

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko:

Rafał Junosza-Szaniawski

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

2005 – doktor nauk o Ziemi, rozprawa pt. *„Paleomagnetyzm a tektogeneza waryscydlów europejskich na przykładzie Ardenów Francji i Belgii”*, Instytut Geofizyki PAN. Praca doktorska wykonana została przy współpracy z Uniwersytetem Lille 1 (Francja) w ramach stypendium rządu francuskiego (typ „cotutelle”). Stopień doktora przyznany został równolegle przez Uniwersytet Lille 1, zgodnie z procedurami obowiązującymi we Francji (tytuł rozprawy w jęz. francuskim *„Paléomagnétisme et tectogénèse des Variscides du Nord de la France et Sud de la Belgique”*, <http://www.idref.fr/087758148>). Praca uzyskała wyróżnienie (*très honorable*) przyznane przez francuską komisję doktorską.

1997 - magisterium, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego przy współpracy z Instytutem Geofizyki PAN, praca pt. *„Paleomagnetyzm a diageniza dolomitów dewońskich z regionu kieleckiego Gór Świętokrzyskich”*.

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

1997 -1998, geofizyk, Instytut Geofizyki PAN, Zakład Magnetyzmu Ziemskiego, Zespół Paleomagnetyzmu.

1998 -2005, asystent, Instytut Geofizyki PAN, Zakład Magnetyzmu Ziemskiego, Zespół Paleomagnetyzmu.

1998-2003, Uniwersytet Lille 1 (Francja), Laboratorium: *Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires*. Stypendium doktoranckie rządu francuskiego przyznane w drodze konkursu. System stypendialny zakłada przygotowanie rozprawy doktorskiej przy współpracy uczelni francuskiej z macierzystą jednostką naukową stypendysty. W ramach stypendium przebywałem łącznie 18 miesięcy we Francji.

2005 - dziś, adiunkt, 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. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Zastosowanie metod paleomagnetycznych do badań ewolucji łańcuchów górskich

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa)

- [1] Szaniawski R., 2008. *Late Paleozoic geodynamics of the Malopolska Massif in the light of new paleomagnetic data for the southern Holy Cross Mountains*. Acta Geologica Polonica, 58 (1), 1-12.
- [2] Szaniawski R., Lewandowski M., 2009. *Palaeomagnetic age constraints indicate post-Variscan origin of massive breccia in Wietrznia Quarry (Holy Cross Mountains, Central Poland)*. Geological Quarterly, 53 (3), 357-362.
- [3] Szaniawski R., Konon A., Grabowski J., Schnabl P., 2011. *Palaeomagnetic age constraints on folding and faulting events in Devonian carbonates of the Kielce Fold Zone (southern Holy Cross Mountains, Central Poland)*. Geological Quarterly, 55 (3), 223-234.
- [4] Grabowski J., Michalik J., Szaniawski R., Grotek I., 2009. *Synthrusting remagnetization of the Krizna nappe: high resolution palaeo- and rock magnetic study in the Strazovce section, Strazovske vrchy Mts, Central West Carpathians (Slovakia)*. Acta Geologica Polonica, 59 (2), 137-155.
- [5] Mazzoli S., Szaniawski R., Mittiga F., Ascione A., Capalbo A., 2012. *Tectonic evolution of Pliocene-Pleistocene wedge-top basins of the southern Apennines: new constraints from magnetic fabric analysis*. Canadian Journal of Earth Sciences, 49 (3), 492-509.
- [6] Szaniawski R., Ludwiniak M., Rubinkiewicz J., 2012. *Minor counterclockwise rotation of the Tatra Mountains (Central Western Carpathians) as derived from paleomagnetic results achieved in hematite-bearing Lower Triassic sandstones*. Tectonophysics, 560, 51-61.
- [7] Szaniawski R., Mazzoli S., Jankowski L., Zattin M., 2013. *No large-magnitude tectonic rotations of the Subsilesian Unit of the Outer Western Carpathians: Evidence from primary magnetization recorded in hematite-bearing Węglówka Marls (Senonian to Eocene)*. Journal of Geodynamics, 71, 14-24.

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

Wstęp

Kompleksowe modele ewolucji łańcuchów górskich opierają się na zestawieniach szeregu uzupełniających się danych uzyskanych przy zastosowaniu różnorodnych metod badawczych z zakresu geologii i geofizyki (np. Nance i inni 2012, Weil i inni 2013). W badaniach orogenów szczególnie przydatne są techniki paleomagnetyczne oraz analizy anizotropii podatności magnetycznej (AMS) dostarczające cennych danych dotyczących paleogeografii oraz przebiegu deformacji tektonicznych. Użyteczność oraz wiarygodność tych metod wzrasta znacząco, gdy stosuje się je wspólnie z innymi technikami badawczymi. Szczególnie cenne są więc badania interdyscyplinarne, łączące różne uzupełniające się techniki badawcze i ukierunkowane na rozwiązanie konkretnych, niewyjaśnionych zagadnień dotyczących ewolucji geotektonicznej badanych obszarów.

Publikacje 1-7 stanowiące prezentowany tu dorobek habilitacyjny przedstawiają badania prowadzone na obszarze Gór Świętokrzyskich, Karpat i Apeninów. Trzonem wszystkich wymienionych prac są metody paleomagnetyczne oraz badania własności AMS. Większość z opisywanych badań miała charakter interdyscyplinarny: prowadzone były przez zespoły badawcze złożone z naukowców o różnych, komplementarnych specjalizacjach. Dzięki temu metody magnetyczne uzupełnione zostały innymi technikami badawczymi, a prace prowadzono przy dogłębnej znajomości lokalnej budowy geologicznej. Obierano przy tym możliwie regionalne cele badawcze, których realizacja uzupełniać będzie najistotniejsze luki w stanie wiedzy dotyczącej ewolucji badanych orogenów. Prace badawcze dotyczyły więc tak fundamentalnych kwestii jak np. pozycja paleogeograficzna bloków litosferycznych i płaszczowin budujących łańcuchy górskie. Inne prace ukierunkowane były na uściślenie wieku deformacji, śledzenie zmian orientacji pola paleonaprężeń na różnych etapach powstawania gór czy też rozpoznanie stopnia zaangażowanie badanych obszarów w poszczególne fazy deformacyjne. Uzyskane rezultaty w sposób istotny uzupełniają stan wiedzy dotyczący budowy i genezy badanych łańcuchów górskich, stanowiąc istotny wkład w rozpoznanie ich ewolucji. Badania te mają charakter podstawowy, jako że poszerzają naszą wiedzę dotyczącą ewolucji skorupy ziemskiej. Część z rezultatów może jednak znaleźć zastosowanie w badaniach stosowanych, dotyczących np. ewolucji systemów naftowych zlokalizowanych w sąsiedztwie badanych obszarów.

Omówienie pracy [1]

Badania opisane w pracy [1] przeprowadzono na obszarze strefy kieleckiej części Gór Świętokrzyskich (SHCM) budującej północną część większej jednostki litosferycznej nazywanej Blokiem Małopolskim (MB). MB interpretowany jest jako terran - uważa się go powszechnie za niezależny blok skorupy ziemskiej, który oderwał się od krawędzi kontynentu Gondwany, podlegał samodzielnym przemieszczeniom, po czym uległ kolizji i akrecji z platformą wschodnioeuropejską (np. Bełka i inni 2000, Winchester i inni 2002). Wiek ostatecznej amalgamacji MB i platformy wschodnioeuropejskiej był przedmiotem wieloletnich badań i dyskusji: interpretowano go wcześniej jako odpowiadający zarówno orogenezie kaledońskiej jak i waryscyjskiej, ostatnio zaś przeważać zaczęły poglądy określające go jako kambryjski (porównaj: Pożaryski 1991, Stupnicka 1992, Lewandowski 1993, Dadlez i inni 1994, Bełka i inni 2000, Nawrocki 2000, Schätz i inni 2006). Podobne niejasności budziła również historia deformacji osadów późnego paleozoiku na terenie SHCM. Dyskutowano tu: skalę deformacji syndepozycyjnych, przebieg oraz ramy czasowe fałdowań waryscyjskich, jak również znaczenie i skalę reaktywacji tektonicznej z przełomu Mastrychtu i Paleocenu (np. Kutek i Głazek, 1972, Lewandowski 1981, Szulczewski 1989, Lamarche 1999, Konon 2006).

Jako główny cel badań w pracy [1] obrano analizę rotacji jednostki SHCM względem stabilnych części kontynentu. Rotacje te badano zarówno w celu weryfikacji wieku akrecji MB, jak również aby zbadać możliwość późniejszej reaktywacji strefy sutury w warunkach tektoniki wewnątrzpłytkowej. Dodatkowym celem badawczym było uściślenie wieku fałdowań na obszarze SHCM. Analizom poddano dewońskie skały węglanowe z uwagi na szeroki zasięg geograficzny ich odsłoneń. Próby do badań pobrano w obrębie całego obszaru wychodni tych skał na terenie SHCM. Co więcej, próby pobrano tak, by testy fałdowe dotyczyły głównych regionalnych fałdów o skali kilometrów nie zaś mniejszych struktur fałdowych umiejscowionych w skrzydłach tychże dużych fałdów. Analizy paleomagnetyczne pozwoliły na separację trzech składowych pozostałości magnetycznej o różnych temperaturach blokujących. Obserwowane własności składowych pozostałości magnetycznej odpowiadały opisanym w poprzednich pracach (Grabowski i Nawrocki 1996, 2001, Szaniawski 1997, Zwing 2003, Grabowski et al. 2006) stąd do ich klasyfikacji zastosowano nazwy A, B i C zaproponowane przez Zwinga (2003). Testy fałdowe oparte na kierunkach średnich dla stanowisk udokumentowały wczesno synfałdową genezę jednej ze składowych oraz pofałdową genezę drugiej z nich. Wiek tych składowych oszacowano w oparciu o porównanie obliczonych inklinacji z danymi referencyjnymi dla Baltiki.

Uzyskane wyniki pozwoliły na wyciągnięcie szeregu ważnych wniosków dotyczących tektogenezy badanego obszaru. Najważniejsza z konkluzji dotyczy pozycji MB względem platformy wschodnioeuropejskiej. Pozyskane dane dokumentują, że co najmniej od wizenu wymienione jednostki nie podlegały względem siebie znacznieszym rotacjom. Z uwagi na lokalizację miejsc pobrania prób w obrębie całego obszaru SHCM, uzyskane wyniki są

reprezentatywne dla interpretacji regionalnych. Kolejne wnioski dotyczą wieku badanych kilometrycznych fałdów – uzyskane rezultaty dowodzą, że ich geometria ukształtowała się podczas orogenezy waryscyjskiej. Najwcześniejsze fazy deformacji wystąpiły najprawdopodobniej już w wizenie, natomiast aktualna forma tych fałdów ukształtowała się przed wczesnym permem. Uzyskane wyniki wyznaczają tym samym ściślejsze ramy czasowe deformacji waryscyjskich. Wyniki wskazują również, że regionalne struktury fałdowe, które analizowane były w wewnętrznych strefach SHCM, a więc z dala od intensywniej zdeformowanych krawędzi tej jednostki, nie podlegały znaczniejszej reaktywacji podczas fazy deformacyjnej na przełomie mastrychtu i paleocenu.

Omówienie prac [2] i [3]

Dobre rozpoznanie etapów przemagnesowania skał dewońskich z terenu SHCM (podsumowanie w pracy 1), w tym oszacowanie wieku trzech epizodów przemagnesowania, poznanie własności magnetycznych poszczególnych składowych pozostałości magnetycznej oraz przeprowadzenie regionalnych testów fałdowych, otworzyło drogę do dalszych badań dotyczących tektogenezy tego obszaru. Badania te opisane w pracach 2 i 3 ukierunkowane były na określenie wieku względnego wybranych struktur tektonicznych w odniesieniu do poszczególnych epizodów przemagnesowania. Do badań wytypowano te struktury tektoniczne, których wiek powstania budził szczególne kontrowersje w kontekście zdarzeń o charakterze regionalnym i był szeroko dyskutowany w literaturze przedmiotu. Uściślenie ram czasowych dla procesów prowadzących do powstania tych struktur pozwoliło tym samym na wyciągnięcie wniosków istotnych dla ewolucji tektonicznej całych Gór Świętokrzyskich.

Pierwsza z omawianych publikacji [2] przedstawia analizę brekcji tektonicznej z kamieniołomu Wietrznia. Jej wiek i geneza interpretowane były dwójako: większa część autorów opisywała ją jako powstałą po fałdowaniach waryscyjskich i wiązała jej genezę z procesami krasowymi (Szulczewski 1995, Urban 2007). Alternatywne poglądy przypisywały jej natomiast znacznie wcześniejszy wiek, interpretując ją jako synsedymencyjną, czyli związaną z aktywnością tektoniczną z okresu osadzania się skał (Lamarche i inni, 2003). Warto zaznaczyć w tym miejscu, że z uwagi na znaczne rozmiary omawianej brekcji, przyjęcie drugiego z opisanych modeli wiązałoby się z koniecznością założenia bardzo dużej skali syndepozycyjnych deformacji tektonicznych w dewonie.

W badaniach opisanych w publikacji [2] posłużono się metodą tzw. testu brekcji. W próbach pobranych z poszczególnych bloków z brekcji zidentyfikowano i obliczono kierunki dwóch składowych pozostałości magnetycznej. Własności magnetyczne tych składowych odpowiadały składowym B i A znanym ze skał w pozycji *in situ* i zinterpretowanym we wcześniejszej publikacji [1] jako odpowiednio wczesno synfałdowa wieku wizeńskiego i pofałdowa wczesnopermska. Kierunki dla obydwu ze składowych były

spójne w obrębie pojedynczych bloków brekcji, różniły się natomiast całkowicie pomiędzy poszczególnymi blokami. Oznacza to, że brekcja powstała po zapisie obydwu ze składowych co przeczy jej syndepozycyjnej genezie.

Kolejna z publikacji [3] przedstawia datowania względne szeregu wybranych struktur tektonicznych z zachodniego skraju jednostki SHCM. Na obszarze tym, w szczególności w rejonie kontaktu trzonu paleozoicznego z jego mezozoicznym obrzeżeniem, wyniki wcześniejszych badań tektonicznych wskazywały na szczególnie intensywne deformacje z okresu mastrycht-paleocen (Gągol i inni 1976, Głazek i inni 1981, Lamarche i inni 2002, 2003). Do badań opisanych w publikacji [3] wytypowano duże fałdy o skali kilometrycznej, wybrane niewielkie struktury fałdowe o skali metrów, brekcję tektoniczną pokrywającą niezgodnie sfałdowane osady z kamieniołomu Laskowa oraz zdeformowane warstwy skalne sąsiadujące z dekstralnymi uskokami przesuwczymi o orientacji północ-południe. Geneza i wiek tych uskoków były przedmiotem ożywionej dyskusji naukowej (Konon 2007, 2009, Świdrowska i Lamarche 2009).

Badania laboratoryjne opisane w pracy [3] obejmowały szczegółowe analizy petromagnetyczne (krzywe nakładania izotermalnej pozostałości magnetycznej (IRM) oraz tzw. testy Lowrie) a następnie rozmagnesowanie termiczne przeprowadzone w celu separacji składowych naturalnej pozostałości magnetycznej. Wyniki wykazały, że badane skały zawierają zapis dwóch składowych pozostałości magnetycznej, które zidentyfikowano jako wtórne składowe A i C datowane w poprzedniej pracy [1] na wczesny perm oraz przedział od późnego permu do wczesnego triasu. Kierunki wczesnopermskiej składowej pozostałości magnetycznej wskazywały na prawoskrętne rotacje rzędu 20°, które zinterpretowano jako efekt późnowaryscyjskich deformacji. Rotacje te są ograniczone jedynie do zachodnich części jednostki SHCM. Rezultaty testów fałdowych udokumentowały reaktywację części z badanych struktur fałdowych, do której doszło po wczesnym permie. Badania uskoków przesuwczych wskazują zaś, że były one aktywne po wczesnym permie, ale najprawdopodobniej przed deformacjami z okresu mastrycht-paleocen. Podobnie badania brekcji wykazały, że powstała ona po przemagnesowaniu wczesnopermskim. Zestawienie uzyskanych wyników z istniejącymi rezultatami badań tektonicznych pozwala na identyfikację szeregu faz deformacji, do których dochodziło przy zmieniającym się polu naprężeń. Stanowi to istotny wkład w poznanie złożonej ewolucji tektonicznej Gór Świętokrzyskich.

Warto wspomnieć w tym miejscu, że analogiczna metodyka badań wykorzystana została w pracy magisterskiej mgr J. Roszkowskiej pt. „Analiza paleomagnetyczna i strukturalna synkliny gałęzicko-bolechowickiej w rejonie Kowali”, wykonanej pod wspólną opieką promotorską dr Andrzeja Konona i moją. Praca ta, obroniona na Wydziale Geologii UW, uzyskała ocenę bardzo dobrą. Prezentacja wyników przedstawiona na konferencji *12th Castle Meeting, New Trends in Geomagnetism* zdobyła wyróżnienia i nagrody (tzw. *Certificate of Excellence* oraz *IAGA Young Researcher Travel Award*) przyznawane przez organizatorów (<http://www.irm.umn.edu/quarterly/irmq20-3.pdf>, szczegóły na str. 2).

Omówienie pracy [4]

Czwarta z prezentowanych publikacji przedstawia prace badawcze przeprowadzone na Słowacji na obszarze Gór Strażowskich, należących do jednostki Centralnych Karpat Zachodnich. Przedmiotem analiz były wapień późnej jury i wczesnej kredy wchodzące w skład płaszczowiny kriżniańskiej. Badania dotyczyły problemu wtórnych przemagnesowań skał - podobnie jak w przypadku wielu innych skał węglanowych budujących łańcuchy górskie (zobacz np. Szaniawski i inni 2003, Elmore i inni 2012,) badane wapień uległy przemagnesowaniu chemicznemu prowadzącemu do zapisu wtórnej pozostałości magnetycznej. Przemagnesowania tego typu możliwe są do identyfikacji w oparciu o zaawansowane badania petromagnetyczne, a odczytane kierunki wtórnej pozostałości magnetycznej są użyteczne w interpretacjach tektonicznych i paleogeograficznych. Jako że mechanizmy przemagnesowania związane są genetycznie z różnorodnymi procesami geologicznymi którym podlegały skały, szersze zrozumienie powiązanych ze sobą zjawisk pozwala na przedstawienie spójnych i wieloaspektowych interpretacji.

W badaniach przedstawionych w publikacji [4] moim zadaniem były pomiary petromagnetyczne: pętle histerezy oraz analizy pola koercji remanencji H_{cr} . Badania przeprowadzono przy użyciu magnetometru wibracyjnego Micro-Mag znajdującego się na wyposażeniu IGF PAN. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci diagramów Daya (Day i inni 1997) oraz porównano z krzywymi teoretycznymi (Dunlop 2002). Pozwoliło to na identyfikację własności magnetycznych charakterystycznych dla przemagnesowania chemicznego. Przemagnesowanie to charakteryzowało się różnym nasileniem w skałach pochodzących z różnych odsłoneń. W badaniach opisanych w publikacji [4] uczestniczyłem również w tektonicznej interpretacji kierunków wtórnej pozostałości magnetycznej. Zgodnie z przedstawionym modelem do zapisu namagnesowania doszło w stadium pośrednim deformacji skał w trakcie wieloetapowej ewolucji tektonicznej obszaru badań.

Omówienie pracy [5]

Kolejna publikacja opisuje prace badawcze przeprowadzone na terenie południowych Apeninów. Badania wykonano w obrębie relatywnie młodych (pliocen i czwartorzęd) ilastych osadów stanowiących wypełnienie niewielkich basenów sedymentacyjnych. Baseny te tworzyły się na podlegającej przemieszczeniom przyłomie orogenicznej (tzw. *wedge-top basins*). Podstawowym narzędziem zastosowanym w omawianej pracy była analiza AMS. Wyniki badań AMS są od dziesięcioleci wykorzystywane w interpretacjach tektonicznych, umożliwiają bowiem odczytanie pola paleonaprężeń w skałach, które podlegały horyzontalnej kompresji (np. Pares i inni 1999). Stosunkowo niedawno zauważono, że metody AMS sprawdzają się również w badaniach słabo zdeformowanych osadów ilastych, umożliwiając określenie kierunku ekstensji w basenach sedymentacyjnych (np. Cifelli i inni 2005, 2007). Analogiczny cel badawczy wyznaczony został w omawianej pracy [4]. Metoda AMS użyta tu została w celu poznania kierunku ekstensji związanej z tworzeniem się

analizowanych basenów oraz określenia, czy i które z nich podlegały późniejszej kompresji, a jeśli owa kompresja miała miejsce - rozpoznanie jej kierunku.

Próby skał ilastych do badań AMS pobrane zostały w obrębie czterech różnych basenów sedymentacyjnych. Prace laboratoryjne rozpoczęto od analiz petromagnetycznych obejmujących tzw. termoanalizę, badania pętli histerezy oraz analizę zmian podatności magnetycznej w funkcji temperatury. Ich wyniki dowiodły, że dominującym minerałem ferromagnetycznym występującym w większości z badanych skał jest magnetyt. Zawartość minerałów ferromagnetycznych jest jednak stosunkowo niewielka a obserwowana podatność magnetyczna o wartościach rzędu 200×10^{-6} SI jest uwarunkowana przede wszystkim przez minerały ilaste o własnościach paramagnetycznych. Dalsze pomiary wykazały, że geneza AMS jest związana głównie z procesami sedymentacyjnymi przy mniejszym, ale dobrze rozpoznawalnym udziale procesów tektonicznych. Wyniki te pozwoliły dalej na wyróżnienie dwóch faz rozwoju badanych basenów: ekstensyjnej (kierunek NNW-SSE) oraz następującej po niej kompresyjnej (kierunek NE-SW).

Rezultaty badań AMS zinterpretowane zostały wspólnie z wynikami analiz tektonicznych, dostępnymi rezultatami sejsmiki refleksyjnej oraz danymi stratygraficznymi uściślającymi wiek osadów w poszczególnych basenach sedymentacyjnych. Interdyscyplinarne prace badawcze pozwoliły na identyfikację zmian regionalnego pola naprężeń na końcowych etapach ewolucji przyzmy orogenicznej przy jednoczesnym powiązaniu owych naprężeń z geometrią powstałych w ich wyniku struktur tektonicznych. Przedstawiona interpretacja zmian reżimu tektonicznego zakłada regionalną aktywność tektoniczną podłoża wpływającego na nadległą przyzmę orogeniczną. Doprowadziło to najpierw do fazy ekstensji w obrębie przyzmy i powstania analizowanych basenów sedymentacyjnych, a następnie do kompresji, której towarzyszyły deformacje o charakterze grubo-skórkowym (*thick-skinned*). Opisane badania przyczyniły się tym samym do lepszego poznania późnych faz ewolucji górotworu południowych Apeninów.

Warto wspomnieć, że publikacja ta stanowi przykład metodyki i organizacji badań, jakie uważam za najważniejsze i jakie chciałbym kontynuować. Opisane prace badawcze są wynikiem ścisłej współpracy specjalistów z różnych, uzupełniających się dziedzin. Pomysł na badania i wyznaczenie właściwych celów badawczych były efektem wspólnych dyskusji dotyczących niewyjaśnionych aspektów ewolucji pasm górskich oraz możliwości zastosowania metod magnetycznych do ich studiów. Prace terenowe przeprowadzone były przez zespół w składzie: prof. S. Mazzoli - specjalista od tektoniki oraz regionalnej ewolucji Apeninów, dr A. Ascione i dr A. Capalbo - specjaliści od lokalnej budowy geologicznej oraz wieku badanych skał opartego o biostratygrafię, F. Mittiga - student geologii uniwersytetu w Neapolu oraz ja – paleomagnetyk. Mój udział w badaniach terenowych finansowany był w ramach dwutygodniowego stypendium przyznanego przez MSZ Włoch na podstawie procedury konkursowej, opartej na ocenie wstępnego planu badań. Wszystkie badania magnetyczne wykonane zostały w laboratorium IGF PAN w Warszawie. Przez dwa miesiące

w badaniach laboratoryjnych uczestniczył student Francesco Mittiga, który pod moim kierownictwem odbył staż badawczy, finansowany w ramach programu ERAZMUS. Ostateczna analiza wszystkich danych oraz stworzenie modelu interpretacyjnego odbywały się w ścisłej współpracy, przy wykorzystaniu interdyscyplinarnej wiedzy autorów publikacji.

Omówienie pracy [6]

Badania opisane w pracy [6] przeprowadzone zostały w Tatrach, które zgodnie z aktualnym podziałem tektonicznym wchodzi w skład jednostki Centralnych Karpat Zachodnich (CWC). Jednostkę CWC uważa się za część tzw. Alcapy, interpretowanej jako mikrokontynent, który przed połączeniem z płytą europejską podlegał samodzielnym przemieszczeniom jako niezależny blok skorupy ziemskiej. Celem omawianej pracy było pozyskanie nowych informacji dotyczących pozycji paleogeograficznej Tatr (a tym samym i jednostki CWC oraz Alcapy) względem stabilnych części Europy.

Do badań wytypowano czerwone piaskowce wczesnego triasu z jednostki autochtonicznej Tatr. Wybór ten był nieprzypadkowy i podyktowany wieloma względami. Po pierwsze, czerwone piaskowce typu *red beds* znane są z tego, że stosunkowo często zachowują czytelny zapis pierwotnej pozostałości magnetycznej. Skały tego rodzaju są więc powszechnie wykorzystywane w badaniach paleomagnetycznych dotyczących paleogeografii i magnetostratygrafii (np. Stamatakos i inni 1995, Nawrocki 1997). Ponadto badane piaskowce spoczywają bezpośrednio na skałach trzonu krystalicznego Tatr i odstawiają się wzdłuż całej rozciągłości jednostki autochtonicznej. Pobranie szeregu prób wzdłuż pasa wychodni tych skał pozwoliło tym samym na uzyskanie wyników reprezentatywnych dla całego bloku Tatr. Badania ograniczono przy tym do jednostki autochtonicznej, jako że leżące powyżej płaszczowiny ulegać mogły samodzielnym, lokalnym rotacjom podczas procesu nasunięciowego. Co więcej, badana najniższa część profilu skał osadowych z jednostki autochtonicznej poddana była tylko niewielkim deformacjom podczas późnokredowego procesu nasunięcia tych płaszczowin. Przeprowadzone przez nasz zespół obserwacje i pomiary terenowe wskazały, że badane warstwy uległy wychyleniu tylko podczas jednej, neogeńskiej fazy tektonicznej. Stosunkowo prosta i dobrze rozpoznana pozycja tektoniczna badanych skał znacznie ułatwiła interpretację wyników paleomagnetycznych, umożliwiając wyciągnięcie wiarygodnych wniosków paleogeograficznych o wymiarze regionalnym.

Próby skalne pobrane w obrębie siedmiu stanowisk poddane zostały analizom w laboratorium IGF PAN. Prace rozpoczęto od badań petromagnetycznych obejmujących termoanalizę, krzywe IRM, testy Lowriego oraz badania zmian podatności magnetycznej w funkcji temperatury. Wyniki wykazały, że w badanych piaskowcach dominują minerały magnetyczne o wysokich polach koercji: hematyt oraz getyt. Dalsze badania obejmowały analizę AMS oraz badania anizotropii IRM. Wyniki tych pomiarów wskazują na głównie sedymentacyjną genezę uporządkowania minerałów, co omówiono w kontekście problemu

tw. błędu inklinacji. W dalszej kolejności próby poddano procesowi rozmagnesowania termicznego, który umożliwił separację namagnesowania zapisanego na nośniku hematytowym i charakteryzującego się wysokimi temperaturami blokującymi oraz podwójną polarnością. Uzyskane kierunki namagnesowania poddane zostały tzw. testowi inwersji, który przyniósł wynik pozytywny. Obliczony średni kierunek pozostałości magnetycznej porównano następnie z danymi referencyjnymi, co pozwoliło wykazać jedynie niewielką, lewoskrętną rotację bloku Tatr względem stabilnych części kontynentu europejskiego. Uzyskaną wartość rotacji przedyskutowano w kontekście wyników innych badań paleomagnetycznych przy uwzględnieniu złożonej i wieloetapowej historii deformacji obszaru badań.

Omówienie pracy [7]

Ostatnia z omawianych prac przedstawia wyniki paleomagnetyczne uzyskane na obszarze Karpat Zewnętrznych. Jednostka ta stanowi pasmo nasunięciowo-łańcuchowe, tworzące frontalną, zewnętrzną część łańcucha Karpat. Zbudowana jest ona w większości ze skał osadowych, które nasunięte są w postaci płaszczowin na krawędź platformy europejskiej. Dotychczasowe wyniki paleomagnetyczne z Karpat Zewnętrznych przyniosły częściowo sprzeczne rezultaty, wskazując bądź na stosunkowo niewielkie, zróżnicowane rotacje poszczególnych części płaszczowin, bądź - na wielkoskalowe rotacje całego pasma nasunięciowego (porównaj np. Korab i inni 1981, Grabowski i inni 2006, Márton i inni 2009). Problem ten ma fundamentalne znaczenie w kontekście poznania końcowych faz regionalnej ewolucji Karpat. Celem omawianej pracy było więc uzupełnienie istniejących danych paleomagnetycznych określających stopień rotacji Karpat Zewnętrznych.

Badania przeprowadzono w południowo-wschodniej Polsce na terenie jednostki podśląskiej. Do badań wytypowano charakterystyczne osady z tej jednostki – tzw. margle węglowieckie odznaczające się dużą zawartością hematytu. Próby skalne pobrano w obrębie siedmiu stanowisk umiejscowionych wzdłuż pasa wychodni badanych margli. Pobieraniu prób towarzyszyły terenowe badania tektoniczne, mające na celu rozpoznanie i ominięcie stref intensywnych lokalnych deformacji. Rezultaty pomiarów AMS wykazały dużą kompakcję osadów przy stosunkowo niewielkich, jak dla pasma nasunięciowego, odkształceniach wewnętrznych o genezie tektonicznej. Posługując się technikami rozmagnesowania termicznego, wyodrębniono pierwotną pozostałość magnetyczną zapisaną na nośniku hematytowym. Kierunek tej pozostałości wskazuje na jedynie niewielkie, prawoskrętne rotacje badanej jednostki względem stabilnych części kontynentu. Uzyskane wyniki wspierają tym samym interpretacje tektoniczne zakładające stosunkowo niewielkie i zróżnicowane rotacje w obrębie płaszczowin Karpat Zewnętrznych.

Literatura:

Bełka Z., Ahrendt H., Franke W., Wermer K., 2000. The Baltica-Gondwana suture in central Europe: evidence from K-Ar ages of detrital muscovites and biogeographical data. In: Franke W., Haak V., Oncken O., Tanner D.: *Orogenic processes: quantification and modelling in the Variscan belt of central Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 179, 87-102.

Cifelli F., Mattei M., Chadima M., Hirt A. M., Hansen A., 2005. *The origin of the tectonic lineation in extensional basins: combined neutron texture and magnetic analysis on "undeformed" clays*. Earth and Planetary Science Letters, 235 (1-2), 62-78.

Cifelli F., Rossetti F., and Mattei M., 2007. *The architecture of brittle postorogenic extension: results from an integrated structural and paleomagnetic study in north Calabria (southern Italy)*. Geological Society of America Bulletin, 119(1-2): 221-239.

Dadlez R., Kowalczewski Z., Znosko J., 1994. *Some key problems of the Pre-Permian tectonics of Poland*. Geological Quarterly, 38, 169-190.

Day R., Fuller M. D., Schmidt V. A., 1977. *Hysteresis properties of titanomagnetites: grain size and composition dependent*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 13, 260-266.

Dunlop D., 2002. *Theory and application of the day plot (Mrs/Ms versus hcr/hc), application to data for rocks, sediments, and soils*. Journal of Geophysical Research, 107, B3.

Elmore R. D., Muxworthy A. R., Aldana M., 2012. *Remagnetization and chemical alteration of sedimentary rocks*. Geological Society, London, Special Publications, 371, 1-21.

Gągol J., Głazek J., Jurkiewicz H., Kowalski W., Romanek A., 1976. *Tektonika, wykształcenie i surowce mineralne starszego mezozoiku oraz jego stosunek do podłoża waryscyjskiego*. Przewodnik 48 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego. 228-254.

Głazek J., Karwowski Ł., Racki G., Wrzołek T., 1981. *The early Devonian continental marine succession at Checiny in the Holy Cross Mts, and its palaeogeographic and tectonic significance*. Acta Geologica Polonica, 31 (3-4): 233-250.

Grabowski J., Nawrocki J., 1996. *Multiple remagnetizations in the Devonian carbonates in the north western part of the Kielce region (Holy Cross Mts., southern part)*. Geological Quarterly 40 (1), 47-64.

Grabowski J., Nawrocki J., 2001. *Palaeomagnetism of some Devonian carbonates from the Holy Cross Mts. (Central Poland): large pre-Permian rotations or strain modified palaeomagnetic directions?* Geological Quarterly, 45 (2): 165-178.

Grabowski J., Narkiewicz M., Sobień K., 2006. *Thermal controls on the remagnetization of Devonian carbonate rocks in the Kielce region (Holy Cross Mts.)*. Przegląd Geologiczny, 54, 10, 895-905.

Konon I., 2006. *Buckle folding in the Kielce Unit, Holy Cross Mountains, central Poland*. Acta Geologica Polonica, 56, 375-405.

Konon A., 2007. *Strike-slip faulting in the Kielce Unit, Holy Cross Mountains, central Poland*. Acta Geologica Polonica. 57, 4, 415-441.

Konon A., 2009. *Strike-slip faulting in the Kielce Unit, Holy Cross Mountains, central Poland - Discussion*. Acta Geologica Polonica, 59, 1, 128-135.

Korab T., Krs M., Krsová M., Pačá P., 1981. *Paleomagnetic investigations of Albian(?) -Paleocene to Lower Oligocene sediments from the Dukla unit, East Slovakian Flysch, Czechoslovakia*. Zapadne Karpaty. Geologia 7, 127-149.

Kutek J., Głazek J., 1972. *The Holy Cross area, Central Poland, in the Alpine cycle*. Acta Geologica Polonica, 22, 603-653.

- Lamarche J., Mansy J. -L., Bergerat F., Averbuch O., Hakenberg M., Lewandowski M., Stupnicka E., Swidrowska J., Wajsprych B., Wieczorek J., 1999. *Variscan tectonics in the Holy Cross Mountains (Poland) and the role of structural inheritance during Alpine tectonics*. Tectonophysics, 313, 171-186.
- Lamarche J., Bergerat F., Lewandowski M., Mansy J.L., Świdrowska J., Wieczorek J., 2002. *Variscan to Alpine heterogeneous palaeo-stress field above a major Palaeozoic suture in the Carpathian foreland (southeastern Poland)*. Tectonophysics. 357, 1-4, 55-80
- Lamarche J., Lewandowski M., Mansy J.L., Szulczewski M., 2003. *Partitioning pre-, syn- and post-Variscan deformation in the Holy Cross Mountains, eastern Variscan fore land. In: Tracing Tectonic Deformation Using the Sedimentary Record (eds. T. McCann and A. Saintot)*. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 208, 159-184.
- Lewandowski M., 1981. *Post-folding characteristic remanent magnetization of the Upper Devonian Kostomłoty Beds in the Holy Cross Mts*. Acta Geologica Polonica, 31, 265-272.
- Lewandowski M., 1993. *Paleomagnetism of the Paleozoic rocks of the Holy Cross Mts (Central Poland) and the origin of the Variscan orogeny*. Publications of the Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, A23(265), 1-85.
- Márton E., Rauch-Włodarska M., Krejčí O., Tokarski A.K., Bubík M., 2009. *An integrated palaeomagnetic and AMS study of the tertiary flysch from the Outer Western Carpathians*. Geophysical Journal International 177, 925-940.
- Nance R.D., Gutiérrez-Alonso G., Keppie J.D., Linnemann U., Murphy J.B., Quesada C., Strachan R.A. and Woodcock N.H., 2012. *A brief history of the Rheic Ocean*. Geoscience Frontiers, 3, 125-135.
- Nawrocki J., 1997. *Permian to Early Triassic magnetostratigraphy from the Central European Basin in Poland: implications on regional and worldwide correlations*. Earth and Planetary Science Letters, 152, 1-4, 37-58.
- Nawrocki J., 2000. *Late Silurian paleomagnetic pole from the Holy Cross Mountains: constraints for the post-Caledonian tectonic activity of the Trans-European Suture Zone*. Earth and Planetary Science Letters, 179, 325-334.
- Parés J.M., Van der Pluijm B.A., Dinarès-Turell J., 1999. *Evolution of magnetic fabrics during incipient deformation of mudrocks (Pyrenees, northern Spain)*. Tectonophysics, 307, 1-2, 1-14.
- Požaryski W., 1991. *The strike-slip terranemodel for the North German-Polish Caledonides*. Publications of the Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, A19(236), 3-15.
- Schätz M., Zwing A., Tait J., Belka Z., Soffel H.C., Bachtadse V., 2006. *Paleomagnetism of Ordovician carbonate rocks from Malopolska Massif, Holy Cross Mountains, SE Poland—Magnetostratigraphic and geotectonic implications*. Earth and Planetary Science Letters, 244, 1-2: 349-360
- Stamatatos J., Lessard A.M., Van der Pluijm B.A., Van der Voo R., 1995. *Paleomagnetism and magnetic fabrics from the Springdale and Wigwam red beds of Newfoundland and their implications for the Silurian paleolatitude controversy*. Earth and Planetary Science Letters., 132, 141-155.
- Stupnicka E., 1992. *The significance of the Variscan orogeny in the Świętokrzyskie Mountains (Mid Polish Uplands)*. Geologische Rundschau, 81, 561-570.
- Szaniawski R. 1997. *Paleomagnetyzm a diagenetyzm dolomitów dewońskich z regionu kieleckiego Gór Świętokrzyskich*. Praca magisterska – Wydział Geologii UW
- Szaniawski R., Lewandowski M., Mansy J.-L., Averbuch O., Lacquement F., 2003. *Syn-folding magnetization in the French-Belgium Variscides as a marker of the fold belt tectonic evolution*. Bulletin de la Societe Geologique de France, 174, 5, 511-523.
- Szulczewski M., 1989. *Światowe i regionalne zdarzenia w zapisie stratygraficznym pogranicza franu z famenem Gór Świętokrzyskich*. Przegląd Geologiczny, 37, 551-557.
- Szulczewski M., 1995. *Depositional evolution of the Holy Cross Mts. (Po land) in the Devonian and Carboniferous - a review*. Geological Quarterly 39, 4, 471-488.

Świdrowska J., Lamarche J., 2009. *Discussion on: Strike-slip faulting in the Kielce Unit, Holy Cross Mountains, central Poland* by A. Konon. *Acta Geologica Polonica*, 59, 1, 123-135.

Urban J., 2007. *Permian to Triassic paleokarst of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mts, central Poland*. *Geologia*, 33, 1, 5-50.

Weil A.B., Gutiérrez-Alonso G., Johnston S.T., Pastor-Galán D., 2013. *Kinematic constraints on buckling a lithospheric-scale orocline along the northern margin of Gondwana: A geologic synthesis*. *Tectonophysics*, 582, 2, 25-49.

Winchester J., A., PACE TMR Network Team., 2002. *Paleozoic amalgamation of Central Europe: new results from recent geological and geophysical investigations*. *Tectonophysics*, 360, 5-21.

Zwing A., 2003. *Causes and Mechanisms of Remagnetisation Palaeozoic Sedimentary Rocks a Multidisciplinary Approach*. Praca doktorska, LMU Monachium.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

Tektogeneza zewnętrznych części waryscydów na obszarze Ardenów Francji i Belgii - określenie skali, zasięgu i genezy rotacji w obrębie pasma nasunięciowego

Cztery przedstawione poniżej publikacje przedstawiają rezultaty, a zarazem stanowią rozwinięcie badań przeprowadzonych w ramach pracy doktorskiej. Opisane prace badawcze opierały się na integracji metod paleomagnetycznych z wynikami analiz AMS oraz rezultatami terenowych badań strukturalnych. Badania te wykazały, że rotacje w obrębie łańcucha Ardenów nie obejmują, jak przypuszczano wcześniej, całego pasma nasunięciowego, ale mają charakter lokalny i dotyczą jedynie stosunkowo wąskich stref charakteryzujących się nietypowymi orientacjami osi fałdów. Przedstawiona interpretacja genezy tych stref oparta jest na modelu tzw. skośnych ramp w obrębie odklucia płaszczowinowego. Geometria powierzchni odklucia powstającego na etapie nasunięciowym była determinowana przez zmienną miąższość osadów akumulowanych wcześniej na brzegu pasywnym kontynentu. Duża lateralna zmienność miąższości tych osadów była zaś związana z aktywnością uskoków synsedymencyjnych.

Averbuch O., Lacquement F., Szaniawski R., Mansy J.-L., Lewandowski M., 2002. *Segmentation of the Variscan thrust front (N France, S Belgium): insights into the geometry of the Devonian Rheno-Hercynian Basin*. *Aardk. Mededel. Geologica Belgica*, 12, 89-92.

Szaniawski R., Lewandowski M., Mansy J.-L., Averbuch O., Lacquement F. 2003. *Syn-folding magnetization in the French-Belgium Variscides as a marker of the fold belt tectonic evolution*. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 174, 5, 511-523.

Lacquement F., Averbuch O., Mansy J.-L., Szaniawski R., Lewandowski M., 2005. *Transpressional deformations at lateral boundaries of propagating thrust-sheets: the example of the Meuse Valley Recess within the Ardennes Variscan fold-and-thrust belt (N France–S Belgium)*. *Journal of Structural Geology*, 27, 1788-1802.

Averbuch O., Lacquement F., Mansy J-L., Szaniawski R., Lewandowski M., 2006. *Deformation along the northern front of the variscan belt: example of the French-Belgium Ardennes in the Givet area*. Géologie de la France, 1, 2, 85-90.

Datowania względne uskoku Ferques (Francja)

Publikacja opisuje badania wieku względnego struktur tektonicznych w oparciu o metody paleomagnetyczne. W badaniach tych uczestniczyłem w pracach związanych z uskokiem Ferques, obejmujących: badania terenowe, analizy laboratoryjne oraz interpretację wyników. Wiek uskoku określono jako starszy od środkowego triasu.

Lewandowski M., Mansy J.L., Averbuch O., Lamarche J., Szaniawski R., 1999. *Paleomagnetic dating of brittle tectonic structures: case studies on Ferques Fault (Boulonnais, France) and two faults from the Holy Cross MTS (Poland)*. Comptes Rendus Geoscience. 329, 495-502.

Datowania procesów pograżania i ekshumacji skał budujących Karpaty Zewnętrzne wraz z interpretacją mechanizmu tych procesów w kontekście ewolucji geotektonicznej obszaru badań

Badania opisane w trzech poniższych publikacjach są efektem współpracy z zespołem z Uniwersytetów w Padwie i Bolonii, posługującym się metodami termo chronologicznymi oraz tektoniczną analizą strukturalną. Wspólne badania na terenie Karpat Zewnętrznych pozwoliły na wyodrębnienie i datowanie poszczególnych etapów pograżania i ekshumacji skał związanych z procesami nasunięć płaszczowinowych, erozji oraz z późniejszym rozpadem grawitacyjnym przyzmy orogenicznej. Moim wkładem w omawiane badania jest: udział w wyborze miejsc pobrania prób, uczestnictwo w pracach terenowych oraz udział w interpretacjach tektonicznych uzyskanych rezultatów. W przyszłości planuję szerszą integrację badań metodami paleomagnetycznymi i termochronologicznymi, jako że szereg problemów badawczych (np. wiek zjawisk termicznych w obrębie przyzmy orogenicznej) może być analizowanych z wykorzystaniem obydwu technik.

Mazzoli S., Jankowski L., Szaniawski R., Zattin M., 2010. *Low-T thermochronometric evidence for post-thrusting (< 11 Ma) exhumation in the Western Outer Carpathians, Poland*. Comptes Rendus Geoscience, 342 (2), 162-169.

Zattin M., Andreucci B., Jankowski L., Mazzoli S., Szaniawski R., 2011. *Neogene exhumation in the Outer Western Carpathians*. Terra Nova, 23, 283-291.

Andreucci B., Castelluccio A., Jankowski L., Mazzoli S., Szaniawski R. Zattin, M., 2013. *Burial and exhumation history of the Polish Outer Carpathians: Discriminating the role of thrusting and post-thrusting extension*. *Tectonophysics*, 608, 866-883.

Rafał Junosza-Szaniawski

