

## AUTOREFERAT

1. *Imię i Nazwisko.*

**Krzysztof Marcin Michalski**

2. *Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.*

**1999 – magisterium**, rozprawa pt. "Paleomagnetyzm wypełnień szczelin w wapieniach dewońskich z Gór Świętokrzyskich", Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego we współpracy z Instytutem Geofizyki PAN; promotorzy: Prof. dr hab. Michał Szulczewski (UW), Prof. dr hab. Marek Lewandowski (IGF PAN).

**2008 – doktorat z zakresu nauk o Ziemi w dyscyplinie geofizyka**, rozprawa pt. „Geotektonika i paleogeografia południowego Spitsbergenu na podstawie badań paleomagnetycznych skał kambru, dewonu i karbonu z rejonu fiordu Hornsund”, Instytut Geofizyki PAN; promotor: Prof. dr hab. Marek Lewandowski (IGF PAN).

3. *Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.*

**(Czerwiec 1999 – październik 2000) – geofizyk**, XXII Wyprawa Polarna Instytutu Geofizyki PAN do Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie na Spitsbergenie

**(Wrzesień 2001 – luty 2008) – asystent**, Instytut Geofizyki PAN, Zakład Magnetyzmu Ziemskiego, Zespół Paleomagnetyzmu.

**(Marzec 2008 – luty 2017) – adiunkt**, Instytut Geofizyki PAN, Zakład Magnetyzmu Ziemskiego, Zespół Paleomagnetyzmu.

**(Marzec 2017 - dziś) – specjalista geofizyk**, Instytut Geofizyki PAN, Zakład Magnetyzmu Ziemskiego, Zespół Paleomagnetyzmu.

4. Wskazanie osiągnięcia\* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego,

**Identyfikacja rotacji tektonicznych w obrębie zmetamorfizowanego podłoża centralnej części zachodniego Spitsbergenu na podstawie badań paleomagnetycznych, strukturalnych, petrograficznych i izotopowych**

b) autor/autorzy, tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy,

[1] **Michalski K.**, Nejbert K., Domańska-Siuda J. & Manby G. 2014. New palaeomagnetic data from metamorphosed carbonates of Western Spitsbergen, Oscar II Land. *Polish Polar Research* **35**: 553–592, doi: 10.2478/popore-2014-0031.

[2] **Michalski K.**, Manby G., Nejbert 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**: 572–590, doi: /10.1144/jgs2016-037.

[3] Burzyński M., **Michalski K.**, Nejbert 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**: 390–405, doi: 10.1093/gji/ggx157.

[4] Burzyński M., **Michalski K.**, Manby G. & Nejbert K. 2018. Mineralogical, rock-magnetic and palaeomagnetic properties of metadolerites from Central Western Svalbard. *Minerals* **279**, 8 (7), 28 pages, doi:10.3390/min8070279.

[5] **Michalski K.** 2018. Palaeomagnetic record of the Kongsfjorden islands (western Spitsbergen) – toward better understanding of late- to post-Caledonian tectonic rotations. *Polish Polar Research* **39** (1): 51–75, doi: 10.24425/118738.

*c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.*

## **Wstęp**

Badania paleomagnetyczne pełnią istotną rolę w lepszym zrozumieniu ewolucji orogénów. Szczególnym, a jednocześnie bardzo skomplikowanym zadaniem studiów paleomagnetycznych są badania skał metamorficznych (np. Piper 2009, Appel i in. 2012). Podejmuje się je wtedy, kiedy problematyka geologiczna, w szczególności tektoniczna, nie może być rozwiązana metodami klasycznej geologii strukturalnej. Istotne epizody termiczne, którym poddawana jest skała, jednocześnie modyfikują jej zapis paleomagnetyczny. Wydarzenia termiczne mogą więc być datowane poprzez porównanie obliczonych wirtualnych biegunów magnetycznych (ang. VGP – Virtual Geomagnetic Pole<sup>1</sup>) z odpowiednią referencyjną ścieżką pozornej wędrówki bieguna magnetycznego (ang. APWP – Apparent Polar Wander Path). **Niezgodność wyznaczonego VGP z referencyjną APWP może być interpretowana jako efekt separacji paleogeograficznej pomiędzy badanym obszarem a referencyjnym kratonem. Brak korelacji pomiędzy obliczonymi paleobiegunami, a ścieżką referencyjną może być również efektem regionalnych rotacji tektonicznych lub modyfikacji tektonicznych o mniejszej lokalnej skali.** Dlatego analiza paleomagnetyczna zmetamorfizowanych skał wymaga zastosowania interdyscyplinarnego aparatu badawczego, gdzie obok wiodącej metody paleomagnetycznej istotne jest prawidłowe rozpoznanie strukturalne, petrograficzne i mineralogiczne analizowanego materiału. **Złożenie wszystkich obserwacji w jeden, wewnętrznie spójny obraz historii tektonicznej regionu, jest głównym celem badań, w tym także niniejszej rozprawy habilitacyjnej.**

**Podstawą niniejszego autoreferatu habilitacyjnego jest pięć publikacji naukowych (Michalski i in. 2014, 2017, Burzyński i in. 2017, 2018, Michalski 2018) dotyczących interdyscyplinarnych badań zmetamorfizowanego podłoża centralnej części zachodniego Spitsbergenu (Fig. 1).**

Według Harlanda i Wrighta (1979) zmetamorfizowane kaledońskie podłoża Svalbardu może być podzielone na szereg mniejszych jednostek strukturalnych – terranów, które przed późnym dewonem były rozczłonkowane wzdłuż wschodnich i północnych obrzeży Grenlandii. Powyższy model został zakwestionowany przez Michalskiego i in. (2012), którzy

---

<sup>1</sup> Wykaz skrótów użytych w autoreferacie znajduje się na końcu dokumentu

na podstawie badań paleomagnetycznych z Hornsundu i danych izotopowych pozyskanych ze Strefy Uskoku Billefiordu (ang. BFZ - Billefjorden Fault Zone), zasugerowali wcześniejszą późnosylurską amalgamację terranów. Dane paleomagnetyczne zaprezentowane w niniejszej rozprawie habilitacyjnej pochodzą z obszaru Ziemi Oscara II należącego do Zachodniego Kaledońskiego Terranu Svalbardu (ang. WCST - Western Caledonian Svalbard Terrane) oraz z obszaru Kongsfiordu należącego do Centralnego Kaledońskiego Terranu Svalbardu (ang. CCST - Central Caledonian Svalbard Terrane) *sensu* Harland i Wright (1979), przypisanych odpowiednio do Prowincji Północnej Grenlandii i Pearya (ang. NGPP - North Greenland – Pearya Province) oraz Prowincji Wschodniej i Północnej Grenlandii (ang. ENGP - Eastern North Greenland Province) (Harland 1997). Gee (1986), a następnie Gee i Page (1994) zaproponowali alternatywny podział proterozoicznego – wczesnopaleozoicznego podłoża Svalbardu na Prowincje Południowozachodnią (ang. SWBP – Southwestern Basement Province), Północnozachodnią (ang. NWBP – Northwestern Basement Province) i Północnowschodnią (ang. NEBP – Northeastern Basement Province). Podział ten stosowany jest w szeregu nowszych opracowań związanych z tektoniką i paleogeografią Svalbardu (np. Gee i Tebenkov 2004, Kościńska i in. 2014, Mazur i in. 2009, Majka i in. 2015), jak również w monografii „Geoscience Atlas of Svalbard” (Dallmann i in. 2015). Na podstawie tej klasyfikacji Ziemia Oscara należy do prowincji SWBP, Kongsfiord zaś do jednostki NWBP (Dallmann i in. 2015)

Podłoże kaledońskie zachodniego Spitsbergenu doświadczyło późno- i po-kaledońskich procesów tektonicznych i tektonotermicznych. Po kaledońskim metamorfizmie facji zieleńcowej nastąpiła faza późnodewońskich – wczesnkarbońskich deformacji svalbardzkich (ellesmerskich ?) (np. Manby i Lyberis 1992, Bergh i in. 2011, Majka i in. 2017). W okresie od karbonu poprzez mezozoik ta część platformy Morza Barentsa podlegała kilkietapowym stadiom ekstensji, czego efektem były chociażby kredowe iniekcje dolerytów na Svalbardzie (Nejbert i in. 2011, Clark i in. 2014, Polteau i in. 2016). Wreszcie, geometria kaledońskiego podłoża zachodniej części Spitsbergenu mogła być modyfikowana przez późnokredowe – paleogeńskie eurekańskie deformacje fałdowo-nasunięciowe (np. Lyberis i Manby 1993, Maher i in. 1995, Bergh i in. 1997, Braathen i in. 1999, Leever i in. 2011, Piepjohn i in. 2016), jak również tektonikę ekstensyjną związaną z otwieraniem północnego sektora Oceanu Atlantyckiego (np. Eiken 1994, Brevik 2003).

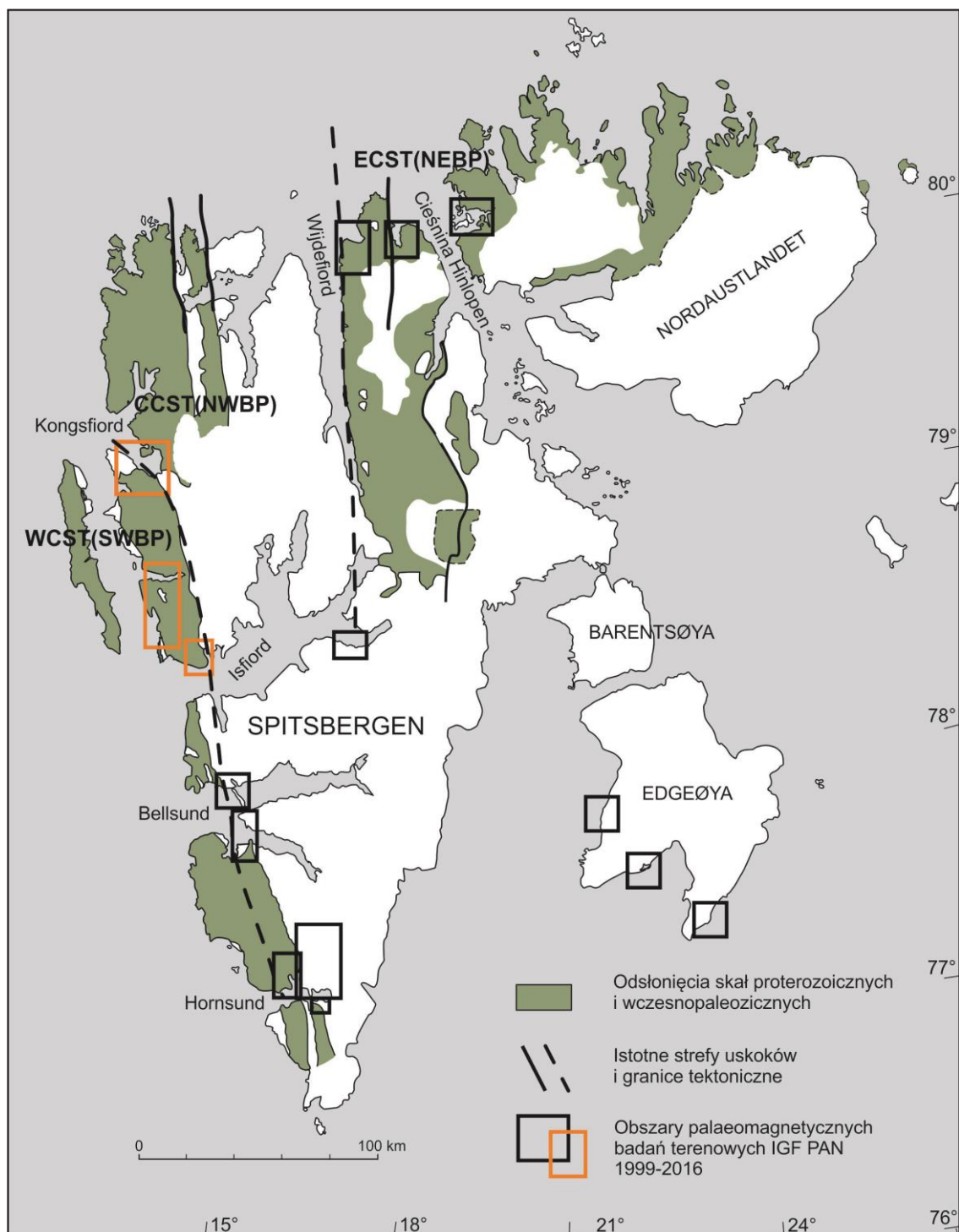


Fig. 1. Schematyczna mapa geologiczna Archipelagu Svalbard. Pomarańczowymi prostokątami zaznaczono obszary badań, których dotyczy rozprawa habilitacyjna (rejon Ziemi Oscara II i Kongsfiordu). Czarnymi prostokątami oznaczono pozostałe rejon paleomagnetycznych prac terenowych prowadzonych przez pracowników i doktorantów IGF PAN w latach 1999-2016. Z wyjątkiem prac terenowych w Bellsundzie (2016) byłem kierownikiem wszystkich tych prac. Próby paleomagnetyczne zebrane w Hornsundzie w latach 1999-2004 zostały częściowo wykorzystane w mojej pracy doktorskiej. Prace paleomagnetyczne w rejonie Edgeøya (2016) prowadzone były w ramach norweskiego projektu „Trias North” koordynowanego przez Uniwersytet w Oslo. Symbole kaledońskich terranów/prowincji Svalbardu objaśniono w tekście.

Oszacowanie wpływu poszczególnych z wymienionych procesów na strukturę kaledońskiego podłoża zachodniego Spitsbergenu jest jednak trudne. Stanowi ono skomplikowaną mozaikę skał odznaczających się różną reologią, reagujących w sposób zróżnicowany na kolejne etapy ewolucji tektonicznej. W rejonie zachodniego Spitsbergenu ocena stopnia modyfikacji zmetamorfizowanego podłoża przez późniejsze procesy jest utrudniona także dlatego, że na wielu obszarach brak jest kaledońskiej pokrywy osadowej. Brak wyraźnych po-kaledońskich epizodów termicznych sprawia, iż trudno jest rozdzielić deformacje kaledońskie od tych, które związane są z rozwojem pasa eurekańskiego.

**Jednym z głównych celów prezentowanych w niniejszym autoreferacie badań była precyzyjna identyfikacja parametrów oraz określenie genezy składowych naturalnej pozostałości magnetycznej (ang. NRM – Natural Remanent Magnetization). Potencjalne przedkaledońskie (pierwotne?) składowe NRM mogłyby pomóc w rekonstrukcji wzajemnych relacji przestrzennych pomiędzy badanymi kaledońskimi terranami/prowincjami Svalbardu oraz w określeniu ich pozycji paleogeograficznej względem Baltiki i Laurencji przed finalną kaledońską amalgamacją. Z kolei, późno- i po-kaledońskie kierunki paleomagnetyczne mają znaczenie dla identyfikacji rotacji tektonicznych w obrębie kaledońskiego podłoża.** Aby zrealizować powyżej nakreślone zadania w rejonie zachodniego Spitsbergenu zebrano znaczącą statystycznie bogatą kolekcję prób paleomagnetycznych. 16 stanowisk paleomagnetycznych zostało zlokalizowanych w obrębie odsłoneń metabazytów Ziemi Oscara II. W kolejnych 21 stanowiskach opróbowano metawęglany Ziemi Oscara II i Kongsfiordu. Dodatkowo w czterech stanowiskach opróbowano wypełnienia szczelin występujących w obrębie zmetamorfizowanego podłoża Kongsfiordu. Łącznie z 41 stanowisk paleomagnetycznych zebrano 279 niezależnie zorientowanych prób paleomagnetycznych.

W niniejszym opracowaniu wirtualne bieguny magnetyczne obliczone na podstawie zidentyfikowanych składowych NRM są porównane z referencyjnymi ścieżkami pozornej wędrówki bieguna magnetycznego dla Baltiki, Laurencji i Laurusji (Torsvik i in. 2012). Większość dotychczas uzyskanych danych paleomagnetycznych ze Svalbardu potwierdza, iż był on częścią Baltiki przynajmniej od dewonu (np. Jeleńska i Lewandowski 1986, Michalski i Lewandowski 2004, Nawrocki 1999, Lewandowski i in. 2005) lub nawet od późnego syluru (Michalski i in. 2012). **Biorąc pod uwagę wyniki dotychczasowych badań paleomagnetycznych przeprowadzonych na Svalbardzie, brak korelacji wtórnych późno i po- kaledońskich składowych i obliczonych na podstawie nich paleobiegunów ze**

ścieżką referencyjną Baltiki nie jest efektem separacji paleogeograficznej z kratonem europejskim, lecz jest spowodowana regionalnymi lub lokalnymi rotacjami tektonicznymi. W przedstawionych w niniejszej rozprawie modelach tektonicznych opartych na danych paleomagnetycznych kluczową jest kwestia „oszacowania wieku zidentyfikowanych wtórnych składowych NRM”, tak aby obliczone paleobieguny mogły być rotowane do odpowiadającym im wiekowo sektorów ścieżki referencyjnej. Zintegrowane badania petrograficzne, mineralogiczne i strukturalne poszerzone o analizy separatów minerałów ferromagnetycznych (*sensu lato*) w wielu przypadkach pozwoliły, niezależnie od procedur paleomagnetycznych, przyporządkować obserwowane nośniki informacji paleomagnetycznej do poszczególnych stadiów ewolucji badanych skał i tym samym zawęzić interwały czasowe, w którym potencjalnie mogły powstać poszczególne składowa NRM. Szczególnie istotną kwestią była odpowiedź na pytanie, czy w badanych skałach występują relikty proterozoicznego – wczesnopaleozoicznego (pierwotnego ?) zapisu paleomagnetycznego, który przetrwał kaledoński metamorfizm facji zieleńcowej. Równoległe z badaniami paleomagnetycznymi, w skałach otaczających przeprowadzono datowania metodą *in situ* izotopów  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , co pozwoliło na identyfikację wieku najbardziej istotnych epizodów termicznych, które mogły generować wtórne przemagnesowania. W każdym z opróbowanych stanowisk paleomagnetycznych przeprowadzono analizę niskopolowej anizotropii podatności magnetycznej (ang. AMS – Anisotropy of Magnetic Susceptibility), aby wykluczyć z dalszej analizy te składowe NRM, które mogły być zaburzone przez lokalne procesy tektoniczne.

**Prezentowane w niniejszej rozprawie habilitacyjnej wyniki badań są efektem międzynarodowej interdyscyplinarnej współpracy.** Eksperymenty paleomagnetyczne i rock-magnetyczne przeprowadzono w Laboratorium Paleomagnetyzmu Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (IGF PAN). Badania strukturalne w analizowanych stanowiskach paleomagnetycznych przeprowadził Dr Geoffrey Manby z Muzeum Historii Naturalnej w Londynie w Wielkiej Brytanii. Precyzyjne datowania skał otaczających metodą *in situ* izotopów  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  zostały przeprowadzone przez Dr Sarę Sherlock w Centrum Datowań Geochronologicznych, Open University w Wielkiej Brytanii (Geochronology Centre for Earth, Planetary, Space and Astronomical Research - CEPSAR, Faculty of Science, The Open University). Analizy petrograficzne i mineralogiczne przeprowadzili Dr. Krzysztof Nejbert i Dr Justyna Domańska – Siuda w pracowniach Międzyinstytutowego Laboratorium Badań Właściwości i Mikrostruktur Geomateriałów, na Wydziale Geologii Uniwersytetu

Warszawskiego. Istotnym elementem przedstawionych badań była separacja minerałów ferromagnetycznych i eksperymenty rock-magnetyczne prowadzone bezpośrednio na separatach ferromagnetycznych. Wyodrębniona część tych badań stanowiła także podstawę rozprawy doktorskiej mgr Mariusza Burzyńskiego „Paleomagnetyczne, rock-magnetyczne i petrograficzne badania skał magmowych i meta-magmowych Zachodniego Spitsbergenu” (promotor główny – prof. dr hab. Marek Lewandowski, promotor pomocniczy – dr Krzysztof Michalski, ukończona praca doktorska została przedstawiona do recenzji; Burzyński 2018).

Prezentowane badania stanowią część projektu PALMAG (2012-2016) „Zintegrowane badania paleomagnetyczne, izotopowe i strukturalne w celu rekonstrukcji paleogeograficznej kaledońskich terranów Svalbardu” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN) – numer grantu 2011/03/D/ST10/05193 (kierownik projektu – Dr Krzysztof Michalski, IGF PAN)

#### Mój udział w przedstawionych badaniach

Jestem zaangażowany w badania paleomagnetyczne i geologiczne Svalbardu od 19-tu lat. Zdobyte doświadczenie, pozwoliło mi prawidłowo zdefiniować problemy badawcze w obrębie skał metamorficznych Svalbardu, które mogą być rozwiązane metodą paleomagnetyczną i skutecznie ubiegać się o finansowanie precyzyjnie zaplanowanych interdyscyplinarnych badań. Byłem autorem koncepcji i jednocześnie kierownikiem grantu „PALMAG” (2012 – 2016, NCN). W celu osiągnięcia zaplanowanych celów naukowych skutecznie zarządzałem zespołem uznanych specjalistów z zakresu geologii strukturalnej, analiz izotopowych oraz identyfikacji minerałów ferromagnetycznych (*sensu lato*). Wyniki badań stały się punktem wyjścia dla kolejnych publikacji naukowych, tworzących wspólnie nowe, oryginalne i spójne wewnętrznie osiągnięcie naukowe. Prace te zawierają unikalne dane naukowe i zostały opublikowane w recenzowanych renomowanych czasopismach indeksowanych w bazie JCR.

Podsumowując:

- A. Byłem bezpośrednio odpowiedzialny za szczegółowy plan badań terenowych oraz byłem kierownikiem czterech ekspedycji naukowych w rejon Ziemi Oscara II, Cieśniny Forlandsundet i Kongsfiordu (2006, 2012, 2013, 2015), podczas których zebrano materiał badawczy, na którym opiera się niniejsza rozprawa habilitacyjna.



- B. Jako inicjator i kierownik projektu PALMAG byłem odpowiedzialny za koordynację i korelację wszystkich przedstawionych w niniejszej rozprawie interdyscyplinarnych eksperymentów laboratoryjnych (poszczególne precyzyjne badania strukturalne, mineralogiczne, petrologiczne i izotopowe były współkoordynowane i prowadzone przez poszczególnych członków zespołu PALMAG - Dr G. Manby, Dr K. Nejberta, Dr J. Domańską-Siudę oraz Dr S. Sherlock).
- C. Jestem jedynym autorem szczegółowego planu zdecydowanej większości z przedstawionych w rozprawie habilitacyjnej eksperymentów paleomagnetycznych i rock-magnetycznych. Koordynowałem badania wykonywane przez laborantów Laboratorium Paleomagnetyzmu IGF PAN. Samodzielnie wykonałem wybrane eksperymenty. Jedyny wyjątek stanowią prace eksperymentalne związane z realizacją pracy doktorskiej mojego doktoranta mgr Mariusza Burzyńskiego, które zaplanował on i wykonał samodzielnie (Burzyński 2018).
- D. Opracowałem uzyskane dane paleomagnetyczne (z wyjątkiem 6 stanowisk z rejonu SW Ziemi Oscara II opublikowanych w pracy Burzyński i in. 2018). Przeprowadziłem selekcję uzyskanych wyników pod kątem ich parametrów statystycznych, zidentyfikowałem składowe NRM, obliczyłem na ich podstawie wirtualne bieguny magnetyczne i porównałem je z dostępną bazą paleobiegunów referencyjnych dla Baltiki, Laurencji i Laurusji (Torsvik i in. 2012).
- E. Jestem autorem finalnych symulacji paleogeograficznych i tektonicznych, które wykonałem w oparciu o uzyskane dane paleomagnetyczne (w wybranych przypadkach uwzględniają one rotacje wokół bieguna Eulera o zmiennej pozycji, uwzględniają również konsekwencje istnienia różnych reżimów tektonicznych). Reorientację otrzymanych średnich kierunków paleomagnetycznych i paleobiegunów (poprzez implikację rotacji badanych formacji skalnych) przeprowadziłem wykorzystując dane dostarczone przez poszczególnych członków zespołu PALMAG (dane strukturalne, które pozwoliły wykonać prawidłowo korekcje tektoniczne oraz wyniki analiz petrograficznych i mineralogicznych, które pozwoliły oszacować wiek poszczególnych składowych NRM). Końcowa interpretacja danych paleomagnetycznych jest więc efektem współpracy naukowej całego zespołu PALMAG.
- F. Jako autor korespondencyjny w pełni koordynowałem powstanie i w przeważającym stopniu napisałem trzy z pięciu manuskryptów publikacji, które

stanowią podstawę przedstawianego osiągnięcia habilitacyjnego (Michalski i in. 2014, 2017 i Michalski 2018). Aktywnie uczestniczyłem w przygotowaniu dwóch kolejnych manuskryptów koordynowanych przez doktoranta mgr Mariusza Burzyńskiego (Burzyński i in. 2017, 2018). W przypadku dwóch ostatnich z wymienionych prac byłem współautorem końcowych interpretacji tektonicznych i paleogeograficznych. Byłem również odpowiedzialny za końcowe korekty i usprawnienia manuskryptów, których powstanie koordynował mgr Burzyński.

### **Omówienie pracy nr 1**

W pierwszym z omawianych manuskryptów opublikowanym w czasopiśmie *Polish Polar Research* przedstawione zostały wyniki interdyscyplinarnych badań paleomagnetycznych, strukturalnych i petrograficznych metawęglanów z rejonu St. Jonsfiordu, z zachodniej części Ziemi Oscara II. Wg. Harlanda i Wrighta (1979) obszar ten stanowi część kratonu WCST. Wg. podziału Dallmann i in. (2015) St. Jonsfiord stanowi element prowincji SWBP. Przeprowadzone obserwacje strukturalne potwierdzają iż obszar ten podlegał kilku etapom deformacji tektonicznych. Na deformacje podatne, związane z metamorfizmem kaledońskim (D1, D2), nałożone są późno-, po-kaledońskie (eurekańskie ?) deformacje kruche.

W manuskrypcie udokumentowano, iż etapy tektoniczne D1 i D2 związane były z bardzo intensywną węglanową i kwarcową mineralizacją żyłową. Intensywna migracja fluidów, dehydratacja oraz złożone odkształcenia podczas metamorfizmu kaledońskiego facji zieleńcowej zniszczyły pierwotną teksturę metawęglanów. Jednocześnie procesy te w dużym stopniu zmniejszyły podatność metawęglanów na późniejsze deformacje, które po fazie metamorfizmu kaledońskiego ograniczone były głównie do rotacji i przesunięć blokowych.

Przeprowadzone analizy petrograficzne dowiodły silnej rekrytalizacji i przestrzennej reorganizacji skały. Wyniki zintegrowanych eksperymentów petrograficznych, mineralogicznych i rock-magnetycznych sugerują, iż w toku procesów metamorficznych pierwotne nośniki ferromagnetyczne (*sensu lato*) zostały całkowicie zastąpione przez minerały wtórne. Obecnie dominującym minerałem ferromagnetycznym w badanych metawęglanach jest wtórny monoklinalny pirotyt.

Spośród dwunastu opróbowanych stanowisk paleomagnetycznych, tylko w jednym uzyskano znaczące statystycznie wyniki paleomagnetyczne. Było to stanowisko usytuowane w

południowo-zachodnim odwróconym skrzydle Synkliny Holmesletfjellet. Rozproszenie kierunków paleomagnetycznych w pozostałych stanowiskach, może być częściowo związane z brakiem możliwości precyzyjnej ekstrakcji poszczególnych składowych NRM w trakcie rozmagnesowania termicznego, co jest konsekwencją stosunkowo niskiego natężenia NRM (< 0.2 mA/m). Rozproszenie to może też być efektem późniejszych kruchych deformacji tektonicznych (D3).

Najbardziej stabilna średniotemperaturowa składowa NRM zidentyfikowana w stanowisku SW Holesletfjellet nie leży na krzywej referencyjnej kierunków Baltiki. Jej nośnikiem jest monoklinalny pirotyn, prawdopodobnie pochodzenia metamorficznego. Przesunięcie składowej zidentyfikowanej w obrębie Synkliny Holmesletfjellet do sylursko-dewońskiego sektora krzywej referencyjnej wymaga sto trzydziestostopniowego rozfałdowania badanej struktury fałdowej. Uzyskany wynik świadczy o synfałdowej genezie zidentyfikowanej składowej. Pierwotnie otwarty fałd Holmesletfjellet został podczas późniejszych procesów zrotowany i obalony w kierunku wschodnim, prawdopodobnie przez progresywnie przemieszczające się w kierunku wschodnim nasunięcia. Przedstawione wyniki nie odpowiadają na pytanie czy proces ten nastąpił w ostatnich fazach deformacji kaledońskich, czy jest też związany z procesami późniejszymi (deformacjami eurekańskimi ?).

## **Omówienie pracy nr 2**

W drugim z wymienionych artykułów opublikowanym w *Journal of the Geological Society of London* przedstawiono wyniki analiz paleomagnetycznych 10 stanowisk proterozoicznych – wczesnopaleozoicznych (?) metabazytów z zachodniej części Ziemi Oscara II (St. Jonsfiord, Venernbreen, Kinnefjellet, Ommafjellet). Obszar badań stanowi fragment kratonu WCST (*sensu* Harland i Wright 1979) i jednocześnie część prowincji SWBP (*sensu* Dallmann i in. 2015). Szczegółowe badania rock-magnetyczne i petrograficzne wskazują na powszechną remineralizację pierwotnych nośników ferromagnetycznych (*sensu lato*) podczas kaledońskiego metamorfizmu facji zieleńcowej. Analizy izotopowe  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  wykonane metodą ablacji laserowej *in situ* w skałach otaczających wskazują na trzy istotne epizody termiczne, które mogły mieć wpływ na zapis paleomagnetyczny badanych skał: kaledoński (*sensu lato*) - 426-380 mln oraz 377-326 mln i ~ 300 mln. Dwa ostatnie z wymienionych, mogą być związane z dewońsko – karbońskimi i karbońsko – permskimi etapami ekstensji, ryftu i wzmożonej subsydencji zaobserwowanymi na obszarze SW Morza Barentsa (Clark i in. 2014).

Paleobieguny obliczone na podstawie najbardziej stabilnych średnio – wysokotemperaturowych składowych NRM zidentyfikowanych w metabazytach nie leżą w żadnych sektorze skompilowanej ścieżki referencyjnej APWP Baltiki – Laurencji – Laurusji. Aby wyjaśnić obserwowane odchylenie paleobiegunów od APWP w pracy przetestowano szereg modeli paleogeograficznych i tektonicznych.

Model A polegający na rotacji jednostki litosferycznej wzdłuż koła wielkiego odzwierciedla ruch zachodniego Spitsbergenu wzdłuż uskoku przesuwczego od terranu Pearya do współczesnego położenia badanego bloku. Jednak takie rozwiązanie geometryczne w niewielkim stopniu zmienia pozycję wyznaczonych paleobiegunów względem ścieżki referencyjnej. Należy wyraźnie zaznaczyć, że otrzymane rezultaty nie wykluczają aktywności w rejonie zachodniego Spitsbergenu wielkoskalowych uskoków przesuwczych. Zastosowanie tego typu korekcji, nie wyjaśnia jednak obserwowanego odchylenia obliczonych paleobiegunów od referencyjnej APWP.

Model B polegający na rotacji zachodniego Spitsbergenu wzdłuż koła małego wokół pobliskiego bieguna Eulera od terranu Pearya do współczesnego położenia badanego bloku. Zastosowana rotacja powoduje przesunięcie obliczonych kierunków w kierunku referencyjnej APWP. Jednak tego typu mechanizm, musiałby być związany ze znaczącą zmianą orientacji zachodniego Spitsbergenu względem Grenlandii i istnieniem znaczącej strefy ekstensji pomiędzy zachodnim Spitsbergenem i Pearyą, czego nie potwierdzają dotychczasowe dane geologiczne.

Model C wiąże rotacje kierunków paleomagnetycznych z tektoniką kontrakcyjną i ruchem nasunięć w kierunku wschodnim wzdłuż płaszczyzn o listrycznej geometrii. Tego typu mechanizm jednakże, powoduje dalsze odsunięcie uzyskanych paleobiegunów od ścieżki referencyjnej.

Model D przedstawia rotacje uzyskanych kierunków jako efekt ekstensji i aktywności w rejonie zachodniego Spitsbergenu listrycznych uskoków normalnych, co mogło mieć miejsce podczas otwierania północnego Atlantyku. Czterdziestostopniowa rotacja związana z ruchami blokowymi fragmentów Ziemi Oscara II wzdłuż uskoków listrycznych zapadających w kierunku zachodnim, powoduje przesunięcie części z uzyskanych kierunków paleomagnetycznych w rejon karbońskiego sektora krzywej referencyjnej. Rekonstrukcja ta jest zgodna z uzyskanymi wynikami analiz  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , które wskazują na istotne wydarzenie termiczne w karbonie i permie na obszarze zachodniego Spitsbergenu.

W omawianej publikacji wykazano po raz pierwszy, że aktywność uskoków listrycznych mogła mieć istotny wpływ na zmianę geometrii kaledońskiego podłoża zachodniego Spitsbergenu. Uskoki listryczne w rejonie Spitsbergenu były dotychczas zidentyfikowane na podmorskich profilach sejsmicznych i ich aktywność jest wiązana z otwieraniem północnej części Oceanu Atlantyckiego. Po raz pierwszy również, zidentyfikowano w obrębie podłoża zachodniego Spitsbergenu dwa istotne późnopaleozoiczne epizody termiczne (377-326 mln i ~300 mln).

### **Omówienie pracy nr 3**

Manuskrypt nr 3 opublikowany w *Geophysical Journal International* stanowi uzupełnienie i jednocześnie kontynuację artykułu nr 2. Badania rock-magnetyczne metabazytów Ziemi Oscara II zostały w tej pracy uzupełnione przez analizy wykonane na separatach faz ferromagnetycznych (*sensu lato*). W publikacji przedstawiono porównanie wyników eksperymentów rock – magnetycznych przeprowadzonych na próbach całej skały z wynikami badań przeprowadzonych na separatach.

Jednym z podstawowych celów pracy była odpowiedź na pytanie “czy w metabazytach zachowały się relikty przedkaledońskich nośników ferromagnetycznych (*sensu lato*), które przetrwały metamorfizm facji zieleńcowej”. W artykule zaprezentowano wyniki szerokiego spektrum analiz petrograficznych i mineralogicznych (optycznych; mikroskopii skaningowej, ang. SEM - Scanning Electron Microscopy; analiz wykonanych na mikrosondzie elektronowej), a także rock-magnetycznych (pomiaru pól koercji i określenie parametrów pętli histerezy; pomiaru izotermicznej remanencji nasycenia, ang. SIRM – Saturation Isothermal Remanent Magnetization; pomiaru trójskładowej izotermicznej pozostałości magnetycznej, ang. IRM – Isothermal Remanent Magnetization, Lowrie 1990), których głównym celem była identyfikacja faz ferromagnetycznych i określenie ich relacji przestrzennych względem innych minerałów i struktur występujących w badanych skałach.

Eksperymenty wykonane na metadolerytach potwierdziły, że dominują w nich fazy ferromagnetyczne (*sensu lato*) których powstanie związane jest z metamorfizmem kaledońskim. Wskazano dwie grupy ziaren, w których potencjalnie mogą być zachowane relikty przed-kaledońskiego sygnału paleomagnetycznego. Były to ziarna ilmenitu charakteryzujące się siatką pustych przestrzeni, w których pierwotnie znajdowały się przerosty hematytu oraz pseudomorfozy tytanitu po magmowym (pierwotnym) magnetycie. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów sugerują, iż również w tych dwóch typach ziaren

podczas przemian metamorficznych nastąpił pełen rozkład lub rekrytalizacja pierwotnych nośników. Ziarna ilmenitu nie wykazywały sygnału ferromagnetycznego (*sensu lato*). Niski sygnał ferromagnetyczny (*sensu lato*) zarejestrowany w ziarnach tytanitu jest prawdopodobnie generowany przez przerosty metamorficznego magnetytu lub maghemitu.

Szczegółowe badania mineralogiczne i rock-magnetyczne przeprowadzone w metawulkanitach pozwoliły na precyzyjne zlokalizowanie źródeł sygnału ferromagnetycznego (*sensu lato*), jednakże nie wykluczyły możliwości przetrwania reliktyw przed-kaledońskich nośników paleomagnetycznych. Biorąc jednak pod uwagę wyniki analiz paleomagnetycznych metawulkanitów i wysoką inklinację zidentyfikowanych tutaj dominujących składowych NRM, należy stwierdzić, że są to składowe wtórne związane z etapem późnomezozoicznego – kenozoicznego przemagnesowania.

#### **Omówienie pracy nr 4**

Artykuł nr 4 opublikowany w *Minerals* dotyczy wyników badań paleomagnetycznych uzyskanych z dodatkowych 6 stanowisk metadolerytów, które zostały zlokalizowane w południowo-zachodniej części Ziemi Oscara II (Daudmannalen, Daudmannsøyra, Protectorbreen). Analizy petrograficzne, mineralogiczne i rock-magnetyczne po raz kolejny nie wykazały obecności w badanych skałach reliktyw przed-kaledońskich (pierwotnych) nośników sygnału paleomagnetycznego. Podczas metamorfizmu kaledońskiego facji zieleńcowej pierwotne tlenki żelaza oraz żelaza i tytanu pochodzenia magmowego zostały zastąpione przez metamorficzny tytanit i anataz. Obecnie dominującymi minerałami ferromagnetycznymi (*sensu lato*) są metamorficzne pirotyn i tlenki żelaza.

W pięciu z sześciu analizowanych stanowisk precyzyjnie wyznaczono niskotemperaturową składową NRM (temperatury blokujące (ang.  $T_{ub}$  – unblocking temperatures)  $< 250^{\circ}$ ). Charakteryzowała się ona wysoką inklinacją ( $\sim 70-80^{\circ}$ ), co sugeruje, że jej powstanie związane jest z epizodem mezozoicznego lub kenozoicznego przemagnesowania. Składowe średnio-wysokotemperaturowe ( $T_{ub} > 250^{\circ}$ ), których powstanie potencjalnie związane jest z metamorfizmem kaledońskim, wyznaczono na wystarczającym poziomie ufności jedynie w dwóch stanowiskach. Paleobieguny obliczone na podstawie tychże średnio-wysokotemperaturowych składowych są znacząco oddalone od referencyjnej APWP Baltiki – Laurencji – Laurusji. W referowanej pracy zasugerowano, iż obserwowana niezgodność wyznaczonych VGP z referencyjną APWP może być efektem nałożenia kilku mechanizmów tektonicznych. Przede wszystkim, podobnie jak w przypadku stanowisk w zachodniej części

Ziemi Oscara II (Michalski i in. 2017 – publikacja nr 2), niezgodność może być skutkiem aktywności uskoku listrycznych w późnym mezozoiku i kenozoiku. Dodatkowe rotacje mogły być generowane przez lokalne mechanizmy tektoniczne, których efekty zaobserwowano w rejonie badań – silnie stektonizowane strefy ścięcia i zespoły lokalnych małoskalowych uskoku zapadających w kierunku zachodnim.

### **Omówienie pracy nr 5**

Manuskrypt nr 5 opublikowany w *Polish Polar Research* dotyczy badań paleomagnetycznych zmetamorfizowanego podłoża Kongsfiordu (Blomstrandhalvøya and Lovénøyane). W odróżnieniu od poprzednich czterech prezentowanych prac, które dotyczyły badań terranu WCST (prowincji SWBP), tym razem prace badawcze skoncentrowane były na obszarze Centralnego Kaledońskiego Terranu Svalbardu (CCST) *sensu* Harland i Wright (1979) lub Prowincji Północnozachodniej (NWBP) *sensu* Dallmann i in. (2015). 9 stanowisk metawęglanów oraz 4 stanowiska niezmetamorfizowanych piaskowców wypełniających nieregularne szczeliny (pochodzenia krasowego i, lub tektonicznego) w obrębie kaledońskiego podłoża Kongsfiordu zostało poddanych eksperymentom paleomagnetycznym, rock-magnetycznym oraz AMS.

Nie zidentyfikowano żadnych reliktyw przedkaledońskiego zapisu paleomagnetycznego. Paleobieguny wyznaczone na podstawie składowych NRM *in situ* zidentyfikowanych w metawęglanach plasują się w dwóch sektorach referencyjnej APWP Baltiki – Laurusji: w sektorze kaledońskim (*sensu lato*) – svalbardzkim oraz późnomezozoicznym - kenozoicznym. Wyniki te sugerują dwa istotne pulsy przemagnesowania.

Dane paleomagnetyczne otrzymane z niezmetamorfizowanych wypełnień nieregularnych szczelin krasowych/tektonicznych wskazują z kolei na trzy istotne epizody namagnesowania: kaledoński (*sensu lato*), karboński i późnomezozoiczny – kenozoiczny. Wyniki te sugerują, iż zjawiska powstawania spękań oraz krasu w podłożu kaledońskim miały miejsce już w późnym sylurze i dewonie i mogły być związane bezpośrednio z post-orogeniczną ekstensją i erozją orogenu kaledońskiego (Braathen i in. 2017).

Większość z paleobiegunów obliczonych na podstawie składowych NRM *in situ* zidentyfikowanych w obrębie metamorficznego podłoża Kongsfiordu leży w sektorach kaledońskim i po-kaledońskim referencyjnej APWP Baltiki – Laurusji. Brak rozbieżności pomiędzy VGP *in situ* i referencyjną APWP potwierdza tezę, iż badany obszar znajdował się

poza strefą głównych deformacji eurekańskich (np. Thiedig i in. 2001), które są obserwowane na obszarze pobliskiego Półwyspu Brøggerhalvøya (np. Bergh i in. 2000, Saalman i Thiedig 2001, 2002). Równocześnie uzyskane dane paleomagnetyczne nie potwierdzają rotacji kaledońskiego podłoża Kongsfiordu związanych z uskokami listrycznymi, które są postulowane w publikacji numer 2 (Michalski i in. 2017) na pobliskim obszarze Forlandsundet i Ziemi Oscara II.

## **Wnioski końcowe**

**Niniejszy autoreferat przedstawia oryginalne interdyscyplinarne podejście do badań zmetamorfizowanych kompleksów skalnych. Analiza paleomagnetyczna stanowi tutaj wiodącą metodę badawczą. Została ona uzupełniona przez szereg dodatkowych eksperymentów, które pozwoliły prawidłowo zinterpretować uzyskane dane paleomagnetyczne.** Interdyscyplinarne analizy petrograficzne – mineralogiczne – rock-magnetyczne, uzupełnione przez eksperymenty przeprowadzone na separatach magnetycznych, pozwoliły na określenie genezy nośników ferromagnetycznych (*sensu lato*). Precyzyjne datowania izotopowe metodą *in situ* izotopów  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  skał otaczających pozwoliły zdefiniować wiek istotnych wydarzeń termicznych, które mogły mieć wpływ na zapis paleomagnetyczny badanych skał. Poszczególne etapy analiz realizowane były w ścisłej współpracy z doświadczonym geologiem strukturalnym. **W końcowej interpretacji wyników uwzględniono szereg modeli paleogeograficznych i tektonicznych. Aby wyjaśnić rozbieżność położenia obliczonych paleobiegunów ze ścieżką referencyjną testowano różne rozwiązania paleogeograficzne opierające się na zmiennej pozycji bieguna Eulera. Modele tektoniczne uwzględniają rotacje związane zarówno z tektoniką kontrakcyjną, jak i ekstensyjną. Prezentowane analizy są jednocześnie badaniami pionierskimi. Podłoże kaledońskie centralnej części zachodniego Spitsbergenu nigdy wcześniej nie były analizowane pod kątem jego właściwości paleomagnetycznych. Przedstawiony interdyscyplinarny system badań okazał się skuteczny w identyfikacji rotacji w obrębie podłoża kaledońskiego Ziemi Oscara II i Kongsfiordu i może być z powodzeniem stosowany w analizie innych skomplikowanych tektonicznie zmetamorfizowanych kompleksów skalnych.**

Bezpośrednim wynikiem przeprowadzonych badań są następujące osiągnięcia naukowe:

1. W badanych zmetamorfizowanych kompleksach skalnych występujących w centralnej części zachodniego Spitsbergenu (Ziemia Oscara II, Kongsfiord), stanowiących



fragmenty terranów WCST/CCST (*sensu* Harland i Wright 1979), alternatywnie stanowiących fragmenty prowincji SWBP/NWBP (*sensu* Dallmann i in. 2015), nie znaleziono reliktyw przedkaledońskich nośników paleomagnetycznych. Metawęglany charakteryzowała silna rekrytalizacja i reorganizacja pierwotnych struktur i asocjacji mineralnych. Zarówno w metawęglanach jak i metabazytach pierwotne minerały ferromagnetyczne (*sensu lato*) pochodzenia detrytycznego lub magmowego uległy rozpadowi i zostały zastąpione przez minerały wtórne.

2. Datowania skał otaczających metodą *in situ* izotopów  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  wskazują na trzy istotne epizody termiczne, które mogły mieć wpływ na zapis paleomagnetyczny badanego obszaru. Epizod 426-380 mln związany z metamorfizmem kaledońskim (*sensu lato*), oraz zidentyfikowane po raz pierwszy, dwa młodsze epizody, 377-326 mln oraz ~300 mln, które mogą być związane z etapami ryftu, ekstensji i wzmożonej subsydencji w zachodniej części szelfu Morza Barentsa w interwałach czasowych dewon-karbon i karbon-perm.
3. Otrzymane wyniki paleomagnetyczne wskazują na zróżnicowany stopień modyfikacji geometrii zmetamorfizowanego kaledońskiego podłoża centralnej części zachodniego Spitsbergenu podczas późniejszych późno-, po-kaledońskich wydarzeń tektonicznych:
  - A. Prezentowane analizy wskazują na istotną rolę aktywności uskoku listrycznych, prawdopodobnie związaną z otwieraniem północnego sektora Atlantyku, w modyfikacji geometrii kaledońskiego podłoża zachodniej części Ziemi Oscara II.
  - B. W pojedynczych stanowiskach na obszarze Ziemi Oscara II, takich jak Synklina Holmesletfjellet, stwierdzono obecność synfałdowego namagnesowania, które zostało nałożone na odkształcenia związane z metamorfizmem kaledońskim i jednocześnie poprzedza późno-, po-kaledońskie (eurekańskie?) deformacje, których efektem było dodatkowe wychylenie badanej struktury fałdowej.
  - C. Rezultaty otrzymane z Kongsfiordu sugerują, że obszar ten znajdował się poza główną strefą deformacji eurekańskich. W odróżnieniu od obszaru zachodniej części Ziemi Oscara II, geometria kaledońskiego podłoża Kongsfiordu nie była modyfikowana przez uskoki listryczne.

## 5) Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

### **1b. Określenie wieku finalnej amalgamacji kaledońskich terranów Svalbardu na podstawie badań paleomagnetycznych rejonu południowego Spitsbergenu i analiz izotopowych Strefy Uskoku Billefiordu.**

Analizy paleomagnetyczne i rock magnetyczne przedstawione w niniejszym rozdziale (1b) wykonane zostały w ramach mojej pracy doktorskiej Michalski (2008). Ponieważ jednak finalne publikacje (Szlachta i in. 2008, Michalski i in. 2012), dotyczące tych badań zawierają istotne dodatkowe analizy izotopowe i spektroskopii Mössbauera, nie wchodzące w skład doktoratu, które wpływają na finalną interpretację, zdecydowałem się zaprezentować je w moim autoreferacie habilitacyjnym. Obydwie omawiane prace ukazały się już po uzyskaniu przeze mnie tytułu doktora.

Praca dotycząca wyników badań paleomagnetycznych kambryjskiej formacji Slaklidalen z Hornsundu i analiz izotopowych strefy BFZ ukazała się w brytyjskim czasopiśmie *Geological Magazine* (Michalski i in. 2012). Wtórne kaledońskie składowe NRM zidentyfikowane w obrębie formacji Slaklidalen sugerują amalgamację południowego Spitsbergenu (element kaledońskiego kratonu CCST *sensu* Harland i Wright 1979; prowincji SWBP *sensu* Dallmann i in. 2015) z Baltiką już w późnym sylurze. Jednocześnie wyniki datowań metodą izotopów  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mylonitów BFZ oddzielającej terrany CCST/ECST *sensu* Harland i Wright (1979) (prowincje NWBB/NEBB *sensu* Dallmann i in. 2015) sugerują, że od syluru (~450 mln) wzdłuż tej strefy nie wystąpiły istotne przesunięcia lateralne. W pracy Michalski i in (2012) zakwestionowano więc teorię Harlanda i Wrighta (1979) dotyczącą późnodewońskiej amalgamacji kaledońskich terranów/prowincji Svalbardu i zasugerowano, że amalgamacja ta mogła nastąpić już w sylurze.

Rozszerzony abstrakt z konferencji poświęconej spektroskopii Mössbauera opublikowany w *Acta Physica Polonica A* (Szlachta i in. 2008) zawiera natomiast ciekawe porównanie dwóch systemów identyfikacji minerałów ferromagnetycznych (*sensu lato*). Wyniki klasycznej analizy rock-magnetycznej zostały w nim skonfrontowane z wynikami spektroskopii Mössbauera. W przypadku analizy prób formacji Slaklidalen analiza widm mössbauerowskich wskazuje na obecność maghemitu, czego nie udało się potwierdzić metodami rock-magnetycznymi.

Szlachta K., **Michalski K.**, Brzózka K., Górka B. and Gałazka – Friedman J. 2008. Comparison of Magnetic and Mössbauer Results Obtained for Palaeozoic Rocks of Hornsund, Southern Spitsbergen, Arctic. Proceedings of the Polish Mössbauer Community Meeting 2008. Acta Physica Polonica A, **Vol. 114, No. 6.**, 1675-1682.

**Michalski K.**, Lewandowski M., Manby G.M. 2012. New palaeomagnetic, petrographic and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  data to test palaeogeographic reconstructions of Caledonide Svalbard. Cambridge University Press. Geological Magazine **149 (4)**, 696-721.

## **2b. Nowe dane paleomagnetyczne z utworów triasowych południowego Spitsbergenu**

Badania paleomagnetyczne przedstawione w niniejszym rozdziale były skoncentrowane w południowym sektorze Pasa Fałdowo - Nasunięciowego Zachodniego Spitsbergenu (ang. WSFTB – West Spitsbergen Fold and Thrust Belt). Próby wczesotriasowej formacji Vardebukta, pochodzące z 13-tu stanowisk zostały poddane interdyscyplinarnym badaniom. Eksperymenty paleomagnetyczne i rock-magnetyczne zostały uzupełnione przez analizy petrograficzne i mineralogiczne, jak również badania refleksyjności wityryny. W żadnym z analizowanych stanowisk nie potwierdzono występowania pierwotnej pozostałości magnetycznej. Stanowiska zlokalizowane w obrębie pasma eurekańskiego charakteryzowała skomplikowana struktura NRM. Paleobieguny obliczone na podstawie najbardziej stabilnych składowych NRM zidentyfikowanych na obszarze WSFTB wykazywały lepsze skupienie w sektorze późnomezozoicznym – kenozoicznym APWP Baltiki (Torsvik i in. 2012) po odfałdowaniu opróbowanych warstw skalnych do pozycji horyzontalnej. Wynik ten sugeruje, że w badanych stanowiskach mamy do czynienia z przedfałdowym (przedeurekańskim) wtórnym namagnesowaniem. Może ono być związane z kredową fazą ekstensji i iniekcją dolerytów (Clark i in. 2014, Nejbort i in. 2011). Zidentyfikowane wtórne namagnesowanie może być również związane z inicjalnymi stadiami tektogenezy WSFTB. Niskie współczynniki refleksyjności wityryny w obszarze badań ( $T < 200^\circ\text{C}$ ) sugerują chemiczną, nie termiczną genezę zidentyfikowanych kierunków NRM. Potencjalnie ich powstanie może być związane z zaobserwowaną powszechną mineralizacją siarczkową.

Przedstawione badania stanowią rdzeń rozprawy doktorskiej mojej doktorantki mgr Katarzyny Dudzisz pt. „Badania paleomagnetyczne i rock-magnetyczne skał triasowych Archipelagu Svalbard” (główny promotor: dr hab. Rafał Szaniawski IGF PAN; promotor pomocniczy: dr K. Michalski IGF PAN; Dudzisz 2018). Rozprawa została pozytywnie oceniona przez recenzentów i publicznie obroniona 20 września 2018. Praca uzyskała

wyróżnienie. Wyniki badań paleomagnetycznych skał triasowych Ziemi Torella i północnego Sørkappu zostały opublikowane w brytyjskim czasopiśmie *Geological Magazine* (Dudzisz i in. 2018).

Dudzisz K., Michalski K., Szaniawski R., Nejbart 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>

### **3b. Identyfikacja parametrów anizotropii podatności magnetycznej w wybranych sektorach Pasa Fałdowo-Nasunięciowego Zachodniego Spitsbergenu oraz jego przedpola.**

Analizy AMS zostały przeprowadzone w obrębie utworów wczesnotriasowej formacji Vardebukta. Stanowiska pobrania prób zlokalizowane zostały w sektorach południowym i centralnym Pasa Fałdowo - Nasunięciowego Zachodniego Spitsbergenu (w rejonie północnego Sørkappu i południowej Ziemi Torella oraz w rejonie Bellsundu), jak również na jego przedpolu (Sassenfiord). Głównym celem przeprowadzonych prac był test przydatności metod AMS w badaniach ewolucji pasma eurekańskiego zachodniego Spitsbergenu. Analizy niskopolowej AMS zostały poszerzone o analizy anizotropii w wysokich polach. Aby poprawnie zidentyfikować nośniki rejestrowanej AMS przeprowadzono szereg eksperymentów: pomiary podatności magnetycznej w funkcji temperatury, pomiary trójskładowej izotermicznej pozostałości magnetycznej (Lowrie 1990), rejestrację parametrów pętli histerezy. Przeprowadzone analizy wskazują, że dominującymi nośnikami AMS w badanych skałach są minerały paramagnetyczne (potencjalnie krzemiany warstwowe i węglany żelaza). Ponieważ parametry elipsoidy AMS mogą odzwierciedlać kierunki naprężeń tektonicznych, wyniki badań anizotropii magnetycznej mogą być istotnym uzupełnieniem badań strukturalnych i stanowić ważny element w toczącej się dyskusji na temat genezy WSFTB (np. Lyberis i Manby 1993, Maher i in. 1995, Leever i in. 2011). Otrzymane wyniki sugerują, że badane sektory WSFTB (N Sørkapp – S Ziemia Torella, Bellsund) powstały w wyniku prostopadłej do rozciągłości pasa kompresji. Test hipotezy transpresyjnej genezy WSFTB, która to transpresja generuje powstanie sektorów o różnych reżimach tektonicznych (ang. strain partitioning), wymaga przeprowadzenia badań AMS w kolejnych obszarach WSFTB. Osie maksymalne AMS z obszaru Sassenfiordu, który znajduje

się poza strefą głównych deformacji eurekańskich, odzwierciedlają prawdopodobnie kierunki paleopędu we wczesnotriasowym basenie sedimentacyjnym.

Badania AMS wczesnotriasowej formacji Vardebukta stanowią jedno z podstawowych zagadnień pracy doktorskiej mojej doktorantki mgr Katarzyny Dudzisz (Dudzisz 2018). Rozprawa doktorska otrzymała pozytywne recenzje i została publicznie obroniona. Praca uzyskała wyróżnienie. Wyniki badań zostały przedstawione w dwóch manuskryptach opublikowanych w *Polar Research* (Dudzisz i in. 2016) i w *Tectonophysics* (Dudzisz i in. 2018).

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* 2016, 35, 31683.

Dudzisz K., Szaniawski R., **Michalski K.**, Chadima M., 2018. Rock magnetism and magnetic fabric of the Triassic rocks from the West Spitsbergen Fold-and-Thrust Belt and its foreland. *Tectonophysics* 728–729, 104-118.

#### **4b. Tektonika i paleogeografia północno-wschodniego Svalbardu na podstawie zintegrowanych badań paleomagnetycznych, strukturalnych, petrograficznych i izotopowych obszaru Ny Friesland i Nordaustlandet**

Przedstawiane badania stanowią kolejną część projektu NCN PALMAG (numer grantu 2011/03/D/ST10/05193), którego dorobek opisywany był w poprzednich rozdziałach niniejszego autoreferatu. Tym razem materiał analityczny pobrany został z odległych obszarów Svalbardu – północnej części Ny Friesland i zachodniej części Nordaustlandet. Obszar badań stanowi część terranu ECST *sensu* Harland and Wright (1979) i prowincji NEBP *sensu* Dallmann i in. (2015). Próby paleomagnetyczne zostały pobrane w obrębie proterozoicznych amfibolitów i metaweglanów Ny Friesland (9 stanowisk) oraz neoproterozoicznych weglanów i tyllitów Murchisonfiordu – zachodni obszar Nordaustlandet (6 stanowisk). Badania paleomagnetyczne uzupełnione zostały przez datowania metodą *in situ* izotopów  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  amfibolitów Ny Friesland oraz mylonitów pobliskiej Strefy Ścięcia Eolusletta (ang. Eolusletta Shear Zone). Wyżej wymienione eksperymenty wsparte zostały przez analizy petrograficzne oraz obserwacje strukturalne w stanowiskach paleomagnetycznych oraz w ich otoczeniu.

Opisywane eksperymenty zostały zakończone. Rezultaty badań paleomagnetycznych wskazują na powszechne przemagnesowanie skał północnego rejonu Ny Friesland podczas metamorfizmu kaledońskiego. Jednocześnie, wyniki badań izotopowych również potwierdzają, iż w interwale czasowym 460 – 340 mln tożsamym z epoką kaledońską (*sensu lato*) badane skały poddane zostały intensywnym procesom termicznym.

Unikalne kierunki paleomagnetycznych z Murchisonfiordu (Nordaustlandet), położonego na wschód od strefy głównych deformacji i metamorfizmu kaledońskiego, mogą reprezentować pierwotne neoproterozoiczne namagnesowanie. Wyniki analizy paleoszerokości przeprowadzonej na podstawie składowych NRM uzyskanych w Murchisonfiordzie sugerują, że przynajmniej przez część neoproterozoiku (kriogen), wschodnia część Svalbardu znajdowało się minimum  $10^\circ$  na północ od północno-zachodniej części Baltiki (dzisiejsza pozycja Svalbardu), na paleoszerokościach oczekiwanych w neoproterozoiku dla północno-wschodniej Laurusji (Grenlandia/Wyspa Ellesmere – kraton Pearya). Jednocześnie, na podstawie porównania paleobiegunów uzyskanych z Murchisonfiordu z „kluczowymi referencyjnymi paleobiegunami” (ang. „key palaeopoles”) wyznaczonymi dla Baltiki i Laurencji (Buchan 2013), należy wnioskować, że przynajmniej przez część neoproterozoiku (kriogen) wschodni Svalbard mógł stanowić oddzielną mikroplątę.

Wyniki interdyscyplinarnych badań obszaru Ny Friesland – Nordaustlandet zostały przedstawione podczas 33 –ej konferencji geologicznej „Nordic Geological Winter Meeting” w Kopenhadze (Dania) w styczniu 2018 (Michalski i in. 2018), a także na 16-tej konferencji „Castle meeting” w Chęcinach w czerwcu 2018 (Michalski 2018). Manuskrypt publikacji, w którym przedstawione są opisywane dane z obszaru wschodniego Svalbardu, został wysłany do brytyjskiego czasopisma *Journal of the Geological Society of London* i jest w recenzji (tytuł manuskryptu: „Palaeomagnetic investigations across Hinlopenstretet border zone: from Caledonian metamorphosed rocks of Ny Friesland to foreland facies of Nordaustlandet (NE Svalbard)”; autorzy: Michalski K., Manby G. Nejbort K., Domańska – Siuda J., Burzyński K.)

**Michalski K., Manby G. Nejbort K., Domańska – Siuda J., Burzyński K. 2018.** Integration of palaeomagnetic, isotopic and structural data to understand Svalbard Caledonian Terranes assemblage. 33<sup>rd</sup> Nordic Geological Winter Meeting in Copenhagen, Denmark, 10-12 January 2018, book of abstracts, p. 114-115.

**Michalski K. 2018.** Palaeomagnetism in the High Arctic. Palaeomagnetic Investigations of Svalbard Archipelago conducted by the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences

from 1999 to 2018. 16th Castle Meeting “New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism”, Chęciny, Poland, 10-16 June 2018 (invited talk), *published in* Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences 423 (C-112), p. 99-100.

### **5b. Warsztaty Svalgeobase: proterozoiczne i wczesnopaleozoiczne podłoże Svalbardu – obecny stan wiedzy i nowe perspektywy badawcze**

Warsztaty „Svalgeobase”, które odbyły się w dniach 1-8 września 2013 były zorganizowane przez konsorcjum trzech instytucji: (1) Norweski Instytut Polarny (Tromsø, Norwegia), koordynator: dr Winfried Dallmann; (2) Laboratorium Paleomagnetyzmu, Instytutu Geofizyki, Polskiej Akademii Nauk (Warszawa, Polska), koordynatorzy: dr Krzysztof Michalski, dr hab. Piotr Głowacki; (3) Katedra Mineralogii, Petrografii i Geochemii Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie (Polska), koordynator: dr hab. Maciej Manecki. Organizatorzy zdołali zachęcić do udziału w warsztatach światowej klasy naukowców zajmujących się ewolucją kaledońskiego podłoża Svalbardu, jak również tektoniką Svalbardu i Grenlandii. Warsztaty odbyły się w oparciu o polski statek szkoleniowo-badawczy „Horyzont II”. Ambitny plan ekspedycji zakładał odwiedzić najbardziej kluczowych odsłoneń skał proterozoicznych i wczesnopaleozoicznych w rejonie zachodnich i północnych wybrzeży Spitsbergenu, a także we wschodniej części Nordaustlandet.

Nadrzędnym celem warsztatów była rewizja aktualnego stanu wiedzy dotyczącej kaledońskiego podłoża Svalbardu. Do sukcesów warsztatów należy zaliczyć stworzenie interdyscyplinarnej platformy współpracy pomiędzy zespołami geologów działającymi w różnych sektorach Arktyki, a także wyznaczenie priorytetowych kierunków badań podłoża Svalbardu , jak również Grenlandii i Wyspy Ellesmere, geotektonicznie związanych z obszarem Svalbardu. Priorytetem spotkania była również promocja młodych karier naukowych.

Warsztaty Svalgeobase były współfinansowane przez Svalbard Science Forum. Pełen raport z warsztatów, zawierający obszerne sprawozdanie z przeprowadzonych wycieczek terenowych, zbiór rozszerzonych abstraktów, a także ewaluację aktualnej wiedzy dotyczącej podłoża Svalbardu i strategię przyszłych działań, został opublikowany w monografii wydanej przez Norweski Instytut Polarny (Dallmann i in. 2014).

Byłem jednym z inicjatorów i współkoordynatorem warsztatów. Z ramienia IGF PAN byłem odpowiedzialny za sferę finansową ekspedycji. Byłem również współtwórcą planu

naukowego warsztatów. Z mojej inicjatywy rozszerzono plan warsztatów na odsłonięcia skał występujące w rejonach północno-wschodniego i północnego Spitsbergenu, a także zachodniej części Nordaustlandet. Jestem współredaktorem finalnego raportu Svalgeobase, współautorem czterech rozszerzonych abstraktów, a także opisu przeprowadzonych wycieczek terenowych (Dallmann i in. 2014). Jestem również autorem artykułu na temat Svalgeobase, który ukazał się w *Biuletynie Polarnym* (Michalski 2014).

Oficjalna strona internetowa Svalgeobase (koordynowana przeze mnie):  
svalgeobase.igf.edu.pl

Dallmann W., Manecki M., **Michalski K.**, Głowacki P. (eds). 2014. SVALGEOBASE - Proterozoic and Lower Palaeozoic basement of Svalbard - state of knowledge and new perspectives of investigations (Workshop report). Norsk Polar Institutt. Report series **146**, 1-54.

**Michalski K.** 2014. SVALGEOBASE – Międzynarodowe warsztaty geologiczne na Svalbardzie (1-8 września 2013). *Biuletyn Polarny* **17-18**, 33-35.

### **Spis literatury**

Appel E., Crouzet C. & Schill E. 2012. Pyrrhotite remagnetizations in the Himalaya: a review. In: Elmore R. D., Muxworthy A. R., Aldana M. & Mena M. (eds) *Remagnetization and Chemical Alteration of Sedimentary Rocks*, Geological Society, London, Special Publications **371**, 163–180.

Bergh S.G., Braathen A. & Andresen A. 1997. Interaction of Basement-Involved and Thin-Skinned Tectonism in the Tertiary Fold-Thrust Belt of Central Spitsbergen, Svalbard. *AAPG Bulletin* **81**, 637–661.

Bergh S.G., Maher H.D. & Braathen A. 2000. Tertiary divergent thrust directions from partitioned transpression, Brøggerhalvøya, Spitsbergen. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **80**, 63–81.

Bergh S.G., Maher H.D. & Braathen A. 2011. Late Devonian transpressional tectonics in Spitsbergen, Svalbard, and implications for basement uplift of the Sørkapp –Hornsund High. *Journal of the Geological Society* **168**, 441–456.



- Braathen A., Bergh S.G. & Maher H.D.Jr. 1999. Application of a critical wedge taper model to the Tertiary transpressional fold-thrust belt on Spitsbergen, Svalbard. *GSA Bulletin* **111**, 1468-1485.
- Braathen A., Osmundsen P.T., Maher H. & Ganerød M. 2017. The Keisarhjelmen detachment records Silurian–Devonian extensional collapse in Northern Svalbard. *Terra Nova* **30** (1), 34-39. DOI: 10.1111/ter.12305.
- Brevik A.J., Mjelde R., Grogan P., Shimamura H., Murai Y. & Nishimura Y. 2003. Crustal structure and transform margin development south of Svalbard based on ocean bottom seismometer data. *Tectonophysics* **369**, 37–70.
- Burzyński M. 2018. Paleomagnetyzm, własności magnetyczne oraz petrografia skał metamagmowych Zachodniego Spitsbergenu. Ph. D. thesis (in Polish). Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences (supervisor: Prof. dr hab. Marek Lewandowski – IGF PAS; auxiliary supervisor: Dr Krzysztof Michalski – IGF PAS; in revision).
- Clark S.A., Glorstad-Clark E., Faleide J.I., Schmid D., Hartz, E.H. & Fjeldskaar, W. 2014. Southwest Barents Sea rift basin evolution: comparing results from backstripping and time forward modelling. *Basin Research* **26**, 550–566.
- Dallmann W.K., Elvevold S., Majka J. & Piepjohn K. 2015. Chapter 8: Tectonics and tectonothermal events. In: Dallmann, W.K. (eds). *Geoscience Atlas of Svalbard*, Norsk Polarinstitutt Report Series **148**, 175–220
- Dudzisz K. 2018. Palaeomagnetic and rock magnetic investigations of the Triassic rocks from Svalbard Archipelago. Ph. D. thesis. Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences (supervisor: Dr hab. Rafał Szaniawski – IGF PAS; auxiliary supervisor: Dr Krzysztof Michalski – IGF PAS)
- Eiken O. (Editor). 1994. *Seismic Atlas of Western Svalbard*. Norsk Polarinstitutt Meddeleiser **130**, Oslo.
- Gee D.G. 1986. Svalbard's Caledonian terranes reviewed. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* **108**, 284–286.
- Gee D.G. & Page L.M. 1994. Caledonian Terrane Assembly on Svalbard: New Evidence from Ar/Ar Dating in Ny-Friesland. *American Journal of Science* **294**, 1166–1186.

- Gee D.G. & Tebenkov A.M. 2004. Svalbard: A fragment of the Laurentian margin. In: Gee, D.G., Pease, V. (eds) *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*, The Geological Society of London: London Memoir **30**, 191–206.
- Harland W.B. & Wright N. 1979. Alternative hypothesis of the evolution of pre-Carboniferous evolution of Svalbard. *Norsk Polarinstitutt Skrifter* **167**, 89–117.
- Harland, W.B. 1997. *The Geology of Svalbard*. Geological Society, London, Memoir **17**.
- Jeleńska M. & Lewandowski M. (1986). A palaeomagnetic study of Devonian sandstone from Central Spitsbergen. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* **87**, 617-632.
- Kośmińska K., Majka J., Mazur S., Krumbholz M., Klonowska I., Manecki M., Czerny J. & Dwornik M. 2014. Blueschist facies metamorphism in Nordenskiöld Land of west-central Svalbard. *Terra Nova* **26**, 377–386.
- Leever K.A., Gabrielsen R.H., Faleide J.I. & Braathen A. 2011. A transpressional origin for the West Spitsbergen fold-and thrust belt: insight from analog modeling. *Tectonics* **30**, 1-24.
- Lewandowski M., Michalski K., Bednarek J., Norberciak A. 2005. Palaeomagnetic Study of the Middle Carboniferous Hyrnefjellet Formation From the Hornsund Region, Southern Spitsbergen. AGU Fall Meeting, San Francisco (conference abstract).
- Lyberis N. & Manby G. 1993. The origin of the West Spitsbergen fold belt from geological constraints and plate kinematics—Implications for the Arctic. *Tectonophysics* **224** (4), 371–391.
- Lowrie W. 1990. Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties. *Geophysical Research Letters* **17**, 159–62.
- Maher H.D.Jr, Braathen A., Bergh S., Dallmann W. & Harland W.B. 1995. Tertiary or Cretaceous age of Spitsbergen's fold-thrust belt on the Barents Shelf. *Tectonics* **14**, 1321-1326.
- Majka J. & Kośmińska K. 2017. Magmatic and metamorphic events recorded within the Southwestern Basement Province of Svalbard. *Arktos* **3**(1), 1-7.
- Majka J., Kośmińska K., Mazur S., Czerny J., Piepjohn K., Dwornik M. & Manecki M. 2015. Two garnet growth events in polymetamorphic rocks in southwest Spitsbergen, Norway:

- Insight in the history of Neoproterozoic and early Paleozoic metamorphism in the High Arctic. *Canadian Journal of Earth Sciences* **52**, 1–17.
- Manby G. & Lyberis N. 1992. Tectonic evolution of the Devonian Basin of northern Svalbard. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **72**, 7–19.
- Mazur S., Czerny J., Majka J., Manecki M., Holm D.K., Smyrak A. & Wypych A. 2009. A strike-slip terrane boundary in Wedel Jarlsberg Land, Svalbard, and its bearing on correlations of SW Spitsbergen with the Pearya terrane and Timanide belt. *Journal of the Geological Society* **166**, 529–544.
- Michalski K. & Lewandowski M. 2004. Palaeomagnetic results from the Middle Carboniferous rocks of the Hornsund region, southern Spitsbergen: preliminary report. *Polish Polar Research* **25** (2), 169-182.
- Michalski K. 2008. Geotektonika i paleogeografia południowego Spitsbergenu na podstawie badań paleomagnetycznych skał kambru, dewonu i karbonu z rejonu fiordu Hornsund. Ph. D. thesis (in Polish). Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences (supervisor: Prof. dr hab. Marek Lewandowski – IGF PAS).
- Michalski K., Lewandowski M. & Manby G.M. 2012. New palaeomagnetic, petrographic and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  data to test palaeogeographic reconstructions of Caledonide Svalbard. Cambridge University Press. *Geological Magazine* **149** (4), 696-721.
- Nawrocki J. 1999. Paleomagnetism of Permian through Early Triassic Sequences in central Spitsbergen: implications for paleogeography. *Earth and Planetary Science Letters* **169**, 59–70.
- Nejbert K., Krajewski K.P., Dubińska E. & Pécskay Z. 2011. Dolerites of Svalbard, north-west Barents Sea Shelf: age, tectonic setting and significance for geotectonic interpretation of the High-Arctic Large Igneous Province. *Polar Research* **30**, 7306, 24 pp.
- Piepjohn K., Von Gosen W. & Tessensohn F. 2016. The Eureka deformation in the Arctic: an outline. *Journal of the Geological Society* **173**, 1007–1024.
- Piper J.D.A. 2009. Uplift and cooling magnetisation record in the Bamble and Telemark terranes, Sveconorwegian orogenic belt, SE Norway, and the Grenville-Sveconorwegian loop. *Tectonophysics* **461** (1-4), 185-207.

Polteau S., Hendriks B.W.H., Planke S., Ganerød M., Corfu F., Faleide J.I., Midtkandal I., Svensen H. & Myklebust R. 2016. The Early Cretaceous Barents Sea sill complex: Distribution,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology, and implications for carbon gas formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **441**, 83–95.

Saalmann K. and Thiedig F. 2001. Tertiary West Spitsbergen fold and thrust belt on Brøggerhalvøya, Svalbard: Structural evolution and kinematics. *Tectonics* **20**, 976–998.

Saalmann K. and Thiedig F. 2002. Thrust tectonics on Brøggerhalvøya and their relationship to Tertiary West Spitsbergen Fold-and-Thrust Belt. *Geological Magazine* **139** 47–72.

Thiedig F., Saalmann K. & Piepjohn K. 2001. Explanatory Notes to the Geological Map of Brøggerhalvøya and Blomstrandhalvøya 1:40,000. In: Tessensohn F. (ed.) Intra-continental fold belts. Case 1: West Spitsbergen. *Geologisches Jahrbuch Reihe B* **91**, 25–51.

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., Mac Niocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeier M., Gaina C., Tohver E., Meert J.G., Mc Causland P.J.A. & Cocks L.R.M. 2012. Phanerozoic polar wander, paleogeography and dynamics, *Earth-Science Reviews* **114**, 325–368.

### **Wykaz skrótów**

AMS – Anisotropy of Magnetic Susceptibility (anizotropia podatności magnetycznej)

APWP – Apparent Polar Wander Path (ścieżka pozornej wędrówki bieguna magnetycznego)

BFZ - Billefjorden Fault Zone (Strefa Uskoku Billefiordu)

CCST - Central Caledonian Svalbard Terrane (Centralny Kaledoński Terran Svalbardu)

ECST - Eastern Caledonian Svalbard Terrane (Wschodni Kaledoński Terran Svalbardu)

ENGP - Eastern North Greenland Province (Prowincja Połnocnowschodniej Grenlandii)

IGF PAN - Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk

IRM – Isothermal Remament Magnetization (izotermiczna pozostałość magnetyczna)

NCN – Narodowe Centrum Nauki

NEBP – Northeastern Basement Province (Północnowschodnia Prowincja Svalbardu)

NGPP - North Greenland – Pearya Province (Prowincja Północnej Greenlandii i Pearii)

NRM – Natural Remanent Magnetization (naturalna pozostałość magnetyczna)

NWBP – Northwestern Basement Province (Północnozachodnia Prowincja Svalbardu)

SEM - Scanning Electron Microscopy (skaningowy mikroskop elektronowy)

SIRM – Saturation Isothermal Remanent Magnetization (izotermiczna remanencja nasycenia)

SWBP – Southwestern Basement Province (Południowozachodnia Prowincja Svalbardu)

T<sub>ub</sub> – unblocking temperature (temperatura blokująca)

WCST - Western Caledonian Svalbard Terrane (Zachodni Kaledoński Terran Svalbardu)

WSFTB – West Spitsbergen Fold and Thrust Belt (Pas Fałdowo-Nasunięciowy Zachodniego Spitsbergenu)

VGP – Virtual Geomagnetic Pole (wirtualny biegun magnetyczny)

Krzysztof Marcin Michalski

