

Prof. dr hab. Stanisław Mazur
Instytut Nauk Geologicznych PAN
Ośrodek Badawczy w Krakowie
ul. Senacka 1, 31-002 Kraków
e-mail: ndmazur@cyf-kr.edu.pl

Kraków, 13/07/2025

Ocena rozprawy doktorskiej mgr. Doroty Staneczek

pt. „Paleośrodowisko i ewolucja Centralnokarpackiego Basenu Paleogeńskiego i Tatr w oparciu o metody geochemiczne i magnetyczne”, przygotowanej pod opieką naukową promotora prof. dr. hab. Leszka Marynowskiego oraz promotora pomocniczego dr. hab. Rafała Junoszy-Szaniawskiego prof. Instytutu Geofizyki PAN.

Recenzowana rozprawa składa się z trzech publikacji, które ukazały się w latach 2024-2025 w zagranicznych periodykach naukowych o współczynnikach wpływu w zakresie 2,6–5,6 oraz jednego manuskryptu znajdującego się w recenzji w momencie składania rozprawy. Publikacje wchodzące w skład rozprawy:

1. **Staneczek, D.**, Więclaw, D., Marynowski, L. 2024. Depositional conditions, wildfires, maturity, and hydrocarbon potential evaluation of Central Carpathian Paleogene Basin based on integrative approach from Orava Basin. *International Journal of Coal Geology*, **285**, 104490. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2024.104490>. IF: 5.6
2. **Staneczek, D.**, Szaniawski, R., Chadima, M., Marynowski, L. 2024. Multi-stage tectonic evolution of the Tatra Mts recorded in the para- and ferromagnetic fabrics. *Tectonophysics*, **880**, 230338. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2024.230338>. IF: 2.7
3. **Staneczek, D.**, Marynowski, L. 2025. Application of biomarker and non-biomarker parameters to assess maturity using the Central Carpathian Paleogene Basin as a case study. *Organic Geochemistry*, **201**, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2025.104933>. IF: 2.6

Manuskrypt znajdujący się w recenzji:

1. Staneczek, D., Szaniawski, R., Marynowski, L. Burial impact on the Tatra Mts from a rock magnetic and magnetic fabric perspective. *Tectonics*, w recenzji.

Zakres, cele, metodyka i wyniki badań

Obiekt badań: Przedmiotem rozprawy jest basen paleogeński Karpat Wewnętrznych, położony głównie na obszarze północnej Słowacji, częściowo również w południowej Polsce. Termin ten odnosi się do jednostki geologicznej obejmującej osady morskie deponowane od późnego eocenu na mezozoicznym podłożu płaszczowinowym Karpat Wewnętrznych. W turonie mezozoiczne płaszczowiny osadowe nasunęły się na krystaliczne podłoże Karpat Wewnętrznych i ich paraautochtoniczną pokrywę osadową (m.in. Tatry, Mała Fatra, Góry Strażowskie), przed powstaniem basenu paleogeńskiego w późnym eocenie. Do analizy wybrano dwa główne zespoły litologiczne: (1) dolnokredowe margle, wapienie margliste i wapienie formacji mraznickiej należące do płaszczowiny kriżniańskiej oraz (2) skały klastyczne i węgle formacji Hut, Zubereca i Białego Potoku, reprezentujące osady basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych.

Cel badań: Pomimo wieloletnich badań geologicznych prowadzonych w rejonie Tatr i basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych, wiele zagadnień pozostaje wciąż otwartych. Wykorzystanie nowoczesnych metod badawczych pozwala na ponowną analizę procesów, które kształtowały ten obszar w okresie od kredy do neogenu. Celem rozprawy jest rekonstrukcja ewolucji geologicznej Tatr i basenu paleogeńskiego, ze szczególnym uwzględnieniem warunków sedymentacji, oligoceńsko-miocenckiego pogrzebienia Karpat Wewnętrznych przez osady kenozoiczne oraz aspektów ewolucji tektonicznej.

Metodologia: W pracy zastosowano szeroki wachlarz metod badawczych, obejmujących:

- geochemię organiczną (w tym chromatografię gazową sprzężoną ze spektrometrią mas, analizę całkowitej zawartości węgla organicznego, badania metodą Rock-Eval),
- petroграфиę (m.in. pomiary refleksyjności wityritu oraz analizę piryków framboidalnych),
- badania z zakresu rock magnetyzmu i analizę tekstur magnetycznych.

Zastosowane metody umożliwiły kompleksową ocenę warunków sedymentacji, historii termicznej oraz deformacji tektonicznych.

Wyniki – analiza biomarkerów: Analiza biomarkerów wykazała zmienność warunków środowiskowych w obrębie basenu paleogeńskiego. W oligocenie dominował otwarty basen morski z warunkami dysoksycznymi do euksynicznych oraz mieszanym pochodzeniem materii organicznej (morsko-lądowym). Obecność izorenieratanu i jego pochodnych, a także drobnokrystalicznego pirytu framboidalnego, wskazuje na występowanie warunków

euksynicznych w strefie fotycznej. W późnym oligocenie i wczesnym miocenie doszło do przekształcenia basenu w środowisko estuarialne, w którym warunki wodne były przeważnie tlenowe. W osadach zaczęła dominować materia lądowa, co odzwierciedlało postępujące spływanie zbiornika. Skład biomarkerów wskazuje na intensywną dostawę substancji organicznej pochodzenia roślinnego oraz grzybów, a ślady pożarów (fusynyty, PAH) świadczą o zwiększonej erozji gleb.

Wyniki – ewolucja termiczna: Intensywna sedymentacja i subsydencja w obrębie stref uskokuowych doprowadziły do znacznego pogrzebienia osadów, osiągającego maksimum w późnym oligocenie i wczesnym miocenie. Trend paleotemperaturowy oparty na wskaźnikach biomarkerowych i parametrze T_{max} (Rock-Eval) wskazuje na największą dojrzałość termiczną w rejonie Spiszu, a najniższą w północnej części Orawy i obszarze Szarysza. Rekonstruowane paleotemperature mieszczą się w przedziale od <60 °C do 200 °C. Trend termiczny w jednostkach osadowych Gór Choczańskich i Tatr pokrywa się z tym obserwowanym w skałach basenu paleogeńskiego, przy czym największy wpływ pogrzebienia widoczny jest w Tatrach Bielskich. Wzrost zawartości minerałów ferromagnetycznych wraz ze wzrostem temperatury stanowi dodatkowe potwierdzenie tego procesu. Zbieżność trendów sugeruje, że skały płaszczowinowe doświadczyły najwyższych temperatur w późnym oligocenie-wczesnym miocenie, a nie – jak wcześniej sądzono – w turonie, kiedy został utworzony stos płaszczowinowy Karpat Wewnętrznych.

Wyniki – analiza więzby magnetycznej: Tekstury magnetyczne formacji Mraznicy i Hut dokumentują różne etapy ewolucji basenu i Tatr. Główne minerały odpowiedzialne za zapisy magnetyczne to glinokrzemiany oraz tlenki żelaza. Foliacje magnetyczne interpretowane są jako efekt kompaktacji, natomiast lineacje – jako rezultat deformacji tektonicznych. W formacji Mraznicy anizotropia podatności magnetycznej oddaje kierunki turońskiego skracania związanego z nasuwaniem płaszczowin. Natomiast tekstury w skałach formacji Hut są wynikiem kompresji podczas miocénskiego wypiętrzania Tatr. Ferromagnetyczne parametry anizotropii (np. anizotropia urojonej składowej podatności i anizotropia bezhisterezy pozostałości magnetycznej) rejestrują pogrzebienie w oligocenie i wczesnym miocenie. W formacji Hut stwierdzono obecność charakterystycznych lineacji magnetycznych związanych z ekstensją basenu oraz przyspieszoną krystalizację magnetytu w matrycy glinokrzemianowej. Z kolei tekstury ferromagnetyczne z formacji Mraznicy w Tatrach Zachodnich i Wysokich interpretowane są jako wynik transpresji związanej z wypiętrzaniem masywu.

Podsumowanie: Przeprowadzone badania wnoszą istotny wkład w poznanie historii geologicznej basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych i Tatr. Nowe dane dotyczące warunków sedymentacyjnych i paleotemperatur pozwalają na lepsze zrozumienie procesów pogrzebienia i deformacji w regionie. Praca pokazuje, że integracja różnorodnych metod badawczych – geochemicznych, petrograficznych i magnetycznych – jest skutecznym podejściem w badaniach zarówno jednostek basenowych, jak i płaszczowin osadowych Karpat Wewnętrznych.

Struktura i zawartość rozprawy

Tekst rozprawy obejmuje 258 stron druku, na które składają się:

1. Streszczenia rozprawy w języku polskim i angielskim (po 2 strony każde).
2. Angielskojęzyczne omówienie wyników przeprowadzonych badań wraz ze spisem literatury i apendyksami (69 stron).
3. Trzy wymienione wyżej artykuły naukowe wchodzące w skład rozprawy wraz z materiałami uzupełniającymi (112 stron).
4. Manuskrypt znajdujący się w recenzji wraz z materiałami uzupełniającymi (57 stron).

Omówienie wykonanych badań i otrzymanych rezultatów podzielono na 6 krótkich rozdziałów: (1) Wstęp, (2) Cele badań, (3) Budowa geologiczna obszaru badań, (4) Próbkowanie i metodologia, (5) Rezultaty i dyskusja, (6) Wnioski oraz (7) Bibliografia. Ten ostatni obejmuje 209 pozycji opublikowanych w czasopismach zagranicznych i krajowych.

Poniżej krótko scharakteryzuje zawartość poszczególnych rozdziałów omówienia wyników jak i publikacji i manuskryptu wchodzącego w skład rozprawy doktorskiej.

1. Wstęp

We wprowadzeniu do rozprawy autorka jasno zdefiniowała główny cel pracy, którym jest pogłębienie wiedzy na temat ewolucji basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych oraz osadowej części Tatr w przedziale czasowym od kredy do neogenu. Zaznaczono, że realizacja tego celu opiera się na zastosowaniu zestawu wzajemnie uzupełniających się metod badawczych, obejmujących geochemię organiczną, magnetyzm skał oraz analizę tekstur magnetycznych (więźby magnetycznej). Takie podejście pozwala na lepsze zrozumienie złożonych procesów geologicznych, takich jak deformacje tektoniczne czy pogrzebienie

osadów. Autorka trafnie zauważyła, że wcześniejsze badania w tym regionie zwykle opierały się na pojedynczych metodach, co ograniczało możliwość całościowej interpretacji. W zakończeniu wstępu sformułowano tezę o istotnym znaczeniu uzyskanych wyników dla ogólnego zrozumienia mechanizmów wypiętrzania masywów górskich i ewolucji pasm orogenicznych. Twierdzenie to może się jednak wydawać nieco zbyt ambitne na tym etapie.

2. Główne cele badawcze

Rozprawa zawiera listę ośmiu celów badawczych, obejmujących zarówno zagadnienia ogólne, jak i szczegółowe. Cele zostały zwięźle przedstawione, jednak zabrakło ich szerszego omówienia oraz uzasadnienia wyboru – co utrudnia ocenę, w jakim stopniu zostały one sformułowane na podstawie istniejących luk w wiedzy.

3. Budowa geologiczna obszaru badań

Rozdział ten w syntetyczny sposób przedstawia ewolucję geologiczną Tatr oraz basenu paleogeńskiego na tle historii Zachodnich Karpat Wewnętrznych. Omówiono główne etapy rozwoju regionu – od procesów magmowych i metamorficznych, poprzez fazy ryftowe i kolizyjne, aż do sedymentacji w basenie paleogeńskim i jego późniejszego wypiętrzania oraz deformacji tektonicznych. Szczególną uwagę zwrócono na zmienność reżimu tektonicznego, dynamikę procesów sedymentacyjnych oraz skutki erozji i deformacji w trakcie postorogenicznej ewolucji obszaru.

4. Próbkowanie i metodologia

W tej części rozprawy omówiono zakres próbkowania, obejmującego zarówno jednostki starsze (kredowe), jak i młodsze (paleogeńskie). Podkreślono interdyscyplinarny charakter podejścia badawczego, łączącego analizy magnetyczne, geochemiczne i petrograficzne w celu rekonstrukcji historii sedymentacji i deformacji tektonicznych. Opis metodologii został uzupełniony szczegółową tabelą, zawierającą informacje o analizowanych formacjach, zastosowanych metodach i celach poszczególnych badań.

5. Rezultaty i dyskusja

5.1. Paleośrodowisko skał osadowych basenu paleogeńskiego

5.1.1. Środowisko sedymentacji

Prezentowano szczegółową analizę warunków paleośrodowiskowych towarzyszących sedymentacji osadów w basenie paleogeńskim Karpat Wewnętrznych, wykorzystując dane biomarkerowe i niebiomarkerowe. Opisano zmienność natlenienia środowiska wodnego oraz

obecność materii organicznej w czasie depozycji różnych jednostek stratygraficznych. Szczególną uwagę zwrócono na okresowe występowanie warunków anoksycznych i euksynicznych oraz dostawę materiału pochodzenia lądowego. Wyniki badań formacji Hut, Zubereca i Białego Potoku pozwoliły na rekonstrukcję środowiska od otwartego morza po warunki estuarialne i lądowe.

5.1.2. Lądowa materia organiczna

Omówiono skład i pochodzenie materii organicznej obecnej w osadach basenu, koncentrując się na jej lądowych komponentach oraz typach kerogenu. Zidentyfikowano trzy główne źródła materii organicznej: rośliny okrytonasienne, nagonasienne oraz prawdopodobnie grzyby. Analizowano wpływ stopnia dojrzałości termicznej na rozpoznawalność związków organicznych oraz różnice w zawartości i typie materii organicznej pomiędzy badanymi formacjami.

5.1.3. Pożary roślinności

Wskazano na występowanie pożarów roślinności w obszarze źródłowym basenu. Przeanalizowano obecność makroskopowych i mikroskopowych wskaźników pożarów (fusynity, PAH), omówiono temperatury spalania oraz typy roślinności ulegającej pożarom. Podkreślono wpływ pożarów na procesy erozyjne i zwiększoną dostawę materii organicznej i składników odżywczych do basenu.

5.2. *Dojrzałość termiczna i paleotemperatury w basenie paleogeńskim i Tatrach*

5.2.1. Wskaźniki biomarkerowe dojrzałości

Opisano zastosowanie biomarkerów do oceny dojrzałości termicznej materii organicznej. Przedstawiono wyniki dla różnych klas związków organicznych, wskazując na ich przydatność w identyfikacji zróżnicowania temperaturowego i przestrzennego w badanym obszarze.

5.2.2. Parametr Rock-Eval i potencjał generacyjny

Scharakteryzowano rozkład Tmax oraz typy kerogenu w skałach z obszaru Tatr i basenu paleogeńskiego. Oceniono potencjał generacyjny oraz wskazano przestrzenne zróżnicowanie dojrzałości termicznej. Zwrócono uwagę na ograniczoną obecność ciekłych węglowodorów.

5.2.3. Refleksyjność witrynu (Rr)

Przedstawiono wyniki analizy refleksyjności witrynu jako wskaźnika termicznej ewolucji osadów. Zidentyfikowano różnice między wartościami mierzonymi a obliczonymi oraz czynniki mogące wpływać na wiarygodność tych pomiarów.

5.2.4. Właściwości magnetyczne skał jako wskaźniki ewolucji termicznej

Omówiono wykorzystanie właściwości magnetycznych skał jako narzędzia do oceny dojrzałości termicznej w basenie paleogeńskim, ze szczególnym uwzględnieniem formacji Mraznicy i Hut. Przedstawiono zastosowane parametry magnetyczne (takie jak podatność magnetyczna, podatność zależna od częstotliwości, parametry z krzywych histerezy), ich rozkład przestrzenny oraz zależność od litologii, wpływu temperatury i obecności minerałów żelaza. Wskazano na zgodność trendów magnetycznych z wynikami analiz materii organicznej sugerując jednakowe oddziaływanie termiczne na obie formacje skalne.

5.2.5. Rozkład paleotemperatur w basenie paleogeńskim i Tatrach

Ta część rozprawy przedstawia integrację różnych wskaźników dojrzałości termicznej w celu odtworzenia rozkładu paleotemperatur w basenie paleogeńskim Karpat Wewnętrznych i w jednostkach osadowych pasma Gór Choczańskich i Tatr. Omówiono zastosowanie obliczeniowej refleksyjności witrynu (Rc), biomarkerów organicznych, parametrów Rock-Eval oraz właściwości magnetycznych do wyznaczenia przedziałów temperaturowych. Opisano zróżnicowanie przestrzenne paleotemperatur oraz wpływ czynników takich jak pogrzebanie sedymentacyjne i tektoniczne oraz aktywność hydrotermalna na wzrost temperatur w różnych częściach badanego regionu.

5.2.6. Ograniczenia i mocne strony zastosowanych metod

Omówiono ograniczenia i zalety różnych wskaźników dojrzałości termicznej wykorzystywanych do szacowania paleotemperatur w skałach basenu paleogeńskiego. Przedstawiono czynniki wpływające na wiarygodność tych wskaźników, takie jak podatność na wietrzenie, stabilność chemiczna związków organicznych, obecność przerobionego witrynu czy zmienność zawartości TOC (ogólnej zawartości węgla organicznego). W rozprawie omówiono metody organiczne (biomarkery, refleksyjność witrynu, piroliza Rock-Eval), a także podejścia magnetyczne, wskazując na ich przydatność, ograniczenia i potrzebę stosowania metod łączonych. Wskazano na konieczność ostrożności przy interpretacji danych oraz znaczenie korelacji próbek powierzchniowych i wiertniczych.

5.3. Mineralogia magnetyczna

5.3.1. Formacja Mraznicy

W tej części rozprawy przedstawiono wyniki szczegółowych badań mineralogii magnetycznej formacji Mraznicy w Tatrach i Górach Choczańskich. Analizy skoncentrowano na identyfikacji minerałów ferromagnetycznych i ich powiązaniu z historią termiczną oraz procesami diagenetycznymi. Omówiono przestrzenne zmiany właściwości magnetycznych, takich jak podatność magnetyczna, udział cząstek superparamagnetycznych czy typy domen magnetycznych, w odniesieniu do litologii oraz głębokości pogrzebania. Wykazano obecność różnych typów magnetytu, hematytu oraz ultradroboziarnistych tlenków żelaza, interpretowanych jako pochodzenia detrytycznego, diagenetycznego bądź hydrotermalnego. Wyniki sugerują, że obserwowana zmienność mineralogii magnetycznej odzwierciedla wzrost dojrzałości termicznej, głębokość pogrzebania oraz możliwe procesy remagnetyzacji.

5.3.2. Formacja Huty

Omówiono mineralogię magnetyczną formacji Hut z basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych, ze szczególnym uwzględnieniem jej związku z maksymalnym pogrzebaniem w oligocenie i miocenie. Zaprezentowano przestrzenne zróżnicowanie właściwości magnetycznych oraz ich interpretację w kontekście obecności minerałów ferromagnetycznych i paramagnetycznych, z dominującą rolą magnetytu. Zidentyfikowano dwa typy magnetytu o odmiennych rozmiarach domen, których powstanie jest związane z pogrzebaniem i procesami diagenetycznymi. Lokalnie stwierdzono obecność ultradroboziarnistych tlenków żelaza oraz hematytu, którego część mogła powstać w wyniku wietrzenia powierzchniowego.

5.4. Anizotropia podatności magnetycznej w skałach kredowych i paleogeńskich

Rozdział ten dotyczy zastosowania analizy anizotropii podatności magnetycznej do rekonstrukcji historii deformacji formacji Mraznicy (w obrębie płaszczowiny kriżniańskiej) oraz formacji Hut (z basenu paleogeńskiego). Omówiono różnice w orientacji więźby magnetycznej oraz jej genezę w zależności od lokalizacji, litologii i historii tektonicznej. W analizie uwzględniono wpływ procesów diagenetycznych, pogrzebania, a także deformacji takich jak transport płaszczowinowy, proste ścinanie czy wypiętrzanie. Wyniki umożliwiły rozróżnienie obszarów zdominowanych przez kompakcję od tych intensywnie deformowanych oraz określenie kierunków kompresji w poszczególnych etapach rozwoju Karpat.

5.5. Anizotropia urojonej składowej podatności magnetycznej i anizotropia bezhisterezowej pozostałości magnetycznej

W tej części rozprawy przedstawiono wyniki analizy anizotropii urojonej składowej podatności magnetycznej oraz anizotropii bezhisterezowej pozostałości magnetycznej w skałach formacji Mraznicy i Hut. Badania te miały na celu identyfikację orientacji więźby magnetycznej i jej powiązań z historią deformacji tektonicznych. Omówiono zróżnicowanie przestrzenne i litologiczne analizowanych parametrów oraz ich relacje z wydarzeniami takimi jak nasuwanie, transpresja czy pogrzebanie. Zwrócono uwagę na wpływ obecności różnych populacji magnetytu (o zróżnicowanej wielkości domen) na kształtowanie się więźby oraz jej ewolucję w zmieniających się warunkach geotermicznych i tektonicznych.

5.6. Podsumowanie ewolucji basenu paleogeńskiego i Tatr od kredy do neogenu

Rozdział ten stanowi próbę syntetycznego ujęcia historii geologicznej Tatr i basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych, jednak jego forma przypomina raczej esej niż krytyczną dyskusję uzyskanych wyników. W interpretacje autorki wplecione są odniesienia do literatury o bardzo zróżnicowanej wiarygodności, co osłabia spójność i klarowność wyводу. Wiele z przytoczonych tez pozostaje niezależnych wobec przeprowadzonych badań – ani nie znajduje w nich potwierdzenia, ani nie jest przez nie falsyfikowana.

Mimo to, rozdział prezentuje rekonstrukcję ewolucji sedymentacyjnej, termicznej i tektonicznej badanych jednostek. Obejmuje on m.in. sedymentację dolnokredowej formacji Mraznicy w środowiskach morskich, kompakcję i wytworzenie więźby magnetycznej w turonie, pogrzebanie w oligocenie–miocenie, wzrost paleotemperatur, rozwój autigenicznego magnetytu, zmiany typu kerogenu oraz przekształcenia środowisk – od głębokomorskich po estuarialne, z epizodami euksynicznymi i śladami pożarów roślinności. Maksymalne pogrzebanie miało miejsce w rejonie Tatr Bielskich i Kotliny Spiskiej, czemu towarzyszyła najwyższa dojrzałość termiczna. Zwrócono uwagę na znaczenie aktywnych struktur tektonicznych, takich jak uskoki Rużbachy, w kontroli miąższości osadów i gradientów temperaturowych. Miocenne wypiętrzenie powiązane z transpresyjnym reżimem tektonicznym, zarejestrowanym w strukturach magnetycznych. Choć niektóre wskaźniki głębokości pogrzebania dają rozbieżne wyniki, wiele danych wskazuje jednoznacznie, że największy wpływ termiczny na skały płaszczowiny krzyżniańskiej miał miejsce w oligocenie–miocenie, a nie wcześniej, w turonie – kiedy to wydarzenie termiczne dotknęło głównie podłoże krystaliczne.

6. Wnioski

W rozdziale podsumowującym zebrano główne ustalenia dotyczące ewolucji geochemicznej i magnetycznej basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych oraz Tatr w okresie od późnej kredy do neogenu. Omówiono zmiany środowisk sedymentacyjnych, pochodzenie i dojrzałość materii organicznej, a także potencjał węglowodorowy analizowanych jednostek osadowych. Przeprowadzono rekonstrukcję paleotemperatur w oparciu o zestaw wskaźników geochemicznych, petrograficznych i magnetycznych, wskazując na wyraźne zróżnicowanie regionalne dojrzałości termicznej. Analiza mineralogii magnetycznej i więźby magnetycznej umożliwiła identyfikację procesów pogrzebienia, deformacji tektonicznych oraz etapów wypiętrzania. Wyniki dokumentują ewolucję sygnałów magnetycznych związanych z kompaktacją, pogrzebaniem, ekstensją i późniejszymi deformacjami tektonicznymi, w tym nasunięciami i transpresją towarzyszącą mioceńskiemu wypiętrzeniu bloku tatrzańskiego.

Publikacja 1

Publikacja poświęcona jest analizie ewolucji środowiska sedymentacyjnego oraz dojrzałości termicznej osadów w obrębie subbasenu orawskiego – północno-zachodniej części basenu paleogeńskiego w Zachodnich Karpatach Wewnętrznych. Obszar ten budują głównie autochtoniczne, klastyczne osady oligocenu, będące wiekowymi odpowiednikami formacji łupków menilitowych znanych z Karpat Zewnętrznych. Pomimo ich znaczenia geologicznego, dotychczasowa wiedza o paleośrodowisku sedymentacyjnym oraz potencjale węglowodorowym tych osadów była ograniczona i oparta na nieaktualnych metodach badawczych.

Autorzy zastosowali nowoczesne techniki analityczne, w tym chromatografię gazową sprzężoną ze spektrometrią mas (GC–MS), analizę Rock-Eval oraz badania petrograficzne, aby zrekonstruować ewolucję paleośrodowiskową oraz ocenić potencjał generacyjny materii organicznej. Wykazano, że stopień dojrzałości termicznej osadów wzrasta zarówno w kierunku południowym, jak i w miarę przechodzenia ku starszym utworom oligocenu. W próbkach najmniej przeobrażonych obecne są m.in. $\beta\beta$ -hopany, hopeny i oleaneny, natomiast w próbkach bardziej dojrzałych związki mniej odporne termicznie zanikają, co znajduje potwierdzenie także w danych Rock-Eval.

Obecność kerogenu typu III oraz mieszanego II/III, a także biomarkerów takich jak trimetyltetrahydrochryzen, kadalen, reten czy perylen, wskazuje na dominację materii organicznej pochodzenia lądowego. Znaczne ilości wielopierścieniowych węglowodorów

aromatycznych (PAHs) interpretowane są jako efekt pożarów roślinności w obszarze źródłowym, co potwierdzają również wysokie wartości refleksyjności fuzynitu, sugerujące obecność zarówno intensywnych pożarów obejmujących korony drzew, jak i pożarów powierzchniowych.

Wczesnooligocieńska sedymentacja przebiegała w warunkach przejściowo euksynicznych – o czym świadczą drobne framboidy piryty ($<5\ \mu\text{m}$) oraz obecność izorenieratanu. W późniejszych osadach stwierdzono bardziej utlenione środowisko, ze wzrastającym udziałem materii lądowej. Wyniki tej pracy stanowią ważny wkład w rozpoznanie ewolucji basenu oraz jego potencjału w zakresie generacji węglowodorów.

Publikacja 2

Publikacja dotyczy rekonstrukcji późnej ewolucji tektonicznej i termicznej Tatr – najwyższej jednostki Karpat Wewnętrznych, której geneza wciąż stanowi przedmiot licznych dyskusji. Badania skoncentrowano na analizie więźby magnetycznej w dwóch grupach litologicznych: kredowych marglistych wapieniach płaszczowiny kriżniańskiej oraz oligocieńskich łupkach i iłowcach, które osadzały się już po głównym etapie nasunięć. Celem pracy było uchwycenie końcowych etapów deformacji tektonicznej masywu tatrzańskiego.

Oprócz klasycznych pomiarów petromagnetycznych, takich jak izotermiczna remanencja magnetyczna czy podatność magnetyczna w funkcji temperatury, przeprowadzono również analizę paleotemperatur, z uwagi na ich wpływ na mineralogię magnetyczną. W analizowanych skałach dominują paramagnetyczne fylosilikaty, odpowiedzialne za anizotropię podatności magnetycznej, natomiast frakcja ferromagnetyczna reprezentowana jest głównie przez drobnoziarnisty magnetyt, z lokalną obecnością hematytu.

Wyniki refleksyjności wityryny wskazują na wyraźny wzrost dojrzałości termicznej w kierunku wschodnim, co znajduje potwierdzenie także w relacjach ilościowych magnetytu i hematytu. Obserwacja podobnego trendu temperaturowego w skałach kredowych i w młodszych osadach prowadzi autorów do wniosku, że oba zespoły litologiczne były poddane temu samemu epizodowi cieplnemu, najprawdopodobniej związanemu z pogrzebaniem w późnym oligocenie lub wczesnym miocenie.

Tekstury magnetyczne zdefiniowane przez fylosilikaty rejestrują kolejne etapy deformacji tektonicznej, w tym nasunięcia w turonie oraz miocieńskie wypiętrzanie. Z kolei parametry ferromagnetyczne, takie jak anizotropia urojonej składowej podatności magnetycznej i bezhisterezowej pozostałości magnetycznej, rejestrują naprężenia związane z epizodami

pogrzebania. Obecność wyraźnej pionowej lineacji magnetycznej w niektórych lokalizacjach kredowych sugeruje wpływ reżimu tektonicznego typu transpresyjnego w oligocenie–wczesnym miocenie. Praca wnosi istotny wkład w zrozumienie późnej deformacji i historii termicznej Tatr, wskazując na znaczenie późnooligoceno-wczesnomiocenowskiego wydarzenia termicznego i towarzyszącego mu reżimu transpresyjnego.

Publikacja 3

Publikacja prezentuje kompleksowe podejście do oceny dojrzałości termicznej skał basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych poprzez zastosowanie zarówno wskaźników biomarkerowych, jak i niebiomarkerowych. Główne analizy oparto na stosunkach alifatycznych i aromatycznych węglowodorów, które zestawiono z wynikami pirolizy Rock-Eval oraz innymi niezależnymi wskaźnikami paleotemperatur.

Wyniki wykazały istnienie wyraźnego gradientu termicznego w obrębie basenu. Najwyższą dojrzałość termiczną stwierdzono w Kotlinie Spiskiej, gdzie wartości refleksyjności wityritu przekraczają 2,0%. Z kolei osady Kotliny Orawskiej i Pogórza Szaryskiego cechuje niska dojrzałość, na co wskazuje obecność związków nienasyconych. Zróznicowanie to związane jest z różną miąższością nadkładu w poszczególnych częściach basenu.

Za najtrafniejszy wskaźnik dojrzałości autorzy uznali parametr MPI1 (oparty na stosunku metylfenantrenów), który umożliwia przeliczenie wyników na wartości refleksyjności wityritu. Porównanie temperatur uzyskanych z analizy ilitu/smektytu z wynikami biomarkerowymi wykazało zgodność dla próbek dojrzałych termicznie, natomiast dla osadów niedojrzałych metoda ilitowo-smektytowa przeszacowywała temperatury.

Autorzy podkreślają konieczność stosowania wielu metod równocześnie przy ocenie dojrzałości termicznej, wskazując na ograniczenia pojedynczych wskaźników. Praca wnosi istotny wkład w rekonstrukcję historii geotermalnej basenu paleogeńskiego Karpat Wewnętrznych i dostarcza wartościowych danych w kontekście dalszych badań nad potencjałem węglowodorowym. Basen ten przedstawiony został również jako efektywne pole testowe dla porównań różnych wskaźników dojrzałości.

Manuskrypt 1

Przedstawiony manuskrypt poświęcony jest analizie wpływu pogrzebania tektonicznego na właściwości magnetyczne skał tatrzańskich, które stanowią wyjątkowo dobry obiekt badawczy dla tego typu zagadnień. Autorzy zastosowali interdyscyplinarne podejście, łącząc dane z zakresu magnetyzmu skał, więźby magnetycznej, geochemicznych wskaźników

dojrzałości termicznej (m.in. refleksyjność wityrytu) oraz rozkładu biomarkerów w celu rekonstrukcji historii pogrzebania.

Wyniki wskazują na wyraźny trend wzrostu paleotemperatur w kierunku wschodnim – najwyższe wartości (~230 °C) odnotowano we wschodnich Tatrach. Równocześnie zaobserwowano zmiany w mineralogii magnetycznej, w tym wzrost udziału minerałów ferrimagnetycznych i ziaren superparamagnetycznych.

Zidentyfikowane tekstury magnetyczne dokumentują trzy etapy ewolucji tektonicznej Tatr: przed-, podczas- i po maksymalnym pogrzebaniu, z wyraźnymi zapisami deformacji związanych z wypiętrzaniem masywu. Na tej podstawie autorzy wnioskują, że pogrzebanie najmłodszych części płaszczowin tatrzańskich oraz ich pokrywy miało miejsce w późnym oligocenie, co koreluje z wynikami paleotemperaturowymi i danymi magnetycznymi.

Ogólna ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska prezentuje wyniki zaawansowanych badań metodycznych z zakresu geochemii organicznej, petrografii, magnetyzmu skał oraz anizotropii podatności magnetycznej, przeprowadzonych na obszarze Karpat Wewnętrznych – w obrębie płaszczowiny kriżniańskiej i basenu paleogeńskiego. Zastosowany zestaw metod badawczych jest szeroki, wzajemnie się uzupełnia i został właściwie dobrany do zrealizowania postawionych celów. Podejście metodyczne nie budzi zastrzeżeń, a uzyskane wyniki są interesujące i stanowią istotny wkład w poznanie kredowo-kenozoicznej ewolucji Karpat Zachodnich. Na szczególne uznanie zasługują rezultaty uzyskane w ramach analiz geochemicznych i petrograficznych, które posłużyły do rekonstrukcji historii termicznej badanych jednostek skalnych.

Rozprawa dokumentuje wysoki poziom merytoryczny doktorantki oraz jej bardzo dobre zrozumienie zastosowanych technik badawczych. Pani mgr Dorota Staneczek wykazała się wszechstronnymi kompetencjami zarówno na etapie doboru materiału badawczego, jego analizy przy użyciu nowoczesnych metod, jak i interpretacji wyników. Wszystkie trzy opublikowane artykuły naukowe oraz jeden manuskrypt wchodzące w skład rozprawy są spójne tematycznie i tworzą logiczny, komplementarny zestaw. Sformułowane wnioski są dobrze uzasadnione i mają oparcie w przedstawionych danych.

Zrealizowane badania mają potencjał do kontynuacji i mogą stanowić punkt wyjścia dla dalszych publikacji. Cała rozprawa napisana jest poprawnym i precyzyjnym językiem

naukowym, co świadczy o biegłym opanowaniu przez Autorkę warsztatu badawczego w zakresie geochemii organicznej, petrografii oraz rock magnetyzmu.

Uwagi krytyczne

Pomimo licznych zalet, rozprawa nie jest pozbawiona pewnych słabszych punktów. Mają one jednak charakter drugorzędny i nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę całości pracy.

Poniżej przedstawiam wybrane kwestie, które – moim zdaniem – zasługują na uwagę:

1. Cel i zakres rozprawy

Zaproponowane cele rozprawy wydają się zbyt szerokie i ambitne. Pierwszy z nich – „Rekonstrukcja ewolucji tektonicznej Tatr i basenu paleogeńskiego Centralnych Karpat od kredy do neogenu” – trudno uznać za w pełni zrealizowany przy zastosowanych metodach. Sam mam w tej kwestii pewne wątpliwości. Niestety, brak odniesień do postawionych na początku celów w dalszych rozdziałach, zwłaszcza w części poświęconej wynikom i dyskusji, potęguje to wrażenie. Uważam, że ponowne odniesienie się do celów w podsumowaniu byłoby wskazane, by jasno wykazać, w jakim stopniu zostały one zrealizowane.

2. Interpretacja więźby magnetycznej

W rozprawie wspomniano o mioceńskiej rotacji bloku Tatr, znanej z licznych wcześniejszych opracowań (Piotrowski 1978; Bac-Moszaszwili i in. 1984; Kováč i in. 1994; Sperner 1996; Jurewicz 2000a, b). Zastanawia jednak, czy rotacja bloku wokół osi poziomej (E–W) została uwzględniona w interpretacji orientacji więźby magnetycznej. Jurewicz (2000a, b) proponowała korektę orientacji struktur o 40° w kierunku południowym – analogiczna procedura mogłaby zostać rozważona przed analizą danych magnetycznych. Ma to istotne znaczenie interpretacyjne, ponieważ współcześnie pionowe lineacje magnetyczne mogły pierwotnie mieć inne nachylenie, co może podważać postulat reżimu transpresyjnego w badanym fragmencie Karpat.

Innym aspektem interpretacji strukturalnej są postulowane wcześniej rotacje wzdłuż osi pionowej (zobacz Jurewicz 2000a). Z badań paleomagnetycznych Grabowskiego (1997a, b) wynika, że w późnej kredzie ok. 90 mln lat temu miała miejsce rotacja zgodna z ruchem wskazówek zegara, a więc chcąc powrócić do początków fałdowań, z uwzględnieniem mioceńskiej rotacji lewoskrętnej (Fodor 1995; Kováč i Márton, 1998; Márton i in., 1999,

2016; Szaniawski i in., 2012), należałoby obrócić otrzymane wyniki w kierunku przeciwnym. Zdaniem Jurewicz (2000) w toku nasunięć płaszczowinowych miała miejsce zmiana kierunku kompresji z NW na N. Możliwe też, że za tę zmianę jest odpowiedzialna przeciwna do ruchu wskazówek zegara rotacja podłoża (w sumie o ok. 45°) zachodząca w stałym polu naprężeń. Choć dane paleomagnetyczne nie są jednoznaczne, ich uwzględnienie w interpretacji strukturalnej – choćby w formie hipotezy roboczej – mogłoby wzmocnić analizę, zwłaszcza że badania z zakresu rock magnetyzmu były ważną częścią rozprawy.

3. *Relacje naprężeń i odkształceń.*

W kilku miejscach rozprawy pojawia się stwierdzenie o „kompresji związanej z wypiętrzaniem masywów Zachodnich Karpat Wewnętrznych”. W rzeczywistości jednak, z mechanicznego punktu widzenia, to kompresja jest procesem pierwotnym, a wypiętrzanie – jej skutkiem. Gdyby wypiętrzanie było efektem np. delaminacji czy oderwania się płyty subdukowanej, należałoby się spodziewać ekstensji w górnej części skorupy. W związku z tym trafniejsze byłoby sformułowanie „wypiętrzanie związane z kompresją”.

W innym fragmencie pojawia się twierdzenie, że „pochodzenie lineacji ipAMS w formacji Mraznicy jest związane z polem stresu podczas transportu płaszczowinowego”. Należy jednak zauważyć, że analiza rozprawy nie obejmuje rekonstrukcji paleonaprężeń, a więźba magnetyczna – zgodnie z literaturą – odzwierciedla pole odkształceń, a nie naprężeń. W tym kontekście warto byłoby doprecyzować sformułowania interpretacyjne.

4. *Pogrzebanie versus chłodzenie*

W przypadku skał osadowych basenu paleogeńskiego i płaszczowiny kriżniańskiej pogrzebanie było głównym czynnikiem odpowiedzialnym za rejestrowane zmiany termiczne – i ta interpretacja została w rozprawie przekonująco udowodniona. Natomiast w odniesieniu do krystalicznego trzonu Tatr sformułowania w pracy są mniej precyzyjne. Można odnieść wrażenie, że turońskie wydarzenie termiczne przypisywane jest pogrzebaniu, co może być uproszczeniem. W rzeczywistości termochronologia traktuje zapis termiczny również jako efekt deformacji i chłodzenia. W przypadku trzonu tatrzańskiego należy raczej mówić o wieku chłodzenia podłoża krystalicznego, co nie zostało w rozprawie wystarczająco jasno wyrażone.

5. *Kierunki dalszych badań*

W rozprawie brakuje sekcji poświęconej sugestiom dotyczącym dalszych badań. Choć nie jest to formalny wymóg, taka część mogłaby znacząco wzbogacić końcowe wnioski. W

kontekście zaprezentowanych wyników oczywistymi kierunkami kontynuacji wydają się analiza paleonaprężeń oraz zastosowanie niskotemperaturowej termochronologii, które mogłyby zweryfikować sformułowane hipotezy.

Podsumowanie recenzji

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera oryginalne wyniki badań świadczące o dużej wiedzy merytorycznej Autorki, jej umiejętnościach analitycznych oraz biegłości w zakresie geochemii organicznej, petrografii i magnetyzmu skał. Praca stanowi metodycznie poprawną i naukowo wartościową próbę rozwiązania złożonego zagadnienia badawczego, jakim jest rekonstrukcja ewolucji basenu paleogeńskiego oraz płaszczowiny kriżniańskiej w Tatrach na przestrzeni od kredy do neogenu. Szczególną uwagę poświęcono warunkom sedymentacyjnym, procesom pogrzebienia oraz aspektom tektonicznym związanym z późnokenozoicznym wypiętrzaniem Karpat Wewnętrznych.

Rozprawa spełnia wszystkie kryteria stawiane pracom doktorskim zgodnie z przepisami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023, poz. 742, z późn. zm.). Na tej podstawie rekomenduję dopuszczenie mgr Doroty Staneczek do publicznej obrony jej rozprawy doktorskiej.

Ponadto, biorąc pod uwagę fakt, że wyniki badań zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych ujętych w wykazie Ministra (zgodnie z art. 267 ust. 3 ww. ustawy), a także że wszystkie trzy opublikowane artykuły ukazały się w prestiżowych międzynarodowych czasopismach – International Journal of Coal Geology, Tectonophysics oraz Organic Geochemistry – wnioskuję o przyznanie recenzowanej rozprawie wyróżnienia.

Kraków, 13 lipca 2025 r.