

## 1. Imię i Nazwisko

**Mirosław Jastrzębski**

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania

### 2005 – Doktor nauk o Ziemi w zakresie geologii

„*Marmury w kopule orlicko-śnieżnickiej: historia tektoniczna i metamorficzna*”

Instytut Nauk Geologicznych PAN

### 2000 – Magister

„*Geneza okruszczenia skał w rejonie Marcinkowa (Masyw Śnieżnika)*”

Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski

### 1998 – Licencjat

„*Ślady wielkiej katastrofy na przełomie kredy i trzeciorzędu*”

Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

2015 - Instytut Nauk Geologicznych PAN: *Specjalista naukowo-techniczny*

2005-2015 - Instytut Nauk Geologicznych PAN: *Adjunkt*

2005 - Instytut Nauk Geologicznych PAN: *Asystent*

2000-2005 - Instytut Nauk Geologicznych PAN: *Doktorant*

## 4. Jako osiągnięcie wynikające 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.) przedstawiam cykl pięciu publikacji pod zbiorczym tytułem:

„Strefa nasunięcia moldanubskiego w Sudetach jako efekt waryscyjskiej kolizji terranów: wiek i pochodzenie terranów oraz ewolucja tektono-metamorficzna strefy szwu kolizyjnego”.

Przestawiony cykl artykułów został opublikowany w latach 2010-2015. Cztery z nich to prace zespołowe [A1, A3, A4, A5], których byłem liderem a mój wkład w ich powstanie oceniam na >50%, zaś jedna praca [A2] jest pracą samodzielną. Wszystkie zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach indeksowanych przez „Journal Citation Reports” i znajdujących się na liście „A” czasopism Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Dla artykułów składających się na osiągnięcie naukowe, suma współczynników dwuletniego IF z roku ich publikacji wynosi 15.485, zaś suma punktów MNiSW wynosi 185.

[A1] Jastrzębski, M., Żelaźniewicz, A., Nowak, I., Murtezi, M. Larionov, A. N. 2010. Protolith age and provenance of metasedimentary rocks in Variscan allochthon units: U–Pb SHRIMP zircon data from the Orlica–Śnieżnik Dome, West Sudetes, *Geological Magazine*, 147, 416–433. doi: 10.1017/S0016756809990501 (Lista “A” MNiSW = 30 pkt, IF2010 = 2.207; 5YearIF2012 = 2.604)

[A2] Jastrzębski, M., 2012. New insights into the polyphase evolution of the Variscan suture zone: evidence from the Staré Město Belt, NE Bohemian Massif. *Geological Magazine*, 149, 945–963, doi: 10.1017/S0016756812000040 (Lista "A" MNiSW = 30 pkt, IF2012 = 2.270; 5YearIF2012 = 2.538)

[A3] Jastrzębski, M., Żelazniewicz, A., Majka, J., Murtezi, M. Bazarnik, J., Kapitonov, I., 2013. Constraints on the Devonian–Carboniferous closure of the Rheic Ocean from a multi-method geochronology study of the Staré Město Belt in the Sudetes (Poland and the Czech Republic). *Lithos*, 170-171, 54–72. doi: 10.1016/j.lithos.2013.02.021 (Lista "A" MNiSW = 45 pkt, IF2013 = 3.654; 5YearIF2013 = 4.634)

[A4] Jastrzębski, M., Stawikowski, W., Budzyń, B., Orłowski, R., 2014. Migmatization and large-scale folding in the Orlica–Śnieżnik Dome, NE Bohemian Massif: Pressure–Temperature–time–deformation constraints on Variscan terrane assembly. *Tectonophysics*, 360, 54–74. doi: 10.1016/j.tecto.2014.05.011 (Lista "A" MNiSW = 35 pkt, IF2014 = 2.872; 5YearIF2014 = 3.131)

[A5] Jastrzębski, M., Żelazniewicz, A., Murtezi, M., Larionov, A.N., Sergeev, S. 2015. The Moldanubian Thrust Zone - a terrane boundary in the Central European Variscides refined based on lithostratigraphy and U-Pb zircon geochronology. *Lithos*, 220–223, 116–132. doi:10.1016/j.lithos.2015.01.023 (Lista "A" MNiSW = 45 pkt, IF2014 = 4.482; 5YearIF2014 = 4.903)

## 5. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników

### 1. Wstęp. Nakreślenie celów i struktury osiągnięcia naukowego.

Nasunięcie moldanubskie zlokalizowane jest we wschodniej części Masywu Czeskiego. Rozpoznane już ponad 100 lat temu jako rozdzielające dwie domeny o wyraźnie odmiennej charakterystyce (Suess, 1912), dziś często jest interpretowane jako ważna granica geologiczna dzieląca zespół terranów armorykańskich i mikrokontynent brunowistuliański, które uczestniczyły w rozwoju waryscyjskiego orogenu kolizyjnego w środkowej Europie (np. Matte et al. 1990, Tait et al. 1997). W Sudetach, na północnym przedłużeniu strefy nasunięcia moldanubskiego, także już od dawna lokalizowano kluczową granicę geologiczną Sudetów tzn. granicę pomiędzy domenami LUGICUM i SILESICUM (Closs, 1922) lub odpowiadających im tzw. Sudetom Zachodnim i Wschodnim (np. Bederke, 1929). Hipoteza terranów zastosowana pod koniec XX wieku dla lepszego zrozumienia złożonej budowy Masywu Czeskiego (np. Cymerman et al. 1997, Tait et al. 1997, Franke i Żelazniewicz et al. 2000), podkreśliła jeszcze znaczenie tej granicy tektonicznej w Sudetach jako strefy szwu waryscyjskiej kolizji mikrokontynentów t.j. szwu pomiędzy wschodnią częścią terranu saksoturyńskiego zajmującą pozycję skrzydła stropowego i zachodnią częścią terranu brunowistuliańskiego zajmującą pozycję skrzydła spągowego (Fig.1). Granica ta określona jednak w sposób niejednoznaczny lokalizowana jest zwykle pomiędzy kopułą orlicko-śnieżnicką i dewońską okrywą kopuły Keprnika. W tym rejonie koncentruje się bowiem kilka zapadających na zachód nasunięć mogących być strukturalnym odpowiednikiem strefy nasunięcia moldanubskiego, jednakże kinematyka przemieszczeń wzdłuż tych nasunięć oraz ich znaczenie jako ewentualnych granic terranów jest nadal przedmiotem dyskusji (np. Cymerman 1993, Don et al. 2003, Opletal i Pecina 2004). Także przebieg waryscyjskiego zestawienia terranów niesie sporo znaków zapytania. Dane literaturowe podkreślają rolę karbońskiego, prawoskrętnego ścinania syntektonicznego z intruzją pokładową granodiorytów w osiowej części pasma Starego Mesta (np. Parry et al. 1997). Z drugiej strony, także kambro-ordowickie deformacje o istotnym

znaczeniu są postulowane w tej jednostce (np. Lexa et al. 2005), zaś jednostki sąsiadujące od wschodu i zachodu wykazują odmienne, bo równoleżnikowe kierunki głównego transportu tektonicznego (np. Don et al. 1990, Chab et al. 1994). Ponieważ rekonstrukcje ewolucji strukturalnej w paśmie fałdowym Starego Města były w głównej mierze oparte na badaniach skał granitoidowych oraz metabazytowych (min. Parry et al. 1997), wymagały one weryfikacji, rozwinięcia i uszczegółowienia w oparciu o dane strukturalne i petrologiczne zebrane z badań skał metaosadowych.

Do pełnego obrazu strefy nasunięcia moldanubskiego w Sudetach jako efektu waryscyjskiej kolizji terranów użyto następujących metod badawczych: analizy mezo- i mikro-strukturalnej, badań mikrosondowych, modelowań termodynamicznych oraz badań geochronologicznych. Poprzez interpretację danych zawartych w opracowaniach cząstkowych udało się:

- 1) Ustalić wiek protolitów oraz proveniencję skał metaosadowo-wulkanicznych występujących w obrębie strefy północnego przedłużenia nasunięcia moldanubskiego. W Sudetach udało się zidentyfikować i ustalić litostratygrafię jednostek brunowistuljańskich i armorykańskich oraz rozdzielić te jednostki [A1, A5],
- 2) Zrekonstruować przebieg waryscyjskiego zestawienia terranów w strefie szwu kolizyjnego, w tym uściślić kinematykę głównych przemieszczeń, warunki P-T oraz czas kolejnych wydarzeń tektonicznych [A2, A3, A4, A5],
- 3) Określić znaczenie geodynamiczne poszczególnych granic geologicznych w strefie szwu oraz wyznaczyć granicę szwu orogenicznego [A2, A5] (Fig. 1).

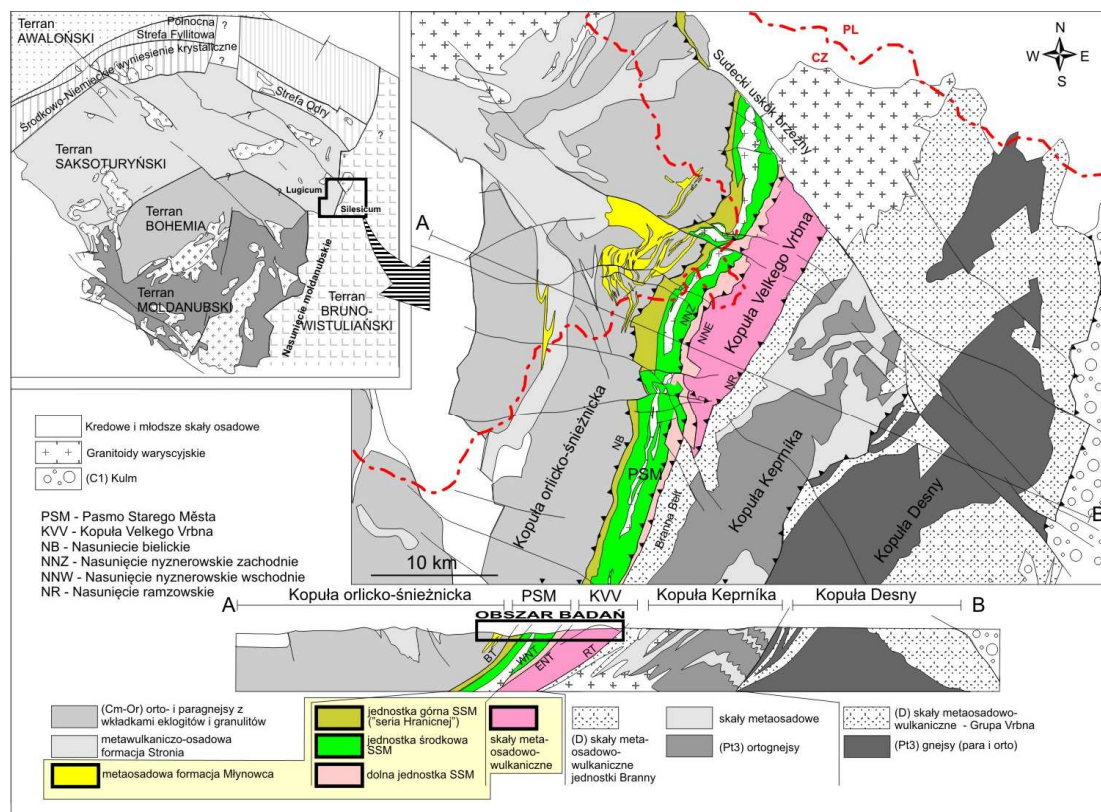


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle mapy terranów Masywu Czeskiego (wg Franke i Żelaźniewicza, 2000, zmodyfikowana) oraz szkicu i przekroju geologicznego przez sudecką część strefy nasunięcia moldanubskiego (skompilowanych z prac publikowanych przez Dona et al. 1990, Sawickiego, 1995, Schulmanna i Gayera, 2000 oraz Dona et al. 2003). Wydzielenia zaznaczone kolorami na mapie geologicznej oraz pogrubione elementy w legendzie u dołu figury wskazują skały, które stanowiły przedmiot badań w osiągnięciu naukowym. Szczegóły lokalizacji obszaru badań i analizowanych próbek znajdują się w przedłożonych artykułach.

## 2. Obiekt badań

W obrębie regionalnych granic tektonicznych mogących stanowić strukturalny odpowiednik nasunięcia moldanubskiego, znajdują się włączone w waryscyjskie zestawienie terranów: wschodnia część kopuły orlicko-śnieżnickiej, wydłużone w kierunku NNE-SSW pasmo Starego Města zbudowane z trzech wąskich podjednostek litotektonicznych zapadających w kierunku zachodnim oraz kopuła Velkego Vrbna (Fig. 1). Przedmiotem badań cyklu publikacji są skały metaosadowo-wulkaniczne stanowiące istotny składnik tych jednostek (Fig. 1).

Artykuły stanowiące osiągnięcie naukowe obejmują wyniki badań nad 1) metaosadowymi skałami formacji Młynowca, które znajdują się w bliskim sąsiedztwie pasma fałdowego Starego Města w części wschodniej kopuły orlicko-śnieżnickiej [A1, A4], 2) metaosadowo-wulkanicznymi skałami górnej jednostki pasma Starego Města (tzw. serią Hraničnéj) oddzielonej od kopuły orlicko-śnieżnickiej nasunięciem bielickim [A2, A3, A5], 3) metaosadowymi skałami towarzyszącymi amfibolitom typu MORB środkowej jednostki pasma Starego Města [A2, A3], 4) metaosadowo-wulkanicznymi skałami dolnej jednostki pasma Starego Města znajdującymi się pomiędzy nasunięciami nyznerowskim zachodnim i wschodnim [A2, A5] oraz 5) metawulkanicznymi skałami kopuły Velkego Vrbna znajdującymi się pomiędzy nasunięciem nyznerowskim wschodnim oraz nasunięciem ramzowskim [A5] (Fig. 1).

## 3. Wyniki badań

### 3.1 Wiek i pochodzenie jednostek.

Do zdefiniowania pochodzenia jednostek litotektonicznych rozdzielonych regionalnymi nasunięciami oraz korelacji tych jednostek do terranów zestawionych w orogen waryscyjski przeprowadzono datowania U-Pb cyrkonów detrytycznych pochodzących z paragnejsów formacji Młynowca w kopule orlicko-śnieżnickiej [A1], cyrkonów detrytycznych pochodzących z kwarcytów z Bruska [A5], magmowych oraz odziedziczonych cyrkonów wyreparowanych ze skał metawulkanicznych pasma Starego Města (SSM) [A5], a także skał metawulkanicznych kopuły Velkego Vrbna [A5].

Datowania cyrkonów detrytycznych formacji Młynowca wykazały dowody na archaiczne (3.0-2.3 mld lat), wczesno-proterozoiczne (2.1-1.8 mld lat) i późno-proterozoiczne skały magmowe (660-530 mln lat) znajdujące się w obszarze źródłowym basenu sedymentacyjnego formacji Młynowca, sygnalizujące związek skrzydła stropowego waryscyjskiej strefy kolizji z zachodnio-afrykańską częścią Gondwany i prawdopodobny związek kopuły orlicko-śnieżnickiej z terranem saksoturyńskim [A1]. Obecność w formacji Młynowca cyrkonów sprzed ok. 540-530 mln lat wskazuje, że jej sedymentacja nie odbywała się w proterozoiku, lecz rozpoczęła się już po wczesnym kambrze poprzedzając późno-kambryjską wzmogłą aktywność wulkaniczną charakterystyczną dla formacji Stronia. Brak widocznej niezgodności sedymentacyjnej pomiędzy skałami formacji Młynowca i pozostałymi skałami pochodzenia osadowego w kopule orlicko-śnieżnickiej wykazana po raz pierwszy badaniami geochronologicznymi - podobnymi spektrami wiekowymi cyrkonów detrytycznych [A1] potwierdziła przewidywania części badaczy obszaru popierających tezę o połączeniu formacji Młynowca i Stronia w jedną sekwencję metaosadowo-wulkaniczną (np. Smulikowski 1979, Wojciechowska 1993). Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na odrębny pogląd Mazura et al. (2012), który jednak nie znalazł potwierdzenia w dalszych badaniach tj. obserwacjach relacji przestrzennych pomiędzy różnymi typami skał metaosadowych w kopule orlicko-śnieżnickiej [A4, A5], badaniach ich zapisu mikrostrukturalnego [A4] i dalszych badaniach geochronologicznych [A5]. Łącznie badania te raczej wskazują na strukturalną i metamorficzną ciągłość późno-kambryjskiej grupy metaosadowo-wulkanicznej w kopule orlicko-śnieżnickiej [A1, A4, A5].

Datowania skał metawulkanicznych górnej i dolnej jednostki pasma Starego Města tworzące przewarstwienia ze skałami metaosadowymi wykazały analogiczny wiek jak metaosadowe-wulkaniczne skały kopuły orlicko-śniežnickiej sugerując powinowactwo tych skał do terranu saksoturyńskiego. Datowania U-Pb magmowych cyrkonów pochodzących z kwaśnych skał metawulkanicznych odpowiednio górnej i dolnej jednostki pasma Starego Města przyniosły wieki  $493 \pm 4$  i  $498 \pm 5$  mln lat, interpretowane jako wiek krystalizacji kwaśnych law [A5]. Podobny wiek depozycji został także oszacowany dla kwarcytów z Bruska, znajdujących się na granicy pasma Starego Města i kopuły Velkego Vrbna. Skały te były przypisywane wcześniej do jednej lub drugiej jednostki a ich wiek pozostawał nieokreślony, niekiedy sugerowany jako późnoproterozoiczny lub dewoński (patrz Don et al. 2003). Badania geochronologiczne [A5] wykazały, że kwarcyty z Bruska posiadają analogiczne spektrum wieków U-Pb cyrkonów detrytycznych co wymienione powyżej metadetrytyczne skały kopuły orlicko-śniežnickiej, zaś piaszczysty protolit tych skał osadzał się najprawdopodobniej w późnym kambrze [A5].

Zdecydowanie odmiennie prezentują się pod kątem wieku protolitu przebadane skały metawulkaniczne kopuły Velkego Vrbna, które podścielają mylonityczne kwarcyty z Bruska. Datowanie U-Pb cyrkonów pochodzących z próbek metadacytu i metabazaltu z wyższej strukturalnie części kopuły Velkego Vrbna wykazało odpowiednio wieki krystalizacji magmowego protolitu na  $558 \pm 4$  i  $557 \pm 4$  mln lat.

Badania geochronologiczne z części sudeckiej strefy nasunięcia moldanubskiego [A1, A5] potwierdzają wyraźne różnice w charakterystyce wieków cyrkonowych dla obu skrzydeł strefy udowodnione dla obszaru przedsudeckiego (np. Oberc-Dziedzic et al. 2003, Mazur et al. 2010). Nowe dane skłaniają do przyjęcia brunowistuliańskiego pochodzenia skał kopuły Velkego Vrbna, a główną granicę tektoniczną sytuują w nasunięciu nyznerowskim wschodnim zlokalizowanym w spągu wydłużonego ciała kwarcytów z Bruska [A5]. Nasunięcie nyznerowskie wschodnie, lokalnie stowarzyszone z ciałami serpentynitów, jest najważniejszą granicą tektoniczną oddzielającą jednostki zdominowane przez skały paleozoiczne pochodzenia armorykańskiego od jednostek (kopuł) wschodniosudeckich mogących należeć do kontynentu Laurussji (Eurameryki), których jądra zajmują skały wieku późnoproterozoicznego [A1, A5].

### 3.2. Ewolucja tektono-metamorficzna strefy szwu.

W dotychczasowej literaturze przeważał pogląd, że waryscyjska architektura sudeckiej części nasunięcia moldanubskiego ukształtowała się w wyniku prawoskrętnej transpresji powiązanej ze skośną kolizją terranów we wczesnym karbonie, jednoczesną z intruzją ciała granitoidowego w paśmie fałdowym Starego Města (np. Parry et al. 1997). Badania strukturalne zintegrowane z badaniami nad warunkami P-T poszczególnych faz deformacji [A2, A4] oraz oznaczeniami geochronologicznymi minerałów o określonej pozycji strukturalnej [A3, A4] wykazały, że zestawienie terranów brunowistuliańskiego i saksoturyńskiego było bardziej rozciągnięte w czasie i miało charakter bardziej skomplikowany.

*Struktury deformacyjne.* W wyniku przeprowadzonej analizy strukturalnej formacji Młynowca [A4], skał metaosadowo-wulkanicznych trzech jednostek pasma Starego Města [A2] a także skał na pograniczu pasma Starego Města i kopuły Velkego Vrbna [A5] wykazano, że dominującą strukturą badanych skał jest penetratywna foliacja S2 rozwinięta w powierzchniach osiowych symilarnych, wąskopromiennych do izoklinalnych fałdów o osiach skierowanych subhoryzontalnie i południkowo. Orientacja foliacji S2 jest zmienna, zwykle na obszarze badań zapada w kierunku WNW pod średnimi kątami [A2, A3, A4]. Lokalnie jednak, foliacja S2 zapada pod niskimi, średnimi lub dużymi w kierunkach północnych, zachodnich lub wschodnich, co jest wynikiem jej późniejszej reorientacji [A2, A4]. Struktury

te rozwinęły się w etapie deformacji D2 związanej z tektonicznym nasuwaniem w reżimie góra ku E. Reliktem wcześniejszego etapu deformacji D1, skracania tektonicznego zbliżonego do kierunku E-W, jest foliacja metamorficzna, zachowana niekiedy w mikroskali jako równoległe ułożenie wrostków minerałów (głównie kwarcu, chlorytu i ilmenitu, rzadziej muskowitu i chlorytoidu) w jądrach plagioklazów oraz granatów. Nałożone regionalne ścinanie D3 tworzące strefy ścinania zorientowane równoległe do foliacji S2 w reżimie góra ku N(NE) w formacji Młynowca [A4] koreluje się z rozwojem podatnych stref prawoskrętnego ścinania i pokładową intruzją magm granitoidowych w paśmie Starego Města [A2]. Fałdy rozwinięte podczas etapu D4 osiągają regionalną skalę w skałach formacji Młynowca i skał otaczających w skrzydle stropowym strefy kolizji [A4], są także widoczne w paśmie Starego Města [A2]. Wymienione struktury deformacyjne wytłumaczono wielofazową ewolucją waryscyjską, nie potwierdzono w strefie Starego Města istnienia postulowanych niekiedy foliacji metamorficznych wieku kambro-ordowickiego [A2].

Badania strukturalne nad granicami tektonicznymi w obrębie szwu wykazały, że regionalne uskoki o przebiegu NNE-SSW mają charakter uskoków podatnych, które ukształtowały się etapach tektonicznych D2 i D3. Granica między górną a środkową jednostką pasma Starego Města wskazuje dowody na deformację mylonityczną powiązaną z nasunięciem góra ku E (etap D2). W odsłonięciach skał występujących w bezpośrednim sąsiedztwie pozostałych granic tektonicznych (nasunięcia: bielickie, nyznerowskie zachodnie i wschodnie) uwidacznia się nałożona, bardzo silna deformacja ścięciowa etapu tektonicznego D3 [A2].

*Zapis P-T (ciśnienie-temperatura).* We badanych skałach metaosadowych przejście od etapu D1 do etapu D2 wiązało się z progresją metamorfizmu regionalnego [A2, A4]. Badania petrologiczne, połączone z badaniami chemizmu i zonalności minerałów w łupkach łyszczykowych oraz modelowniami termodynamicznymi w systemie MnNCKFMASH ujawniły różnice w zapisie P-T dla poszczególnych skał metaosadowych badanego obszaru. Górna i dolna jednostka pasma Starego Města a także część skał formacji Młynowca zostały zmetamorfizowane w facji amfibolitowej. Izoplety składu chemicznego zonalnych granatów oraz składu minerałów w nich zawartych wykazały, że etap D1 w tych skałach miał miejsce w warunkach piku ciśnieniowego – ok. 8-10 kbar w temperaturach ok. 550°C, zaś etap D2 był powiązany z warunkami piku temperaturowego - ok. 600-650°C przy ciśnieniu ok. 6-7 kbar [A2, A4]. Paragnejsy jednostki środkowej pasma Starego Města a także część paragnejsów formacji Młynowca zostało objętych częściowym topieniem. Etap D1 miał miejsce w skałach migmatycznych warunkach ok. 550-600°C i ok. 10-11 kbar, zaś etap D2 w temperaturach 650-700°C przy ciśnieniu 6-7 kbar [A2, A4]. Etapy D3 i D4 były powiązane z retrogresją metamorfizmu [A2, A4].

*Geochronologia.* Datowania monacytu metodą chemiczną [A3, A4], datowania Lu-Hf granatu [A3] i datowania U-Pb cyrkonu [A3], posłużyły do określenia ram czasowych rozpoznanej sekwencji tektonometamorficznej D1-D4. Datowania minerałów potwierdziły wielofazową wcześniejszą analizę zapisu strukturalnego i metamorficznego wskazując na długotrwały przebieg waryscyjskiej kolizji, wśród której można wyróżnić dwa najważniejsze wydarzenia metamorficzne odpowiednio wieku fameńskiego i wizeńskiego [A3, A4, A5]. Datowanie zon monacytu powiązanych z progresją metamorficzną i przejściem od etapu D1 do D2 w skałach metaosadowych pasma Starego Města dało wynik ~ 368 mln lat [3]. Podobnie, najstarsze późno-dewońskie monacyty zostały zlokalizowane głównie w jądrach plagioklazów paragnejsów formacji Młynowca [A4]. Wykonane datowania Lu-Hf dla granatów wykazujących główny wzrost podczas etapu D2 i również pochodzących z łupków łyszczykowych w jednostkach górnej i dolnej pasma Starego Města wykazały odpowiednio wieki ~ 361 i ~ 355 mln lat [A3]. Uzyskane dane wskazują, że progresywny metamorfizm regionalny związany z kontrakcyjną deformacją D2 miał miejsce na przelomie famenu i

turneju. Datowania U-Pb cyrkonów pochodzących ze ciał leukokratycznych rozwiniętych na skutek częściowego topienia pod koniec etapu D2 wykazały wieki ~ 355 Ma i ~ 359 mln lat [A3]. Zony monacytów w formie zewnętrznych obwódek lub samodzielnych ziaren datowane na ~340 mln lat stanowią większość badanych populacji monacytów zarówno w łupkach łyszczykowych pasma fałdowego Starego Města [A3] jak i paragnejsów formacji Młynowca [A4] najprawdopodobniej reprezentują etap D3 powszechnie zapisany w skałach obszaru badań. Podczas tego etapu doszło także do intruzji granitoidów w osiowej części pasma Starego Města [A2, A3, A4, A5].

### 3.3 Przebieg wydarzeń w strefie szwu kolizji kontynentalnej

Powyższe dane strukturalne, petrologiczne i geochronologiczne pozwoliły na uściślenie przebiegu kolizji kontynentalnej na granicy domen Lugicum i Silesicum. Rekonstrukcje przeprowadzone w strefie szwu kolizji wykazały, że kolizja terranu brunowistuliańskiego i terranu saksoturyńskiego jako elementu zespołu terranów armorykańskich rozpoczęła się już w późnym dewonie [A2, A3, A4]. Podczas kolizji skierowanej w kierunku W–E, skały znajdujące się w obrębie strefy kolizji doświadczyły tektonicznego pogrążenia do głębokości odpowiadającej 7-9 kbar, zaś skały jednostka środkowa pasma Starego Města i zmigmatyzowana część formacji Młynowca zostały pogrążone na głębokości odpowiadającej wartościom 9-11 kbar [A2, A4]. Kontynuacja podsuwania terranu brunowistuliańskiego pod terran saksoturyński na przełomie famenu i turneju doprowadziła do fałdowań w reżimie tektonicznym góra ku E i częściowego wyniesienia mas skalnych do głębokości odpowiadającej 5.5-7.0 kbar przy temperaturowym pikie metamorfizmu [A2, A4]. Progresa termiczna wiązała się lokalnie z częściowym topieniem skał, co miało miejsce na we wczesnym turneju [A3, A4]. W kopule Velkego Vrbna doszło do rozwoju wewnętrznego nasunięcia dzielącego obecnie kopułę na dwie części. Wyższa strukturalnie część kopuły zawiera relikty skał wysokociśnieniowych będących świadkami skierowanej na zachód subdukcji terranu brunowistuliańskiego poprzedzającej zrekonstruowaną kolizję terranów [A5]. Późno-orogeniczne prawoskrętne przemieszczenia na granicy terranów a także obserwowany w obrębie formacji Młynowca ruch o kinematyce góra ku N(NNE) były związane z ruchem nałożonymi przemieszczaniami wzdłuż granicy terranów odbywającymi się w wizenie [A2, A3, A4, A5]. Obszar szwu tektonicznego został wtedy zdominowany przez ruchy transpresyjne, podczas których doszło do intruzji magm granitoidowych [A2]. Ostateczna konsolidacja w obrębie granicy terranów związana z kontynuacją reżimu transpresyjnego spowodowała wielkoskalowe fałdowanie w skałach formacji Młynowca. W tym etapie, metamorficzna struktura w strefie kolizji została częściowo przebudowana, co w efekcie skutkowało lokalną zmianą orientacji przestrzennej kontaktów litologicznych, penetratywnych foliacji S2/S3 oraz poziomów metamorficznych.

#### *Literatura:*

Bederke, E., 1929. Die varistische Tektonik der mittleren Sudeten. Fortschritte der Geologie und Paläontologie 23, 429–524.

Cháb J, Mixa P, Vaněček M, Žáček V., 1994. Evidence of an extensional tectonics in the NW of the Hrubý Jeseník Mts (the Bohemian Massif, Central Europe). Věstník Českého geologického ústavu, 69, 7–16.

Cloos, H., 1922. Die Gebirgsbau Schlesien und die Stellung seiner Bodenschätze. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Cymerman, Z., 1993. Czy w Sudetach istnieje nasunięcie ramzowskie? Przegląd Geologiczny 41, 700–706.

Cymerman, Z., Piasecki M. A. J, Seston, R., 1997. Terranes and terrane boundaries in the Sudetes, Northeast Bohemian Massif. Geological Magazine 134, 717–725.

Don, J., Dumicz, M., Wojciechowska, I., Żelaźniewicz, A., 1990. Lithology and tectonics of the



Orlica-Śnieżnik Dome, Sudetes – Recent State of Knowledge. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* 197, 159–188.

Don, J., Skácel, J., Gotowała, R. 2003. The boundary zone of the East and West Sudetes on the 1:50 000 scale geological map of the Velké Vrbno, Staré Město and Śnieżnik Metamorphic Units. *Geologia Sudetica* 35, 25–59.

Franke, W., Żelaźniewicz, A., 2000. The eastern termination of the Variscides: terrane correlation and kinematic evolution, in: Franke, W., Haak, V., Oncken, O., Tanner D. (Eds.), *Orogenic processes: Quantification and Modelling in the Variscan Belt*. Geological Society, London, Special Publications 179, pp. 63–86.

Lexa, O., Štípská, P., Schulmann, K., Baratoux, L., Kröner, A., 2005. Contrasting textural record of two distinct metamorphic events of similar P-T conditions and different durations. *J Metamorph Geol* 23: 649–666. Matte, P., Maluski, H., Rajlich, P., Franke, W., 1990. Terrane boundaries in the Bohemian Massif: Result of large-scale Variscan shearing. *Tectonophysics* 177, 151–170.

Mazur, S., Kröner, A., Szczepański, J., Turniak, K., Hanžl, P., Melichar, R., Rodionov, N.V., Paderin, I., Sergeev, S.A. 2010. Single zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoid gneisses from SW Poland: evidence for an Avalonian affinity of the Brunian microcontinent. *Geological Magazine*, 147/4, 508–526.

Mazur, S., Szczepański, J., Turniak, K., McNaughton, N. J., 2012. Location of the Rheic suture in the eastern Bohemian Massif: evidence from detrital zircon data. *Terra Nova* 24, 199–206.

Oberc-Dziedzic, T., Klimas, K., Kryza, R., Fanning, C., M. 2003. SHRIMP zircon geochronology of the Strzelin gneiss, SW Poland: evidence for a Neoproterozoic thermal event in the Fore-Sudetic Block, Central European Variscides. *International Journal of Earth Sciences* 92, 701–711.

Opletal, M., Pecina, V., 2000. Nové geologické mapování jednotek na styku luga a silezika na listech 14-234 Hanušovice a 14-412 Šumperk. Abstr. k semin. “Moravskoslezské paleozoikum 2000”. Brno.

Parry, M., Štípská, P., Schulmann, K., Hroudá, F., Ježek, J., Kröner, A., 1997. Tonalite sill emplacement at an oblique boundary: northeastern margin of the Bohemian Massif. *Tectonophysics* 280, 61–81.

Sawicki, L., 1995. Geological Map of Lower Silesia with adjacent Czech and German Territories 1:100 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warsaw.

Schulmann, K., Gayer, R., 2000. A model of an obliquely developed continental accretionary wedge: NE Bohemian Massif. *Journal of Geological Society, London* 156, 401–416.

Smulikowski, K., 1979. Polymetamorphic evolution of the crystalline complex of Śnieżnik and Góry Złote Mts in the Sudetes. *Geologia Sudetica* 14, 7–76.

Suess, F. E., 1912. Die moravischen Fenster und ihre Beziehung zum Grundgebirge des Hohen Gesenke. *Denkschriften der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Math-Nat.* 88, 541–631.

Tait, J. A., Bachtadse, V., Franke, W., Soffel, H. C., 1997. Geodynamic evolution of the European Variscan fold belt: palaeomagnetic and geological constraints. *Geologische Rundschau* 86, 585–598.

Wojciechowska, I., 1993. Budowa geologiczna i tektonika gór Złotych i Krowiarek jako tło rozwoju mineralizacji rudnej (Ziemia Kłodzka, Sudety). *Prace Geologiczno-Mineralogiczne, Acta Universitatis Wratislaviensis* 33, 5–49.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.**

### *1. Ewolucja tektonometamorficzna formacji Stronia*

Najważniejszą częścią mojej dotychczasowej pracy naukowej są wciąż prowadzone badania nad zapisem tektonicznym i metamorficznym metaosadowo-wulkanicznej formacji Stronia, wyraźnie odznaczającej się wśród skał kopuły orlicko-śnieżnickiej dzięki charakterystycznemu zróżnicowaniu litologicznemu. Badania te są kontynuacją prowadzonych przeze mnie prac ujętych w doktoracie, w których zajmowałem się ewolucją tektonometamorficzną marmurów tej formacji i który obroniłem z wyróżnieniem w 2005 roku. W dalszych pracach, rozszerzyłem moje dociekania nad zapisem P-T-d-t (ciśnienie-



temperatura-deformacja-czas) formacji Stronia o łupki łyszczykowe oraz kwarcyty. Najważniejszą nagrodą określającą mój wkład do całokształtu wiedzy na temat przebiegu procesów tektonicznych i metamorficznych tej formacji skalnej, było uzyskanie nagrody „Radek Melka Award” w 2009 roku. Nagrodę tę przyznała mi Środkowo-Europejska Grupa Tektoniczna za najlepszy artykuł młodego naukowca w 2009 roku, który to opublikowałem w *International Journal of Earth Sciences*. W 2014 roku, zostałem współautorem przeglądowego artykułu o geologii kopuły orlicko-śnieżnickiej. Wyniki moich badań nad skałami formacji Stronia również prezentowałem na licznych konferencjach międzynarodowych, zaś podczas dwóch z nich, odpowiednio z 2002 i 2014 roku, prezentowałem odsłonięcia marmurów i kwarcytów formacji Stronia podczas wycieczek konferencyjnych.

W moich badaniach z powodzeniem skupiałem się na określeniu genezy i sekwencji struktur tektonicznych (fałdów, foliacji, lineacji) oraz warunków P-T podczas kolejnych etapów deformacji skał formacji Stronia. Połączone badania strukturalne, petrograficzne oraz geochronologiczne nad relacjami P-T-d-t wykazały, że marmury oraz otaczające je łupki łyszczykowe i kwarcyty formacji Stronia przeszły tą samą wielofazową ewolucję strukturalną powiązaną z waryscyjskim metamorfizmem regionalnym (Jastrzębski 2005-2009, Jastrzębski et al. w druku). Penetratywna foliacja metamorficzna ukształtowała się w warunkach piku termicznego metamorfizmu regionalnego. Jednym z moich największych osiągnięć było wykazanie, że w obrębie formacji Stronia występuje typowa dla metamorfizmu regionalnego zonalność metamorficzna. Szeroko zakrojone badania terenowe oraz petrologiczne nad wieloma próbkami marmurów i łupków łyszczykowych ze wschodniej części kopuły orlicko-śnieżnickiej pozwoliły na wyznaczenie strefy dystenowej, staurolitowej, granatowej i biotytowej w łupkach łyszczykowych oraz strefy diopsydowej, tremolitowej i flogopitowej w marmurach tej części kopuły orlicko-śnieżnickiej (Jastrzębski 2005, 2009). Zmienność strefowości metamorfizmu jest w tym obszarze związana z jej późniejszą deformacją podczas ostatnich etapów fałdowych. Zastosowanie badań geochronologicznych nad monacytem w kwarcytach potwierdziło wieloetapowy przebieg ewolucji strukturalnej wskazując na długotrwały przebieg procesów metamorficznych rozciągający się od famenu do wizenu. Po raz pierwszy tą metodą potwierdzono także późnokambryjski wiek protolitu formacji Stronia (Jastrzębski et al. w druku).

W najbliższej przyszłości planuję opublikować wyniki podsumowujące kilka ostatnich lat moich badań nad porównaniem zapisów P-T-d-t w skałach formacji Stronia i otaczających ortognejsów oraz ich znaczeniem dla lepszego zrozumienia formowania się strefy korzeniowej orogenu waryscyjskiego. Najważniejsze prace stanowiące mój dorobek naukowy odnoszący się do moich badań nad skałami formacji Stronia są wykazane poniżej w porządku chronologicznym:

- Jastrzębski, M., 2005. The tectonometamorphic evolution of the marbles in the Łądek-Śnieżnik Metamorphic Unit, West Sudetes. *Geologia Sudetica* 37, 1–26.
- Jastrzębski, M., 2008. Ewolucja tektonometamorficzna marmurów i otaczających łupków łyszczykowych formacji strońskiej (Sudety). *Geologos* 14 (1), 51–73.
- Jastrzębski, M., 2009. A Variscan continental collision of the West Sudetes and the Brunovistulian terrane: a contribution from structural and metamorphic record of the Stronie Formation, the Orlica-Śnieżnik Dome, SW Poland. *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1901–1923. doi:10.1007/s00531-008-0380-6
- Żelaźniewicz, A., Jastrzębski, M., Redlińska-Marczyńska, A., Szczepański, J. 2014. The Orlica-Śnieżnik Dome, the Sudetes, in 2002 and 12 years later. *Geologia Sudetica* 42, 105–123.

- Żelaźniewicz, A., Budzyń, B., Ilnicki, I., Jastrzębski, J., Murtezi, M., Redlińska-Marczyńska, A., Stawikowski, W., Szczepański, J., 2014, The CETeG 2014 excursion to crystalline basement of the Orlica-Śnieżnik Dome, the Sudetes, *Geologia Sudetica*, 42: 125-136
- Jastrzębski, M., Budzyń, B., Stawikowski, W. (w druku, online od 2015). Structural, metamorphic and geochronological record in the Goszów quartzites of the Orlica-Śnieżnik Dome (SW Poland): implications for the polyphase Variscan tectonometamorphism of the Saxothuringian terrane. *Geological Journal*, doi: 10.1002/gj.2647

## 2. *Badania skał wysokociśnieniowych w kontekście ewolucji Masywu Czeskiego*

Obecnie rozpocząłem badania nad rekonstrukcją warunków metamorfizmu skał wysokiego stopnia metamorfizmu we współpracy z dr B. Budzyniem (INGPAN). Współpraca zaowocowała przytoczonym poniżej artykułem. Moja rola polegała głównie na uściśleniu ewolucji P-T granulitów z Gierałtowa poprzez modelowanie termodynamiczne przy zastosowaniu programu Thermocalc. Obliczenia wykazały, że skały granulitowe z Gierałtowa doznały ciśnień ok. 20 kbar i ponad 900°C. Porównanie badań termobarometrycznych z geochronologicznymi wskazało również, że epizod metamorficzny wieku ok. 340 mln lat sygnalizuje moment wyniesienia i ochłodzenia skał wysokociśnieniowych w północnej części Masywu Czeskiego.

Dzięki realizacji grantu NCN (lata 2015-2018), którego jestem kierownikiem, planuję określić warunki P-T wszystkich skał wysokociśnieniowych znajdujących się w północnej części Masywu Czeskiego. Połączenie rozpoznanego zapisu P-T skał wysokociśnieniowych z oznaczeniem proveniencji jednostek zarówno tych, które znamionują procesy subdukcji jak i tych, które nie przeszły wysokociśnieniowego metamorfizmu zostanie użyte do zaprezentowania modelu tektonicznego Masywu Czeskiego.

- Budzyń, B., Jastrzębski, M., Kozub-Budzyń, G. A., Konečný, P. 2015. Monazite Th-U-total Pb geochronology and P-T thermodynamic modelling in a revision of the HP-HT metamorphic record in granulites from Stary Gierałtów (NE Orlica-Śnieżnik Dome, SW Poland). *Geological Quarterly*, 59 (4): w druku doi: 10.7306/gq.1232

## 3. *Geneza magm oraz wieki krystalizacji skał magmowych w Sudetach*

Oprócz badań skał metamorficznych, w mojej pracy zawodowej zajmuję się także skałami magmowymi. Dotychczas moje prace skupiały się na dokładniejszym oznaczeniu wieku krystalizacji i pozycji tektonicznej skał magmowych znajdujących się w Sudetach Środkowych. Do tej pory została opublikowana jedna praca, której jestem współautorem (Budzyń i Jastrzębski, 2016), a w której znalazły się m. in. oznaczenia wieków monacytowych dla granitoidów jawornickich (~343 mln lat) oraz kłodzko-złotostockich (~329 mln lat). Wyniki innej wielowątkowej pracy będącej efektem realizacji mojego grantu nad granitoidami kłodzko-złotostockimi, jawornickimi i bielickimi, zostały zaprezentowane do tej pory w formie prezentacji konferencyjnej. Prezentacja ta uzyskała drugą nagrodę za poster na konferencji Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego w 2015 roku (Jastrzębski et al. 2015). Na podstawie wykonanych w granie badań strukturalnych, analiz geochemicznych, a także oznaczeń izotopowych (Sr, Nd i Pb) oraz zweryfikowanych pod koniec 2015 roku datowań U-Pb cyrkonów można przyjąć, że granitoidy kłodzko-złotostockie, jawornickie i bielickie powstawały synorogenicznie ze źródła skorupowego z niewielkim udziałem materii płaszczą. Intruzje bielicka oraz jawornicka (ok. 340-345 mln lat)

są wyraźnie objęte deformacjami ścięciowymi, zaś intruzja kłodzko-złotostocka jako nieco młodsza mogła tworzyć się w warunkach późno i postorogenicznego kolapsu górotworu. Maficzne enklawy oraz ciała tnące (żyły lamprofirowe) występujące w obrębie plutonu kłodzko-złotostockiego są równowiekowe z ciałem głównym (ok. 335-340 mln lat). Oznaczenia izotopów tlenu in situ w datowanych cyrkonach wykazały dodatkowy, wyraźny wpływ procesów pomagmowych na skały masywu kłodzko-złotostockiego.

- Budzyń, B., Jastrzębski, M., 2016. Monazite stability and the maintenance of Th-U-total Pb ages during post-magmatic processes in granitoids and host metasedimentary rocks: A case study from the Sudetes (SW Poland). *Geological Quarterly*, 60 (2), w druku, doi: 10.7306/gq.1254
- Jastrzębski M., Murtezi M., Majka J., Larionov A., Sergeev S., 2015, Zircon U-Pb ages and O isotopes of the Jawornik, Bielice and Kłodzko-Złoty Stok granitoids, the Sudetes, *Mineralogia - Special Papers*, 44: 52

Mirosław Jastrzębski