

Warszawa, 10.03.2021r.

Prof. dr hab. Ewa Olempska-Roniewicz
Emerytowany profesor
Instytutu Paleobiologii
Polskiej Akademii Nauk

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr Krzysztofa Brody
pt. "Paleontologia, tafonomia i środowisko pogrzebania stawonogów z dolnego famenu
kamieniołomu Kowala, Góry Świętokrzyskie"

Rozprawa doktorska mgra Krzysztofa Brody pt. "Paleontologia, tafonomia i środowisko pogrzebania stawonogów z dolnego famenu kamieniołomu Kowala, Góry Świętokrzyskie", została wykonana na Uniwersytecie Śląskim, Wydziale Nauk Przyrodniczych w Instytucie Nauk o Ziemi, pod kierunkiem prof. dr hab. Michała Zatonia.

Tekst rozprawy doktorskiej składa się z dwu części. Pierwsza część została przedstawiona jako manuskrypt w języku polskim, liczący 36 stron. Początek tej części zawiera krótki abstrakt, spis treści, oraz wykaz 5 publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Główny tekst pierwszej części rozprawy składa się z 10 rozdziałów. Poszczególne rozdziały przedstawiają tematycznie uporządkowane streszczenia wyników zawartych w pięciu publikacjach wchodzących w skład dysertacji, oraz podsumowanie, spis literatury i wykaz pozostałych publikacji w których pan Krzysztof Broda jest współautorem. Część druga, licząca 85 stron to wydruk pięciu publikacji w języku angielskim stanowiących spójny, monotematyczny cykl publikacji, opublikowanych w dobrych periodykach z tzw. Listy Filadelfijskiej: *Journal of Systematic Palaeontology*, *Papers in Palaeontology*, *Historical Biology*, *Proceedings of the Geologists' Association* i *Scientific reports*. We wszystkich wymienionych publikacjach Krzysztof Broda jest pierwszym autorem a udział współautorów jest udokumentowany oświadczeniami.

Mgr Krzysztof Broda podjął się badań nad wymarłą grupą stawonogów Thylacocephala, zwykle bardzo słabo zachowanych w stanie kopalnym, prawie wyłącznie na powierzchni warstw, ale też grupą bardzo ciekawą, o wątpliwej przynależności taksonomicznej nawet na szczeblu gromady, o nieznanym trybem życia, a jednocześnie ważną dla odtworzenia filogenezy stawonogów. Drugą badaną grupą są stawonogi

Phyllocarida (liścioraki), znane od kambru aż do dziś, choć ich skamieniałości są bardzo rzadkie.

Analizowany materiał stawonogów zawierał ponad 650 okazów. Poza materiałami zgromadzonymi samodzielnie z famenu kamieniołomu Kowala oraz z polskich kolekcji muzealnych, doktorant studiował porównawcze materiały Thylacocephala z Muzeum Historii Naturalnej w Londynie i Muzeum Narodowego w Pradze.

Opisano jeden nowy rodzaj, trzy nowe gatunki Thylacocephala, oraz dwa nowe gatunki Phyllocarida.

Manuskrypt obejmuje szeroki zakres badań dotyczących morfologii, taksonomii, ekologii i rozprzestrzenienia paleogeograficznego badanych makro-stawonogów dolnego famenu kamieniołomu Kowala. Zgromadzona kolekcja pozostałych makro-skamieniałości z tych samych warstw w których występują stawonogi, posłużyła do rekonstrukcji paleośrodowiska badanego profilu, łącznie z omówieniem najnowszych poglądów oraz odpowiednią literaturą.

Długość rozprawy i układ pracy są spójne i dobrze zaplanowane i jakość figur jest dobra. Na podkreślenie zasługuje staranne przygotowanie pracy i kompletny spis literatury. Uwagi dotyczące poszczególnych rozdziałów podano poniżej.

Ocena

Część pierwsza rozprawy, przedstawiona w języku polskim, poprzedzona jest krótkim abstraktem, spisem treści oraz wykazem publikacji wchodzących w skład rozprawy oraz z 10 kolejnych rozdziałów.

Rozdziały 1-3 to wstęp, cele pracy, wykaz opublikowanych prac stanowiących rozprawę doktorską wraz z ich punktacją z listy MNiSW, obszar badań, charakterystyka badanego profilu oraz materiał i metody badań. W rozdziałach tych zawarto szczegółowe informacje o historii badań na tym terenie, omówiono występowanie i stan wiedzy o faunie z osadów dewońskich i dolno karbońskich w osadach kamieniołomu Kowala, z ilustracjami niektórych skamieniałości.

Główne cele pracy zostały dobrze przedstawione i sformułowane. Nie-trylobitowa fauna makro-stawonogów z osadów paleozoiku Polski jest słabo poznana dlatego też nowe dane zawarte w rozprawie a dotyczące ich występowania, anatomii, warunków środowiskowych i warunków pogrzebienia stawonogów Thylacocephala i Phyllocarida z dewonu Gór Świętokrzyskich mają istotne znaczenie dla poznania tych ciągle 'tajemniczych' zwierząt.

Przedstawiono również charakterystykę badanego profilu a szczególnie dolnego famenu będącego przedmiotem szczegółowych badań. W trakcie badań zweryfikowano wiek występowania tzw. " Kowala laggerstätte" którego występowanie ograniczone jest po konodontowego poziomu późny *P. triangularis*, (Broda i in. 2019), a nie do poziomu *P. crepida* jak uważano we wcześniejszych publikacjach.

Szczegółowo omówiono cały materiał skamieniałości z badanej części profilu oraz stan jego zachowania. Omówiono też prace mikroskopowe oraz cel i metodykę analiz geochemicznych oraz budowę części miękkich oraz karapaksów Thylacocephala i Phyllocarida zarówno z danych literaturowych jak i nowych cech zaobserwowanych przez Autora i współautorów. Są to obszernie i klarowne rozdziały.

Drobne uwagi do tej części rozprawy:

str. 2, linia 4, powinno być "obejmują przedstawicieli gromady Thylacocephala i podgromady Phyllocarida".

str. 2, w abstrakcie lepiej byłoby podać na jakim szczeblu, rodzajowym czy gatunkowym, wzór mikro-ornamentacji identyfikuje przynależność taksonomiczną.

str. 15. w opisie materiału jest pewna niejasność (również w publikacjach) z oznaczeniem numeracji okazów, numery katalogowe Thylacocephala oznaczone są jako 4-3622/ oraz 4-3622/Th. Natomiast w publikacjach jest tylko numeracja 4-3622/. Brak oznaczonych jako 4-3622/Th. W publikacji dotyczącej Phyllocarida (2018) są numery 4-3622/ i 4-3622/Ph.

str. 15 , 3 linia od dołu, "Rhynhonellida sp., " Rhynchonellida to nazwa rzędu nie rodzaju wobec tego powinno być "przedstawiciele Rhynchonellida".

W całym tekście polskim nazwy gatunkowe jak i rodzajowe powinny być pisane kursywą.

Rozdział 4: Taksonomia stawonogów dewonu Kowali. (publikacja w *Journal of Systematic Palaeontology*, 2020 i *Papers in Palaeontology*, 2018)

Rozdział 4 to bardzo ważny rozdział wprowadzający w tematykę znaczenia cech morfologicznych Thylacocephala i Phyllocarida, ważnych dla ich identyfikacji taksonomicznej.

W pierwszej publikacji (*Journal of Systematic Palaeontology*, 2020), Krzysztof Broda wraz z zespołem podjęli badania nad znaczeniem mikro-ornamentacji występującej na powierzchni pancerzy Thylacocephala, dla ich identyfikacji taksonomicznej. Badania prowadzono zarówno na materiale z famenu kamieniołomu Kowala ale w oparciu o okazy

muzealne z Pragi Czeskiej, Londynu i Waszyngtonu. Wyróżniono trzy główne wzory mikro-ornamentacji powierzchni karapaksu: linearny, poligonalny i łuskowy. Udowodniono, że poszczególne gatunki, oznaczane poprzednio na podstawie zarysu pancerza charakteryzują się określonym typem mikro-ornamentacji, niezależnie od ich stadium wzrostowego, paleo-obszaru na którym występują jak i wieku osadów.

To nowatorskie podejście do taksonomii, daje podstawę do dalszych badań i wskazuje drogę do szerszych zastosowań cech mikro-ornamentacji dla taksonomii Thylacocephala. Jeśli ta cecha potwierdzi się na większym materiale i z różnego typu osadów, może to wskazywać na silną biologiczną kontrolę u Thylacocephala nie zaburzaną przez kontrolę czynników środowiskowych.

W oparciu o te badania przeprowadzono rewizję rodzaju *Concavicaris* i opisano trzy nowe gatunki tego rodzaju oraz utworzono nowy rodzaj *Paraconcavicaris*. Opisy są szczegółowe, cechy prawidłowo interpretowane i świadczące o szerokiej wiedzy z istniejącej literatury.

Wątpliwa wydaje się interpretacja owalnej struktury na Fig. 2B jako odcisku mięśnia adduktora (również przez autorów oznaczona znakiem zapytania). Adduktor u wielu skorupiaków posiadających dwie ruchome części (skorupki) służy do zamykania skorupki tworząc zamknięty pancerzyk. Czy są jakieś dowody na to że pancerz Thylacocephala składał się z dwu ruchomych części?

Obszernie omówiono wczesne poglądy na przynależność systematyczną wielu taksonów zaliczanych do Thylacocephala i współczesne podejście do tej systematyki, łącznie z poglądami doktoranta, świadczącymi o doskonałym przygotowaniu do realizacji założonych celów. Praca ta już ma jedno cytowanie w periodyku z tzw. Listy Filadelfijskiej (baza *Scopus*).

Druga część tego rozdziału przedstawia wyniki badań opublikowane w *Papers in Palaeontology*, 2018 i dotyczy bardzo ciekawego znaleziska pancerzy liścioraków (Phyllocarida), niektórych wraz z zachowanymi częściami miękkimi oraz okazów izolowanych części miękkich w osadach famenu kamieniołomu Kowala. Opisano dwa nowe gatunki, jeden rodzaju *Echinocaris* i jeden rodzaju *Montecaris*. U jednego z okazów Krzysztof Broda zaobserwował unikalne znalezisko prawdopodobnego uszkodzenia części ogonowej i następne zalecenie uszkodzonej części furki. Szerokie rozprzestrzenienie gatunków Phyllocarida, Krzysztof Broda tłumaczy dyspersją stadiów larwalnych za pośrednictwem prądów morskich. Opisy gatunków są szczegółowe, wskazują na dogłębne

rozumienie morfologii liścionogów jak i znajomości literatury zwłaszcza starszej jak i najnowszej. Dowodem dużego znaczenia tej pracy jest już 6 cytowań (baza *Scopus*).

Rozdział 5: Budowa pancerzy Thylacocephala. (publikacja w *Historical Biology*, 2017).

Rozdział 5 omawia badania oraz ich wyniki dotyczące mikrostruktury ścian pancerza Thylacocephala z famenu Kowali oraz mikrostruktur częściowo widocznych na powierzchni pancerza a częściowo kontynuujących się wewnątrz ścian pancerza. Opisy i interpretacja tych struktur powiązana jest z interpretacją procesów biomineralizacji pancerzy.

Krzysztof Broda wraz ze współautorami wykazał, że ściany pancerzy badanych okazów widoczne w poprzecznych przełamach wskazują lamelarną mikrostrukturę. Natomiast na powierzchni pancerza w centralnej części większości poligonów (mikro-ornamentacja) znajdują się okrągłe lub owalne zagłębienia. Dodatkowo w częściach marginalnych pancerza w poprzecznych przełamach widoczne są 'pola' tubularnych mikrostruktur, występujące gęsto i równoległe do siebie. Te struktury nie wykazują ujść na powierzchni skorupki (np. Fig. 4D, F w publikacji).

Krzysztof Broda interpretuje okrągłe struktury na powierzchni jako ujścia włosków czuciowych (np. Fig. 7B w publikacji). Natomiast ta sama struktura ale obecna na powierzchni po eksfoliacji warstwy zewnętrznej może występować jako mały okrągły otworek (np. Fig. 3A w publikacji) lub jako kształt lekko banieczkowaty z otworem pośrodku (Fig. 4B,C; 6D). Ta ostatnia struktura zdaniem autorów reprezentuje miejsca mocowania włosków czuciowych. Brak poligonalnej mikro-ornamentacji na warstwie z okrągłymi otworkami oraz ze strukturą mocowania włosków czuciowych, dodatkowo potwierdza ich pierwotne położenie wewnątrz ścianki pancerza, na powierzchniach lamelarnych. Odkrycie tych struktur i ich interpretacja, całkowicie poprawna moim zdaniem, ma niewątpliwie duże znaczenia dla poznania morfologii tych zwierząt. Znaleźiska są nowe i w mojej opinii bardzo zbliżają Thylacocephala do skorupiaków (Crustacea), co sugeruje także Krzysztof Broda przez porównanie ze strukturami sensorycznymi u skrzypłocza rodzaju *Limulus*.

Mogę tylko dodać, że bardzo podobne struktury sensoryczne występują u współczesnych i kopalnych Ostracoda, stawonogów z gromady Crustacea. Ujścia włosków czuciowych widoczne są u nich na powierzchni egzokutikuli (epikutilula zwykle nie jest zachowana). Mocowanie włoska czuciowego w kanale ma miejsce na pograniczu egzokutikuli i

endokutikuli, a wewnątrz egzokutikuli występuje kanał w którym występuje nerw łączący włoszek czuciowy z warstwą epidermalną i wnętrzem ciała.

Natomiast wewnętrzne kanały występujące w częściach marginalnych karapaksów są w pełni prawidłowo interpretowane jako pozostałości systemu sensorycznego. Moim zdaniem wykazują one uderzające podobieństwo do gęsto rozmieszczonych marginalnych kanałów porowych u Ostracoda. Brak ujść na powierzchni może być wtórna, być może powierzchnia jest tu pokryta bardzo cienką wtórną warstewką fosforanu wapnia.

O istotnym znaczeniu wyników zawartych w tej publikacji świadczy jej 9 cytowań (baza *Scopus*. 1.3.2021), w czasie stosunkowo krótkim od momentu publikacji.

Rozdział 6: Pozycja Thylacocephala w paleoekosystemie Kowali i tafonomia ich pancerzy. (publikacja w *Proceedings of the Geologists' Association*, 2015).

Rozdział 6 omawia stan zachowania pancerzy Thylacocephala, proporcji pancerzy zachowanych w całości, częściowo zachowanych, częściowo uszkodzonych oraz fragmentów pancerzy oraz przyczyn powstałych uszkodzeń. Autor przeanalizował 225 okazów, i w zależności od stopnia uszkodzenia wydzielono 7 grup od kompletnie zachowanych do izolowanych fragmentów pancerzy. W zespole dominują pancerze kompletne lub lekko uszkodzone. Według doktoranta fragment pancerzy z o gładkich krawędziach sugerują tafonomiczne przyczyny uszkodzeń, krawędzie ostre sugerują atak drapieżnika i prawdopodobnie reprezentują tzw. wypłwki z jamy ustnej drapieżnika resztek części twardych po połknięciu części miękkich. Zdaniem Krzysztofa Brody i współautorów, potencjalnymi drapieżnikami atakującymi żywe thylacocephale były ryby, których szczątki współwystępują w profilu dolnego famenu Kowali, niezależnie od tego, że same Thylacocephala były też drapieżnikami.

Na podkreślenie zasługują dobrej jakości ilustracje. 12 cytowań (baza *Scopus*) świadczy o dużym zainteresowaniu wynikami tej pracy.

Rozdział 7: Wpływ warunków beztlenowych na zachowanie skamieniałości badanych stawonogów (publikacja w *Scientific reports*, 2019).

W trakcie badań nad fauną stawonogów, Krzysztof Broda zaobserwował zmiany częstości występowania ich okazów w badanym profilu. Dlatego też przeprowadzono analizę ilościową makro-skamieniałości towarzyszących stawonogom, głównie najliczniejszych

ramienionogów i ortokonowych łodzikowatych. Stawonogi są trzecią w kolejności najliczniejszą grupą. Zaobserwowano też ogólny spadek liczebności stawonogów w kierunku warstw młodszych w profilu, ale też kilka maksimów ich udziału gdzie stawonogi stanowią ponad 86% wszystkich okazów.

Przeprowadzono też za pomocą badań geochemicznych, szczegółowe badanie zmienności parametrów środowiska w badanym profilu. Stwierdzono występowanie trzech okresów występowania warunków euksynicznych w strefie fotycznej (PZE-Photic Zone Euxynia). Zaobserwowano, że podczas trwania tych okresów występuje spadek liczebności okazów stawonogów. Przyczyn tego spadku autorzy upatrują w czynnikach tafonomicznych, głównie niedogodnych warunków pogrzebania organizmów.

Autorzy podkreślają, że odwrotna sytuacja występuje np. w górnofrańskim stanowisku w Australii, gdzie w PZE sfosfatyzowane okazy Thylacocephala i Phyllocarida są licznie zachowane. Masowe występowanie sfosfatyzowanych okazów stawonogów Phosphatocopina występuje również w warunkach beztlenowych w górnym kambrze Polski (np. Olempska i in. 2019). Jak podkreśla Krzysztof Broda ze współautorami, zróżnicowane procesy tafonomiczne jak i środowiskowe, ale też przystosowanie zwierząt do niekorzystnych warunków, wymagają dalszych badań.

Pracę tą oceniam jako bardzo interesującą, inspirującą do dalszych tego typu badań. Praca jest 4 razy cytowana (baza *Scopus*).

Rozdziały 8-10, to krótkie podsumowanie wyników pracy, obszerny spis literatury zawartej we wszystkich publikacjach oraz cytowanej w pierwszych trzech rozdziałach rozprawy w języku polskim, oraz spis pozostałych publikacji Krzysztofa Brody, nie wchodzących w skład dysertacji.

Ogólna ocena rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska jest ważnym wkładem w badania nad paleozoiczną fauną stawonogów, z dwu grup Thylacocephala i Phyllocarida, słabo poznanych choć pierwsza z nich znana jest prawdopodobnie od kambru do górnej kredy, a druga pojawia się w kambrze i występuje do dziś. Ważną cechą rozprawy jest jej wieloaspektowość. Zaplanowane badania i ich wyniki skupiają się przede wszystkim na taksonomii, mineralogii i mikrostrukturach oraz środowisku życia tych dwu ważnych grup stawonogów. Większość wyników jest opublikowana przez Krzysztofa Brodę i współautorów w periodykach z

dziedziny morfologii i paleontologii z dobrym IF. Publikacje już są znane szerokiemu gronu badaczy morskich bezkręgowców. Świadczą o tym liczne cytacje, 32 cytacje prac wchodzących w skład rozprawy (baza *Scopus*, 01.03. 2021) oraz 39 cytacji innych prac w których Krzysztof Broda jest współautorem. Obserwacje są nowe i oryginalne, a interpretacje dokładnie uzasadnione. Figury są dobrej jakości, choć materiał nie był łatwy do fotografowania. Dysertacja jest dobrze napisana. Spis literatury liczy zawiera pozycje zarówno klasycznej literatury jak i najnowszej. Moja ocena jest zdecydowanie pozytywna, bez uwag negatywnych. Dyskusyjne uwagi zawarte są w tekście oceny. Krzysztof Broda jest autorem/współautorem 11 publikacji znajdujących się w bazie *Scopus*. Prace te mają 69 cytowań. Index-h Krzysztofa Brody wynosi 5.

Wniosek

Rozprawa doktorska Pana magistra Krzysztofa Brody pt. "Paleontologia, tafonomia i środowisko pogrzebania stawonogów z dolnego famenu kamieniołomu Kowala, Góry Świętokrzyskie", spełnia warunki rozprawy doktorskiej oraz ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dn. 14 marca 2003r. z późniejszymi zmianami i może być podstawą do dopuszczenia do dalszego toku postępowania, publicznej obrony.

Wysoko oceniam znaczenie uzyskanych wyników i wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Krzysztofa Brody.



Prof. dr hab. Ewa Olempska-Roniewicz