

**Zapis środkowopaleozoicznych zdarzeń biotycznych
w oparciu o metody geochemiczne oraz paleoekologiczno-facjalne**



(rys. Karolina Paszcza)

Michał Rakociński
Uniwersytet Śląski w Katowicach
2021

„Sama korelacja stratygraficzna, choć ważna, jest raczej mało atrakcyjna, jak się o tym wciąż na nowo przekonują kolejne pokolenia studentów geologii. Dopiero próba interpretacji warunków środowiskowych w dawnych epokach geologicznych dodaje blasku tej dziedzinie wiedzy.”

Anthony Hallam

1. Imię i nazwisko: Michał Rakociński

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

1. Dyplom magistra geologii w zakresie paleontologii i stratygrafii za pracę magisterską pt. „*Paleoekologia amonitowatych z famenu Kowali (Góry Świętokrzyskie)*”, wykonaną na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 2006 r., promotor: prof. dr hab. Grzegorz Racki
2. Stopień naukowy doktora nauk o Ziemi w zakresie geologii – nadany uchwałą Rady Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z 18.02.2014 r., za rozprawę pt. „*Środowiska sedymentacji wapieni głowonogowych w późnym dewonie Polski południowej – implikacje paleoekologiczne*”; promotor: prof. dr hab. Grzegorz Racki, recenzenci prof. dr hab. Stanisław Skompski, Uniwersytet Warszawski, dr hab. Marcin Machalski prof. IP, Instytut Paleobiologii PAN Warszawa.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

17.01.2011r. - 31.03.2013r. – starszy technik – Katedra Paleontologii i Stratygrafii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec;
01.04.2013r. - 31.03.2015r. – geolog – Katedra Paleontologii i Stratygrafii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec;
01.04.2015r. – 30.09.2017r. specjalista naukowo-techniczny – Katedra Paleontologii i Stratygrafii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec;
01.10.2017r. – 30.09.2019r. – adiunkt – Katedra Paleontologii i Stratygrafii, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec;
od 01.10.2019r. – adiunkt – Instytut Nauk o Ziemi, Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Śląski w Katowicach, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec;
wrzesień 2013r. Instytut Nauk Geologicznych PAN w Krakowie umowa o dzieło/umowa o współpracę w ramach grantu NCN

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

a). Tytuł dzieła naukowego:

„Zapis środkowopaleozoicznych zdarzeń biotycznych w oparciu o metody geochemiczne oraz paleoekologiczno-facjalne”

b). Spis prac prezentujących osiągnięcie naukowe:

1. **Rakociński, M.**, Racki, G. 2016. Microbialites in the shallow-water marine environments of the Holy Cross Mountains (Poland) in the aftermath of the Frasnian–Famennian biotic crisis. *Global and Planetary Change*, 136: 30–40.

Recenzenci wydawniczy: prof. Michael T. Whalen (University of Alaska, Fairbanks, USA) oraz anonimowy recenzent.

Mój wkład polegał na opracowaniu koncepcji, zaplanowaniu badań, zebraniu materiału badawczego, wykonaniu analiz oraz części interpretacji wyników badań, napisaniu zasadniczej części pierwotnej wersji manuskryptu i wykonaniu większości figur.
Oświadczenie współautora w załączniku.

2. **Rakociński, M.**, Marynowski, L., Pisarzowska, A., Beldowski, J., Siedlewicz, G., Zatoń, M., Perri, M.C., Spalletta, C., Schönlaub, H-P. 2020. Volcanic related methylmercury poisoning as the possible driver of the end-Devonian Mass Extinction. *Scientific Reports*, 10:7344.

Recenzenci wydawniczy: David De Vleeschouwer (Universität Bremen, Niemcy) oraz pięciu anonimowych recenzentów.

Mój wkład polegał na opracowaniu koncepcji i zaplanowaniu badań. Miałem współudział w zebraniu materiału badawczego. Przygotowałem większości ilustracji i zestawień tabelarycznych. Odpowiadałem za opracowanie i dyskusję wyników badań oraz napisanie zasadniczej części pierwotnej wersji manuskryptu.
Oświadczenie współautorów w załączniku.

3. **Rakociński, M.**, Pisarzowska, A., Corradini, C., Narkiewicz, K., Dubicka, Z., Abdyiev, N., 2021a. Mercury spikes as evidence of extended arc-volcanism around Devonian–Carboniferous boundary in the South Tian Shan (southern Uzbekistan). *Scientific Reports*, DOI: 10.1038/s41598-021-85043-6

Recenzenci wydawniczy: Andrey V. Zhuravlev (Komi Scientific Center, Syktyvkar, Russia) oraz anonimowy recenzent.

Mój wkład polegał na opracowaniu koncepcji w ramach ogólnego projektu badawczego, zaplanowaniu badań. Miałem współudział w zebraniu materiału badawczego. Przygotowałem większości ilustracji i zestawień tabelarycznych. Odpowiadałem za opracowanie i dyskusje wyników badań oraz napisanie zasadniczej części pierwotnej wersji manuskryptu. Oświadczenie współautorów w załączniku.

4. **Rakociński, M.**, Marynowski, L., Zatoń, M., Filipiak, P. 2021b. The mid-Tournaisian anoxic event (Lower Carboniferous) in the Laurussian shelf basin (Poland): An integrative approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 566, (110236), 1–28.

Recenzenci wydawniczy: trzech anonimowych recenzentów.

Mój wkład polegał na opracowaniu ogólnej koncepcji w ramach grantu, zaplanowaniu badań oraz pozyskaniu finansowania, zebraniu materiału badawczego, wykonaniu części analiz oraz interpretacji wyników badań, napisaniu zasadniczej części pierwotnej wersji manuskryptu i wykonaniu większości figur. Oświadczenie współautorów w załączniku.

c. Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników

Późny dewon oraz przełom dewonu i karbonu był czasem bardzo ważnych zmian w morskich środowiskach, które mogą zostać prześledzone na całym świecie dzięki występowaniu zasobnych w materię organiczną facji anoksycznych przeważnie związanych z powtarzającymi się interglacialnymi epizodami wzrostu poziomu morza (Figura 1; patrz np. Walliser, 1996; Caplan i Bustin, 2001). Najbardziej znane wydarzenia na granicy fransfamen (zdarzenia Kellwasser – jedno z pięciu wielkich wymierań) oraz końca dewonu (kryzys Hangenberg) były związane z jednymi z najważniejszych ewolucyjnych perturbacji w fanerozoiku (np. House, 2002). Inne kryzysy jak *Annulata*, Dasberg czy wczesny Alum, są rozważane jako zdarzenia mniejszej skali (np. Becker, 1993a; Becker i in., 2016). Jednakże, w skali regionalnej, zdarzenie wczesny Alum było najprawdopodobniej jeszcze bardziej dotkliwe niż zdarzenie Hangenberg (Kaiser i in., 2011). Środkowopaleozoiczne zdarzenia beztlenowe są interpretowane jako wynik powtarzających się perturbacji klimatyczno-eustatycznych, powiązanych z eutrofizacją i rozwojem warunków anoksycznych w skali globalnej (Figura 1; Becker, 1993a; Marynowski i in., 2010, 2012; Racka i in., 2010; Kaiser i in., 2011).

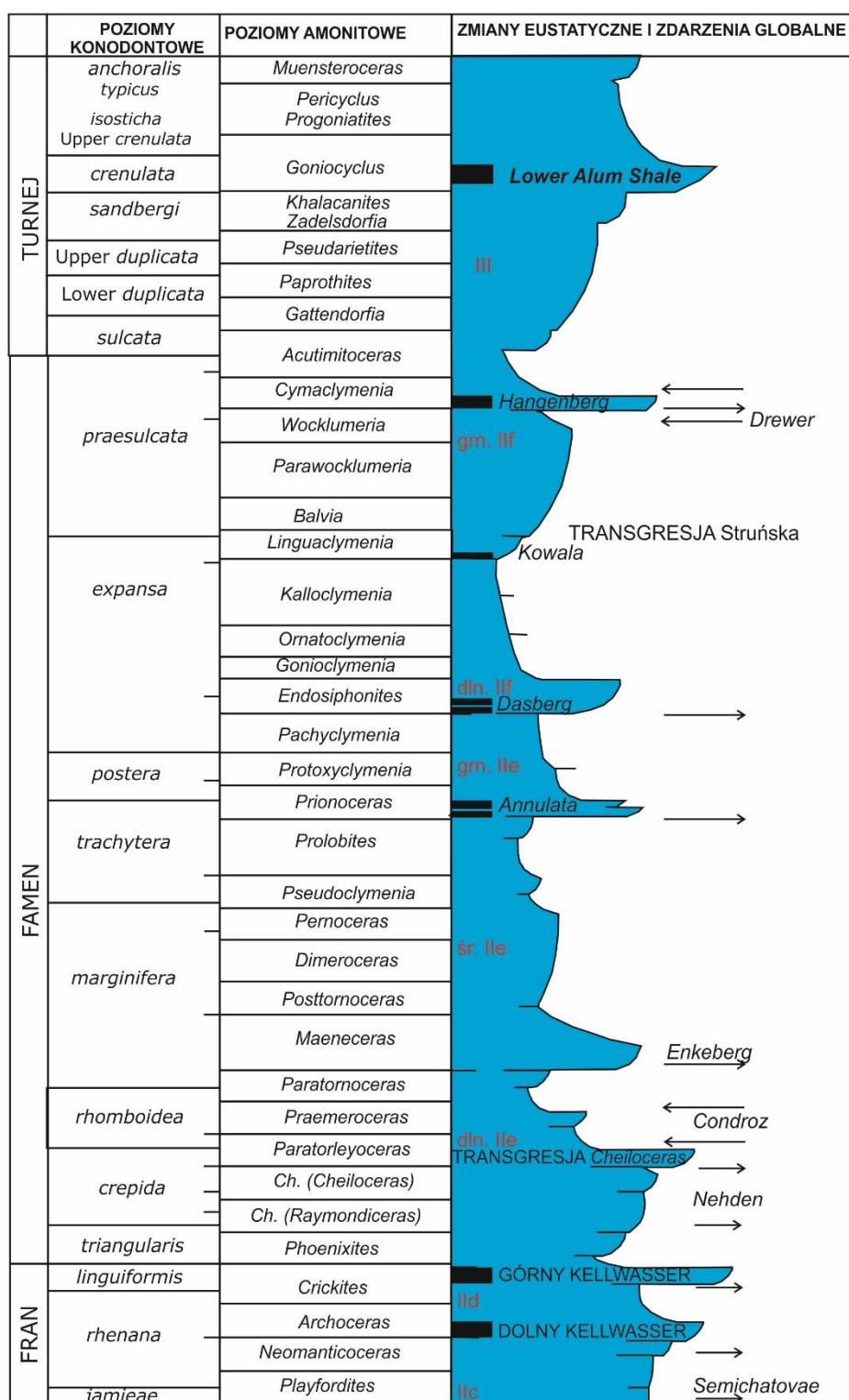


Figura 1. Późnodewońskie oraz wczesnokarbońskie zdarzenia beztlenowe na tle zmian eustatycznych oraz tradycyjnej zonacji konodontowej oraz amonitowej (poziomy biostratygraficzne na podstawie Sandberg i in., 1978, Ji, 1985, Becker, 1993a; Becker i House, 2000; Becker i in., 2016b; Sudar i in., 2018, zmienione, uproszczone).

Co znamienne późnodewońskie zdarzenia globalne przyciągały bardzo dużą uwagę badaczy, jednak pomimo ciągłego rozwoju wiedzy na ich temat pierwotna przyczyna tych wymierań jest nadal przedmiotem ożywionej debaty naukowców odnośnie czynnika sprawczego; czynnik wulkaniczny vs nie-wulkaniczny (np. Marshall i in., 2020; Racki, 2020). Jeszcze mniej wiadomo na temat środkowoturnejkiego zdarzenia beztlenowego (znanego również pod nazwą wczesny Alum; np. Walliser, 1996) dlatego wymaga ono intensywnych badań (Becker, 1993b; Walliser, 1996), szczególnie w zakresie bardziej wyrafinowanych metod geochemicznych (por. Siegmund i in., 2002).

Na etapie pracy magisterskiej i doktorskiej zajmowałem się zagadnieniami dotyczącymi paleoekologii głowonogów oraz sedymentacji wapieni głowonogowych, popierając swoje wnioski paleośrodowiskowe badaniami geochemicznymi. Zapoczątkowana wcześniej współpraca naukowa z profesorem Leszkiem Marynowskim nakierowała mnie na badania geochemiczne morskich skał osadowych. Z kolei bycie uczniem i wychowankiem profesora Grzegorza Rackiego naturalnie skierowało mnie ku zainteresowaniu się tematyką późnodewońskich kryzysów biotycznych oraz wielkich wymierań w historii Ziemi. Współpraca naukowa z profesorem Michałem Zatoniem, rozwinęła z kolei moje zainteresowania badaniami paleoekologicznymi morskich bezkręgowców. Zainteresowania te mają swoje odzwierciedlenie w kilku publikacjach, które opublikowałem przed oraz po uzyskaniu stopnia doktora.

Pierwsza praca wchodząca w skład dzieła artykuł Rakociński i Racki (2016) stanowi jeszcze echa tematyki jaką zajmowałem się na studiach doktoranckich, a mianowicie sedymentologią skał węglanowych oraz badaniami paleośrodowiskowymi, wykonywanymi równolegle do badań pod kierunkiem prof. Marynowskiego, dotyczących zapisu rozkwitu organizmów mikrobialnych tuż po wymieraniu na granicy fran-famen (Marynowski i in., 2011-3*Paleo*). W pracy Rakociński i Racki (2016) zidentyfikowałem masowe wystąpienia onkoidów budowanych przez sinice z rodzaju *Girvanella* w osadach najniższego famenu (poziom konodontowy *triangularis*, por. Figura 1) w położonym w Kielcach profilu Psie Górki. Niezwykle liczne onkoidy występują tam w obrębie jasnoszarych muszlowców głowonogowo-liliowcowych, będących osadami sztormowymi zdeponowanymi w relatywnie płytkowodnym środowisku przedrafowym. Występowanie w pełnomorskich osadach struktur mikrobialnych w odcinku czasu bezpośrednio po jednym z największych masowych wymierań fanerozoicznych ma duże znaczenie. Ponieważ stromatolity oraz inne mikrobiality były niezwykle obfite i miały wyjątkowo szerokie rozprzestrzenienie w normalnomorskich

środowiskach w prekambrze (np., Awramik, 1991). Jednak w wyniku tzw. eksplozji kambryjskiej, w trakcie której powstało wiele organizmów żerujących na mikrobialitach, organizmy te tracą na znaczeniu przenosząc się w bardziej niegościnne środowiska charakteryzujące się m.in. ekstremalnymi zmianami zasolenia (np. Schubert i Bottjer, 1992). Przykładem takich środowisk są współczesne alkaliczne jeziora Van w Turcji (López-García i in., 2005) oraz Niufou'ou w Tonga (Kazmierczak i Kempe, 2006), bądź występująca u zachodnich wybrzeży Australii Zatoka Rekinów, w której występują warunki hipersalinarne (Jahnert i Collins, 2011).

Jednak co godne uwagi, po okresach masowych wymierań oraz kryzysów biotycznych obserwowany jest rozkwit budowli mikrobialnych w środowiskach normalnomorskich i zastąpienie przez nie raf budowanych przez organizmy wyższe takie jak gąbki, mszywie i koralowce (np. Schubert i Bottjer, 1992). Tego typu powrót "anachronicznych litofacji" wcześniej był licznie dokumentowany z pogranicza perm-trias, granicy fran-famen oraz w mniejszym stopniu z granic ordowik-sylur, trias-jura i kreda-paleogen oraz późnosylurskiego zdarzenia Lau (patrz Rakociński i Racki, 2016 i literatura tam cytowana). Wiąże się to ze spadkiem liczebności i bioróżnorodności zwierząt żerujących na matach mikrobialnych i powodujących ich destrukcje w stabilnych biocenozach.

Stwierdzone przeze mnie masowe występowanie struktur mikrobialnych, reprezentowanych przez onkoidy z mikrobami z rodzaju *Girvanella*, w płytkomorskich wapieniach najniższego famenu w Górach Świętokrzyskich stanowi pierwszy dowód wzmożonej aktywności mikrobialnej po granicy fran-famen z płytkowodnych środowisk w polskiej części południowego szelfu Laurussii i potwierdza jego globalny zasięg (Rakociński i Racki, 2016). Wcześniej wiele wczesnofameńskich struktur mikrobialnych było opisywanych z płytkowodnych środowisk w Canning Basin w Australii, południowych Chinach, rejonu Timan-Ural w Rosji czy basenu Alberta w Kanadzie (Tabela 1; Rakociński i Racki, 2016 i literatura tam cytowana).

Potwierdzeniem pełnomorskiego charakteru badanych przeze mnie onkoidów, poza współwystępującą pełnomorską fauną jak głowonogi, liliowce czy ramienionogi jest fakt, iż w jądrach onkoidów przeważnie występują fragmenty fauny stenohalinowej jak ramienionogi czy liliowce (Figura 2).

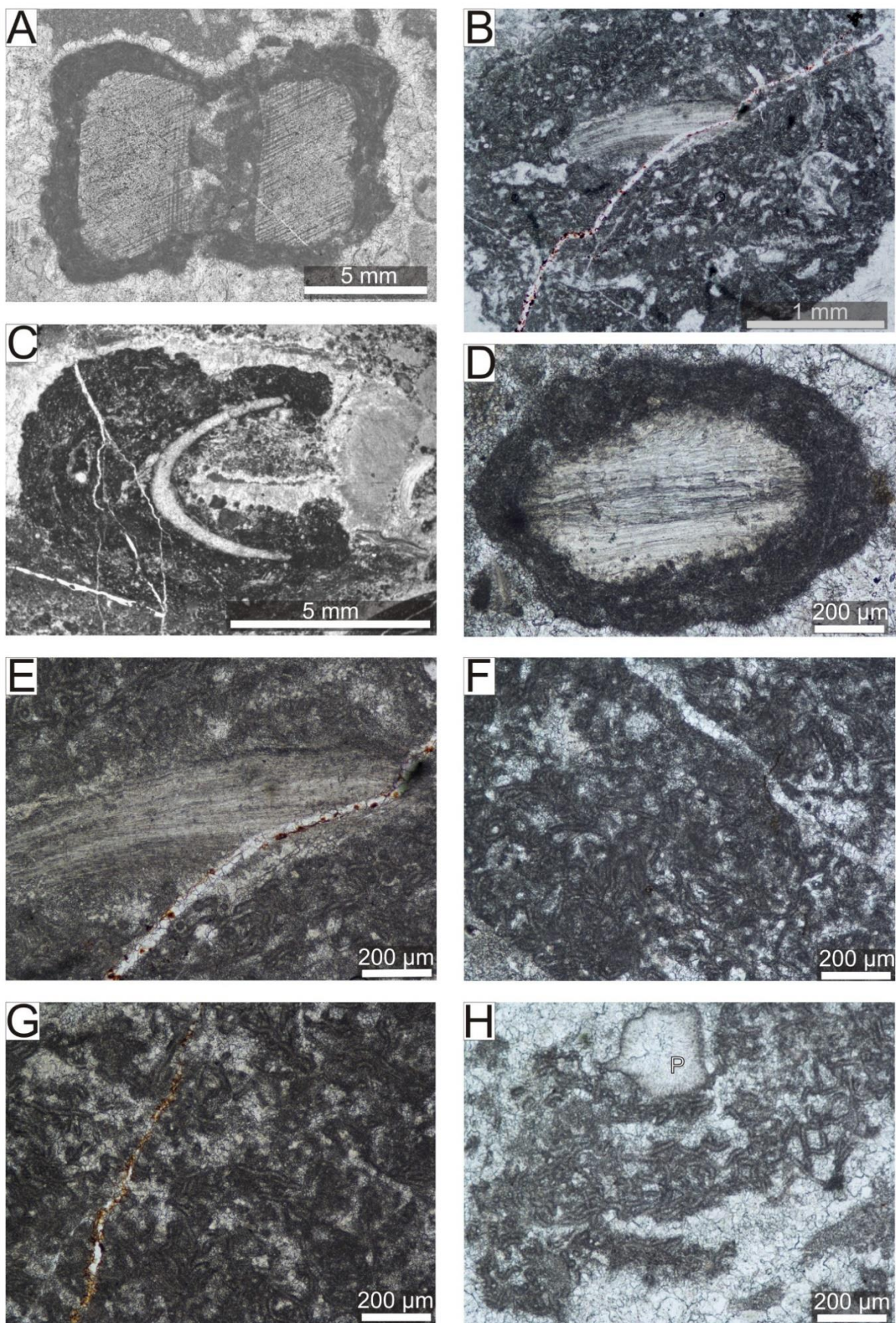


Figura 2. Przykłady mikrobialitów z dolnego famenu Psich Górek, onkoidy zbudowane z sinic z rodzaju *Girvanlla*. A. w jego jądrze kolumnalia liliowca, B, D-E. w jądrze fragment muszli

ramienionogów, C. w jądrze fragment muszli mięczaka, F-H. filamenty sinic z rodzaju *Girvanella*, (P) otwornica *Parathuramina* (Rakociński i Racki, 2016).

Area Microbes or algae	Guilin Area (south China)	Canning Basin (Australia)	Alberta Basin (Canada)	Holy Cross Mts. (Poland)	Timan-Ural Region (Russia)
<i>Renalcis</i>	+++	+++			+++
<i>Paraepiphyton</i>	+++	++			+++
<i>Rothpletzella</i>	++	++			++
<i>Girvanella</i>	v	+	+++	+++	++
<i>Ortonella</i>	+	v			v
<i>Izhella</i>	++	v			+++
<i>Garwoodia</i>	+++				
<i>Keega</i>	++	++			
<i>Palaeomicrocodium</i>	++	+			+
<i>Wetheredella</i>	++	+			
<i>Frutexites</i>		+++*		+	
<i>Shuguria</i>	+	++			+++
<i>Chabakovia</i>	v				+
<i>Solenopora</i>	++	++		+	v
<i>Parachaetetes</i>	++	++		+	
<i>Issinella</i>	+			+	
microbial community structures	oncoids thrombolites stromatolites	oncoids thrombolites stromatolites	oncoids thrombolites stromatolites	oncoids	stromatolites oncoids

Tabela 1. Zróżnicowanie mikrobialitów we wczesnym famenie w południowych Chinach, Australii, Kanadzie, Polsce oraz Rosji i względna frekwencja: +++ - obfite, ++ - liczne, + - obecne, v – rzadkie (za Rakociński i Racki, 2016 i literatura tam cytowana).

Jednak, co godne uwagi, zdaniem Fenga i in. (2010) badających dewońskie płytkowodne utwory obserwowana obecność organizmów mikrobialnych po masowych wymieraniach nie musi odzwierciedlać ich autentycznego rozkwitu jako gatunków pionierskich w opustoszałych niszach, ale może wiązać się z ich wyraźniejszym zapisem w związku ze zniknięciem form rafowych (stromatoporoidów i koralowców). Jednakże, rozkwit organizmów mikrobialnych w następstwie kryzysu raf z Metazoa na granicy fran-famen potwierdza występowanie (stwierdzone wcześniej przez Marynowskiego i in., 2011 *3Paleo*), w bardziej głębokowodnych, równowiekowych osadach z Kowali (basen chęcińsko-zbrzański), morfologicznych struktur oraz biomarkerów z grupy 2 α -metylohopanów i monometylowych alkanów charakterystycznych dla cyjanobakterii.

Xie i in., (2005) oraz Smolarek i in., (2017) udokumentowali także koncentracje 2 α -metylohopanów, z głębszych środowisk po granicy perm-trias oraz ordowik-sylur, co wzmacnia interpretację, mikrobialitów jako organizmów pionierskich kolonizujących porafowe morskie ekosystemy w fazie pokryzysowej kiedy utrzymuje się niska bioróżnorodność.

Mikrobiały występujące w Psich Górkach reprezentowane są niemal wyłącznie przez onkoidy z *Girvanella*, ponadto stwierdziłem mniej liczne formy *Frutexit*, są one jednak słabo zróżnicowane w porównaniu z niezwykle bogatymi biocenozami mikrobialnymi znanymi z wczesnego famentu basenu Canning w Australii, obszaru Guilin w Chinach południowych czy rejonu Timanu i północnego Uralu w Rosji (Rakociński i Racki, 2016; Tabela 1). Najbardziej zbliżone są one do nieco bogatszych asocjacji mikrobialnych występujących w osadach dolnego famentu znanych z basenu Alberta w Kanadzie (Whalen i in., 2002).

W trakcie studiów doktoranckich zainteresowałem się tematyką oceanicznych zdarzeń beztlenowych, rekonstrukcji środowiska sedymentacji czarnych łupków i innych morskich skał zasobnych w materię organiczną jak również środkowopaleozoicznych masowych wymierań oraz wulkanizmem jako potencjalnym czynnikiem sprawczym kryzysów biotycznych. Moje zainteresowania naukowe były powiązane z pracą w granie NCN MAESTRO pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych*, kierowanym przez profesora Grzegorza Rackiego. Znalazło to odzwierciedlenie w publikacjach po uzyskaniu stopnia doktora, wśród których część stanowi niniejsze dzieło.

Kolejne dwie prace wchodzące w skład cyklu publikacji (Rakociński i in., 2020, 2021a) dotyczą próby odpowiedzi na pytanie o czynniki sprawcze późnodewońskiego wymierania zwanego zdarzeniem Hangenberg. Pod koniec dewonu (ok. 359 mln lat temu) doszło do jednego z największych kryzysów biosfery, w trakcie którego wymiera około 50% rodzajów morskich organizmów (np. Kaiser i in., 2015), wśród których szczególnie mocno ucierpiała fauna pelagiczna reprezentowana przez amonitowate, konodonty oraz ryby pancerne, te ostatnie znikają całkowicie z zapisu skalnego. Również fauna bentosowa odniosła poważne straty w trakcie tego kryzysu, szczególnie ucierpiały organizmy rafowe, trylobity i małżoraczki, obserwujemy także poważny kryzys fitoplanktonu (np. Kaiser i in., 2015). Zdarzenie Hangenberg dotknęło także lądowe ekosystemy powodując wymieranie licznych ryb i czworonogów oraz wielu roślin wyższych (Kaiser i in., 2015; Sallan i Coates, 2010). Wymieranie to jest związane między innymi z wzrostem produktywności oraz anksją w skali globalnej, zmianami klimatyczno-eustatycznymi, kryzysem kalcyfikacji związanym z zakwaszeniem oceanu, możliwym wpływem wzmożonego wulkanizmu oraz czynnikami kosmicznymi takimi jak zwiększone promieniowanie UV-B a nawet ostatnio eksplozją supernowej (np. Rakociński, i in., 2020; Marshall i in., 2020; Fields i in., 2020). Jednakże

do niedawna brakowało mocnych dowodów na poparcie scenariusza wulkanicznego i pierwotne przyczyny tegoż kryzysu nadal są przedmiotem ożywionej debaty naukowej.

Publikacja Rakocińskiego i in. (2020) stanowi pokłosie mojej współpracy naukowej z Instytutem Nauk Geologicznych PAN w Krakowie oraz udziałem w grantie NCN OPUS pt. *Charakterystyka dewońskich globalnych fluktuacji warunków utleniająco-redukcyjnych w oparciu o zmiany stosunków izotopów molibdenu oraz inne wskaźniki geochemiczne* (kierownik: dr Agnieszka Pisarzowska). W ramach tego grantu prowadziliśmy m.in. prace terenowe w Alpach Karnickich wspólnie z Claudią Spallettą, Marią Cristiną Perri (Uniwersytet w Bolonii) oraz Hansem Peterem Schönlaubem (Austrijska Akademia Nauk, Wiedeń).

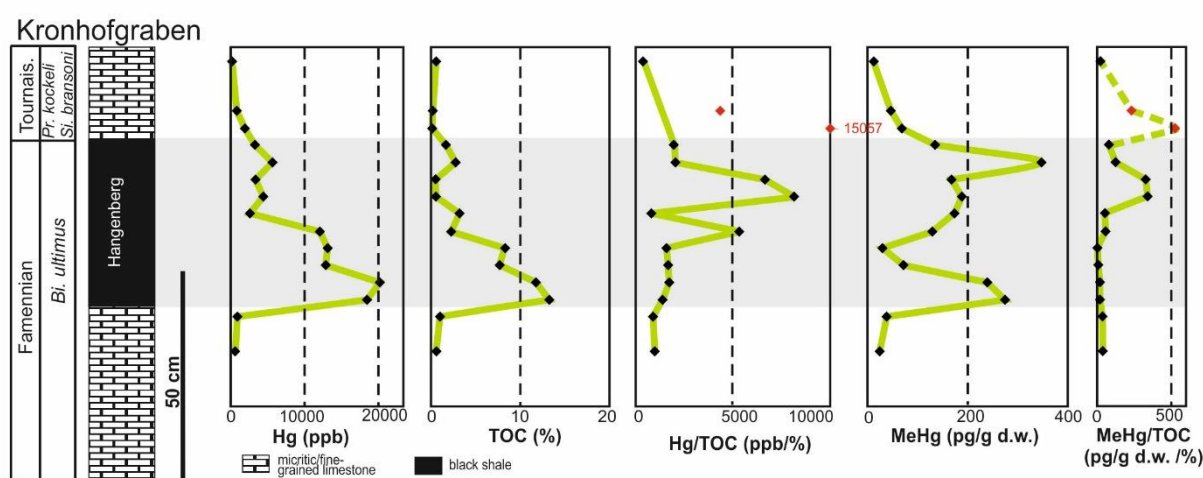


Figura 3. Profil pogranicza dewon-karbon w Kronhofgraben z widoczną anomalią rtęciową oraz obecnością metylortęci (Rakociński i in., 2020).

Prowadzone badania w dwóch głębokowodnych profilach Kronhofgraben (Austria) i Plan di Zermula (Włochy) obejmujących pogranicze dewon-karbon ujawniły obecność bardzo dużych anomalii rtęciowych w horyzontach czarnego łupka Hangenberg (Figura 3; patrz też Fig. 3 w Rakociński i in., 2020), będącego zapisem globalnego zdarzenia anoksyicznego w trakcie późnodewońskiego kryzysu. Koncentracje rtęci w obu profilach są ekstremalnie wysokie, osiągając 9758 ppb w Plan di Zermula oraz 20216 ppb w Kronhofgraben. Jak wiadomo, głównym źródłem rtęci w zapisie skalnym były erupcje wulkaniczne oraz podmorska aktywność hydrotermalna (np. Bergquist, 2017), w związku z czym anomalie rtęciowe w zapisie osadowym były wykorzystywane jako wskaźnik wzmożonej aktywności wulkanicznej w trakcie masowych wymierań oraz kryzysów biotycznych (np. Sanei i in., 2012; Racki, 2020). Opisane niezwykle wysokie anomalie rtęciowe z pogranicza dewon-karbon w Alpach Karnickich wspierają wulkanizm jako mechanizm sprawczy kryzysu Hangenberg.

Anomalie rtęciowe, obecność w skali globalnej warunków beztlenowych oraz wysoka śmiertelność fauny pelagicznej, szczególnie ryb pancernych z grupy plakodermów skłoniły mnie do postawienia hipotezy, iż obok anoksji jednym z bezpośrednich czynników prowadzących do tegoż wymierania mogła być bakteryjna biometylacja nieorganicznej Hg dostarczanej do oceanu wskutek wzmożonej aktywności wulkanicznej. Rtęć w nieorganicznej postaci (Hg) jest uważana za wysoce szkodliwy pierwiastek. Jednak do organizmu włączanych jest między 2 a 38% rtęci nieorganicznej, czyli takiej jaka jest dostarczana do morskich zbiorników w skutek erupcji wulkanicznych. Zdecydowanie bardziej niebezpieczną dla życia organicznego jest organiczna forma rtęci tzw. metylortęć (CH_3Hg^+), która jest silną neurotoksyną niemal całkowicie wchłanianą przez organizm, a co gorsza koncentrującą się w organizmach zajmujących wyższe piętra w piramidzie troficznej (obecnie to np. ryby, ptaki i ssaki). We współczesnych środowiskach związek ten jest generowany głównie przez organizmy beztlenowe, takie jak bakterie redukujące siarczany (np. *Geobacter sulfurreducens*, Lin i in., 2014). Metylortęć (MeHg) jest groźną neurotoksyną, ponieważ ma zdolność biokoncentracji oraz biomagnifikacji w piramidzie troficznej, jest zdolna do przekroczenia bariery krew-mózg i współcześnie stanowi realne zagrożenie dla ludzi spożywających zwierzęta zawierające podwyższone koncentracje MeHg (np. Lamborg i in., 2014).

Podjęta w niniejszej pracy próba stanowi pierwsze na świecie znalezisko metylortęci w zapisie kopalnym. W profilu Kronhofgraben znaleziono koncentracje MeHg osiągające 348 pg/g d.w., dodatkowo obecność metylortęci stwierdzono w osadach najwyższego dewonu w Uzbekistanie (55 pg/g d.w.), łupkach Woodford w Oklahomie (72,72 pg/g d.w.) oraz Górach Świętokrzyskich (20,66 pg/g d.w.), co potwierdza ponadregionalny zapis biometylacji rtęci pod koniec dewonu. Wydaje się więc, że obok udokumentowanej wzmożonej aktywności wulkanicznej wpływającej na zmiany klimatyczne i rozwoju warunków beztlenowych w późnodewońskich morzach, właśnie MeHg powstająca w wyniku biometylacji ogromnych koncentracji nieorganicznej Hg dostarczanej do oceanu wskutek wzmożonej aktywności wulkanicznej, mogła być czynnikiem prowadzącym obok anoksji do masowego wymierania morskich organizmów. Metylortęć jako bardziej toksyczna forma rtęci mogła mieć niezwykle niszczyielski wpływ na bioróżnorodność, powodując wymieranie wielu organizmów pelagicznych pod koniec dewonu. Warto podkreślić, iż badania metylortęci, jako czynnika powodującego masowe wymierania (w powiązaniu z silną aktywnością wulkaniczną) mają duży potencjał badawczy. Szczególnie w kontekście jej biomagnifikacji w piramidzie troficznej, co mogłoby potencjalnie prowadzić także do wymierań na lądzie począwszy

od wymierania na granicy perm-trias. Jednakże temat ten wymaga dalszych badań i otwiera niezwykle ciekawe perspektywy na przyszłość.

Warto podkreślić, iż poza rejonem Alp Karnickich mam swój udział w udokumentowaniu anomalii Hg w trakcie zdarzenia Hangenberg także w Turynii i Reńskich Górach Łupkowych w Niemczech oraz w Górach Świętokrzyskich (Pisarzowska i in., 2020). Ta praca, pomimo zbieżnej tematyki, nie została włączona do działu, gdyż przyjęto kryterium, iż włączone zostaną wyłącznie prace, w których byłem autorem wiodącym i liderem prowadzonych prac badawczych. Ponadto anomalie Hg wzmacniające interpretację katastrofy wulkanicznej zaproponowanej w pracach Rakociński i in. (2020) oraz Pisarzowska i in. (2020) zostały opisane z innych rejonów świata, m.in. Wietnamu (Paschall i in., 2019), Czech oraz Chin południowych (Kalvoda i in., 2019; Racki, 2020). Co godne uwagi, pomimo licznych dowodów na wzmożony wulkanizm na pograniczu dewon-karbon, niedawno Marshall i in. (2020) zakwestionowali czynnik wulkaniczny jako sprawczy, postulując zmiany klimatyczne, wpływ dziury ozonowej i wzmożonego promieniowania UV-B.

W pracy Rakociński et al. (2021a) udokumentowaliśmy bardzo wysokie anomalie rtęciowe w południowym Tien Szanie (Uzbekistan). Prace terenowe prowadziłem we współpracy z dr Zofią Dubicką (Uniwersytet Warszawski) oraz dr Nurridinem Abdiyevem (Kitab State Geological Reserve) w ramach grantu NCN MAESTRO pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych*. W tym celu opróbowaliśmy głębokowodną pelagiczną sukcesję pogranicza dewon-karbon w stanowisku Novchomok znajdującym się w paśmie Zeravshan-Gissar stanowiącym południowo-zachodnią odnogę Tien Szanu. W profilu Novchomok interwał kryzysu Hangenberg nie zawiera typowych czarnych łupków Hangenberg znanych z licznych europejskich sukcesji (np. Pisarzowska i in., 2020), jednakże udało się go zidentyfikować w oparciu o biostratygrafię konodontową oraz podwyższone koncentracje pierwiastków wrażliwych na zmiany warunków redoks takie jak U, Mo, V. W badanym profilu udokumentowaliśmy kilka anomalii rtęciowych z których część poprzedza zdarzenie Hangenberg, jednak maksimum (5825 ppb) wypada w interwale kryzysowym pomagając w ten sposób rozstrzygnąć kontrowersje wokół przyczyn tego zdarzenia globalnego. Ponadto po raz pierwszy udokumentowaliśmy obecność anomalii Hg i Hg/TOC w łupkach marglistych, marglach oraz wapieniach, zatem całkowicie niezależnie od zmian facjalnych (Figura 4), co dodatkowo wzmacnia twierdzenie, iż wulkanizm był główną przyczyną kryzysu Hangenberg. Potwierdza to także zbiegająca się w czasie negatywna anomalia $\delta^{13}\text{C}$, mogąca świadczyć o masywnym uwalnianiu lżejszego izotopowo węgla wskutek wulkanogenicznego

i termogenicznego odgazowania, połączonego ze wzrostem aktywności wulkanicznej pod koniec dewonu (Rakociński i in., 2021a i literatura tam cytowana). Co istotne w niniejszej pracy, poza znaną potencjalną aktywnością wielkich prowincji ogniowych jako możliwych źródeł anomalii rtęciowych, zwracamy uwagę na niedoceniany wpływ aktywności wulkanizmu łukowego, powszechnego pod koniec dewonu (szczegóły w Rakociński i in., 2021a).

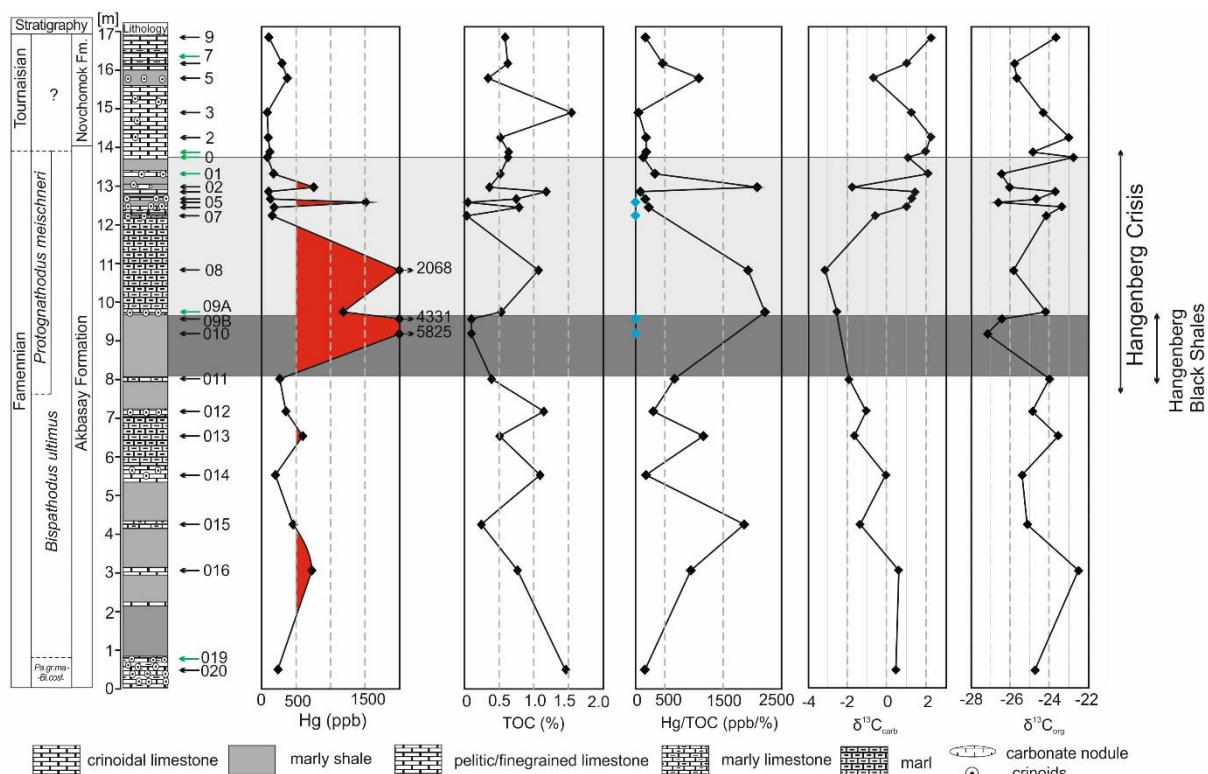


Figura 4. Profil pogranicza dewon–karbon w stanowisku Novchomok z widocznymi anomaliami rtęciowymi, oraz izotopowymi $\delta^{13}C_{org}$ i $\delta^{13}C_{carb}$.

Celem pracy Rakociński i in., (2021b) była szczegółowa rekonstrukcja warunków paleośrodowiskowych panujących w trakcie sedymentacji środkowoturnejskich czarnych łupków oraz litytów (zdarzenie wczesny Alum) w polskiej części południowego szelfu Laurussii w oparciu o wysokiej rozdzielczości analizy geochemiczne, palinologiczne, spektrometrię gamma, obserwacje mikrofacjalne oraz analizy framboidów pirytowych. Podjęto również próbę stworzenia modelu paleoceanograficznego dla rozwoju basenu chęcińsko-zbrzańskieggo we wczesnym oraz środkowym turneju. W tym celu sprofilowałem i opróbowiałem „warstwa po warstwie”, sukcesję turnejską w kamieniołomie Kowala w Górach Świętokrzyskich, będącą najlepszym profilem w tej części świata z uwagi na brak luk stratygraficznych oraz niski stopień dojrzałości termicznej osadów (patrz np. Belka, 1990). Uzyskane wyniki pozwoliły na kompleksową rekonstrukcję warunków paleośrodowiskowych

16

W oparciu o występowanie indeksowych miospor *Kraeuselisporites hibernicus* oraz *Claytonispora distincta* ustalono wiek warstw zarębiańskich na poziom miosporowy HD, który reprezentuje dolną część środkowego turneju i może być skorelowany z poziomami konodontowymi *sandbergi/crenulata*, korespondując z globalną transgresją i sedymentacją osadów dolnego łupka Alum, między innymi w Reńskich Górach Łupkowych. Starsze osady dolnego turneju powstały w warunkach tlenowych o czym świadczą m.in. wysokie wartości stosunku Th/U (>3), niskie zawartości molibdenu oraz stosunku C_{org}/P , rzadkie lub brak framboidów pirytowych (Figury 5-6). Niższa część warstw zarębiańskich, reprezentująca zdarzenie wczesny Alum, powstała w warunkach silnej euksyni w strefie fotycznej oraz anoksycznych wód przydennych. Świadczą o tym wysokie koncentracje biomarkerów (izorenieratan, palaeorenieratan oraz ich pochodne), wysokie wartości stosunku steraanów do hopanów, niskie wartości stosunku Th/U (<2), wysokie koncentracje m.in. Mo, U, Zn, Pb oraz niskie koncentracje Mn i liczne populacje niewielkich framboidów pirytowych, wysokie zawartości TOC oraz wartości stosunku C_{org}/P . Wyższa część warstw zarębiańskich powstała w mniej restrykcyjnych warunkach okresowej euksyni w strefie fotycznej oraz lepiej natlenionej strefie przydennej, o czym świadczy m.in. brak biomarkerów typowych dla warunków euksynicznych w strefie fotycznej, mniejsza ilość małych framboidów pirytowych, niższe wartości molibdenu oraz stosunku C_{org}/P .

W celu stworzenia modelu paleooceanograficznego dla rozwoju basenu chęcińsko-zbrzańskiego we wczesnym oraz środkowym turneju posłużono się wskaźnikami $Co \times Mn$, $Mn_{(EF)} \times Co_{(EF)}$ i Cd/Mo (patrz Sweere i in., 2016). Częstym przedmiotem debaty dotyczącej oceanicznych zdarzeń beztlenowych jest pytanie, czy głównym źródłem osadów zasobnych w materię organiczną była wysoka produktywność fitoplanktonu, czy też zwiększone zachowanie materii organicznej w zubożonych w tlen restrykcyjnych basenach o niskim tempie wymiany wód przydennych, lub połączenie obu procesów (np. Rakociński i in., 2018 i literatura tam cytowana). We współczesnych morskich środowiskach skały zasobne w materię organiczną powstają głównie w dwóch reżimach sedymentacyjnych, w otwarto morskich strefach upwellingów jak np. wybrzeża Namibii bądź Peru charakteryzujących się wysoką produktywnością lub w ograniczonych stratyfikowanych basenach jak Morze Czarne o niskiej produktywności, ale z bardzo niskim tempem wymiany wód przydennych rzędu 500-4000 lat (Algeo i Lyons, 2006). Badając współczesne osady zasobne w materię organiczną Sweere i in. (2016) zauważyli zróżnicowane koncentracje Co, Mn, Cd, Mo, w zależności od środowiska ich depozycji.

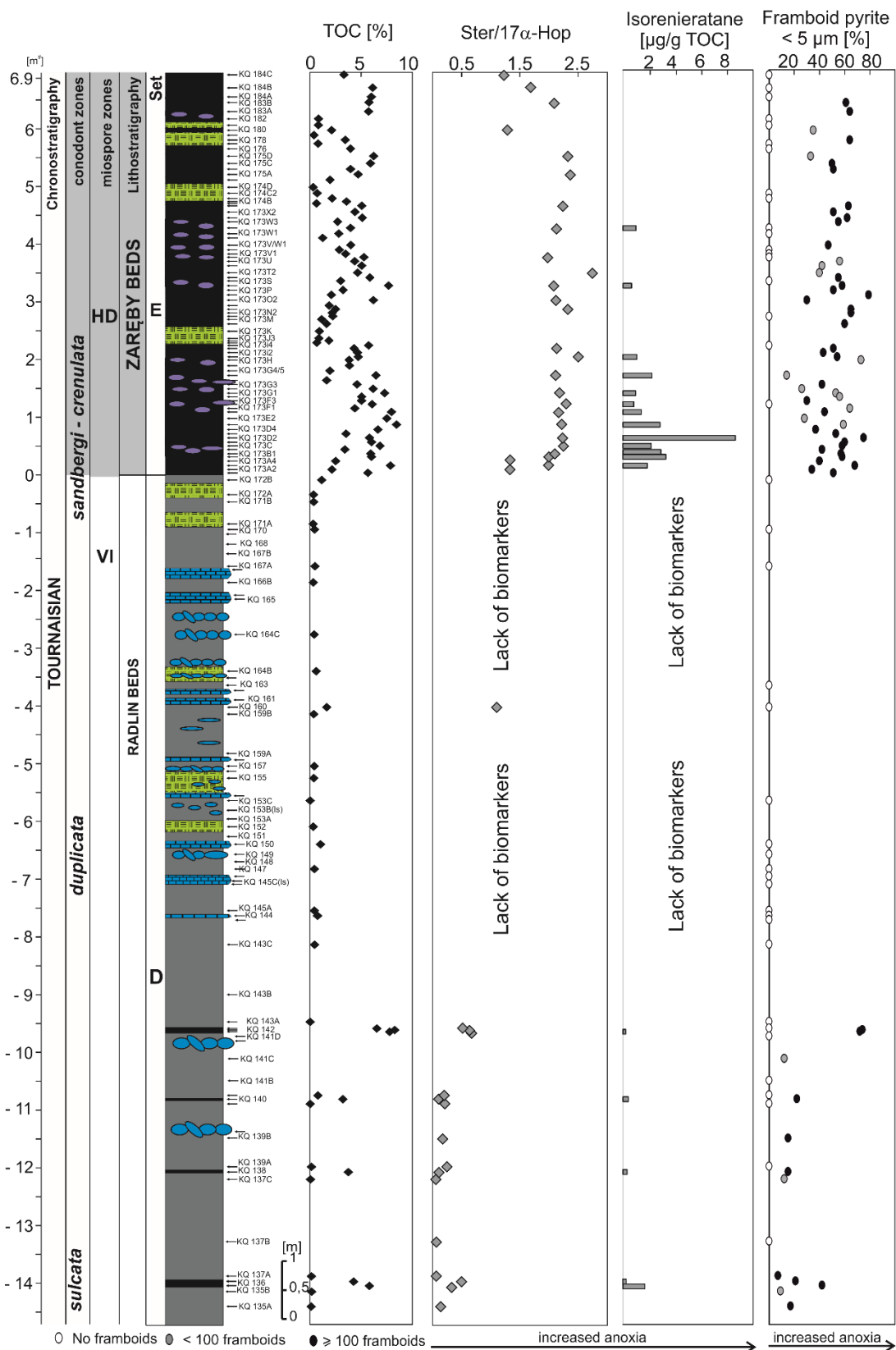


Figura 6. Profil osadów turneju w Kowali z wartościami TOC, biomarkerami: izorenieratan oraz stosunkiem steranów do hopanów i rozmieszczeniem średnic framboidów perytowych (% < 5 μ m). Stratygrafia na podstawie Malec (2014) oraz Rakociński i in., 2021b), Objasnienia litologii (patrz Fig. 4 w Rakociński i in., 2021b).

Autorzy ci wykazują iż w strefach upwellingów wody oceaniczne są zubożone w Co i Mn co odzwierciedlają niskie wartości $\text{Co} \times \text{Mn} < 0,4$ i $\text{Mn}_{(\text{EF})} \times \text{Co}_{(\text{EF})} < 0,5$, podczas gdy aluwialny dopływ tychże pierwiastków do restrykcyjnych basenów powoduje wzrost wskaźników ($\text{Co} \times \text{Mn} > 0,4$ i $\text{Mn}_{(\text{EF})} \times \text{Co}_{(\text{EF})} > 2$; Sweere i in., 2016). Generalnie niskie wartości tych indykatorów w obrębie stanowiących ekwiwalent zdarzenia wczesny Alum warstw zarębiańskich świadczy o formowaniu się badanych osadów w strefie upwellingu w bardziej otwarto morskim reżimie. Przeciwnie, cienkie wkładki czarnych łupków z warstw Radlińskich mają wyższe wartości sugerujące bardziej restrykcyjne warunki we wczesnym turnieju (Rakociński i in., 2021b).

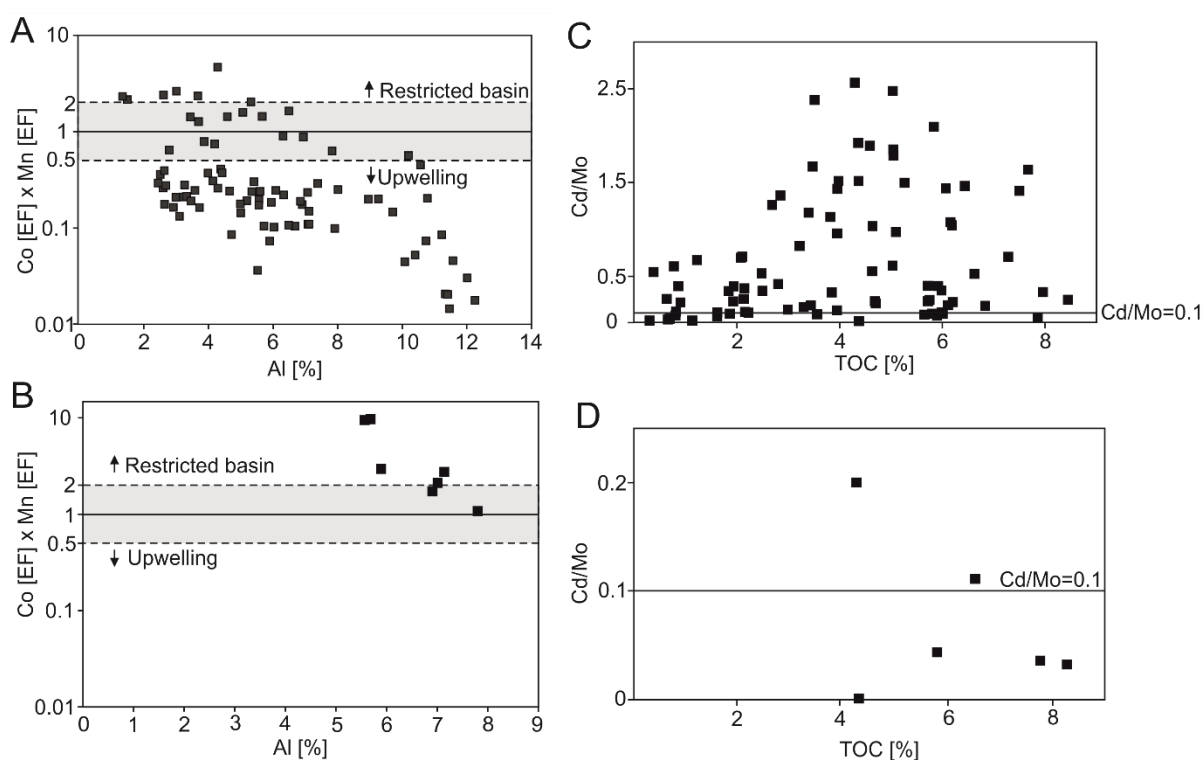


Figura 7. A-B. Diagram zawartości $\text{Co[EF]} \times \text{Mn[EF]}$ vs Al, wartości < 0.5 charakterystyczne dla upwellingów podczas gdy > 2 są typowe dla basenów restrykcyjnych z ograniczonym mieszaniem wód (Sweere i in., 2016); C-D. Diagram stosunku Cd/Mo vs TOC, wartości $> 0,1$ Cd/Mo są charakterystyczne dla stref upwellingów, podczas gdy wartości $< 0,1$ Cd/Mo dla basenów o ograniczonej cyrkulacji (Sweere i in., 2016). A,C. Warstwy zarębiańskie, B,D. Czarne łupki występujące w warstwach radlińskich.

Według danych Sweere i in. (2016), także wzbogacenie w Cd i Mo różni się znacznie w otwarto morskich strefach upwellingów = prądów wstępujących od basenów z ograniczoną cyrkulacją. W basenach restrykcyjnych stosunek Cd/Mo jest niski ($< 0,1$) będąc bliskim średnim zawartościom tego stosunku w wodzie morskiej, podczas gdy w strefach upwellingów

stosunek ten rośnie przyjmując wartości bliskie wartościom w morskim planktonie (Tribovillard i in., 2006; Sweere i in., 2016).

Większość próbek z warstw zarębiańskich ma wyższe wartości ($> 0,1$ Cd/Mo), charakterystyczne dla stref upwellingu, również obecność niezwykle licznych organizmów krzemionkowych (radiolarii) potwierdza taką interpretację (por. np. Racki, 1999). Generalnie niskie wartości Cd/Mo w czarnych łupkach występujących w dolnoturnej warstwach radlińskich świadczy o bardziej restrykcyjnym środowisku (Figura 7). To może świadczyć, iż częściowo odizolowany basen chęcińsko-zbrzański ewoluował w kierunku bardziej otwartomorskiego w trakcie turnaju wskutek transgresji środkowoturnej i związanego z nią zdarzenia wczesny Alum.

Wysoka produktywność w środkowym turnaju na południowym szelfie Laurussii była stymulowana przez upwellingi oraz wzmożoną aktywność wulkaniczną, o czym świadczy podwyższona zawartość rtęci w warstwach zarębiańskich, obecność poziomów popiołów wulkanicznych oraz wzbogaconych w cyrkon poziomów kryptotefr.

Interpretacje rozwoju warunków paleośrodowiskowych w basenie chęcińsko-zbrzańskim przedstawiono na Figurze 8. Niższa część turnaju (warstwy radlińskie) powstała w warunkach niskiej produktywności, oraz warunków tlenowych do co najmniej dysoksycznych, obejmujących krótkookresowe epizody wyższej produktywności w warunkach restrykcyjnych (Figura 8A-B). Początek sedymentacji warstw zarębiańskich charakteryzuje się warunkami dysoksycznymi, bez euksyni w strefie fotycznej (Figura 8B). Wysokie wartości TOC były związane ze wzrostem poziomu morza, zwiększonym dopływem nutrientów oraz wysoką produktywnością. W kolejnej fazie (około 2 m czarnych łupków i litytów) ma miejsce permanentna euksynia, która sięga dna zbiornika (Figura 8C), podczas gdy w kolejnej fazie nastąpiło dalsze pogłębianie zbiornika, jednak warunki euksyniczne występowały sporadycznie lub co bardziej prawdopodobne występowały poniżej strefy fotycznej (Figura 8D).

Nasze badania wykazały, iż zdarzenie środkowoturnej było związane z powodowanym wzmożonym wulkanizmem ociepleniem klimatu, wskutek którego doszło do deglacjacji Gondwany oraz globalnej transgresji, prowadząc do rozwoju warunków anoksycznych w wielu rejonach świata (np. Siegmund i in., 2002; Kaiser i in., 2011).

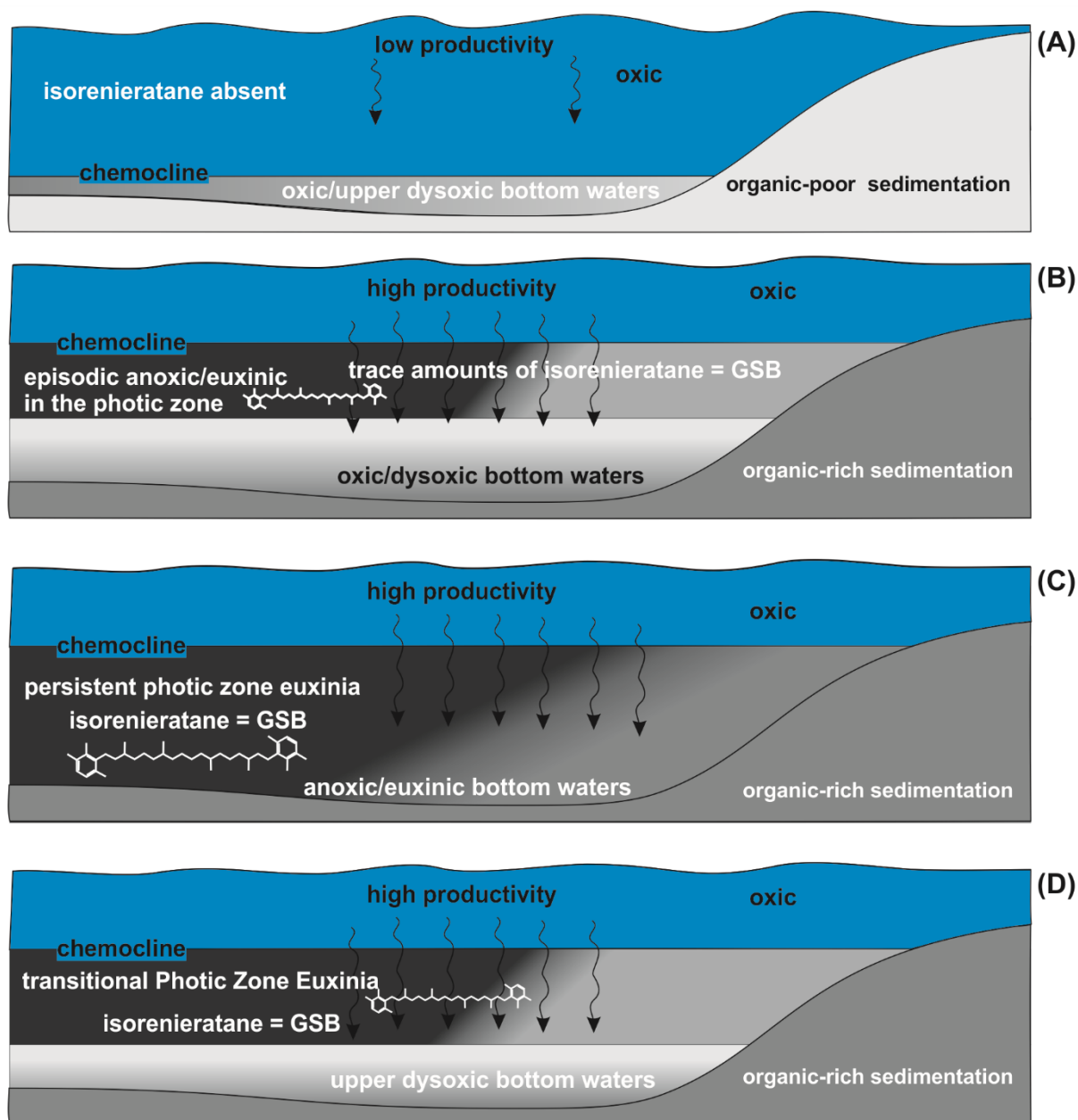


Figura 8. Model środowiska depozycji i warunków paleośrodowiskowych w basenie chęcińsko-zbrzańskim we wczesnym karbonie.

Ostatnia z prac jest wynikiem projektu NCN OPUS, którym kierowałem pt. *Środowiska depozycji podczas zdarzenia wczesny Alum (wczesny karbon) na południowym szelfie Laurussii w świetle zintegrowanych badań geochemicznych i paleoekologiczno-facjalnych*.

Najważniejsze osiągnięcia naukowe będące podstawą wszczęcia postępowania habilitacyjnego:

1. Udokumentowanie po raz pierwszy z polskiej części szelfu Laurussii rozkwitu organizmów mikrobialnych w płytkowodnych środowiskach po wymieraniu na granicy fran-famen, potwierdzające ponadregionalny rozkwit i kolonizację przez mikroby środowisk morskich po wymieraniu z końca franu.
2. Wykazanie w oparciu o wysokie anomalie rtęciowe w Alpach Karnickich oraz Uzbekistanie wulkanizmu jako możliwej przyczyny zmian klimatycznych pod koniec dewonu oraz związku przyczynowo–skutkowego kryzysu Hangenberg z wzmożoną aktywnością wulkaniczną.
3. Odkrycie w zapisie kopalnym obecności metylortęci (MeHg) oraz wykazanie możliwego wpływu zachodzącej w warunkach anoksycznych bakteryjnej biometylacji nieorganicznej rtęci pochodzenia wulkanicznego, jako czynnika który mógł doprowadzić do wymierania organizmów pelagicznych pod koniec dewonu z rybami pancernymi na czele.
4. Szczegółowa rekonstrukcja zmian paleoceanograficznych na południowym szelfie Laurussii podczas środkowoturnejskiego zdarzenia beztlenowego. Powiązanie rozwoju warunków sedymentacji z zmianami klimatycznymi wywołanymi aktywnością wulkaniczną oraz upwellingami prowadzącymi do wzrostu produktywności prowadzącej do pogrzebienia znacznych ilości materii organicznej w tym czasie. To mogło w konsekwencji doprowadzić do ochłodzenia klimatu oraz późnopaleozoicznego zlodowacenia Gondwany, poprzez związanie w trakcie środkowego turnaju w osadach bardzo dużych ilości węgla organicznego.

Literatura:

- Algeo, T.J., Lyons, T.W., 2006. Mo-total organic carbon covariation in modern anoxic marine environments: implications for analysis of paleoredox and paleohydrographic conditions. *Paleoceanography* 21, PA1016.
- Awramik, S.M. 1991. Archaeal and Proterozoic stromatolites. [In:] R. Riding (Ed): *Calcareous Algae and Stromatolites*. Springer-Verlag, Berlin, 289–304.
- Becker, R.T. 1993a. Anoxia, eustatic changes, and Upper Devonian to Lowermost Carboniferous global ammonoid diversity. In: House, M.R. (Ed.), *The Ammonoidea, Environment, Ecology, and Evolutionary Change*. Systematics Association Special Volume, 47, 115–164.
- Becker, R.T., 1993b. Analysis of ammonoid palaeobiogeography in relation to the global Hangenberg (terminal Devonian) and Lower Alum Shale (Middle Tournaisian) events. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 115, 459–473.
- Becker, R.T., House, M.R. 2000. Devonian ammonoid zones and their correlation with established series and stage boundaries. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, 220, 113–151.

- Becker, R.T., Königshof, P., Brett, C.E., 2016a. Devonian climate, sea level and evolutionary events: an introduction. In: Becker, R.T., Königshof, P., Brett, C.E. (Eds.), *Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events*. Geological Society, London, Special Publications 423, 1–10.
- Becker, R.T., Kaiser, S.I., Aretz, M. 2016b. Review of chrono-, litho- and biostratigraphy across the global Hangenberg Crisis and Devonian–Carboniferous Boundary. Geological Society, London, Special Publications, 423, <http://doi.org/10.1144/SP423.10>
- Belka, Z., 1990. Thermal maturation and burial history from Conodont colour alternation data, Holy Cross Mountains, Poland. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 118, 241–251.
- Bergquist, A.B. 2017. Mercury, volcanism, and mass extinctions. *PNAS*, 114, 8675–8677.
- Caplan, M.L., Bustin, R.M. 2001. Palaeoenvironmental and palaeoceanographic controls on black, laminated mudrock deposition: example from Devonian–Carboniferous strata, Alberta, Canada. *Sedimentary Geology*, 145, 45–72.
- Feng, Q., Gong, Y.-M., Riding, R., 2010. Mid-Late Devonian calcified marine algae and cyanobacteria, south China. *Journal Paleontology*, 84, 569–587.
- Fields, B.D., Melott, A.L., Ellis, J., Ertel, A.F., Fry, B.J., Lieberman, B.S., Liu, Z., Miller, J.A., Thomas, B.C. 2020. Supernova Triggers for End-Devonian Extinctions. *PNAS*, 117, 21008–21010.
- House, M.R. 2002. Strength, timing, setting and cause of mid-Palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 181, 5–25.
- Jahnert, R.J. & Collins, L.B. 2011. Significance of subtidal microbial deposits in Shark Bay, Australia. *Marine Geology* 286, 106–111.
- Ji, Q. 1985. Study on the Phylogeny, Taxonomy, Zonation and Biofacies of *Siphonodella* (Conodonta). *Bulletin of the Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences*, 11 51–75.
- Kaiser, S.I., Becker, R.T., Steuber, T., Aboussalam, S.Z., 2011. Climate-controlled mass extinctions, facies, and sea-level changes around the Devonian–Carboniferous boundary in the eastern Anti-Atlas (SE Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310, 340–364.
- Kalvoda, J., Kumpan, T., Qie, W., Frýda, J., Bábek, O. 2019. Mercury spikes at the Devonian-Carboniferous boundary in the eastern part of the Rhenohercynian Zone (central Europe) and in the South China Block. *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 531, Part A, 109221.
- Kazmierczak, J. & Kempe, S. 2006. Genuine modern analogues of Precambrian stromatolites from caldera lakes of Niuafuou Island, Tonga. *Naturwissenschaften* 93, 119–126.
- López-García, P., Kazmierczak, J., Benzerara, K., Kempe, S., Guyot, F., Moreira, D., 2005. Bacterial diversity and carbonate precipitation in the giant microbialites from the highly alkaline Lake Van, Turkey. *Extremophiles* 9, 263–274.
- Lamborg, C., Bowman, K., Hammerschmidt, C., Gilmour, C., Munson, K., Selin, N., Tseng, C.-M. 2014. Mercury in the Anthropocene Ocean. *Oceanography*, 27, 76–87.
- Lin, H., Morrell-Falvey, J.L., Rao, B., Liang, L., Gu, B. 2014. Coupled Mercury–Cell Sorption, Reduction, and Oxidation on Methylmercury Production by *Geobacter sulfurreducens* PCA. *Environmental Science & Technology*, 48, 11969–11976.
- Marschall, J.E., Lakin, J., Troth, I., Wallace-Johnson, S.M. 2020. UV-B radiation was the Devonian–Carboniferous boundary terrestrial extinctions kill mechanism. *Science Advance*, 6, eaba0768.
- Marynowski, L., Filipiak, P. & Zatoń, M. 2010. Geochemical and palynological study of the Upper Famennian Dasberg event horizon from the Holy Cross Mountains (central Poland). *Geological Magazine*, 147, 527–550.
- Marynowski L., Rakociński M., Borcuch E., Kremer B., Schubert B.A., Jahren H.A. 2011. Molecular and petrographic indicators of redox conditions and bacterial communities after the F/F mass extinction (Kowala, Holy Cross Mountains, Poland). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 306, 1–14.
- Marynowski, L., Zatoń, M., Rakociński, M., Filipiak, P., Kurkiewicz, S. & Pearce, T.J. 2012. Deciphering the upper Famennian Hangenberg Black Shale depositional environments based on multi-proxy record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 346–347, 66–86.
- Paschall, O., Carmichael, S.K., Königshof, P., Waters, J.A., Ta, P.H., Komatsu, T. & Dombrowski, A. 2019. The Devonian-Carboniferous boundary in Vietnam: Sustained ocean anoxia with a volcanic trigger for the Hangenberg Crisis? *Global and Planetary Change*, 175, 64–81.
- Pisarzowska, A., Rakociński, M., Marynowski, L., Szczerba, M., Thoby, M., Paszkowski, M., Perri, M.C., Spalletta, C., Schönlaub, H.-P., Kowalik, N., Gereke, M. 2020. Large environmental disturbances caused by magmatic activity during the Late Devonian Hangenberg Crisis. *Global and Planetary Change* 190, 103155; <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103155>.
- Racka, M., Marynowski L., Filipiak P., Sobstel M., Pisarzowska A., Bond D.P.G. 2010. Anoxic Annulata Events in the Late Famennian of the Holy Cross Mountains (Southern Poland): Geochemical and palaeontological record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 549–575.
- Racki, G., 1999. The Frasnian-Famennian biotic crisis: how many (if any) bolide impacts? *Geol. Rundsch.* 87, 617–632.

- Racki, G. 2020. A volcanic scenario for the Frasnian–Famennian major biotic crisis and other Late Devonian global changes: more answers than questions? *Global and Planetary Changes* 189, 103173.
- Racki, G., Rakociński, M., Marynowski, L., Wignall, P.B. 2018. Mercury enrichments and the Frasnian–Famennian biotic crisis: A volcanic trigger proved? *Geology* 46, 543–546.
- Rakociński, M. & Racki, G., 2016. Microbialites in the shallow-water marine environments of the Holy Cross Mountains (Poland) in the aftermath of the Frasnian–Famennian biotic crisis. *Global and Planetary Change* 136, 30–40.
- Rakociński, M., Marynowski, L., Piszczowska, A., Beldowski, J., Siedlewicz, G., Zatoń, M., Perri, M.C., Spalletta, C., Schönlaub, H.-P. 2020. Volcanic related methylmercury poisoning as the possible driver of the end-Devonian Mass Extinction. *Scientific Reports*, 10:7344 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64104-2>
- Rakociński, M., Piszczowska, A., Corradini, C., Narkiewicz, K., Dubicka, Z., Abdyiev, N. 2021a. Mercury spikes as evidence of extended arc-volcanism around Devonian–Carboniferous boundary in the South Tian Shan (southern Uzbekistan). *Scientific Reports*. DOI: 10.1038/s41598-021-85043-6
- Rakociński, M., Marynowski, L., Zatoń, M., Filipiak, P. 2021b. The mid-Tournaisian anoxic event (Lower Carboniferous) in the Laurussian shelf basin (Poland): An integrative approach. *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 566, (110236), 1–28.
- Sallan, L.C., Coates, M.I. 2010. End-Devonian extinction and a bottleneck in the early evolution of modern jawed vertebrates. *PNAS* 107, 10131–10135.
- Sandberg, C.A., Ziegler, W., Leuteritz, K., Brill, S.M. 1978. Phylogeny, speciation, and zonation of Siphonodella (Conodonts, Upper Devonian and Lower Carboniferous). *Newsletter on Stratigraphy* 7(2), 102–120.
- Sanei, H., Grasby, S.E., Beauchamp, B. 2012. Latest Permian mercury anomalies. *Geology*, 40, 63–66.
- Schubert, J.K. & Bottjer, D.J., 1992. Early Triassic stromatolites as post-mass extinction disaster forms. *Geology* 20, 883–886.
- Siegmund H., Trappe J. & Oschmann W. 2002. Sequence stratigraphic and genetic aspects of the Tournaisian “Liegender Alaunschiefer” and adjacent beds. *International Journal of Earth Science* 91, 934–949.
- Smolarek, J., Marynowski, L., Trela, W., Kujawski, P., Simoneit, B.R.T. 2017. Redox conditions and marine microbial community changes during the end-Ordovician mass extinction event. *Global and Planetary Change*, 149, 105–122.
- Sudar, M.N., Novak, M., Korn, D. & Jovanović, D. 2018. Conodont biostratigraphy and microfacies of the Late Devonian to Mississippian Milivojevića Kamenjar section (Družetić, NW Serbia). *Bulletin of Geosciences* 93(2), 163–183.
- Sweere, T., van den Boorn, S., Dickson, A.J., Reichart, G.-J., 2016. Definition of new trace-metal proxies for the controls on organic matter enrichment in marine sediments based on Mn, Co, Mo and Cd concentrations. *Chemical Geology* 441, 235–245.
- Tribovillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T., Riboulleau, A., 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update. *Chem. Geol.* 232, 12–32.
- Walliser O.H. 1996. Global events in the Devonian and Carboniferous. *In: Walliser, O.H. (Ed.), Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic*, Springer Verlag, Berlin, 225–250.
- Whalen, M.T., Day, J., Eberli, G.P. & Homewood, P.W., 2002. Microbial carbonates as indicators of environmental change and biotic crises in carbonate systems: examples from the Late Devonian, Alberta basin, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 181, 127–151.
- Xie, S., Pancost, R.D., Yin, H., Wang, H., Evarshed, R.P., 2005. Two episodes of microbial change coupled with Permo/Triassic faunal mass extinction. *Nature*, 434, 494–497.
- Zatoń, M., Zhuravlev, A.V., Rakociński, M., Filipiak, P., Borszcz, T., Krawczyński, W., Wilson, M.A., Sokiran, E.V. 2014. Microconchid-dominated cobbles from the Upper Devonian of Russia: opportunism and dominance in a restricted environment following the Frasnian–Famennian biotic crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 401, 142–153.
- Zatoń, M., Borszcz, T., Berkowski, B., Rakociński, M., Zapalski, M.K., Zhuravlev, A.V. 2015. Paleoeology and sedimentary environment of the Late Devonian coral biostrome from the Central Devonian Field, Russia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 424, 61–75.

d). Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Tematyka moich pozostałych badań obejmuje rozmaite zagadnienia dotyczące paleoekologii i tafonomii morskich bezkręgowców (1), badań zespołów twardego podłoża (2), zdarzeń globalnych oraz interpretacji kopalnych środowisk sedymentacyjnych w oparciu

o zintegrowane metody geochemiczne i paleoekologiczno-facjalne (3) oraz prac metodologicznych badających między innymi wpływ paleowietrzenia na interpretacje paleośrodowiskowe.

(1) Paleoekologia i tafonomia morskich bezkręgowców

Badania te rozpocząłem już w trakcie studiów magisterskich i były one częściowo przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej wykonywanej pod opieką naukową profesora Grzegorza Rackiego. Badania te stały się przedmiotem siedmiu prac opublikowanych zarówno przed (Jagt-Yazykova i in., 2006 *Acta Palaeontologica Polonica*, Borszcz i in., 2008 *Przegląd Geologiczny*, Rakociński, 2009 *Przegląd Geologiczny*, Rakociński, 2012 *Geological Quarterly*), jak i po uzyskaniu stopnia doktora (Zatoń i Rakociński, 2014 *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Zatoń i in., 2014 *Lethaia*, Rakociński i Borcuch, 2016 *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*).

Za najważniejsze osiągnięcie w obszarze badań paleoekologicznych uważam opisanie śladów po tzw. „dziurach House’a” na ośródkach fameńskich goniatytów, będących śladami struktur perłowych, które głowonogi wytwarzały jako reakcję obronną na zasiedlanie przez przywry drażniące ich jamę płaszczu. Znalezisko to pozwoliło na rozciągnięcie zasięgu występowania tego typu interakcji do środkowego famenu, ponieważ wcześniej tego typu struktury znane były wyłącznie z osadów od emsu do żywetu (Rakociński 2012 *Geological Quarterly*). Za szczególnie istotne uważam również badania osadów dolnego famenu w Kowali w Górach Świętokrzyskich (Zatoń i in., 2014 *Lethaia*), które pozwoliły na rekonstrukcję unikatowego pelagicznego ekosystemu występującego w basenie chęcińsko-zbrzańskim po kryzysie na granicy fran-famen zdominowanego przez stawonogi (liścioraki, angustidentidy oraz concavicaridy), łodzиковate, ramienionogi oraz glony.

(2) Badania zespołów twardego podłoża

Badaniami zespołów kolonizujących twarde podłoże zainteresowałem się w trakcie studiów doktoranckich. Badania te prowadziłem głównie we współpracy z profesorem Michałem Zatonem, będąc wykonawcą w jego projekcie pt. *Dynamika rozwoju organizmów twardego podłoża w świetle kryzysu biotycznego fran–famen (późny dewon) na obszarze Rosji*. Efektem zainteresowania tą tematyką jest pięć artykułów opublikowanych zarówno przed (Rakociński, 2011 *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*), jak i po uzyskaniu stopnia

doktora (Zatoń i in., 2014 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Zatoń i in., 2015 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Zatoń i in., 2017 *Paleobiology*, Zatoń i in., 2018 *Global and Planetary Change*). Ponadto, aktualnie jestem wykonawcą w grancie profesora Michała Zatonia pt. *Paleoekologia i rozwój środkowodewońskich organizmów twardego podłoża na szelfie północnej Gondwany*. Za najważniejsze osiągnięcie uważam opracowanie zespołów inkrustujących twarde podłoże na pograniczu fran–famen z obszaru Centralnego Pola Dewońskiego w Rosji (Zatoń i in., 2014 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Zatoń i in., 2015 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Zatoń i in., 2017 *Paleobiology*) oraz unikatowych zespołów rafowych tworzonych przez mikrokonchidy we wczesnym triasie na Grenlandii, tuż po wymieraniu na granicy perm–trias (Zatoń i in., 2018 *Global and Planetary Change*).

(3) Zdarzenia globalne oraz interpretacja kopalnych środowisk sedimentacyjnych w oparciu o zintegrowane metody geochemiczne i paleoekologiczno-facjalne

Tematyka ta stanowi główny nurt moich zainteresowań. Badania nad tą problematyką rozpocząłem już na studiach doktoranckich. Badania te stały się przedmiotem trzynastu prac opublikowanych zarówno przed (Marynowski i in., 2007 *Geochemical Journal*, Marynowski i in., 2011 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Marynowski i in., 2012 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, De Vleeschouwer i in., 2013 *Earth and Planetary Science Letters*), jak i po uzyskaniu stopnia doktora (Myrow i in., 2014 *Terra Nova*, Rakociński i in., 2016 *Lethaia*; Mouro i in., 2017 *Global and Planetary Change*, Racki i in., 2018 *Geology*, Rakociński i in., 2018 *Cretaceous Research*, Broda i in., 2019 *Scientific Reports*, Percival i in., 2019 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Percival i in., 2020 *Global and Planetary Change*, Pisarzowska i in., 2020 *Global and Planetary Change*). Część z nich, pomimo dużej zbieżności tematycznej, nie została włączona w skład dzieła z uwagi na fakt przyjętego przez mnie kryterium, iż jako dzieło przedstawione zostaną wyłącznie prace, w których byłem wiodącym autorem oraz liderem. Inne pomimo zbieżności tematycznej, nie zostały włączone z uwagi na fakt, iż obejmowały inny interwał stratygraficzny (Rakociński i in., 2018 *Cretaceous Research*) lub zawierały częściowo dane znajdujące się w pracy doktorskiej (Rakociński i in., 2016 *Lethaia*).

Za najważniejsze osiągnięcia w tym obszarze badań uważam udokumentowanie anomalii rtęciowych w profilach Maroka, Niemiec i północnej Rosji na pograniczu fran-famen, będące dowodem wulkanizmu jako głównej przyczyny jednego z największych wymierań

w fanerozoiku (Racki i in., 2018 *Geology*). Dotychczas anomalie rtęciowe, były znane ze wszystkich pozostałych czterech masowych wymierań wchodzących w skład tzw. wielkiej piątki. Dlatego też nasze odkrycie wypełniło tę lukę, w związku z czym wszystkie masowe wymierania z wielkiej piątki możemy już korelować ze wzmożoną aktywnością wulkaniczną.

Inne szczególnie istotne publikacje to praca Pisarzowska i in., (2020 *Global and Planetary Change*), w której w wyniku interdyscyplinarnych badań geochemicznych, petrograficznych i mineralogicznych przedstawiono kompleksową rekonstrukcję warunków sedimentacyjnych panujących w trakcie depozycji czarnych łupków Hangenberg w Górach Świętokrzyskich, Turyngii, Reńskich Górach Łupkowych oraz Alpach Karnickich. Wykazano wpływ wzmożonego wulkanizmu jako czynnika powodującego rozwój warunków beztlenowych oraz zakwaszenia w morzach i oceanach w tym czasie. Z kolei w pracy Rakociński i in., (2018 *Cretaceous Research*) w wyniku interdyscyplinarnych badań, zasobnych w materię organiczną osadów najwyższej jury i dolnej kredy ze Spitsbergenu wykazano, iż powstały one w warunkach wysokiej produktywności fitoplanktonu, która mogła być wynikiem wzmożonej aktywności wulkanicznej w tym czasie i/lub dopływem substancji odżywczych z lądu. Warunki beztlenowe pojawiały się jedynie epizodycznie tworząc strefę minimum tlenowego w kolumnie wody, podczas gdy w strefie przydennej panowały co najwyżej warunki ograniczonego deficytu tlenu (dysoksyczne). W publikacji Mouro i in., (2017 *Global and Planetary Change*) w wyniku interdyscyplinarnych badań zrekonstruowano warunki panujące w trakcie sedimentacji, zasobnych w materię organiczną osadów dolnego permu z basenu Parany (Brazylia). We wczesnym permie niedługo po ustąpieniu zlodowacenia permsko-karbońskiego w basenie Parany wody morskie charakteryzowały się wysoką produktywnością, w których często występowały warunki beztlenowe i denitryfikacja, cyrkulacja w badanym basenie była ograniczona o czym świadczą wartości stosunku $M_{\text{auth}}/U_{\text{auth}}$. Chociaż warunki te nie były sprzyjające dla wielu zwierząt morskich, to jednak w znacznym stopniu przyczyniły się do ich doskonałego zachowania w badanych osadach. Powyższe dwie prace są istotne, ponieważ mimo iż nie związane bezpośrednio z badanym przeze mnie interwałem środkowego paleozoiku, pozwoliły na wyjaśnienie w szerszym kontekście czynników odpowiedzialnych za eutrofizację morskich zbiorników w geologicznej historii Ziemi.

Ważną dla mnie jest również praca wykonana z zespołem prof. Paula Myrowa (Colorado College) oraz prof. Samuela Bowringa (Massachusetts Institute of Technology), w której datowaliśmy wiek cyrkonów występujących w popiołach wulkanicznych poniżej oraz powyżej czarnego łupka Hangenberg wykazując iż kryzys ten trwał pomiędzy 50 a 190 tysięcy

lat, co jest porównywalnym czasem z trwaniem czwartorzędowych cykli glacji-eustatycznych (Myrow i in., 2014 *Terra Nova*).

(4) Prace metodologiczne

Prace te stanowią poboczny nurt moich zainteresowań. Efektem są cztery artykuły opublikowane przed (Zatoń i in., 2008 *Przegląd Geologiczny*; Marynowski i in., 2011 *Chemical Geology*) oraz po uzyskaniu stopnia doktora (Marynowski i in., 2017 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Racki i in., 2018 *Geological Quarterly*). Za szczególnie ważny uważam udział w pracach pod kierunkiem profesora Leszka Marynowskiego mających na celu zbadanie wpływu paleowietrzenia na zmiany geochemicznych parametrów służących do rekonstrukcji paleośrodowisk (biomarkery, koncentracje pierwiastków śladowych oraz inne powszechnie używane wskaźniki m.in. $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{98}\text{Mo}$) w zasobnych w materię organiczną dolnokarbońskich, morskich osadach (Marynowski i in., 2011 *Chemical Geology*, Marynowski i in., 2017 *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*).

Podsumowanie:

Kolejne kroki jakie planuję po ukończeniu habilitacji to dalsze badania zapisu środkowoturmejskiego zdarzenia beztlenowego w innych rejonach m.in. Reńskich Górach Łupkowych (Niemcy), Montagne Noire (Francja) oraz Alpach Karnickich (Austria), jak również złożenie grantu dotyczącego badania metylortęci jako potencjalnego czynnika powodującego kryzysy biotyczne w paleozoiku i mezozoiku. Szczególnie interesujący wydaje się aspekt jej biomagnifikacji w piramidzie troficznej mogącej prowadzić do wymierania w morzach oraz na lądach, szczególnie wyższych kręgowców.

Podziękowania

Pragnę podziękować w tym miejscu za wsparcie i opiekę moim naukowym mentorom oraz partnerom. Dziękuję Panu Profesorowi Grzegorzowi Rackiemu, za ukształtowanie mnie jako geologa, za wiarę i zaufanie jakim mnie obdarzył proponując mi podjęcie studiów doktoranckich, za stworzenie idealnych warunków pracy oraz wiedzę jaką chętnie się ze mną dzielił na przestrzeni lat. Dziękuję panu profesorowi Leszkowi Marynowskiemu, który od początku naszej znajomości, datowanej na ćwiczenia terenowe z geologii ogólnej po pierwszym roku, od zawsze obdarzał mnie ogromną życzliwością i zaufaniem, chętnie dzieląc się swoją ogromną wiedzą i wprowadzając w fascynujący świat geochemii skał osadowych, niejako dopełniając mojej geologicznej drogi. Dziękuję również profesorowi Michałowi Zatonowi, który zawsze odnosił się do mnie życzliwie, okazując swoje zaufanie poprzez włączanie mnie w swoje liczne projekty badawcze, wystrzegając moją wrażliwość na problematykę paleoekologiczną, równie często służąc cennymi radami oraz pomocą. Pragnę w tym miejscu również podziękować dr Agnieszce Pisarzowskiej za życzliwość i zaufanie jakim obdarzyła mnie włączając do swojego projektu naukowego, za zawsze cenne dyskusje i rady. Dziękuję dr Zofii Dubickiej za liczne rozmowy o geologii i tym co jest ważne w życiu.

Pragnę podziękować również recenzentom rozprawy doktorskiej profesorowi Stanisławowi Skompskiemu i profesorowi Marcinowi Machalskiemu, jak również wszystkim recenzentom moich publikacji, dzięki którym radom i uwagom miałem szanse ulepszyć końcowe efekty moich prac. Dziękuję również wszystkim geologom, z którymi miałem możliwość pracować w terenie, dzięki czemu bardzo wiele się nauczyłem: Nuriddin Abdiyev, Thomas R. Becker, Zdzisław Bełka, Błażej Berkowski, Samuel A. Bowring, Ewelina Borcuch, Tomasz Borszcz, Krzysztof Broda, Daizhao Chen, Zofia Dubicka, Karl B. Föllmi, Manfred Gereke, Sven Hartenfels, Elena Jagt-Yazykova, Michał Jakubowicz, Dieter Korn, Wojciech Krawczyński, Daria Książak, Jakub Kucharczyk, Leszek Marynowski, Paul Myrow, Mariusz Paszkowski, Lawrence Percival, Maria Cristina Perri, Agnieszka Pisarzowska, Grzegorz Racki, Utkir Rachmonov, Justyna Rakocińska, Firuza Salimova, Hans Peter Schönlaub, Elena Sokiran, Claudia Spalletta, Piotr Szrek, Zuzanna Wawrzyniak, Tomasz Wrzolek, Michał Zatoń, Andrey V. Zhuravlev i wielu innym. Dziękuję wszystkim współautorom publikacji naukowych za udział w tych wszystkich fascynujących projektach i wiedzę jaką mi przekazali. Dziękuję moim studentom Darii Książak, Jakubowi Kucharczykowi, Krzysztofowi Kucharzowi, Klaudii Simlat oraz Annie Brychcy, że obdarzyli mnie zaufaniem, wybierając jako swojego promotora.

Dziękuję Narodowemu Centrum Nauki za finansowanie moich badań.

Na koniec zostawiam podziękowania dla mojej żony Justyny oraz córek Zosi i Hani za miłość i zrozumienie mojej nieobecności i częste ucieczki w fascynujące odległe geologiczne krainy.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

a). współpraca z zagranicznymi jednostkami badawczymi

- **wrzesień 2017** University of Lausanne, Szwajcaria (**prof. Karl Föllmi** oraz **dr Lawrence Percival**, aktualnie w Vrije Universiteit Brussel, Belgia) prace terenowe w Górach Świętokrzyskich, wymiernym efektem są dwie wspólne publikacje Percival i in. (2019 *3Paleo*), Percival i in. (2020 *Global and Planetary Change*) oraz jedna Percival i in., wysłana do *Geology*;
- **maj/czerwiec 2016** Paul Sabatier University, Tuluza, Francja (**prof. Markus Aretz**) wspólne prace geologiczne w Montagne Noire (Francja), wyjazd w ramach grantu NCN OPUS pt. *Środowiska depozycji podczas zdarzenia wczesny Alum (wczesny karbon) na południowym szelfie Laurussii w świetle zintegrowanych badań geochemicznych i paleoekologiczno-facjalnych*; planowana publikacja z zapisu granicy dewon-karbon oraz środkowoturmejskiego zdarzenia beztlenowego;
- **styczeń 2016** Institute Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Beijing, Chiny, wyprawa geologiczna i prace terenowe w prowincji Guangxi - wspólnie z zespołem profesora **Daizagho Chena**, wyjazd w ramach grantu NCN Maestro pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych* (kierownik profesor G. Racki UŚ);
- **wrzesień 2015** Kitab State Geological Reserve oraz State Enterprise 'East Uzbekistan Survey Search Expedition Taszkient, Uzbekistan, wyprawa geologiczna i prace terenowe w południowo-zachodnim Tien-Szanie - wspólnie z współpracownikami dyrektora **Utkira Rachmonova**: **dr Nuriddinem Abdiyevem** (Kitab) oraz **dr Firuzą Salimową** (Taszkient), wyjazd w ramach grantu NCN Maestro pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych* (kier. prof. G. Racki UŚ), efekt naukowy współpracy artykuł Rakociński i in. (2021a *Scientific Reports*);
- **wrzesień 2014** University of Bologna, Włochy (**prof. Maria Cristina Perri** i **prof. Claudia Spalletta**) oraz Austria Academy of Sciences, Wien, Austria (**prof. Hans Peter Schönlaub**), wyjazd w ramach umowy o dzieło w ING PAN Kraków w ramach grantu NCN OPUS *Charakterystyka dewońskich globalnych fluktuacji warunków utleniająco-redukcyjnych w oparciu o zmiany stosunków izotopów molibdenu oraz inne wskaźniki geochemiczne* (kierownik dr Agnieszka Pisarzowska ING PAN Kraków); efekt naukowy współpracy Rakociński i in. (2020 *Scientific Reports*) oraz Pisarzowska i in. (2020 *Global and Planetary Change*);
- **czerwiec 2014** Komi Scientific Center, Syktyvkar, Russia (**dr Andrey V. Zhuravlev**) wyprawa geologiczna i prace terenowe na Uralu Polarnym, wyjazd w ramach grantu NCN Maestro pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych* (kierownik profesor G. Racki UŚ);
- **wrzesień 2013** University of Münster, Niemcy, geologiczne prace terenowe w Reńskich Górach Łupkowych - wspólnie z zespołem profesora **Ralpha Thomasa Beckera**, wyjazd w ramach umowy o współpracę i dzieło z ING PAN Kraków w ramach grantu NCN OPUS pt. *Charakterystyka dewońskich globalnych fluktuacji warunków utleniająco-redukcyjnych w oparciu o zmiany stosunków izotopów*

molibdenu oraz inne wskaźniki geochemiczne (kierownik dr Agnieszka Pisarzowska ING PAN Kraków);

- **sierpień 2012** All Russia Petroleum Research Exploration Institute, St. Petersburg, Rosja, współpraca z **dr. Andreyem V. Zhuravlevem** oraz **dr. Eleną Sokiran**, wyjazd w ramach grantu NCN OPUS pt. *Dynamika rozwoju organizmów twardego podłoża w świetle kryzysu biotycznego fran–famen (późny dewon) na obszarze Rosji* (kierownik dr hab. Michał Zatoń UŚ), efekt naukowy współpracy publikacje Zatoń i in., (2014,2015 – *3Paleo*);
- **lipiec 2012** Boise State University, USA geologiczne prace terenowe w Górach Świętokrzyskich z zespołem **profesora Marka Schmitza** i **prof. Vladimira I. Davydova**;
- **czerwiec 2012** Museum für Naturkunde, Berlin, Niemcy, geologiczne prace terenowe w Reńskich Górach Łupkowych wspólnie z **dr. Ditierem Kornem** i **dr. Manfredem Gereke**, wyjazd w ramach grantu NCN OPUS pt. *Molekularne, petrograficzne i morfologiczne wskaźniki środowisk mikrobialnych okresu wymierań na przykładzie granicy F–F i innych górnodewońskich zdarzeń* (kierownik prof. UŚ dr hab. Leszek Marynowski UŚ);
- **lipiec 2011** Departament of Geology, Colorado College, Colorado Springs, USA (**prof. Paul M. Myrow**) oraz Massachusetts Institute of Technology, USA (**prof. Samuel A. Bowring**), geologiczne prace terenowe w Górach Świętokrzyskich, efektem współpracy jest publikacja Myrow et al. (2014 *Terra Nova*).

b). współpraca z krajowymi jednostkami badawczymi

- **luty-marzec 2020** UAM Poznań, prace terenowe we wschodnim Anty-Atlasie (**prof. Zdzisława Belka**, **prof. Błażej Berkowski**, **dr Michał Jakubowicz**) wyjazd w ramach grantu NCN OPUS pt. *Paleoekologia i rozwój środkowodewońskich organizmów twardego podłoża na szelfie północnej Gondwany* (kierownik prof. dr hab. Michał Zatoń);
- **marzec 2015** UAM Poznań prace terenowe we wschodnim Anty-Atlasie z zespołem **prof. Zdzisława Belki**, wyjazd w ramach grantu NCN Maestro pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych* (kierownik profesor G. Racki UŚ).
- **sierpień 2013** Instytut Oceanologii PAN Sopot wyprawa geologiczna i prace terenowe na Spitsbergenie - wspólnie z **dr hab. Piotrem Kuklińskim** profesorem IO PAN 2, efekt naukowy współpracy publikacja Rakociński i in. (2018 *Cretaceous Research*);

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

a). Udział w kształceniu młodej kadry

Promotor prac licencjackich:

- 2019: Daria Książak – Zapis procesów wulkanicznych w skałach osadowych. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2019: Jakub Kucharczyk – Późnodewońskie zdarzenia beztlenowe. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- Anna Brychcy – Rozwój facjalny utworów dewonu we wschodnim Anty-Atlasie (Maroko) – w toku.

Promotor prac magisterskich:

- Daria Książak – Zapis środkowoturajskiego zdarzenia beztlenowego w Kronhofgraben (Alpy Karnickie, Austria) w ramach studiów II stopnia na Wydziale Nauk Przyrodniczych UŚ, w toku.
- Jakub Kucharczyk – Zapis zdarzenia wczesny Alum (dolny karbon) w Reńskich Górach Łupkowych (Niemcy) w ramach studiów II stopnia na Wydziale Nauk Przyrodniczych UŚ, w toku.
- Klaudia Simlat – Paleoekologia *Trimeroccephalus* (Trilobita) z famenu Kowali (Góry Świętokrzyskie) w ramach studiów II stopnia na Wydziale Nauk Przyrodniczych UŚ, w toku.
- Krzysztof Kucharz – Makrofauna z osadów górnofameńskiego zdarzenia *Annulata* w Górach Świętokrzyskich w ramach studiów II stopnia na Wydziale Nauk Przyrodniczych UŚ, w toku.

Recenzje prac magisterskich:

- 2019: Krzysztof Pawełczyk – Ślimaki emsu (dolny dewon) formacji zagórzańskiej z Bukowej Góry (Góry Świętokrzyskie). Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2019: Jakub Słowiński – Środkowojurajskie onkoidy z okolic Ogródzieńca. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2017: Sabiela Musabellu – Cornulitids encrusting brachiopod shells at the Frasnian/Famennian transition in the Central Devonian Field, Russia. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2016: Justyna Biegańska – Paleoekologia *Sphenothallus* (? Cnidaria) z górnego dewonu Centralnego Pola Dewońskiego, Rosja. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2015: Krzysztof Broda – Stawonogi Thylacoccephala górnego dewonu (famen) Gór Świętokrzyskich. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2015: Klaudia Balon – Epibionty na środkowodewońskich koralowcach z kamieniołomu Laskowa, Góry Świętokrzyskie. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- 2015: Alina Dębowiec – Przejawy regeneracji rurek szkieletowych mikrokonchidów z dolnego karbonu Wirginii Zachodniej, USA. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;

Recenzje prac licencjackich:

- 2019: Jakub Jakubski – Ewolucja wczesnokambryjskich szkarłupni; Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec;
- Opiekun studentów geologii studiów stacjonarnych pierwszego stopnia w latach 2017/2018, 2018/2019, 2019/2020
- Opiekun studentów geologii I-go roku studiów stacjonarnych drugiego stopnia w roku akademickim 2020/2021.

b). Działalność organizacyjna oraz popularyzująca nauki o Ziemi

2020

- Udział w Wirtualnych Dniach Otwartych na Wydziale Nauk Przyrodniczych UŚ kwiecień 2020, wykład pt. *Zabójcze wulkany - masowe wymierania w historii Ziemi*;
- Udział w IV Śląskim Festiwalu Nauki w Katowicach 26-27.01.2020 r., koordynator stanowiska pokazowego pt. *Skamieniałości – historia życia zapisana w skale*;

2019

- Współorganizator Wieczoru z geologią na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, 7 czerwca 2019 r.; wykład pt. *Zabójcze wulkany – masowe wymierania w historii Ziemi*;

- Prowadzenie warsztatów w trakcie XII Ogólnopolskich Warsztatów Geofizycznych „Geosfera 2019” – 25-28.04.2019 Korzecko, temat: *Gdy wybuchają wulkany a Ziemia wstrzymuje oddech – kryzysy biotyczne w historii Ziemi*;
- Udział w III Śląskim Festiwalu Nauki w Katowicach 13-14.01.2019 r., koordynator stanowisk pokazowych pt. *AMONITY – władcy paleozoicznych i mezozoicznych mórz i oceanów*, *Kopalne rafa w czasie i przestrzeni*; wykład pt. *AMONITY – władcy paleozoicznych i mezozoicznych mórz*;

2018

- Akademia Geologii w GEOsferze; stanowisko pokazowe *AMONITY – władcy kopalnych mórz i oceanów*, w Ośrodku Edukacji Ekologiczno – Geologicznej w Jaworznie, 23.11.2018 r.
- Prowadzenie szkolenia dla studentów geologii pt. *Specyfika pracy geologa oraz zasady udostępniania informacji geologicznej*, w dniach 15-19 października 2018 r. w Europejskim Centrum Edukacji Geologicznej w Korzecku, w ramach projektu Geo Hazard Silesia.
- Geologia na wakacjach w GEOsferze; warsztaty prowadzone wspólnie z mgr. Zuzanną Wawrzyniak pt. *AMONITY – władcy paleozoicznych i mezozoicznych mórz*, w Ośrodku Edukacji Ekologiczno – Geologicznej w Jaworznie, 15.06.2018 r.
- Udział w dniach otwartych „Ekstremalna 50” na Wydziale Nauk o Ziemi UŚ w Sosnowcu, 8 czerwca 2018 r., stanowiska pokazowe *Skamieniałości – historia życia zapisana w skale* oraz *Wulkany, erupcje i ich produkty*;

2017

- Od 2017 Opiekun Naukowy Studenckiego Koła Naukowego Paleontologów „Paradoxides”;
- Udział w II Śląskim Festiwalu Nauki w Katowicach 1-2.12.2017 r., koordynator stanowisk pokazowych pt. *Podróż w przeszłość, czyli tajemnice skamieniałości* oraz *Kiedy węgiel był zielony czyli jak powstały złoża węgla kamiennego na Górnym Śląsku*; wykład pt. *Zabójcze(?) wulkany bogaty zapis w historii Ziemi*;
- Udział w Festiwalu Nauki i Techniki Żory 2017, stanowisko pokazowe pt. *Skamieniałości roślinne i zwierzęce, w tym najczęściej spotykane i takie, które służą do określania wieku skał*; 26-27 maja 2017 r.
- Udział w Dniu Akademickim w I.L.O. im. Kopernika w Będzinie, stanowisko pokazowe pt. *Podróż w przeszłość, czyli tajemnice skamieniałości*, 5 kwietnia 2017 r.
- Wykład dla uczniów szkół średnich w Łukowie pt. *Masowe wymierania w historii Ziemi*, w ramach projektu GeoHazard Silesia, 17 marca 2017 r.

2016

- Udział w I Śląskim Festiwalu Nauki w Katowicach 14-15.10.2016 r., koordynator stanowiska pokazowego pt. *Skamieniałości – historia życia zapisana w skale*;

2013

- Współorganizator V-tej Konferencji Naukowej Młodzi w paleontologii, 20-21 września 2013r. Sosnowiec;

2011

- Udział w III Jurajskim Pikniku Geologicznym w Olsztynie, stanowisko pokazowe prezentujące zbiory Muzeum Wydziału Nauk o Ziemi UŚ, 27 sierpnia 2011 r.
- Opracowanie zawartości merytorycznej do wybranych elementów ekspozycji, konsultacja naukowa wykonywanych modeli kopalnych organizmów (głównogów) i rekonstrukcji paleośrodowiskowych dla Centrum Geoedukacji w Kielcach

2010

- Współorganizator Konferencji Śląskich Studenckich Paleontologicznych Kół Naukowych Uniwersytetu Śląskiego, 3 grudnia 2010 r. Sosnowiec.

2009

- Pomysłodawca oraz współorganizator I Konferencji Naukowej „Młodzi w paleontologii”, 16 marca 2009r. Sosnowiec.

2008

- Współorganizator konferencji: Geo-Symposium Młodych Badaczy Silesia 2008 „Współczesne trendy w naukach o Ziemi” 5-7 listopada 2008r., Złoty Potok;

Jestem autorem filmiku pt. Tajemnica *Dunkleosteusa*, udostępnionego w serwisie youtube, zrealizowanego w czasie pandemii z myślą o studentach SKNP „*Paradoxides*” <https://youtu.be/tOjOmzVTv9U>

Opowiadającego o wynikach pracy Rakociński i in. (2020 *Scientific Reports*).

c). publikacje popularnonaukowe:

- Broda K., Szczepańczyk E., Zawodnik O. & **Rakociński M.** 2014: V Konferencja Młodzi w Paleontologii, poświęcona pamięci dr. Adriana Kina (1979–2012) – Sosnowiec 20–21 września 2013r. Opole Scientific Society Nature Journal, 47: 82–85.
- **Rakociński M.** 2011: Gdy Ziemia wstrzymała oddech. Rocznik Muzeum Ewolucji Instytutu Paleobiologii PAN, 3: 10–19.
- **Rakociński M.** & Borszcz T. 2009: Co słyszać w polskiej paleontologii? – Sprawozdanie z konferencji naukowej Młodzi w paleontologii próbą odpowiedzi. Przegląd Geologiczny, 57(5): 430–431.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

a). Kierowanie projektami badawczymi i udział w projektach badawczych

- kierownik projektów badawczych

- 2015–2020: kierownik projektu badawczego OPUS NCN pt. *Środowiska depozycji podczas zdarzenia wczesny Alum (wczesny karbon) na południowym szelfie Laurussii w świetle zintegrowanych badań geochemicznych i paleoekologiczno-facjalnych*;
- 2008–2012: wykonawca/od października 2009r. kierownik projektu badawczego MNiSW pt. *Zdarzenia beztlenowe na tle cyklicznej sedymentacji basenowej dewonu środkowego i górnego w Górach Świętokrzyskich*;

- wykonawca w projektach badawczych

- Od 2019: wykonawca w projekcie badawczym OPUS NCN pt. *Pokrewieństwa i znaczenie środowiskowe mikroskamieniałości wapiennych środkowego paleozoiku (protistów i mikroproblematyków)* (kierownik prof. dr. hab. Grzegorz Racki);
- Od 2019: wykonawca w projekcie badawczym OPUS NCN pt. *Paleoekologia i rozwój środkowodewońskich organizmów twardego podłoża na szelfie północnej Gondwany* (kierownik prof. dr. hab. Michał Zatoń)
- 2013–2019: wykonawca w projekcie badawczym MAESTRO NCN pt. *Głębokomorskie środowiska dewonu jako klucz do zrozumienia globalnych perturbacji ekosystemowych* (kierownik prof. dr. hab. Grzegorz Racki)

- 2013–2016: wykonawca w projekcie badawczym OPUS NCN pt. *Charakterystyka dewońskich globalnych fluktuacji warunków utleniająco-redukcyjnych w oparciu o zmiany stosunków izotopów molibdenu oraz inne wskaźniki geochemiczne* (projekt finansowany przez Narodowe Centrum Nauki – kierownik dr Agnieszka Pisarzowska)
- 2011–2015: wykonawca w projekcie badawczym OPUS NCN pt. *Molekularne, petrograficzne i morfologiczne wskaźniki środowisk mikrobialnych okresu wymierań na przykładzie granicy F–F i innych górnodewońskich zdarzeń* (kierownik prof. UŚ dr hab. Leszek Marynowski)
- 2011–2015: wykonawca w projekcie badawczym OPUS NCN pt. *Dynamika rozwoju organizmów twardego podłoża w świetle kryzysu biotycznego fran–famen (późny dewon) na obszarze Rosji* (kierownik dr hab. Michał Zatoń)

b). Funkcje pełnione na Uniwersytecie Śląskim

- Od grudnia 2019 członek Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego

c.) Członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych:

- członek: International Association of Sedimentologists IAS;

d). Nagrody, stypendia i wyróżnienia:

- 2020 Nagroda Zespołowa JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego II Stopnia za działalność organizacyjną
- 2018 Nagroda Zespołowa JM Rektora Uniwersytetu Śląskiego III Stopnia za działalność naukowo-badawczą
- 2017 Nagroda Naukowa „Polar KNOW” za rok 2016 „*Pro terrarum cognitione*” za dorobek publikacyjny młodych badaczy w zakresie geologii
- 2016 Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców
- 2008-2010 dwukrotnie stypendium dla doktorantów współfinansowane przez Unię Europejską w ramach projektu Europejskiego Funduszu Społecznego - UPGOW Uniwersytet Partnerem Gospodarki Opartej na Wiedzy

e). udział w szkoleniach i warsztatach:

- VI Polska Konferencja Sedymentologiczna POKOS 6, Chęciny-Rzepka, udział w warsztatach pr. *Rozpoznawanie i interpretacja glonów wapiennych*, prowadzonych przez prof. dr hab. Stanisława Skompskiego, dr. Macieja Górkę (Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego) oraz dr. Marka Jasionowskiego (PIG-PIB, Warszawa), 28.06.2016 r.
- Instytut Paleobiologii PAN Warszawa, udział w kursie Paleobiologii analitycznej zorganizowanym przez Instytut Paleobiologii PAN w Warszawie, prowadzonym przez dr Michała Kowalewskiego (Department of Geosciences, Virginia Tech, Blacksburg, USA), 15-19.06.2015r.

- Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, udział w kursie Analiza mikrofacjalna skał węglanowych organizowanym w ramach Pierwszego Polskiego Kongresu Geologicznego, 24.06.2008r.

f). redakcja materiałów konferencyjnych

- Rakociński, M., 2019. X Konferencja Naukowa „Młodzi w paleontologii” Sosnowiec 11-12 kwietnia 2019 1-38.
- Rakociński, M. 2013. V Konferencja Naukowa "Młodzi w paleontologii" Sosnowiec 20-21 września 2013, s. 1-49.
- Rakociński, M., Borszcz, T. 2009. I Konferencja Naukowa "Młodzi w paleontologii", Sosnowiec 16 marca 2009, s. 1-40.
- Banasik, K., Dąbrowska-Zapart, K., Rakociński, M., Wysowska-Świebodzińska, A., Zapadka-Żurek, B. 2008. Geo-Symposium Młodych Badaczy Silesia 2008, Współczesne trendy w Naukach o Ziemi, Złoty Potok 5-7 listopada 2008, ISBN 978-83-87431-99-0. s. 1-117.

g). Działalność dydaktyczna, prowadzone zajęcia z przedmiotów:

- Katastrofy ekologiczne w historii Ziemi (wykłady i ćwiczenia; II stopień studiów magisterskich oraz dla doktorantów);
- Analiza mikrofacjalna (ćwiczenia)
- Metody rekonstrukcji paleośrodowisk (wykład i ćwiczenia)
- Podstawy paleontologii (ćwiczenia)
- Geologia historyczna (ćwiczenia)
- Podstawy geochronologii (ćwiczenia)
- Geochronologia (ćwiczenia)
- Analiza basenów sedymentacyjnych (wykłady i ćwiczenia)
- Ogólnogeologiczne ćwiczenia terenowe po I roku geologii i geologii stosowanej
- Pracownia magisterska
- Wykłady specjalne dla studentów II MU geologii

.....

 (podpis wnioskodawcy)