekspedycji organizowanej przez niemiecki Federalny Instytut Nauk o Ziemi i Zasobów Naturalnych w Hanowerze. Warto zauważyć, że na potrzeby prowadzonych przez niego prac terenowych zdobył dodatkowe finansowanie z funduszu Arctic Field Grant (nr. 246130).
2. Imponujący jest zakres przedstawionych w pracy analiz. Autor w sposób świadomy i konsekwentny buduje i realizuje bardzo złożony projekt kompleksowej analizy skał NE Spitsbergenu – poczynawszy od próby potwierdzenia wieku paleoproterozoicznego podłożu, poprzez datowanie występujących w nim dajek maficznych, określenie sygnatur geochemicznych wybranych skał metamagmowych, rozbudowany program wieku w detrytycznych cyrkonach skał metaokruchowych i metawulkanicznych, aż po określenie cech i wieku metamorfizmu po dwóch stronach uskoku Mossehalvoja. Dzięki szeroko zakrojonej współpracy z naukowcami z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Uniwersytetu w Uppsali (Szwecja), Norweskim Instytutem Polarnym, Uniwersytetem w Iowa (USA), Dartmouth College (USA), Yukon Geological Survey (Kanada), a także Federalnym Instytutem Nauk o Ziemi i Zasobów Naturalnych (Niemcy) oraz wsparciu finansowemu pochodzącemu z dwóch grantów (projekt NCN

Preludium nr. 2015/19/N/ST10/02646 oraz wewnętrzny grant PIG-BIP nr. 61.2899.1601.00.0.) doktorantowi udaje się zrealizować ambitny program badawczy.

3. Niezaprzeczalna jest wysoka wartość naukowa uzyskanych przez doktoranta wyników. Już na etapie rozprawy doktorskiej dostarcza danych, które istotnie przyczyniają się do lepszego zrozumienia natury wydarzeń termicznych i metamorficznych, tektoniki i paleogeografii Svalbardu. Szczególnie wagę mają wyniki badań wieku detrytycznych cyrkonów: z jednej strony pozwalają one lepiej zrozumieć naturę uskoku Mosselhalvøya, który według wcześniejszych koncepcji był interpretowany jako granica terranów, z drugiej wraz z danymi geochronologicznymi ze skał metamagmowych umiejscawiają badany fragment Svalbardu w rejonie północno - wschodniej Grenlandii i nie potwierdzają modelu w którym prowincja północno-wschodnia Svalbardu jest związana genetycznie ze wschodnią Grenlandią. Szczególnie cenne są również obserwacje dotyczące wieku i dynamiki procesów metamorficznych po dwóch stronach uskoku Mosselhalvøya,

#### Uwagi krytyczne

1. Ponieważ rozprawa dotyczy koncepcji kaledońskich terranów Svalbardu powinien znaleźć się w niej rozdział dotyczący historii i ewolucji tej myśli z licznymi odnośnikami do prac źródłowych. W rozprawie ta kwestia przedstawiona jest bardzo pobieżnie. W części pierwszej rozprawy pojawia się co prawda, np. odniesienie do pracy Harlanda i Wrighta (1979), jednak tylko w kontekście istnienia wielkoskalowych stref uskoków przesuwczych. Tymczasem już w pracy z 1979 r., przedstawiono kompletny model separacji fragmentów litosfery w rejonie Svalbardu i przeprowadzono dyskusję na temat pierwotnej pozycji paleogeograficznej terranów przed finalną kaledońską (późnokaledońską ?) amalgamacją. W monografii „Geoscience Atlas of Svalbard” z 2015 r. pod redakcją Winfrieda Dalmanmana międzynarodowy zespół badaczy podjął się trudnego zadania usystematyzowanie zagadnień związanych z przedkaledońską paleogeografią Svalbardu. Autor odnosi się do tej pracy, jednak stosuje inną nomenklaturę. Zamiast prowincji północno-wschodniej podłoża krystalicznego (ang. Northeastern Basement Province) stosuje nazwę prowincji wschodniej podłoża krystalicznego (str. 7 rozprawy). Jestem przekonany, że przedstawione tutaj dane będą przedmiotem licznych publikacji. Jednocześnie,

oczywisty jest fakt, że praktycznie cała współczesna dyskusja naukowa dotycząca rzeczonoego regionu badań odbywa się w języku angielskim. Aby nowe dane w sposób bezpośredni mogły być korelowane z osiągnięciami innych zespołów badawczych proponuję bardzo precyzyjne stosowanie nazw jednostek tektonicznych – prowincji, tak jak w opracowaniu Dallmann et al. (2015) lub ewentualnie stosowania pojęcia terranu, tak jak w monografii Harlanda (1997) lub w pracy Gee & Tebenkov (2004).

2. W pracy brak jest wystarczającej kontroli strukturalnej badanych odsłoneń. Autor opisuje deformacje w szlifach jedynie w wybranych lokalizacjach. Bardzo wskazane byłaby pełniejsza dokumentacja mikro i makro-fotograficzna odsłoneń, a także zamieszczenie przekrojów geologicznych. Częste odniesienia do bardzo uproszczonego schematu tektonicznego Wiit -Nilsson et al. (1998) są mało pomocne. Rozumiem, że w międzynarodowym zespole ekspedycji CASE 18 – Mosselbukta 2015, zadania naukowe były ściśle określone i przedstawienie koncepcji struktury tektonicznej Półwyspu Mossel nie było zadaniem doktoranta. W końcowych publikacjach, w których prezentowane będą dane z tej rozprawy powinno pojawić się jednak ściśle powiązanie danych geochronologicznych z analizą strukturalną w różnej skali, poczynając od analizy szlifów, a na analizie struktur pierwszego rzędu takich jak antyforma Atomfjella skończywszy. Inaczej nie będzie można w pełni skorzystać z prezentowanych tutaj cennych danych.

W rozdziale 5.2 poświęconym datowaniu monacytu autor identyfikuje dwie wyraźne daty ok. 444 Ma w jądrach ziaren monacytowych oraz młodszy ok. 422.5 Ma w obwódkach ziaren. Rozdzielenie tych dwóch epizodów jest interesujące, w szeregu prac dyspersja kaledońskich wieków zidentyfikowanych chociażby w ziarnach łyszczyków najczęściej tłumaczona jest rozhermetyzowaniem systemu izotopowego. Wnioski przedstawione w rozdziale 6.2 jakoby wszystkie obserwowane tutaj foliacje metamorficzne były związane z tektogenezą kaledońską są jednak przedwcześnie. W rozwiązaniu kwestii wieku najstarszej foliacji S1 bardzo pomocne byłoby prześledzenie relacji geometrycznych pomiędzy licznie występującymi na Półwyspie Mossel dajkami maficznymi (datowanych między innymi w niniejszej pracy i w publikacji Bazarnik et al. 2019 na 1373-80 Ma), a foliacją metamorficzną w paleoproterozoicznym podłożu.

3. W pracy brakuje nieco szerszej dyskusji na temat interpretacji paleogeograficznej uzyskanych danych. Wraz z pracą McClelland et al. (2019) opracowanie niniejsze

będzie stanowić bardzo ważny argument, iż poszczególne fragmenty północno-wschodniej prowincji podłoża krystalicznego Svalbardu nie wywodzą się bezpośrednio ze wschodniej Grenlandii, lecz genetycznie związane są z jej północno-wschodnią częścią (rozpatrujemy więc system tektoniczny o rozciągłości zaledwie kilkuset kilometrów). Na podstawie analizy porównawczej wieków detrytycznych cyrkonów z zachodniej części Nowej Fryzji, z innych prowincji podłoża krystalicznego Svalbardu, Pearyi, jak również z kaledonidów skandynawskich i Grenlandii, autor sam przyznaje, że „możliwe było formowanie się skał osadowych ze wszystkich tych jednostek we wspólnym systemie basenów sedymentacyjnym” (str. 103). Tymczasem różnice wieku wydarzeń magmowych lub wieków uzyskanych z detrytycznych cyrkonów rozpatrywane są w rozprawie tylko na płaszczyźnie separacji tektonicznej. Jest to rozwiązanie możliwe, ale nie jedyne. Dywersyfikacja wieków detrytycznych cyrkonów jest funkcją nie tylko przesunięć pomiędzy płytami litosfery, ale może być związana chociażby z paleoreliefem i dystrybucją erodowanego materiału przez rozległe systemy rzeczne. Jednocześnie zjawiska magmowe i metamorficzne o tej samej genezie mogą być obserwowane na dużej przestrzeni i mogą przyjmować charakter diachroniczny.

Po odrzuceniu koncepcji granicy terranów na linii uskoku Mosselhalvøya autor aby wytłumaczyć różnice wieków magmowych identyfikowanych w rejonach Nowej Fryzji i Nordaustlandet automatycznie ekstrapoluje tę granicę na strefę Eolussletta (Manby i Lyberis 1991), oddzielającą skały kompleksu Mossehalvøya od skał grupy Veteranen. Tymczasem żadna z grup badawczych działających dotychczas w opisywanym terenie nie jest w stanie w sposób ilościowy określić skali ewentualnego przesunięcia wzdłuż tej strefy. Ze względu na skomplikowaną strukturę naturalnej pozostałości magnetycznej na obszarze kompleksu Atomfjella, jak również trudności w zastosowaniu odpowiedniej jakości testów fałdowych po dwóch stronach strefy ESZ (Eusletta Shear Zone), w tym w obrębie grupy Akademikerbreen, zawodzi również metoda paleomagnetyczna (Michalski et al. 2022, Journal of the Geological Society of London, praca przyjęta do publikacji w lipcu 2022). Brakuje kompletnego ważkiego statystycznie opracowania strukturalnego strefy Eusletta. Pojedyncze obserwacje nie są w stanie odpowiedzieć na pytanie w jakim reżimie tektonicznym powstały występujące tu mylonity. Jaki wpływ na współczesną orientację występujących tu stref miała tektonika ekstensyjna związana z formowaniem Basenu Dewońskiego, otwieraniem północnego Atlantyku i reaktywacją uskoku Billefiordu, Cieśniny Hinlopen i

Lomfiordu, jak również ryftem w basenie Oceanu Euroazjatyckiego. We współczesnej literaturze przedmiotu brakuje wreszcie kompleksowej interpretacji profili sejsmicznych na północ od Nowej Fryzji.

4. Szczególnie część interpretacyjna opracowania wymaga pewnej reorganizacji. Zachęcałbym autora, tam gdzie jest to możliwe, do redukcji tekstu i jak najczęstszego prezentowania swoich koncepcji za pomocą grafiki (map i wykresów), zarówno w częściach poświęconym detrytycznym cyrkonom, jak i tych dotyczących porównaniu wieków skał metamagmowych oraz sygnatur geochemicznych. Szczególnie uciążliwy dla czytelnika jest, według mnie zbyt obszerny, zajmujący ponad 15 stron moduł poświęcony porównaniu wieków detrytycznych cyrkonów (podrozdziały 6.6, 6.7, 6.8). Znormalizowane wykresy gęstości prawdopodobieństwa wieków detrytycznych cyrkonów są mało czytelne, ponieważ poszczególne badane formacje skalne są zaznaczone różnymi kolorami. Tymczasem powinny być one połączone w jednokolorowe klastery reprezentujące te same postulowane oddzielne fragmenty litosfery, a przynajmniej takie, które reprezentują podobny wiek depozycji. Na wszystkich ilustracjach obok nazwy prób powinna pojawić się informacja, po której stronie uskoku Mosselhalvøya pobrana była próba – czy pochodzi z kompleksu Atomfjella czy z grupy Mosselhalvøya.

#### Wybrane uwagi szczegółowe do ocenianej rozprawy

1. Na mapach lokalizacyjnych strzałki obrazujące lokalizację prób często zlewają się ze szrafurami reprezentującymi poszczególne wydzielienia geologiczne – wymaga to modyfikacji graficznej.
2. Następujący fragment tekstu zamieszczony na str. 79 wymaga poprawy: „W południowo-zachodniej części Svalbardu, wcześniej przeobrażone w ordowiku-sylurze (lub wcześniej) kompleksy skalne graniczą z młodszym około 420 Ma wielkoskalowym systemem fałdowo-nasunięciowym tzw. West Spitsbergen fold and thrust belt...”  
West Spitsbergen fold and thrust belt (pol. pas fałdowo-nasunięciowy (nasuwczy) zachodniego Spitsbergenu) zwany również pasmem eurekańskim powstał, w zależności od przyjętej koncepcji tektonicznej, w paleogenie lub w kredzie. Autor zapewne odnosi się do kaledońskiego wieku zidentyfikowanego w obrębie starszych proterozoicznych/paleozoicznych skał zaangażowanych w deformacje eurekańskie. W

każdym wypadku, procesy związane z metamorfizmem kaledońskim i znacznie późniejszymi deformacjami eurekańskimi trzeba bardzo wyraźnie rozdzielić w pracy.

3. W rozprawie wielokrotnie cytowana jest praca Michalski et al. (2002) opublikowana w Geological Magazine w kontekście znaczących przesunięć wzdłuż uskoku N-S występujących na Svalbardzie. W istocie, praca ta dotyczy problematyki kinematyki wzdłuż uskoku Billefiordu (BFZ – Billefjorden Fault Zone), ale zaprezentowana w niej kompilacja danych paleomagnetycznych z Hornsundu i danych izotopowych ze strefy mylonitycznej wzdłuż zachodniego wybrzeża Wijdefiordu, sugeruje brak !!! „znaczących” przesunięć wzdłuż BFZ od późnego syluru. Tym samym praca ta nie potwierdza „znaczących” ruchów przesuwczych wzdłuż tego uskoku w późnym dewonie/wczesnym karbonie (deformacje svalbardzkie – ellesmerskie?), po głównej fazie deformacji kaledońskich. Oczywiście należy pamiętać o rozdzielczości metody paleomagnetycznej, jednak w tym konkretnym przypadku jest ona stosunkowo wysoka i wynosi +/- 500-600 km wzdłuż południka. Wyniki przedstawione w pracy Michalski et al. (2012) nie wykluczają więc przesunięć Svalbardu w obrębie NE sektora Grenlandii, stawiają jednak po dużym znakiem zapytania hipotezę jakoby jeszcze w dewonie północno-wschodnia prowincja Svalbardu była częścią prowincji wschodniej Grenlandii.
4. Fig 34 na stronie 106, na której autor przedstawia swoją koncepcję pozycji paleogeograficznych prowincji Svalbardu przed finalną amalgamacją kaledońską/ellesmerską?, wymaga uzupełnień i korekt. Nie do końca rozumiem dlaczego autor zdecydował się na rekonstrukcję w późnym neoproterozoiku, gdzie wzajemne relacje przestrzenne Baltika - Laurencja są nadal bardzo niepewne. Łatwiej byłoby wytłumaczyć swój model w oparciu o rekonstrukcję we wczesnym paleozoiku, np. w sylurze, gdzie w oparciu o dostępną literaturę można nawet pokusić się o zamieszczenie na figurze paleoszerokości. W finalnych publikacjach warto przedstawić bieguny rotacji, a także koła wielkie, wzdłuż których miałyby poruszać się prowincje/terrany. Część B figury powinna być poprawiona. Rozumiem, że pozycje prowincji południowo – zachodniej i północno – zachodniej na figurze 34B mają odzwierciedlać ich genetyczny związek z północną częścią Baltiki, ale koła wielkie po których miałyby poruszać się te terrany, aby wrócić do pozycji przed otwarciem północnego Atlantyki, są skośne w stosunku do rozciągłości głównych stref uskokowych występujących na Svalbardzie.

### Podsumowanie i rekomendacja

Autor rozprawy już na obecnym etapie kariery naukowej jest rozpoznawalną postacią środowiska geologów zajmujących się rekonstrukcją paleogeograficzną i tektoniką europejskiego sektora Arktyki. W przedstawionej pracy jednoznacznie potwierdza swój ogromny potencjał naukowy i szeroki wachlarz umiejętności analitycznych. Mimo szeregu uwag krytycznych dotyczących przede wszystkim części interpretacyjnej pracy, bardzo wysoko oceniam przedstawioną rozprawę. Autor w przedstawionej pracy dostarczył cennych danych, które, jestem przekonany, będą przedmiotem wartościowych publikacji dotyczących historii tektonotermalnej północno-wschodniej prowincji podłoża krystalicznego Svalbardu. Moje uwagi należy traktować jako element toczącej się dyskusji naukowej na temat ewolucji tektonicznej i paleogeograficznej Svalbardu.

Tym samym na podstawie szczegółowej analizy i oceny rozprawy doktorskiej mgr Jakuba Bazarnika, pt.: „Ewolucja tektonotermalna kaledońskiego podłoża Półwyspu Mossel, Ny-Friesland, Svalbard.” stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie aktualnego problemu naukowego i spełnia wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 (z późn. zm.)

Biorąc pod uwagę powyższe, stawiam wniosek o dopuszczenie mgr Jakuba Bazarnika do kolejnych etapów postępowania doktorskiego, w tym do publicznej obrony.

Krzysztof Michalski