

**Autoreferat w języku polskim**

Summary of Professional Accomplishments in Polish

Załącznik 3

*Dziedzina nauk ścisłych i przyrodniczych, dyscyplina nauk o Ziemi i środowisku*

**DARIUSZ BOTOR**

Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH) im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (WGGiOŚ)

Katedra Geologii Żyłowej i Górniczej (KGZiG)

Al. Adama Mickiewicza 30

30-059 Kraków

Kraków, 8 czerwiec 2021 r.

## **1. Imię i nazwisko**

### **Dariusz Botor**

Identyfikatory autora:

ORCID: 0000-0003-0157-4885; Scopus: 6506950899; PBN: 900366

<https://www.researchgate.net/profile/Dariusz-Botor>

Dariusz Botor scholar.google.pl

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

- **1999 stopień doktora nauk o Ziemi**

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; w dyscyplinie – geologia; data obrony pracy doktorskiej: 11.01.1999; nadanie stopnia uchwałą Rady Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH z dnia 25.01.1999; Tytuł rozprawy doktorskiej: *Procesy generowania i ekspulsji węglowodorów w utworach karbonu w rowie lubelskim*; Promotor: prof. dr hab. inż. Maciej Kotarba.

- **1994 – tytuł zawodowy magistra inżyniera**

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Stacjonarne studia jednolite magisterskie, Kierunek – Górnictwo i Geologia, specjalność – Geologia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego; data obrony pracy magisterskiej: 20.05.1994; Temat pracy magisterskiej: *Systemy naftowe miocenu i podłoża paleozoiczno-mezozoicznego Karpat i Zapadliska Przedkarpacciego w strefie Tarnów-Pilzno*; Promotor: prof. dr hab. inż. Maciej Kotarba.

- **1992 – tytuł zawodowy magistra**

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Instytut Nauk Geologicznych, Kraków, Oleandry 2a. Kierunek – Geologia, specjalność – Geologia stratygraficzno-poszukiwawcza; data obrony pracy magisterskiej: 26.11.1992; Temat pracy magisterskiej: *Zespoły mikrofauny otwornicowej w utworach eocenu w rejonie Krosna*; Promotor: prof. dr hab. Stanisław Geroch.

- **1987 – tytuł zawodowy technik geolog**

Technikum Geologiczne w Krakowie im. Stanisława Staszica, ul Rzeźnicza 4, Kraków.

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

- 01.01.2002 – obecnie

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Złazowej i Górniczej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.  
Stanowisko: adiunkt, umowa o pracę.

- 01.01.2001 – 31.12.2001

Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, Ośrodek Badawczy w Krakowie ul. Senacka 2, 30-059 Kraków; Stanowisko: adiunkt, umowa o pracę.

- 01.01.2000 – 31.12.2000

University of Glasgow - Scottish Universities Environmental Research Centre (wcześniej Scottish Universities Research and Reactor Centre), East Kilbride, Wielka Brytania: Postdoctoral Fellow, Royal Society Fellowship, London, Wlk, Brytania.

- 01.11.1993 – 31.12.1999

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.  
Stanowisko: starszy referent techniczny, umowa o pracę.

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

#### 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego (cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych):

*„Uwarunkowania paleotermiczne procesów uwęglania w utworach karbonu w wybranych basenach sedymentacyjnych środkowoeuropejskich waryscydy w południowej Polsce i Czechach”.*

4.2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. B.

Intencją zaplanowanych i zrealizowanych badań było stworzenie jednotematycznego cyklu publikacji pokrywających możliwie szeroki zakres problematyki dotyczącej termicznych mechanizmów i warunków rozwoju procesów uwęglenia w basenach karbońskich zaliczanych do waryscydyów środkowoeuropejskich w południowej Polsce i Czechach. Pełne treści publikacji z cyklu zostały zamieszczone w załącznikach w wersji elektronicznej pdf. Przedstawiony do oceny dorobek naukowy, wchodzący w skład głównego osiągnięcia naukowego obejmuje 7 publikacji naukowych (indeksowanych w JCR). W każdym z tych artykułów jestem głównym bądź jedynym autorem. Oświadczenia współautorów o ich wkładzie w powstanie poszczególnych publikacji znajdują się w załącznikach. Wykaz chronologiczny publikacji jest zgodny z formą wykazu Biblioteki Głównej AGH w Krakowie (w załączeniu):

[O1] Wiek uwęglenia utworów górnokarbońskich w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w świetle datowań apatytów za pomocą metody trakowej i helowej — Timing of coalification of the Upper Carboniferous sediments in the Upper Silesian Coal Basin on the basis of by apatite fission track and helium dating / **Dariusz BOTOR** (100%) // Gospodarka Surowcami Mineralnymi = Mineral Resources Management; ISSN 0860-0953. — **2014** t. 30 z. 1, s. 85–103.

**Punktacja (lista A czasopism MNiSW): 15.0**  
**IF (2014) – 0.540; IF (5-year, 2014) – 0.617**  
**Udział procentowy: 100%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

[O2] Post-Variscan thermal history of the Moravo-Silesian lower Carboniferous Culm Basin (NE Czech Republic - SW Poland) / **Dariusz BOTOR** (50%), István Dunkl (20%), Aneta Anczkiewicz (20%), Stanisław Mazur (10%) // Tectonophysics; ISSN 0040-1951. — **2017** vol. 712–713, s. 643–662.

**Punktacja (lista A czasopism): 35.0**  
**IF (2017) – 2.727; IF (5-year, 2017) – 2.876**  
**Udział procentowy: 50%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

[O3] Thermal history of the lower Carboniferous Culm Basin in the Nízký Jeseník Mts. (NE Bohemian Massif, Czech Republic and Poland) / **Dariusz BOTOR** (60%), Tomasz TOBOŁA (20%), Iwona Jelonek (20%)// Annales Societatis Geologorum Poloniae; ISSN 0208-9068. — **2017** vol. 87 iss. 1, s. 13–40.

**Punktacja (lista A czasopism MNiSW, 2017): 20.0**  
**IF (2017) – 1.318; IF (5-year, 2017) – 1.239**  
**Udział procentowy: 60%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

[O4] Post-Variscan thermal history of the Intra-Sudetic Basin (Sudetes, Bohemian Massif) based on apatite fission track analysis / **Dariusz BOTOR** (50%), Aneta A. Anczkiewicz (25%), Stanisław Mazur

(20%), Tomasz Siwecki (5%) // International Journal of Earth Sciences; ISSN 1437-3254. — 2019 vol. 108 iss. 8, s. 2561–2576.

**Punktacja (2019): 100.0**  
**IF (2019) – 2.278; IF (5-year, 2019) – 2.545**  
**Udział procentowy: 50%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

[O5] Thermal history of the Carboniferous strata in the northern part of the Intra-Sudetic Basin (SW Poland): a combined Raman spectroscopy and organic petrography study / **Dariusz BOTOR** (60%), Tomasz TOBOŁA (20%), Marta WALICZEK (20%) // Acta Geologica Polonica; ISSN 0001-5709. — 2020 vol. 70 no. 3, s. 363–396.

**Punktacja (2019): 70.0**  
**IF (2019) – 0.797; IF (5-year, 2019) – 1.218**  
**Udział procentowy: 60%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

[O6] Burial and thermal history of the Intra-Sudetic Basin (SW Poland) constrained by 1-D maturity modelling - implications for coalification and natural gas generation / **Dariusz BOTOR** (100%) // Bulletin of Geosciences; ISSN 1214-1119. — 2020 vol. 95 iss. 4, s. 497–514.

**Punktacja (2020): 70.0**  
**IF (2020) – 1.283; IF (5-year, 2020) – 1.510**  
**Udział procentowy: 100%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

[O7] Burial and thermal history of the Upper Silesian Coal Basin (Poland) constrained by maturity modelling – implications for coalification and natural gas generation / **Dariusz BOTOR** (100%) // Annales Societatis Geologorum Poloniae; ISSN 0208-9068. — 2020 vol. 90 iss. 2, s. 99–123.

**Punktacja (2019): 70.0**  
**IF 2019 = 1.025, 5-year IF = 1.51**  
**Udział procentowy: 100%**  
**Indeksowane w Journal Citation Reports**

Sumaryczny IF wg roku publikacji [O1-O7] **9,968** (średnia 1,424); IF(5-year) **11.515** (średnia 1,645).  
Autorski udział procentowy (100+100+100+60+60+50+50, w % /7 art.) = 74%.

#### **4.3. Projekty, bezpośrednio związane z osiągnięciem naukowym**

Prace statutowe, prowadzone na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, w latach 2002 – 2020 przyczyniły się do mojego rozwoju naukowego i umożliwiły wykonywanie badań naukowych, które mogły zostać opublikowane w w/w pracach.

#### 4.4. Omówienie celu naukowego przedstawionych prac [O1 – O7] i osiągniętych wyników

Podstawowym celem naukowym przedstawionego cyklu prac jest wyjaśnienie warunków paleotermicznych i mechanizmów prowadzących do uwęglenia materii organicznej w wybranych karbońskich basenach sedymentacyjnych zaliczanych do waryscydlów środkowoeuropejskich. Prace te skupiają się na analizie geologicznych warunków tektono-termicznych, w których następowało uwęglenie zarówno węgla jaki i rozproszonej materii organicznej. Natomiast nie dotyczą chemicznych przemian składu i strukturalnych w obrębie samej materii organicznej.

##### 4.4.1. Wprowadzenie

Moja działalność naukowa jest związana z geologia złożową surowców energetycznych, zarówno węgla, jak i ropy naftowej oraz gazu ziemnego. Zagadnienia naukowe, którymi się zajmuję dotyczą głównie systemów naftowych, zwłaszcza w kontekście generowania (tworzenia) i migracji węglowodorów, które uwarunkowane są przez procesy diagenetyczne prowadzące do uwęglenia materii organicznej (substancji organicznej). Pomimo odkrywania nowych złóż węglowodorów na świecie i w Polsce, niewątpliwie ich zasoby są skończone, stad też rozwijane są poszukiwania nowych złóż, w tym tzw. niekonwencjonalnych. W takim kontekście należy postrzegać np. systemy złóż gazu ziemnego w pokładach węgla kamiennych (ang. *coal-bed methane*). Towarzyszą im niejednokrotnie także zasoby gazu w mułowcach i piaskowcach o bardzo niskiej przepuszczalności i porowatości (ang. *tight gas*). Zasoby tego typu są stosunkowo słabo udokumentowane w Polsce i wymagają dalszych prac.

Uwęglenie materii organicznej jest procesem nieodwracalnym i umożliwia określenie stopnia diagenety oraz stopnia metamorfizmu (Teichmüller 1987, Taylor et al. 1998, Hartkopf-Fröder et al. 2015). Transformacja materii organicznej obejmuje zmiany składu jak i zmiany strukturalne uwarunkowane przez procesy tektono-termicznej ewolucji danego basenu sedymentacyjnego (Diessel & Offler 1975, Teichmüller 1987, Taylor et al. 1998). Różne wskaźniki pomiarowe mogą być tutaj zastosowane np. refleksyjność wityrynytu (VR), temperatura  $T_{max}$  z analizy pirolitycznej Rock-Eval, minerały ilaste (np. illit/smektyt), inkluzje fluidalne, itd.; dając wgląd w ewolucje termiczną analizowanych skał (Teichmüller 1987, Suchý et al. 1997, Yalcin et al. 1997, Taylor et al. 1998, Hartkopf- Fröder et al. 2015). Jednym z najpowszechniej stosowanych parametrów jest średnia refleksyjność wityrynytu (Hackley et al. 2015, Hartkopf- Fröder et al. 2015). Na jej podstawie można wyznaczyć, maksymalną temperaturę przy założeniu określonej kinetyki reakcji i subsydencji w danym basenie (np. Sweeney & Burnham 1990, Barker & Pawlewicz, 1994). Druga grupę metod, która coraz szerzej zaczyna być stosowana w ostatnich latach jest spektroskopia ramanowska (mikrospektroskopia Ramana) wykonywana również na próbkach materii organicznej. Metoda ta jest szczególnie przydatna na pograniczu diagenety i metamorfizmu, gdzie wiele innych technik, nawet VR, wykazuje większy błąd (Beysac et al. 2002, Rahl et al. 2005, Lahfid et al. 2010, Aoya et al. 2010, Kouketsu et al. 2014,

Wilkins et al. 2014, 2015, Lünsdorf 2016, Henry et al. 2019). Zmiany parametrów ramanowskich są kontrolowane przez głównie temperaturę, co pozwala na jej określenie z dokładnością około 30°C, w interwale temperatury od 100–150°C do 650°C (Beyssac et al. 2002, Rahl et al. 2005, Lahfid et al. 2010, Kouketsu et al. 2014, Lünsdorf 2016).

Wiek różnorodnych procesów diagenetycznych (w tym wiek uwęglenia) oprócz wartości czysto poznawczej, ma bardzo ważne znaczenie praktyczne, ponieważ jednym z efektów, szeroko rozumianych, post-depozycyjnych procesów diagenetycznych rozwijających się w skałach osadowych są złoża surowców energetycznych (węgli, ropy naftowej i gazu ziemnego), a także rud wielu metali np. miedzi, cynku i ołowiu. Szczególnie wiek generowania węglowodorów stanowi bardzo istotną przesłankę poszukiwawczą, gdyż w przeciwieństwie do surowców stałych węglowodory podlegają migracji do pułapek złożowych (Yalcin et al. 1997, Hantschel & Kauerauf 2009). A zatem w jednych skałach powstają węglowodory, a w innych zwykle są zakumulowane w postaci złóż. Oczywiście, z wyjątkami takimi jak złoża niekonwencjonalne np. gazu łupkowego (ang. *shale gas*). Temperatura, obok składu i ilości materii organicznej, jest jednym z podstawowych czynników determinujących procesy uwęglenia. Zatem pełniejsze wyjaśnienie ewolucji paleo-geotermicznej, w tym wieku uwęglenia jest niezbędne dla prawidłowej oceny potencjału węglowodorowego poszczególnych basenów sedymentacyjnych. Jednym z kluczowych elementów systemów naftowych są procesy generowania i migracji węglowodorów, które uzależnione są od szeregu zjawisk geologicznych (zwłaszcza tektonicznych), które z kolei zdeterminowane są przede wszystkim przez temperaturę i ciśnienie. Temperatura jest efektem dopływu określonej ilości ciepła poprzez zmiany strumienia cieplnego (Yalcin et al. 1997, Hantschel & Kauerauf 2009). Całość procesów przeobrażenia zarówno rozproszonej materii organicznej, jak i węgla w pokładach uwarunkowana jest poprzez rozwój paleotermicznych procesów uwęglenia. Przy czym metamorfizm węgla stanowi zaawansowany etap procesów uwęglenia (Taylor et al. 1998). Jednak to temperatura obok ciśnienia i czasu geologicznego jest postrzegana za najważniejszy czynnik tych procesów (Yalcin et al. 1997, Taylor et al. 1998, Hantschel & Kauerauf 2009).

W ostatnich latach zarysowała się możliwość rozstrzygnięcia kontrowersji dotyczących datowania wieku procesów diagenetycznych metodami radiometrycznymi, które do tej pory były rzadko stosowane w Polsce i to wyłącznie do datowania skał magmowych i/lub metamorficznych (np. Jarmołowicz–Szulc 1984). Jedną z podstawowych metod stosowanych w niskotemperaturowej termochronologii basenów sedymentacyjnych jest metoda trakowa (ang. *fission tracks*, FT), która pozwala oszacować paleotemperatury i czas ich występowania dla zakresu ok. 60–110°C (dla fluoroapatytu, Donelick i in. 2005). Metoda trakowa opiera się na analizie śladów (ang. *track*) „zniszczenia” radiacyjnego (defektów w strukturze kryształów) w ciałach stałych (kryształach). Pochodzą one z rozpadu promieniotwórczego atomów  $^{238}\text{U}$ . Traki (ślady) są selektywnie rozpuszczane i powiększane poprzez trawienie w kwasie azotowym. Mierząc zawartość uranu i ilość traków mierzymy czas, w którym traki były akumulowane,

czyli otrzymujemy tzw. wiek trakowy. Traki stanowią geometrycznie proste ślady w strukturze apatyty, niezorientowane w przestrzeni. Długość ich początkowa wynosi zwykle około 16  $\mu\text{m}$ . I jest ona skracana ze wzrostem temperatury (np. Dickin 2000, Armstrong 2005).

W minionych dwóch dekadach nastąpił ponadto znaczący rozwój metody helowej, który pozwolił rozszerzyć zakres szacowania paleotemperatur w stosunku do dotychczas stosowanych metod. Metoda helowa (U+Th/He), chociaż znana od ponad stu lat, stanowi stosunkowo nową technikę pod względem zastosowania do termochronologii utworów osadowych (Farley 2002). Wiarygodne informacje na temat paleotemperatur uzyskuje się poniżej zakresu stosowania metody trakowej (ang. *partial annealing zone*; PAZ, czyli strefa częściowego zaniku traków), czyli poniżej przedziału temperatur 60–110°C, ponieważ analogiczny interwał częściowej retencji helu (ang. *partial retention zone*, PRZ) w apatytyce waha się pomiędzy ok. 40 a 70°C (np. Farley 2002, Botor & Anczkiewicz 2010). Temperatura zamknięcia (ang. *closure temperature*) dla helu w apatytyce oceniana jest na 68±5°C, w zależności od tempa wychładzania i wielkości kryształów (Farley 2002). W przypadku cyrkonów strefa retencji helu występuje w interwale temperatur ok. 140-200°C (Reiners 2005, Guenther 2020).

Metoda trakowa i helowa stanowią efektywne i niezastąpione narzędzie w rekonstrukcji paleotermicznej basenów sedymentacyjnych wzajemnie się uzupełniające i kalibrujące. Metody te pozwalają na określenie czasu występowania paleotemperatur, które mają podstawowe znaczenie zarówno poznawcze, jak i utylitarne dla powstawania złóż wielu kopalin, a także pozwalają na ocenę wielu innych procesów diagenetycznych, tektonicznych, oraz geomorfologicznych. W połączeniu z termiczną dojrzałością materii organicznej (np. poprzez refleksyjność wityrynytu) termochronologia umożliwia identyfikację i charakterystykę głównych epizodów termicznych (ang. *heating and cooling stages*), które wpływały na rozwój danego basenu sedymentacyjnego w trakcie diagenety (post-sedymentacyjnych przemian) (np. Armstrong 2005, Botor & Anczkiewicz 2010).

Na historię termiczną basenu sedymentacyjnego (zwłaszcza często występującego basenu inwersyjnego) składają się w uproszczeniu dwa etapy: pierwszy z nich to wzrost temperatury do wartości maksymalnych, a drugi to etap wychładzania do wartości mierzonych obecnie. Szereg metod pozwala na ocenę wartości maksymalnej temperatury (np. refleksyjność wityrynytu). Jednak tylko nieliczne metody, takie jak helowa czy trakowa, pozwalają na oszacowanie czasu wychładzania z maksymalnej temperatury (np. Armstrong 2005) i znajdują zastosowanie do skał osadowych w przeciwieństwie do wyżej temperaturowych geochronometrów (Dickin 2000, Armstrong 2005). Dane z poszczególnych metod mogą być efektywnie integrowane w celu testowania rozmaitych hipotez dotyczących ewolucji geologicznej poprzez numeryczne modelowanie basenowe, w tym modelowania uwęglenia (ang. *maturity modelling*) (zob. np. Karnkowski 2003).



Uwarunkowania paleotermiczne uwęglenia zdeterminowane są głównie przez procesy tektoniczne. Zatem rozpoznanie tych procesów i ich wpływu na uwęglenie jest kluczowe dla wyjaśnienia samego uwęglenia i jego przebiegu w czasie geologicznym. Czynnikiem czasu (ang. *timing*) rozwoju danego zjawiska w przypadku węglowodorów jest niezwykle istotny. Ponieważ jeśli procesy generowania węglowodorów nastąpiły przed utworzeniem się skał zbiornikowych i odpowiednich pułapek złożowych, to pomimo świetnych parametrów petrofizycznych pułapki te nie zostały wypełnione przez węglowodory. W przestrzeni porowej znajduje się wówczas jedynie woda, a nie węglowodory. Sytuacja taka prowadzi do kosztownych wierceń otworów tzw. negatywnych (suchych). Ponadto w ostatnich latach baseny sedymentacyjne mogą stanowić także cenne źródło energii geotermalnej, więc wskazane jest również rozpoznanie ich ewolucji termicznej. Zwłaszcza dla predykcji temperatur w tych częściach basenów, gdzie nie ma otworów wiertniczych. Dlatego też uważam, że określenie poprawnej ewolucji paleotermicznej basenu warunkującej procesy uwęglenia jest niezwykle ważnym zagadnieniem, zarówno z punktu widzenia czysto poznawczego, jak i praktycznego. Metodyka w/w znajduje zastosowanie dla określenia potencjału węglowodorowego systemów niekonwencjonalnych i konwencjonalnych, oraz potencjału geotermalnego. Stąd, w trakcie prac badawczych, zaprezentowanych w artykułach [O1 – O7], zastosowałem wiele różnorodnych typów badań laboratoryjnych, wykonywanych nierzadko w różnych jednostkach i badałem różny materiał geologiczny, aby uzyskać możliwie wszechstronne spojrzenie na badany problem. Częstym mankamentem spotykanym w praktyce jest stosowanie jedynie jednej, znanej danemu autorowi, metody do rekonstrukcji paleotermicznej. Moim zdaniem stosowanie komplementarnych metod pozwala na bardziej zintegrowane rozwiązanie danego zagadnienia. Przy tym należy pamiętać, aby stosować metody laboratoryjne adekwatnie do analizowanej sytuacji geologicznej. Na przykład zastosowanie datowań cyrkonów metoda helową w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) byłoby bez sensu dla oceny procesów post-depozycyjnych (w tym uwęglenia), ponieważ maksymalne paleotemperature w karbonie GZW były niższe niż zakres wrażliwości metody dla cyrkonów. Z drugiej strony zbyt gęste opróbowane profilu otworu wiertniczego też nie do końca znajduje uzasadnienie. Na przykład, gdy gradient geotermiczny jest (lub wynosił) około 30°C/km, to oznacza, że na odcinku 100 m temperatura zmieniała się tylko o 3°C. Żadna metoda laboratoryjna nie jest w stanie uchwycić takiej zmienności w odniesieniu do procesów geologicznych.

W niniejszym zestawie prac bardzo istotne znaczenie mają metody modelowań numerycznych procesów uwęglenia, które pozwalają na testowanie różnych hipotez dotyczących ewolucji geologicznej danego basenu. Mogą one być wykonywane w skali przestrzennej pojedynczego otworu wiertniczego (1-D, jednowymiarowe) albo przekroju (2-D, dwuwymiarowe) albo trójwymiarowe (3-D) w skali danego fragmentu basenu czy górotworu. Modelowania takie umożliwiają sprawdzenie szeregu hipotez ewolucji geologicznej, i weryfikację ich efektów poprzez porównanie parametrów pomierzonych laboratoryjne z obliczonymi w danym modelu. Takie porównanie nazywane jest kalibracją modelu.

Najczęściej jako parametry kalibrujące wykorzystuje się współczesną temperaturę w otworach wiertniczych i średnią refleksyjność wityrynytu. Niestety żaden model uwęglenia nie jest w pełni jednoznaczny, w tym sensie, że szereg procesów może prowadzić do podobnych rezultatów. Zatem poprawna i podobna kalibracja modelu w wielu wypadkach może być uzyskana poprzez np. podwyższanie strumienia cieplnego i jednocześnie obniżanie wielkości zerodowanego nakładu. Czasami jednak dobry profil pionowy VR pozwala na bardziej jednoznaczne wyciąganie wniosków, np. w przypadku przesunięcia powyżej i poniżej powierzchni niezgodności. Dlatego konieczne jest zawężanie potencjalnych hipotez szczególnie poprzez zastosowanie termochronologii tj. datowań apatytów i cyrkonów za pomocą metody trakowej i helowej. Chociaż należy pamiętać, że prawie zawsze dat trakowych czy helowych nie można bezpośrednio utożsamiać z wiekiem jakiegoś procesu czy zdarzenia tektonicznego. Możemy jedynie aproksymować z pewnym przybliżeniem takie procesy tektoniczne. Dotyczy to zwłaszcza zjawisk, które nie mają obecnie zapisku skalnego, ponieważ zostały one usunięte przez erozję.

#### **4.4.2. Zbiorcze omówienie wyników badań przedstawionych w publikacjach [O1 – O7]**

Przedstawiony cykl 7 publikacji jest skupiony na analizie warunków paleotermicznych utworów karbońskich, w południowej i południowo-zachodniej Polsce oraz w północno-wschodnich Czechach. Prace te dotyczą Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW; *Upper Silesia Coal Basin*), Niecki Śródsudeckiej (*Intra-Sudetic Basin, ISB*), gdzie znajduje się Dolnośląskie Zagłębie Węglowe (DZW), oraz strefy pomiędzy tymi zagłębiami – Morawsko-Śląskiego pasa fałdowo-nasuwczego rozwiniętego w facji tzw. kulmu. Analizowane baseny inwersyjne zaliczane są do struktur waryscyjskich (np. Mazur et al., 2006, 2020, Bábek et al. 2006, Kalvoda et al. 2008).

**W artykule [O1]** przedstawiono datowania apatytów za pomocą metody trakowej i helowej z GZW. Pomiary helowe i część pomiarów trakowych wykonałem podczas stypendium w Scottish Universities Environmental Research Centre (Wlk. Brytania) i zapoczątkowały one całość tych badań. Następnie po uzupełnieniu o dodatkowe pomiary trakowe w Instytucie Nauk Geologicznych PAN w Krakowie, wykonałem modelowanie termiczne, co pozwoliło na wyjaśnienie historii paleogeotermicznej węglonośnych utworów karbońskich GZW. Próbki z zachodniej i środkowej części GZW mają wieki trakowe od późnego permu do środkowego/późnego triasu (259 do 214 milionów lat). Jednomodalne rozkłady długości traków i ich średnie wartości wskazują na pojedyncze, względnie szybkie zdarzenie post-waryscyjskiego wychładzania do temperatury poniżej 60°C, co jest zgodne z znaczną erozją post-inwersyjną utworów górno-karbońskich po fazie asturyjskiej z końcem karbonu. Natomiast próbki ze wschodniej i NE części GZW mają wieki trakowe od późnego triasu do wczesnej kredy (210 do 103 milionów lat). Charakteryzuje je względnie krótsza średnia długość traków i wyższe odchylenia

standardowe, a także (w przypadku części próbek) bimodalny i/lub mieszany charakter rozkładów długości. Jest to razem wskazówką bardziej złożonej historii termicznej, z długim okresem przebywania w strefie częściowego zablźniania traków (ang. *partial annealing zone*, PAZ i możliwym drugim zdarzeniem termicznym. Wieki helowe apatytów w całym basenie są wczesnokredowe (144 do 108 milionów lat) wskazując raczej na wolne post-waryscyjskie wychładzanie, nie wykluczając scenariusza, w którym możliwe było mezozoiczne podgrzanie karbonu do temperatury nie większej niż 60–70°C, które spowodowało częściową dyfuzję helu i odmłodzenie wieków helowych, ale równocześnie nie spowodowało znaczącego zablźniania traków na większości obszaru GZW. Jedynie w NE części GZW podgrzanie mezozoiczne mogło być nieco wyższe do temperatury rzędu 70–85°C powodując odmłodzenie wieków trakowych. Mezozoiczny impuls termiczny był przypuszczalnie spowodowany przez cyrkulację gorących roztworów związaną z procesami ekstensji, których efektem są m.in. złoża cynku i ołowiu. Powyższe zakresy temperatur i czas ich występowania, świadczą jednak, że uwęglenie materii organicznej w utworach karbońskich nastąpiło zasadniczo na przełomie karbonu i permu.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O1] należy uznać:

- ✓ Wyznaczanie czasu (timing) wychładzania z maksymalnych paleotemperatur, które wyniosły ponad 100 °C w stropowych partiach karbonu GZW.
- ✓ Wykazanie, że utwory karbonu GZW osiągnęły maksymalne paleotemperatury na przełomie karbonu i permu. A następnie jedynie lokalnie w części NW basenu były powtórnie podgrzane w mezozoiku.
- ✓ Wykazanie, że uwęglenie nastąpiło w efekcie rozwoju procesów waryscyjskich.

**W drugim artykule [O2]** przedstawiono wyniki datowania apatytów za pomocą metody trakowej i cyrkonów za pomocą metody helowej z utworów dolnokarbońskich w basenie kulmowym w Niskim Jeseniku, który występuje od rejonu Ołomuńca (Czechy) po okolice Głuchołaz (Góry Opawskie) po stronie polskiej. Zakres dat helowych w cyrkonach wynosi od 303 do 233 Ma (późny karbon do triasu) we wschodniej części basenu kulmowego, natomiast w zachodniej części daty są wyraźnie młodsze, w wąskim przedziale od 194 do 163 Ma (wczesna-środkowa jura). Natomiast daty trakowe apatytów wynoszą od 152 Ma (późna jura) do 44 Ma (eocen), z większością zgrupowaną w późnej kredzie, nie wykazując jednoznacznego trendu przestrzennego. Średnia długość traków waha się między 12.5 and 15.4 μm. Jednomodalne rozkłady długości traków, względnie krótka ich średnia długość w większości próbek oraz raczej niskie odchylenia standardowe wskazują, że historia termiczna była zdeterminowana zarówno przez procesy waryscyjskie jak i post-waryscyjskie z długim okresem przebywania próbek w strefie zablźniania traków między 60 a 110°C w mezozoiku, a następnie nastąpiło końcowe wychładzanie post-kredowe. Utwory dolnego karbonu osiągnęły maksymalne paleotemperatury przed

końcem okresu karbońskiego. A następnie były powtórnie podgrzane we wczesnym mezozoiku jedynie w części zachodniej basenu. Post-waryscyjska tektonika ekstensyjna była odpowiedzialna za wysoki strumień ciepły. Główna ostateczna faza wychładzania została zainicjowana w późnej kredzie, w trakcie kenozoiku prowadząc do erozji i odsłonięcia współczesnego badanych skał.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O2] należy uznać:

- ✓ Wyznaczanie czasu (timing) wychładzania z maksymalnych paleotemperatur.
- ✓ Wykazanie, że utwory dolnego karbonu basenu kulmowego osiągnęły maksymalne paleotemperatury przed końcem okresu karbońskiego, a następnie były powtórnie podgrzane we wczesnym mezozoiku jedynie w części zachodniej basenu. Post-waryscyjska tektonika ekstensyjna była odpowiedzialna za wysoki strumień ciepły. Główna zaś ostateczna faza wychładzania została zainicjowana w późnej kredzie prowadząc do znacznej erozji.

**W artykule [O3]** zastosowano połączone metody spektroskopii ramanowskiej, petrografii organicznej i badania inkluzji fluidalnych do analizy warunków paleotermicznych uwęglenia rozproszonej materii organicznej w utworach dolno-karbońskiego kulmu morawsko-śląskiej strefy fałdowej. Średnia refleksyjność wityryny (VR) wynosi od 2.1 do 4.4%. Na podstawie kompleksowych analiz mineralogicznych i petrograficznych wyznaczono regularny wzrost maksymalnych paleotemperatur od ok.  $200\pm 30^{\circ}\text{C}$  we wschodniej części tego basenu (w formacji Hradecko-Kyjowickiej) do ok.  $350\pm 30^{\circ}\text{C}$  w części NW (w formacji Andělská Hora). Paleotemperatury wzrastają też wprost proporcjonalnie ze wzrostem wieku stratygraficznego badanych utworów świadcząc o znacznej roli pogrążenia, które było rzędu 3-8 km. W części zachodniej basenu wykazano także wpływ migracji roztworów hydrotermalnych na stopień uwęglenia. Wyznaczone temperatury są zatem efektem przede wszystkim znacznego pogrążenia w trakcie subsydencji waryscyjskiej basenu w karbonie, na którą nałożyły się najprawdopodobniej post-waryscyjskie migracje roztworów hydrotermalnych, zaznaczające się głównie w części zachodniej kulmu. Wyniki powyższych badań świadczą o tym, że konwergencja waryscyjska, która ustała z końcem karbonu została zastąpiona przez późniejsze procesy ekstensji.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O3] należy uznać:

- ✓ Wyznaczanie regularnego wzrostu maksymalnych paleotemperatur od ok.  $200^{\circ}\text{C}$  we wschodniej części basenu kulmowego do ok.  $350^{\circ}\text{C}$  w części NW.
- ✓ Wykazanie, że paleotemperatury wzrastają również ze wzrostem wieku stratygraficznego badanych utworów świadcząc o znacznej roli pogrążania.
- ✓ Wyznaczenie maksymalnego pogrążenia utworów karbońskich rzędu 3-8 km.

- ✓ Wykazanie, że uwęglenie zasadniczo nastąpiło w okresie karbońskim. Natomiast w zachodniej części basenu kulmowego nastąpiło powtórne podgrzanie wskutek migracji roztworów uwarunkowane przez procesy ekstensyjna. Mogło ono wpływać na stopień uwęglenia utworów karbońskich.

**W kolejnym artykule [O4]** przeprowadzono datowania za pomocą metody trakowej w próbkach skał osadowych i wulkanicznych wieku od karbonu po kredę w śródgórskim basenie Niecki Śródsudeckiej. Uzyskane daty trakowe mieszczą się w przedziale od 89 do 50 milionów lat (od koniaku do eocenu), i głównie są to daty późno-kredowe. Średnia długość traków waha się w przedziale od 12.5 do 13.8  $\mu\text{m}$ , co wraz z jednomodalnymi rozkładami i niskim odchyleniem standardowym w większości próbek wskazuje, że próbki podlegały stosunkowo wolnemu wychładzaniu ze znacznym okresem przebywania w strefie częściowego zablizniania traków (60-110°C). Jedynie w północnej części basenu próbki wykazały szersze rozkłady długości traków, co może wskazywać na wieloetapową ewolucję termiczną, z drugim okresem podgrzewania w mezozoiku. Modelowania termiczne wykazały, że utwory karbońskie osiągnęły maksymalne paleotemperature nas przełomie karbonu i permu. Ciepło było wytwarzane w tym okresie poprzez procesy magmowe, powodując główną fazę uwęglenia. Drugi epizod termiczny występował w późnej kredzie i był spowodowany pogrążaniem osadowym w związku z rozwojem basenu sedymentacyjnego wieku cenoman - turon. Zdarzenie to nie miało jednak istotnego wpływu na uwęglenie utworów karbońskich. Gdyż temperature osiągnięte w kredzie nie były wyższe od temperature uzyskanych w karbonie/permie. Post-kredowe końcowe wychładzanie było związane z tektoniczną inwersją analizowanego basenu. Modelowania termiczne danych trakowych wykazały, że około 4 km pokrywa kredowa była wówczas zdeponowana. Wyniki powyższych badań pokazują znaczenie inwersji kredowo-paleogeńskiej w całym pasie waryscyjskim środkowej Europy.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O4] należy uznać:

- ✓ Określenie czasu wychładzania z maksymalnych paleotemperature. Wykazanie, że utwory karbońskie osiągnęły maksymalne paleotemperature najprawdopodobniej na przełomie karbonu i permu. Od permu nastąpiło stopniowe wychładzanie, ale głównie w interwale temperature ok. 60-110°C.
- ✓ Wykazanie podgrzania utworów karbońskich w efekcie pogrążenia w cenomanie - turonie, ale w interwale niższych paleotemperature niż występowały w późnym paleozoiku.

**W artykule [O5]** przeprowadzono badania uwęglenia z wykorzystaniem spektroskopii Ramana i petrografii organicznej w utworach karbońskich w 5 otworach wiertniczych w północnej części Niecki Śródsudeckiej, gdzie stwierdzono w artykule [O4] szczególne możliwości podgrzania kredowego. Badania mikroskopowe wykazały, że wartości VR są w przedziale 0.7% do 3.80%, a wartości szerokości połówkowych pików D1 i G na spektrach Ramana są dobrze skorelowane z wartościami VR oraz  $R_{max}$ . Stopień uwęglenia w analizowanych otworach wiertniczych wykazuje regularny wzrost z głębokością pograżenia. Dane te wskazują na maksymalne temperatury od ok. 110°C do 265°C. Regionalny gradient paleogeotermiczny był wysoki i wynosił ok. 80°C/km w późnym paleozoiku. Waryscyjskie podgrzanie osadów karbońskich, które nastąpiło na przełomie karbonu i permu spowodowało uwęglenie materii organicznej w analizowanych utworach. Waryscyjska aktywność magmowa, znana z analizowanego basenu (np. Awdankiewicz 1999), była przyczyną wysokiego strumienia cieplnego, co skutkowało wysokim gradientem paleogeotermicznym. W połączeniu ze znacznym i szybkim pograżeniem utworów karbońskich było to główną przyczyną uwęglenia w skali regionalnej.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O5] należy uznać:

- ✓ Wykazanie korelacji wartości szerokości połówkowych pików D1 i G na spektrach Ramana z wartościami VR oraz  $R_{max}$ , co podkreśla możliwość szerszego stosowania spektroskopii Ramanowskiej dla wyznaczania maksymalnych paleotemperatur.
- ✓ Wykazanie regularnego wzrostu stopnia uwęglenia z głębokością i stratygrafią w analizowanych profilach otworów wiertniczych, co podkreśla rolę subsydencji w kształtowaniu uwęglenia.
- ✓ Określenie paleotemperatur i paleogradientu geotermicznego, który występował w późnym karbonie.

**W kolejnym artykule [O6]** w celu podsumowania rozważań nad rekonstrukcją historii uwęglenia w Niecce Śródsudeckiej, w której znajduje się Dolnośląskie Zagłębie Węglowe (DZW) wykonano numeryczne modelowania termicznej dojrzałości substancji organicznej zawartej w utworach karbońskich za pomocą programu komputerowego PetroMod w dziewięciu profilach otworów wiertniczych. Średnia refleksyjność wityrnytu w badanych utworach mieści się w przedziale od ok. 0.6 do 4.5% VR. Uzyskane wyniki modelowań utworów karbońskich wskazują, że utwory te osiągnęły maksymalne wartości paleotemperatur, wynoszące od ok. 100 do 260°C, w późnym karbonie i/lub wczesnym permie. W skali regionalnej, utwory karbońskie nie były już później poddane tak wysokim temperaturom. Obliczony paleostrumień cieplny dla wybranych profili waha się od ok. 90 mW/m<sup>2</sup> do ok. 150 mW/m<sup>2</sup>. Uwęglenie nastąpiło w efekcie znacznej subsydencji osadów górno-karbońskich przy wysokim strumieniu cieplnym zdeterminowanym rozwojem intruzji magmowych, chociaż ich bezpośredni wpływ (metamorfizm kontaktowy) odgrywał znikomą rolę w skali regionalnej. W efekcie były generowane węglowodory, głównie gazowe zdominowane przez metan. Druga faza wzrostu

temperatury była zdeterminowana przez pogrążenie kredowe, lecz nie wpłynęła ona znacząco na procesy uwęglenia.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O6] należy uznać:

- ✓ Określenie wielkości erozji utworów permsko-karbońskich w Niece Śródsudeckiej,
- ✓ Określenie maksymalnego pogrążenia utworów permsko-karbońskich.
- ✓ Określenie wielkości strumienia cieplnego w późnym paleozoiku w czasie maksymalnego pogrążenia w Niece Śródsudeckiej.
- ✓ Obliczenie maksymalnych paleotemperatur występujących w utworach karbońskich i permskich w Niece Śródsudeckiej.
- ✓ Wyznaczenie stopnia transformacji kerogenu w utworach górnokarbońskich i obliczenie ilości generowanych węglowodorów w Niece Śródsudeckiej.

**W ostatniej pracy [O7],** przedstawiono wyniki modelowań stopnia uwęglenia w 17 profilach otworów wiertniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) wykonane za pomocą programu PetroMod. Najlepsze dopasowanie modeli z danymi pomiarowymi: VR, porowatościami i gęstością pozorną, uzyskano przyjmując wielkość erozji utworów górnokarbońskich od 1.7 km na wschodzie GZW do 4.5 km na zachodzie, przy względnie niskim do średniego strumieniu cieplnym (od 50 do 71 mW/m<sup>2</sup>), podczas maksymalnego pogrążenia z końcem karbonu. Węglonośne utwory górnokarbońskie zostały podgrzane do temperatury około 90–170°C, co jest zgodne ze stopniem ich uwęglenia w interwale od około 0.6 do 1.7% VR, rosnąc w kierunku zachodnim. Obecnie mierzony rozkład uwęglenia został osiągnięty przed waryscyjską inwersją tektoniczną GZW na przełomie karbonu i permu. Późniejsze procesy tektono-termiczne nie zmieniły tego stopnia uwęglenia. Efektem uwęglenia było wielkoskalowe generowanie węglowodorów, głównie gazu ziemnego zdominowanego przez metan. Stopień transformacji dla III (humusowego) typu kerogenu zawartego w utworach karbonu górnego obliczono na 5–75%. Chociaż większość wytworzonych węglowodorów została rozproszona i utracona w trakcie post-waryscyjskiej erozji, to i tak zachowany potencjał węglowodorowy GZW jest bardzo duży. Umożliwia to intensyfikację prac nad wykorzystaniem gazu ziemnego zakumulowanego głównie w pokładach węgla kamiennych GZW.

Za najważniejsze aspekty poznawcze publikacji [O7] należy uznać:

- ✓ Określenie wielkości erozji utworów górnokarbońskich w GZW.
- ✓ Określenie wielkości strumienia cieplnego w późnym karbonie w czasie maksymalnego pogrążenia utworów karbońskich w GZW.

- ✓ Obliczenie maksymalnych paleotemperatur występujących w utworach karbońskich GZW i czasu ich występowania.
- ✓ Wyznaczenie stopnia transformacji kerogenu i obliczenie ilości generowanych węglowodorów w GZW.

#### 4.4.3. Podsumowanie

Cykl przeprowadzonych badań trakowych, helowych, petrografii organicznej oraz spektroskopii ramanowskiej zintegrowany poprzez modelowania termiczne stopnia uwęglenia wykazał, że uzyskane wyniki są źródłem unikatowych informacji na temat ewolucji paleotermicznej badanych utworów karbońskich utworzonych wskutek rozwoju waryscydów.

Analizowane karbońskie baseny sedymentacyjne obejmują utwory zaliczane do przedpola orogenu waryscyjskiego (GZW), pasu fałdowo-nasuwczego (kulm) oraz śródsudeckiego basenu śródgórskiego (DZW). Pod względem tektoniki baseny te wykazują odmienną pozycję względem orogenu, dlatego też ich charakterystyka paleotermiczna jest zróżnicowana. W GZW uwęglenie nastąpiło w warunkach względnie niskiego do średniego strumienia cieplnego ( $50-70\text{mW/m}^2$ ), wskutek bardzo dużego pograżenia osadowego. Erozja post-waryscyjska usunęła od 1.7 km osadów karbońskich na wschodzie GZW do 4.5 km na zachodzie. Uwęglenie nastąpiło jeszcze w karbonie przed inwersją tektoniczną, która miała miejsce z końcem późnego karbonu. Paleotemperatury maksymalne wyniosły  $90-170^\circ\text{C}$ . W GZW generowane były bardzo duże ilości węglowodorów, głównie metanu, jeszcze w okresie karbońskim. W kulmie pasa fałdowo-nasuwczego na uwęglenie uwarunkowane przez pograżenie waryscyjskie w karbonie, nałożyły się procesy migracji roztworów w reżimie tensyjnym, które zostały udokumentowane w części zachodniej basenu kulmowego. Zaznacza się regularny wzrost maksymalnych paleotemperatur od ok.  $200^\circ\text{C}$  we wschodniej części tego basenu (w formacji Hradecko-Kyjowickiej) do ok.  $350^\circ\text{C}$  w części NW (w formacji Andělská Hora). Paleotemperatury wzrastają też wprost proporcjonalnie do wieku badanych utworów świadcząc o znacznej roli pograżenia. Natomiast post-waryscyjska tektonika ekstensyjna była odpowiedzialna za wysoki strumień cieplny prawdopodobnie w na przełomie triasu i wczesnej jury. Główna ostateczna faza wychładzania została zainicjowana w późnej kredzie, w trakcie kenozoiku prowadząc do erozji i odsłonięcia współczesnego badanych skał. Z kolei, w Niece Śródsudeckiej, uwęglenie nastąpiło w efekcie znacznej subsydencji osadów górnokarbońskich przy wysokim strumieniu cieplnym ( $90-150\text{mW/m}^2$ ) zdeterminowanym rozwojem intruzji magmowych, chociaż ich bezpośredni wpływ (metamorfizm kontaktowy) odgrywał znikomą rolę w skali regionalnej. Paleotemperatury wyniosły ok.  $100-260^\circ\text{C}$ . W efekcie były generowane węglowodory, głównie gazowe również zdominowane przez metan. Druga faza wzrostu



temperatury była spowodowana przez pograżenie kredowe, lecz nie wpłynęła ona znacząco na procesy uwęglania.

Zatem w poszczególnych strefach waryscydów różne czynniki odgrywały kluczową rolę w procesach uwęglania. W DZW wysoki paleostrumień cieplny, podczas gdy w GZW względnie niski paleostrumień cieplny, za to wysokie pograżenie osadów jeszcze w okresie karbońskim. W strefie kulmowej pasa fałdowo-nasuwczego uwęglanie uwarunkowane przez pograżenie waryscyjskie w karbonie, na które nałożyły się post-waryscyjskie (wczesno-mezozoiczne) procesy migracji roztworów w części zachodniej. Uwęglanie materii organicznej zawartej w utworach karbońskich w analizowanych basenach nastąpiło jeszcze w trakcie karbonu, w wyjątkiem zachodniej części basenu kulmowego, gdzie mogło nastąpić ponowne uwęglanie we wczesnym mezozoiku wskutek procesów ekstensyjnych i powiązanych z nimi migracji roztworów hydrotermalnych.

Istotny jest także aspekt metodyczny przeprowadzonych badań. Wykonane badania trakowe i helowe w basenach sedymentacyjnych w celu rekonstrukcji historii termicznej są jednymi z pierwszych tego typu w Polsce. Gdyż dotychczas stosowano metodę trakową jedynie do datowań skał magmowych i metamorficznych. Również zastosowanie spektroskopii ramanowskiej dla rozproszonej materii organicznej w celu oceny stopnia uwęglania jest jedną z pierwszych tego typu prac w Polsce.

Podsumowując, wyniki w/w badań pozwoliły na rozstrzygnięcie wielu kontrowersji dotyczących ewolucji paleotermicznej determinującej rozwój uwęglania w analizowanych basenach karbońskich. Wyniki tych prac mogą znaleźć również użyteczne wykorzystanie dla poszukiwań naftowych, w tym w systemach niekonwencjonalnych złóż węglowodorowych.

#### 4.4.4. Literatura uzupełniająca do opisu osiągnięcia

Szczegółowe opisy badań laboratoryjnych (metodyka, urządzenia, badane próbki, procedury przetwarzania, obliczeń i modelowania) wraz z powołaniami na odpowiednią literaturę zostały przedstawione w poszczególnych artykułach, stanowiących osiągnięcie naukowe [O1-O7]. Poniżej przedstawiam jedynie literaturę metodyczną uzupełniającą:

**Dariusz Botor**, Aneta A. Anczkiewicz, István Dunkl, Jan Golonka, Mariusz Paszkowski, Stanisław Mazur, 2018. Tectonothermal history of the Holy Cross Mountains (Poland) in the light of low-temperature thermochronology *Terra Nova* 30: 270–278, plus supplement str. 1–33.

**Dariusz Botor**, Paweł Kosakowski, 2000. Zastosowanie modelowań numerycznych do rekonstrukcji paleotemperatur i procesów generowania węglowodorów. *Przegląd Geologiczny*, vol. 48 nr 2, str. 154–161.

**Dariusz Botor & Aneta Anczkiewicz**, 2010. Zastosowanie metody trakowej i helowej do rekonstrukcji termicznej basenów sedimentacyjnych. *Technika Poszukiwań Geologicznych – Geotermia i Zrównoważony Rozwój*, vol. 49 z. 1–2, str. 133–149.

Thomas Hantschel & Armin Kauerauf, 2009. *Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling*. Springer, Heidelberg, 436 pp.

#### **4.5. Nagrody**

Czterokrotnie otrzymałem nagrodę indywidualną III stopnia za osiągnięcia naukowe w AGH w Krakowie:

- 2020. Nagroda Rektora indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe,
- 2019. Nagroda Rektora indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe,
- 2018. Nagroda Rektora indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe,
- 2016. Nagroda Rektora indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe.

#### **Inne:**

- 1999. Wyróżnienie pracy doktorskiej, WGGiOŚ, AGH Kraków,
- 1998. stopień inżyniera górniczego III stopnia, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa,
- 1993. Grant-in-Aid Award for M.Sc.-thesis (American Association of Petroleum Geologists, AAPG), Tulsa, Oklahoma, USA.

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

#### **5.1. Instytucje zagraniczne:**

Zrealizowałem następujące staże naukowe w zagranicznych instytucjach:

- grudzień 1996 – maj 1997 (6 miesięcy), Forschungszentrum - Jülich, Institute Chemie und Geodynamik Geosphäre, ICG-4, Niemcy. Updating and retraining in numerical sedimentary basin modeling and organic geochemistry. Finansowany przez: *Tempus Individual Fellowship Programme*, Bruksela, EU;
- styczeń 2000 – grudzień 2000 (12 miesięcy), University of Glasgow – Scottish Universities Environmental Research Centre (wcześniej Scottish Universities Research and Reactor Centre), East Kilbride, Rankine Avenue 1, Wlk. Brytania. Postdoctoral Research Fellow. Staż po-doktorski finansowany przez *Royal Society* (NATO program), Londyn, Wlk. Brytania;
- kwiecień - czerwiec 2005 (3 miesiące) University of Göttingen, Getynga, Niemcy. Finansowany przez: *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)*;
- 15-22.04.2018 (1 tydzień) Erasmus program; wykłady w Palacký University of Olomouc, Ołomuniec, Czechy;
- 1.10.-30.11.2018 (2 miesiące) w Palacký University of Olomouc, Czechy. Stypendium *Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej (NAWA)*, Warszawa.

A także szereg krótkich szkoleń:

- 3-4.11.1994. Basin modeling Workshop, organizowany przez Francuski Instytut Naftowy i Beicip-Franlab, Paryż - Rueil Malmaison (Francja);
- 10-17.02.1996. kurs z zakresu użytkowania oprogramowania BasinMod (firmy Platte River Associations, USA) przeprowadzony przez Integrated Geochemical Interpretation, IGI Ltd., w Bideford, Devon, Wlk. Brytania;
- 26.01.-14.02.1997. kurs "Basin Analysis" w Vrije University, Amsterdam, Holandia;
- 10.07.-31.07.2000. szkolenie w zakresie metody trakowej (apatite fission track analysis) w University College, London (UCL), Wlk. Brytania;
- 14-15.06.2010. dwudniowy kurs: "Practical Salt Tectonics", Kraków, Poland;
- 22-26.06.2015 (1 tydzień) kurs z zakresu użytkowania oprogramowania 3-D PetroMod – PetroMod Fundamentals, Paryż - La Defence, Schlumberger (Francja);
- 29.06.-3.07.2015. (1 tydzień) kurs z zakresu użytkowania oprogramowania 3-D PetroMod – PetroMod Calibration Workflows for Petroleum Systems, Paryż - La Defence, Schlumberger (Francja);
- 23.06.-30.06.2017. szkolenie z zakresu użytkowania oprogramowania - organic facies modelling course (OF-Mod) w Sintef Petroleum Research, Trondheim, Norway.

#### **5.1.1. Uniwersytet w Getyndze (Niemcy)**

Od szeregu lat współpracuje nad datowaniami minerałów dla celów analizy tektono-termicznej ewolucji za pomocą metody trakowej i helowej z Panem dr Istvánem Dunklem z Uniwersytetu w Getyndze

(Niemcy), gdzie odbyłem 3-miesięczny staż 2005 r. w ramach stypendium *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)*. Efektem tej współpracy są publikacje:

Attempt to dating of accretion in the West Carpathian Flysh Belt: apatite fission track thermochronology of tuff layers / **Dariusz BOTOR**, István Dunkl, Marta Rauch-Włodarska, Hilmar von Eynatten // *Geolines* ; ISSN 1210-9606. — 2006 vol. 20, s. 21–23. — Bibliogr. s. 22–23. — Proceedings of the 4th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group ; 11th Meeting of the Czech Tectonic Studies Group ; 7th Carpathian Tectonic Workshop : Zakopane, Poland, April 19–22, 2006. — Praha : Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic, cop. 2006.

Geo- and thermo- chronology of anatase as benchmarks for basin evolution / I. Dunkl, A. Gerdes, R. Wolff, **D. BOTOR**, A. Wellhäuser, M. Döhmman, H. von Eynatten // W: Goldschmidt-2015 [Dokument elektroniczny] : 25th anniversary : Prague, August 16–21 2015: [abstracts].

[O2] Post-Variscan thermal history of the Moravo-Silesian lower Carboniferous Culm Basin (NE Czech Republic - SW Poland) / **Dariusz BOTOR**, István Dunkl, Aneta Anczkiewicz, Stanisław Mazur // *Tectonophysics* ; ISSN 0040-1951. — 2017 vol. 712–713, s. 643–662.

Tectonothermal history of the Holy Cross Mountains (Poland) in the light of low-temperature thermochronology / **Dariusz BOTOR**, Aneta A. Anczkiewicz, István Dunkl, Jan GOLONKA, Mariusz Paszkowski, Stanisław Mazur // *Terra Nova* ; ISSN 0954-4879. — 2018 vol. 30 iss. 4, s. 270–278.

Burial and thermal history of the Lower Palaeozoic petroleum source rocks at the SW margin of the East European Craton (Poland) / **Dariusz BOTOR**, Jan GOLONKA, Aneta A. Anczkiewicz, István Dunkl, Bartosz PAPIERNIK, Justyna ZAJĄC, Piotr GUZY // *Annales Societatis Geologorum Poloniae* ; ISSN 0208-9068. — 2019 vol. 89 no. 2, s. 121–152.

**Botor, D.**, Mazur, S., Anczkiewicz A.A., Dunkl I., Golonka, J., 2021. Thermal history of the East European Platform margin in Poland based on apatite and zircon low temperature thermochronology. *Solid Earth*, *przyjęty do druku*.

### 5.1.2. Palacký University of Olomouc (Czechy)

W ostatnich latach prowadzę również współpracę z Katedrą Geologii Uniwersytetu im. Palackiego w Ołomuńcu, gdzie przebywałem m.in. w ramach programu Erasmus i stypendium NAWA. Badania z prof. Ondřejem Bábek dotyczą morawsko-śląskiego basenu późnopaleozoicznego. Dotychczas ukazała się praca Botor & Babek (2019) dotycząca GZW:

*Burial and thermal history modelling of the Upper Carboniferous strata based on vitrinite reflectance data from Bzie-Dębina-60 borehole (Upper Silesian Coal Basin, southern Poland) / Dariusz BOTOR, Ondřej Bábek // Geological Research in Moravia and Silesia ; ISSN 1212-6209. — 2019 vol. 26 iss. 12, s. 73–79. Scopus Indexed.*

## 5.2. Instytucje krajowe

### 5.2.1. Instytut Nauk Geologicznych PAN - Ośrodek Badawczy w Krakowie

Moja aktywność naukowa poza AGH jest przed wszystkim związana z Instytutem Nauk Geologicznych PAN - Ośrodek Badawczy w Krakowie, gdzie byłem zatrudniony w roku 2001 (od stycznia do grudnia). Od szeregu lat współpracuje przede wszystkim z Panią dr Anetą Anczkiewicz i Panem Prof. dr hab. Stanisławem Mazurem, w zakresie zastosowania metody trakowej w analizach tektono-termicznych. Efekty wspólnych działań, dyskusji, analiz są udokumentowane artykułami:

*Thermal history of the Sabero Coalfield (Southern Cantabrian Zone, NW Spain) as revealed by apatite fission track analyses from tonstein horizons: implications for timing of coalification / Dariusz BOTOR, Aneta A. Anczkiewicz // International Journal of Earth Sciences ; ISSN 1437-3254. — 2015 vol. 104 iss. 7, s. 1779–1793.*

[O2] *Post-Variscan thermal history of the Moravo-Silesian lower Carboniferous Culm Basin (NE Czech Republic - SW Poland) / Dariusz BOTOR, István Dunkl, Aneta Anczkiewicz, Stanisław Mazur // Tectonophysics ; ISSN 0040-1951. — 2017 vol. 712–713, s. 643–662.*

*Tectonothermal history of the Holy Cross Mountains (Poland) in the light of low-temperature thermochronology / Dariusz BOTOR, Aneta A. Anczkiewicz, István Dunkl, Jan GOLONKA, Mariusz Paszkowski, Stanisław Mazur // Terra Nova ; ISSN 0954-4879. — 2018 vol. 30 iss. 4, s. 270–278.*

[O4] *Post-Variscan thermal history of the Intra-Sudetic Basin (Sudetes, Bohemian Massif) based on apatite fission track analysis / Dariusz BOTOR, Aneta A. Anczkiewicz, Stanisław Mazur, Tomasz Siwecki // International Journal of Earth Sciences; ISSN 1437-3254. — 2019 vol. 108 iss. 8, s. 2561–2576.*

*Burial and thermal history of the Lower Palaeozoic petroleum source rocks at the SW margin of the East European Craton (Poland) / Dariusz BOTOR, Jan GOLONKA, Aneta A. Anczkiewicz, István Dunkl, Bartosz PAPIERNIK, Justyna ZAJĄC, Piotr GUZY // Annales Societatis Geologorum Poloniae ; ISSN 0208-9068. — 2019 vol. 89 no. 2, s. 121–152.*

**Botor, D.**, Mazur, S., Anczkiewicz A.A., Dunkl I., Golonka, J., 2021. Thermal history of the East European Platform margin in Poland based on apatite and zircon low temperature thermochronology. *Solid Earth*, *przyjęty do druku*, będący pokłosiem realizacji projektu Blue-Gas pod kierownictwem prof. Jana Golonki.

### 5.2.2. Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk Przyrodniczych

W ostatnich latach także współpracowałem z Panią dr hab. Iwoną Jelonek, prof. UŚ, w zakresie badań petrograficznych rozproszonej materii organicznej utworów facji dolno-karbońskiego kulmu. Owocem tej współpracy są publikacje:

[O3] *Thermal history of the lower Carboniferous Culm Basin in the Nizký Jeseník Mts. (NE Bohemian Massif, Czech Republic and Poland)* / **Dariusz BOTOR**, Tomasz TOBOŁA, Iwona Jelonek // *Annales Societatis Geologorum Poloniae*; ISSN 0208-9068. — 2017 vol. 87 iss. 1, s. 13–40.

*Ewolucja termiczna dolnokarbońskiej facji kulmu basenu morawsko-śląskiego (Nizký Jeseník, Czechy)* — [Thermal evolution of the Moravo-Silesian Culm Basin in the Nizký Jeseník Czech Republic] / **Dariusz BOTOR**, István Dunkl, Aneta Anczkiewicz, Tomasz TOBOŁA, **Iwona Jelonek** // W: *Badania petrologiczne i mineralogiczne w geologii* : VIII ogólnopolska konferencja : Kraków 1–2 czerwca 2017. — [Kraków : s. n.], [2017]. — S. 5–7.

*Superposition of burial and hydrothermal events: late to post-Variscan thermal evolution of the Moravo-Silesian Culm Basin in the Nizký Jeseník Mountains (NE Czech Republic – SW Poland)* / **Dariusz BOTOR**, István Dunkl, Aneta Anczkiewicz, Tomasz TOBOŁA, **Iwona Jelonek** // *Mineralogia – Special Papers* ; ISSN 1899-8518. — Tytuł poprz.: *Mineralogia Polonica – Special Papers* ; ISSN 1896-2203. — 2017 vol. 46, s. 15–16. — Bibliogr. s. 16. — Petrological and mineralogical studies in geology : VIII Polish conference : Cracow, Poland, 1–2 June 2017.

*Thermal history of the Moravo-Silesian Lower Carboniferous Culm Basin in the Nizký Jeseník Mountains (NE Czech Republic – SW Poland)* / **Dariusz BOTOR**, István Dunkl, Aneta Anczkiewicz, Tomasz TOBOŁA, **Iwona Jelonek** // *Acta Universitatis Szegediensis* ; ISSN 0324-6523. *Acta Mineralogica-Petrographica: field guide series* ; ISSN 2061-9766. — 2017 vol. 32, s. 7–8. — Bibliogr. s. 8. — 15th meeting of the Central European Tectonic Studies. Group (CETeG) : 5–8th 2017, Zánka, Lake Balaton.

### 5.2.3. Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. w Warszawie

Współpracowałem ze specjalistami z Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A. w Warszawie w ramach realizacji projektu finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju:

projekty programu Blue-Gas GAZGEOLMOD pod kierownictwem prof. Jana Golonki (2013-2017), a także w szeregu projektach pod kierownictwem prof. Maciej Kotarby w latach 1993-1999, i prof. Wojciecha Góreckiego w latach 2005-2012. Efektem jest m.in. publikacja:

Burzewski W., Kotarba M., **Wilczek T.**, Słupczyński K., Kosakowski P., **Botor D.**, 1998. *Model of gaseous hydrocarbon generation in the Miocene strata of the Polish part of the Carpathian Foredeep*. *Przegląd Geologiczny*, v. 47 (4), 110-119, Warszawa.

#### **5.2.4. Orlen Upstream Sp. z o.o. w Warszawie**

Współpracowałem ze specjalistami z Orlen Upstream Sp. z o.o. w ramach realizacji projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju: projekty programu Blue Gas GAZGEOLMOD w latach 2013-2017 pod kierownictwem prof. Jana Golonki.

#### **5.2.5. Instytut Nafty i Gazu w Krakowie**

Współpracowałem z Instytutem Nafty i Gazu w Krakowie w zakresie analiz systemów naftowych. Efektem są m.in. publikacje:

*Potencjał naftowy podłoża mezo-paleozoicznego w rejonie Bochnia–Tarnów — Assessment of crude oil potential of the mezo-paleozoic bed in the region of Bochnia–Tarnów based on the hydrocarbon generation and expulsion modeling / Lidia Dudek, Janusz Strzetelski, Dariusz BOTOR, Radosław Florek. — Kraków: IGNiG, 2003. — 1-68 str. — Prace Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa; ISSN 0209-0724 ; nr 122.*

*Complex thermal history reconstruction of the Carboniferous rocks from the Fore-Sudetic Monocline (Poland) – application in a tight gas exploration / Sylwia Kowalska, Krzysztof Wolański, Dariusz BOTOR, Istvan Dunkl, Artur Wójtowicz, Urszula Jonkis // W: EUROCLAY 2015 : [international conference on Clay science and technology: Euroclay and The Clay Minerals Society 52nd annual meeting] : Edinburgh, 5th–10th July: programme & abstracts. — [Edinburgh : s. n.], [2015]. — S. 428.*

#### **5.2.6. Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie**

Współpracowałem w trakcie projektów pod kierownictwem prof. Kotarby (1993-1999) i prof. Wojciecha Góreckiego (2005-2012). Efektem są m.in. publikacje:

Buła Z., **Botor D.**, Karwasiecka M., Kosakowski P., Kotarba M., 1995. Zarys geologii i warunków geotermicznych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Prace CPPGSMiE PAN*, 25-40.

Botor D., Karwasiecka M., Kosakowski P., Kotarba M., 1998. *An attempt to evaluate thermal history of the Lublin Synclinorium*. Proc. of the International Conference. "East meets West II", 10-14.09.1998, Kraków.

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

Prowadziłem dotychczas zajęcia dydaktyczne w latach 2002-2021 dla studentów kierunków Górnictwo i Geologia, Ochrona Środowiska, Inżynieria Środowiska, oraz Geofizyka na WGGiOŚ AGH w Krakowie, I (inżynierskie) i II (magisterskie) stopnia studia stacjonarne i niestacjonarne z następujących przedmiotów: geologia złóż (wykłady i ćwiczenia), podstawy nauki o złożach (wykłady i ćwiczenia), geologia złóż węgla (wykłady i ćwiczenia), petrologia organiczna węgla i rozproszonej materii organicznej (wykłady i ćwiczenia), geochemia węgla (wykłady), analiza techniczna węgla (wykłady i ćwiczenia), surowce mineralne (wykłady i ćwiczenia), metody badań surowców mineralnych (ćwiczenia), systemy informacji przestrzennej (GIS) – ćwiczenia, coal geology – moduł w ramach przedmiotu – economic geology industrial materials (wykłady i ćwiczenia), paleoceanografia (wykłady), ćwiczenia terenowe dla studentów z przedmiotów geologia złóż, kartografia geologiczna, praktyki geologiczne podkrakowskie. Średniorocznie prowadziłem około 300 godzin dydaktyki w latach 2002-2015, i około 240 godzin w ostatnich latach.

Byłem promotorem 50 obronionych prac dyplomowych na WGGiOŚ, w tym 38 inżynierskich i 12 magisterskich.

W ramach programu Erasmus prowadziłem kurs Basin & Petroleum System Modeling w Palacký University w Ołomuńcu (Czechy) w kwietniu 2018r. Natomiast od 2020r. jest koordynatorem współpracy programu Erasmus z Palacký University w Ołomuńcu.

W latach 2012-2016 pracowałem w Wydziałowej (WGGiOŚ) Komisji Wyborczej, a w latach 2011-2012 w Wydziałowej Komisji ds. programów studiów. Pełniłem też funkcję kierownika Pracowni Geologii Złóż Węgla w KGZiG WGGiOŚ w latach 2008-2016.

Wykonałem 24 recenzje dla czasopism geologicznych: Journal of Petroleum Science and Engineering (10), Tectonophysics (1), International Geology Review (1), Marine and Petroleum Geology (1), Energies (5), Physics and Chemistry of Minerals (1), Geosciences (3), Kwartalnik Geologia AGH (1), oraz Przegląd Górniczy (1).



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

**Jestem autorem i współautorem ponad 90 publikacji** (włączając artykuły, monografie i rozdziały w monografiach, oraz abstrakty konferencyjne), w tym 83 to prace z okresu po uzyskaniu stopnia doktora. 17 artykułów jest zaliczonych do listy JCR (lista filadelfijska wg zestawienia Biblioteki Głównej AGH). Ich sumaryczny wskaźnik wpływu (IF, impact faktor) wynosi **24,166** (wg artykułów JCR).

W okresie po uzyskaniu stopnia doktora **czterokrotnie otrzymałam Nagrodę Rektora AGH** w Krakowie za osiągnięcia naukowe.

**Ponadto, odbyłem 4 długoterminowe staże zagraniczne** oraz szereg krótkoterminowych szkoleń zagranicznych, pracując na nich w sumie ponad 2 lata (głównie w Wlk. Brytanii i Niemczech).

Prowadziłem intensywną **działalność dydaktyczną** jako promotor 38 prac inżynierskich i 12 prac magisterskich. Prowadziłem średnio około 300-240 godzin dydaktyki rocznie.

**Oprócz badań statutowych i własnych AGH, brałem udział w 18 projektach badawczych**, w tym finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (program Blue-Gas I GAZGEOLMOD; Program Badań Stosowanych II; Program Badań Stosowanych III; program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka), Narodowe Centrum oraz projekty finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, i Komitet Badań Naukowych (KBN). Byłem kierownikiem jednego grantu KBN w latach 2007-2009.

Poniżej przedstawiam tabelaryczny wykaz dorobku (Tabela 1).

**Tabela 1.** Wykaz osiągnięć naukowych przed i po uzyskaniu stopnia doktora. JCR – Journal Citation Report. Data sporządzenia wykazu 26.03.2021.

	Przed doktoratem	Po doktoracie.
Sumaryczna liczba publikacji	11	83
Liczba publikacji bez materiałów konferencyjnych	5	34
<b>Publikacje z listy JCR wg wykazu Biblioteki Gł.</b>	0	17
<b>Sumaryczny wskaźnik wpływu (ang. Impact Factor, IF) artykułów z listy JCR</b>	0	24,199
Monografie	0	1
Rozdziały w Monografiach	3	1
Materiały konferencyjne międzynarodowe	2	28
Materiały konferencyjne krajowe	4	21
Sumaryczna liczba punktów za publikacje	–	262 pkt. do 2018r. 690 pkt. z JCR (2019-2020)
<b>Indeks Hirscha wg Web of Science</b>	–	6
Indeks Hirscha wg Scopus	–	8
Indeks Hirscha wg Google Scholar	–	10
<b>Liczba cytacji wg Web of Science</b>	–	100 (75 bez autocytacji)
Liczba cytacji wg Web of Scopus	–	162
Liczba cytacji wg Web of Google Scholar	–	329
Recenzje artykułów z listy JCR	0	22

– nie dotyczy; stan na dzień 26.03.2021.



(podpis wnioskodawcy).....

#### Literatura cytowana w referacie

- Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D. & Wallis, S., 2010. Extending the applicability of the Raman carbonaceous material geothermometer using data from contact metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 28: 895–914.
- Armstrong P.A., 2005. Thermochronometers in sedimentary basins. *Revue in Mineralogy & Geochemistry*, 58: 219–248.
- Awdankiewicz, M. 1999. Volcanism in a late Variscan intramontane trough: Carboniferous and Permian volcanic centres of the Intra-Sudetic Basin, SW Poland. *Geologia Sudetica*, 32: 13–47.

- Bábek, O., Tomek, C., Melichar, R., Kalvoda, J. & Otava, J., 2006. Structure of unmetamorphosed Variscan tectonic units of the southern Moravo-Silesian Massif: a review. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 239: 37–75.
- Barker, C., Pawlewicz, M. J., 1994. Calculation of vitrinite reflectance from thermal histories: a comparison of methods. In: Mukhopadhyay P. K. & Dow W. G., (eds) *Vitrinite reflectance as a maturity parameter: applications and limitations. American Chemical Society Symposium Series*, 570: pp. 216–229.
- Beysac, O., Goffe, B., Chopin, C. & Rouzaud, J. N., 2002. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments; a new geothermometer. *Journal of Metamorphic Geology*, 20: 858–871
- Diamond, L. W., 2001. Review of the systematics of CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O fluid inclusions. *Lithos*: 55: 69–99.
- Dickin A.P., 2000. Noble gases. In: *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge University Press, p. 277–305.
- Diessel, C. F. K. & Offler, R., 1975. Change in physical properties of coalified and graphitised phytoclasts with grade of metamorphism. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Monatshefte*, 3: 11–26.
- Donelick R.A., O'Sullivan P.B., Ketcham R.A., 2005 — Apatite Fission-Track Analysis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 58: 49–94.
- Dunlap, W. J., 1997. Neocrystallization or cooling? 40Ar/39Ar ages of white micas from low-grade mylonites. *Chemical Geology*, 143: 181–203.
- Farley, K.A. 2002. Helium dating: techniques, calibrations, and applications. W: *Noble gases in Geochemistry and Cosmochemistry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry vol. 47*: 819–844.
- Guenther W.R., 2020. Implementation of an alpha damage annealing model for zircon (U-Th)/He thermochronology with comparison to a zircon fission track annealing model. *Geochem. Geophys. Geosyst.* No. 1525-2027.
- Hackley, P. C., Araujo, C. V., Borrego, A. G., Bouzinos, A., Cardott, B. J., Cook, A. C., Eble, C., Flores, D., Gentzis, T., Gonçalves, P. A., Mendonça Filho, J. G., Hámor-Vidó, M., Jelonek, I., Kommeren, K., Knowles, W., Kus, J., Mastalerz, M., Menezes T. R., Newman, J., Oikonomopoulos, J. K., Pawlewicz, M., Pickel, W., Potter, J., Ranasinghe, P., Read, H., Reyes, J., De La Rosa Rodriguez, G., de Souza, I. V. A. F., Suárez-Ruiz, I., Sýkorová I., & Valentine, B. J., 2015. Standardization of reflectance measurements in dispersed organic matter: Results of an exercise to improve interlaboratory agreement. *Marine and Petroleum Geology*, 59: 22–34.
- Hantschel, T. & Kauerauf, A., 2009. *Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling*. Springer, Heidelberg, 436 pp.
- Hartkopf-Fröder, C., Königshof, P., Littke, R. & Schwarzbauer, J., 2015. Optical thermal maturity parameters and organic geochemical alteration at low-grade diagenesis to anchimetamorphism: A review. *International Journal of Coal Geology*, 150–151: 74–119.
- Henry, D.G., Jarvis, I., Gillmore, G., Stephenson, M. 2019. A rapid method for determining organic matter maturity using Raman spectroscopy: Application to Carboniferous organic-rich mudstones and Coals. *International Journal of Coal Geology*, 203: 87–98.
- Jarmolowicz-Szulc K., 1984. Geochronologiczne studium fragmentu północnej osłony granitu Karkonoszy przy pomocy metod trakowych. *Archiwum Mineralogiczne* vol. 39: 139–183.

- Kalvoda, J., Bábek, O., Fatka, J., Leichmann, R., Melichar, S., Nehyba, P., Spacek, 2008. Brunovistulian terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from Late Proterozoic to Late Paleozoic: a review. *International Journal of Earth Sciences* 97: 497–518.
- Karnkowski, P.H., 2003. Carboniferous time in the evolution of the Lublin Basin as the main hydrocarbon formation stage in the Lublin area – results of the geological modelling (PetroMod). *Przegląd Geologiczny*, 51: 783–790.
- Kędzior, S., 2015. Methane contents and coal-rank variability in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*, 139: 152–164.
- Kouketsu, Y., Mizukami, T., Mori, H., Endo, S., Aoya, M., Hara, H., Nakamura, D. & Wallis, S., 2014. A new approach to develop the Raman carbonaceous material geothermometer for low-grade metamorphism using peak width. *Island Arc*, 23: 33–50.
- Kříbek, B., Žák, K., Dobeš, P., Leichmann, J., Pudilová, M., René, M., Scharm, B., Scharmová, M., Hájek, A., Holeczy, D., Hein, U. F. & Lehmann, B., 2009. The Rožná uranium deposit (Bohemian Massif, Czech Republic): shear zone-hosted, late Variscan and post-Variscan hydrothermal mineralization. *Mineralia Deposita*, 44: 99–128.
- Kučera, J., Muchez, P., Slobodnik, M. & Prochaska, W., 2010. Geochemistry of highly saline fluids in siliciclastic sequences: genetic implications for post-Variscan fluid flow in the Moravo-silesian Palaeozoic of the Czech Republic. *International Journal of Earth Sciences*, 99: 269–284.
- Lahfid, A., Beyssac, O., Deville, E., Negro, F., Chopin, C. & Goffé, B., 2010. Evolution of the Raman spectrum of carbonaceous material in low-grade metasediments of the Glarus Alps (Switzerland). *Terra Nova*, 22: 354–360.
- Lünsdorf, N. K., 2016. Raman spectroscopy of dispersed vitrinite — methodical aspects and correlation with vitrinite reflectance. *International Journal of Coal Geology*, 153: 75–86.
- Mazur, S, Aleksandrowski, P, Kryza, R. & Oberc-Dziedzic, T., 2006. The Variscan Orogen in Poland. *Geological Quarterly*, 50: 89–118.
- Mazur, S., Aleksandrowski, P., Gaęała, Ł. Krzywiac, P., Żaba, J., Gaidzik, K., Sikora, R., 2020. Late Palaeozoic strike-slip tectonics versus oroclinal bending at the SW outskirts of Baltica: case of the Variscan belt's eastern end in Poland. *International Journal of Earth Sciences (formerly Geol. Rundsch)* 109: 1133–1160.
- Mullis, J., Dubessy, J., Poty, B. & O'Neil, J., 1994. Fluid regimes during late stages of a continental collision: physical, chemical, and stable isotope measurements of fluid inclusions in fissure quartz from a geotraverse through the Central Alps, Switzerland. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 58: 2239–2267.
- Pasteris, J. D. & Wopenka, B., 1991. Raman spectra of graphite as indicators of degree of metamorphism. *Canadian Mineralogist*, 29: 1–9.
- Rahl, J. M., Anderson, K. M., Brandon, M. T. & Fassoulas, C., 2005. Raman spectroscopic carbonaceous material thermometry of low-grade metamorphic rocks: Calibration and application to tectonic exhumation in Crete, Greece. *Earth and Planetary Science Letters*, 240: 339–354.
- Reiners, P.W. 2005. Zircon (U-Th)/He thermochronometry. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 58 (1): 151–179.

- Suchý, V., Frey, M. and Wolf, M. 1997. Vitrinite reflectance and shear-induced graphitization in orogenic belts: A case study from the Kandersteg area, Helvetic Alps, Switzerland. *International Journal of Coal Geology*, 34: 1–20.
- Sweeney, J. J. & Burnham, A. K., 1990. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74: 1559–1570.
- Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R. & Robert, P., 1998. *Organic Petrology: A New Handbook Incorporating Some Revised Parts of Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704 pp.
- Teichmüller, M., 1987. Organic material and very low-grade metamorphism. In: Frey M. (ed.) *Low-temperature metamorphism*. Chapman and Hall, New York, pp. 114–161.
- Warr, L. N. & Mählmann, R. F., 2015. Recommendations for Kübler Index standardization. *Clay Minerals*, 50: 283–286.
- Wilkins, R.W.T., Boudou, R., Sherwood, N. and Xiao, X. 2014. Thermal maturity evaluation of inertinites by Raman spectroscopy: the RaMM technique. *International Journal of Coal Geology*, 128–129: 143–152.
- Wilkins, R.W.T., Wang, M., Gan, H. and Li, Z., 2015. A RaMM study of thermal maturity of dispersed OM in marine source rocks. *International Journal of Coal Geology*, 150–151: 252–264.
- Yalcin, M. N., Littke, R. & Schsenhofer, R. F., 1997. Thermal history of sedimentary basins. In: Welte, D. H., Horsfield, B., & Baker, D. R. (eds), *Petroleum and Basin Evolution*. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London: pp. 71–168.

