

Warszawa, 4.08.2023

Prof. dr hab. Mariusz Majdański
Instytut Geofizyki
Polskiej Akademii Nauk
ul. Księcia Janusza 64
01-452 Warszawa
email: mmajd@igf.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

Pani mgr Aleksandry Stachowskiej zatytułowanej

„Późnokredowa tektoniczno-sedymentacyjna ewolucja północnej Polski – opracowanie na podstawie regionalnych danych sejsmicznych”

Recenzowana rozprawa doktorska wykonana została pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Piotra Krzywca. Poniższa recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych PAN z dnia 15 czerwca 2023 r. numer dokumentu DIN.000.3.2023/AS. Oba artykuły naukowe przeszły proces recenzji, dlatego w tej recenzji koncentruje się ocenie prac badawczych oraz spójności dzieła, a nie na elementach typowo związanych z recenzją artykułów.

1. Informacje ogólne

Rozprawa doktorska składa się z opisu mającego układ artykułu naukowego w języku polskim oraz, stanowiących podstawę rozprawy, dwóch artykułów naukowych w języku angielskim.

Artykuły wchodzące w rozprawę doktorską:

- I. Aleksandra Stachowska, Piotr Krzywiec, 2021, Depositional architecture of the Upper Cretaceous succession in central Poland (Grudziądz-Polik area) based on regional seismic data. Geological Quarterly Vol 65, No 2, 65: 21.
- II. Aleksandra Stachowska, Piotr Krzywiec, 2023, The Late Cretaceous tectono-sedimentary evolution of northern Poland – A seismic perspective on the role of transverse and axial depositional systems during basin inversion. Marine and Petroleum Geology, 152: 106224.

Dodatkowo rozprawa powołuje się na sześć abstraktów konferencyjnych wszystkie autorstwa Stachowska, Krzywiec opublikowane w latach 2017-2022. Prace badawcze stanowiące podstawę rozprawy wykonane były w ramach projektu badawczego pt. „Struktura i ewolucja fanerozoiczna basenu bałtyckiego na podstawie zintegrowanej interpretacji danych geologicznych i geofizycznych

oraz modelowań ewolucji pokrywy osadowej” nr 2015/17/B/ST10/03411 finansowanego przez NCN i kierowanego przez promotora pracy dr hab. Piotra Krzywca.

2. Problem badawczy

Głównym celem pracy jest stworzenie modelu późnokredowej tektoniczno-sedymentacyjnej ewolucji północnej części basenu polskiego. Doktorantka szczegółowo opisuje rozpoznane w wyniku prac badawczych regionalne i lokalne niezgodności, luki stratygraficzne czy nowy model ewolucji obszaru, ale nie precyzuje wyraźnie tez pracy.

Z dużym zainteresowaniem podjąłem się recenzji tej pracy, ponieważ opisuje interpretację wysokiej jakości danych przemysłowych uzyskanych w największym w Polsce projekcie sejsmiki regionalnej POLANDSPAN wykonanym przez firmę ION Geophysical, oraz wykorzystuje uznane przemysłowe procedury oraz oprogramowanie najlepszych firm naftowych. W analizach doktorantka wykorzystowała 5 regionalnych, dwuwymiarowych profili z projektu PolandSPAN o niespotykanej w Polsce rozdzielczości. Dodatkowo korzystała z archiwalnych danych sejsmicznych w formie 49 profili 2D, 14 profili do rozpoznania gazu łupkowego oraz 9 starszych profili regionalnych. Do dowiązania danych sejsmicznych doktorantka przeanalizowała dane z 154 otworów wiertniczych, z których bezpośrednio w pracy wykorzystowała 36. Zgodnie z oświadczeniami autorów artykułów całość tych prac została wykonana przez doktorantkę. Wykonanie tej analizy wiązało się z dużym nakładem prac, o którym dowiadujemy się z rozprawy, a niestety nie widzimy tej informacji w artykułach.

3. Struktura rozprawy

Praca składa się z trzech części: zasadniczej części pracy o układzie artykułu naukowego w języku polskim oraz przedruku dwóch artykułów naukowych w języku angielskim.

Rozprawa w języku polskim to spójny, 38 stronicowy tekst. Całość napisana jest niezwykle starannie z dosłownie kilkoma literówkami. Ta część zawiera jedynie 5 figur nastwionych głównie na przedstawienie danych użytych w pracy. Do zrozumienia osiągnięć pracy niezbędne jest przeczytanie artykułów.

Wstęp określa cel badawczy jako stworzenie spójnego modelu późnokredowej ewolucji tektonicznej i sedymentacyjnej obszaru północnej Polski w oparciu o integrację danych geologicznych i geofizycznych. Zawiera również bardzo dokładny opis obszaru badań z wieloma referencjami do wcześniejszych prac.

Kolejny rozdział to opis historii badań kredy górnej z opisem bardzo bogatej literatury w temacie. Jako geofizyk nie jestem w stanie ocenić kompletności wskazanej literatury i pozostawię to pozostałym recenzentom.

Następny rozdział opisuje dane geofizyczne (sejsmikę) oraz geologiczne (odwierty) użyte w pracach badawczych. To krótki, ale dokładny opis charakteryzujący projekt PolandSPAN o łącznej długości ok. 2200 km wysokorozdzielczej sejsmiki. Wspomniane są również starsze, archiwalne dane sejsmiczne. Niestety oprócz figury 2 prezentującej mapę z ich lokalizacją w całej rozprawie jak również w

artykułach nie znalazłem śladu tych danych. Dalej opisane są dane otworowe wraz z referencjami literaturowymi opisujące wybrane 36 profili zawierających informacje o kredzie górnej o łącznej długości rdzeni ok. 560 m.

Kolejny rozdział to opis metodyki badań. Wymienione jest przemysłowe oprogramowanie użyte do analiz, tj. SMT Kingdom do interpretacji danych sejsmicznych, ArcGIS do wizualizacji danych. Analiza rdzeni opisana jest lakonicznie jako analiza opisów litologicznych. Tu trudno mi określić zakres prac doktorantki. Jedyny ślad to Figura 6 w drugim artykule przedstawiająca wybraną dokumentację fotograficzną, z której domyślam się że materiał geologiczny był bezpośrednio badany. Czy była to jedynie analiza opisów czy reinterpretacja uwzględniająca badania laboratoryjne, trudno stwierdzić.

Następnie opisana jest interpretacja danych sejsmicznych. Ten rozdział jest bardzo uproszczony i dosłownie na jednej stronie próbuje przedstawić pełną analizę danych sejsmicznych od preprocesingu do migracji, tłumacząc jednocześnie podstawy fizyczne propagacji fal w ośrodku ciągłym. W tym samym rozdziale doktorantka wspomina o analizie dokładności i rozdzielczości na profilach z PolandSPAN. W dwóch kolejnych zdaniach stwierdzono, że wyznaczono granice sejsmiczne dla spągów mezozoiku, permu, triasu, jury albu i kenozoiku oraz ujednotwiono zakres amplitud i przesunięto dostosowując do danych sejsmicznych. Ten zakres prac jest bardzo ważny, z pewnością był czasochłonny i jest znaczącym osiągnięciem doktorantki, czego nie widać w tym krótkim opisie.

Dalej w krótkim opisie wytłumaczony jest proces dowiązania danych otworowych do sejsmiki oraz generacja sejsmogramów syntetycznych. Rozumiem, że całość wykonana została w zamkniętym, przemysłowym oprogramowaniu SynPAK i GeosSYN z IHS Kingdom, jednak brakuje mi podstaw fizycznych tłumaczących cały proces.

Następnie doktorantka bardziej szczegółowo opisuje stratygrafię sejsmiczną w bardzo czytelny sposób tłumacząc metody interpretacji układu granic sejsmicznych. Widać tym samym, że była to dla doktorantki istotna część jej pracy.

Wyniki badań opisane są jako polskojęzyczne streszczenia artykułów naukowych tworzących rozprawę. Artykuł I opisuje analizy dla jednego profilu PL1-1100 i dwóch odwiertów Grudziądz IG i Polik IG1. Wynikiem analiz jest opisanie nieznannej wcześniej śród-górnokredowej niezgodności regionalnej w rejonie Grudziądz-Polik, niezgodnej z modelem layer-cake. Niezgodność ta dzieli sukcesję kredy górnej na dwie regionalne jednostki (dolną i górną) o różnej geometrii wewnętrznej. W celu wyjaśnienia późnokredowej ewolucji tego odcinka basenu polskiego zaproponowano model rozwoju sukcesji osadowej zakładający erozję po regionalnym wypiętrzeniu na skutek wybożenia krawędzi kratowu na skutek regionalnego pola naprężeń ściskających, które doprowadziło do inwersji basenów. Artykuł II jest znacznie obszerniejszy i opisuje nowy model tektoniczno-sedymentacyjny późnokredowej ewolucji północnej części basenu polskiego. Przedstawia szczegółową analizę sejsmo-stratygraficzną sukcesji z północno-zachodniej części synklinorium kościerzysko-puławskiego oraz monokliny mazursko-podlaskiej, bazującej na pięciu profilach regionalnych PolandSPAN oraz 10 otworach wiertniczych. Kluczowy wynik to rozpoznanie licznych wcięć, lateralnych zmian miąższości oraz lokalnych niezgodności. Wyróżniono także 4 etapy ewolucji tektoniczno-sedymentacyjnej badanego obszaru, a także zidentyfikowano dwa rodzaje prądów konturowych powiązanych z prądami dennymi. W artykule opisano także bardziej szczegółowo zjawisko związane z wybożeniem litosfery.

Podsumowanie pracy jest bardzo dobrym, spójnym opisem osiągnięć, które są czytelne i dobrze udokumentowane. Szkoda, że podsumowanie nie jest odpowiedzią na tezy pracy, których doktorantka nie postawiła.

Omówienie artykułów

Artykuł I wydany w *Geological Quarterly* jest bardzo dobrym artykułem prezentującym interpretację danych sejsmicznych. Zgodnie ze sztuką opisy geologii regiony oraz metod są uproszczone i jedynie cytują najważniejsze prace interpretacyjne i metodyczne. Figury są bardzo starannie przygotowane. W końcu przedstawiono porównanie nowoczesnej sejsmiki do danych archiwalnych, w którym widać wyraźną przewagę danych PolandSPAN. Artykuł w sposób przystępny tłumaczy także model rozwoju sukcesji osadowej.

Artykuł II wydany jest w bardzo dobrym wydawnictwie *Marine and Petroleum Geology*. Jest to znacznie obszerniejsza praca, która odwołuje się do Artykułu I zarówno w kwestjach metod jak i uzyskanych wcześniej wyników. Praca przedstawia analizę pięciu profili regionalnych i 10 odwiertów interpretując całościowo region północnej Polski. Całość jest dobrze ilustrowana z prezentacją zarówno interpretacji sejsmiki jak i dostonanych modeli tłumaczących dynamikę procesów. Interpretacja poszczególnych fragmentów profili sejsmicznych jest niezwykle detaliczna i wnikliwa. Tu dopiero widać ogromny nakład pracy doktorantki.

4. Krytyczne i dyskusyjne uwagi dotyczące rozprawy

Praca przygotowana jest bardzo starannie. Wstęp w języku polskim jest, wg mnie, dosyć krótki i w części metodycznej zbyt ogólny. Dopiero zapoznanie się z artykułami pozwala zrozumieć zakres prac i uzasadnienie otrzymanych wyników. W tym sensie nie rozumiem formy doktoratu, gdyż dwa artykuły w języku angielskim w zupełności wystarczają do spełnienia warunków ustawy o stopniach naukowych. W moim rozumieniu część w języku polskim powinna być znacznie szerszym opisem metodycznym i/lub szerszą analizą literatury wcześniejszej oraz elementami przetwarzania i procesingu które nie mieściły się w zwyczajowo ograniczonych artykułach naukowych. W tym przypadku wstęp po polsku jest jedynie podkreśleniem uzyskanych wyników, a do tego bez jasno postawionej tezy pracy. Dla mnie jako sejsmika był za to cenny jeśli chodzi o polskie nazewnictwo specjalistyczne używane w geologii, co z pewnością ma wartość także edukacyjną dla czytelników tej rozprawy. Oprócz tej ogólnej uwagi mam kilka pytań szczegółowych, które chciałbym wyjaśnić podczas formalnej obrony:

- 1) Opis przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych jest bardzo uproszczony. Dla mnie jako specjalisty od sejsmiki jest to zdecydowanie zbyt mało, a od rozprawy doktorskiej oczekiwałbym pełniejszego opisu, albo chociaż solidnego odniesienia do literatury. Rozumiem jednak, że zadaniem doktorantki nie był reprocessing sejsmiki, a jedynie interpretacja wyników. Nie mniej jednak uproszczenie twierdzące, że fale akustyczne są tożsame z falami sejsmicznymi jest niedopuszczalne. W tym samym rozdziale doktorantka wspomina o analizie dokładności i rozdzielczości określając rozdzielczość pionową na profilach z PolandSPAN na ok. 10m jednakże bez żadnego wyjaśnienia. Wartość ta w porównaniu z poprzednimi danymi z północnej Polski jest kluczowa, ponieważ daje

możliwość szczegółowej analizy utworów górnej kredy. Jest to również ilościowe potwierdzenie jakości współczesnej wysokorozdzielczej sejsmiki przemysłowej i uzasadnienie prowadzonych analiz. Wg mnie informacja o rozdzielczości nowych danych sejsmicznych powinna być dużo mocniej podkreślona. Zostało to zrobione w Artykule I (Fig.3).

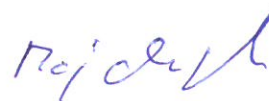
- 2) Fragment pracy w języku polskim zawiera sporo uproszczeń, np. przez pomiar geofonami otrzymuje się pomiary czasu przejścia fal – to jest uproszczenie. Otrzymuje się zapis pełnego pola falowego, wraz z charakterystyką odbiornika, z czego da się odczytać m.in. czasy przejścia fal. Dalej „przetwarzanie ma na celu usunięcie szumów, fal wielokrotnych i dyfrakcyjnych i in.” To jest ogromny zakres wiedzy, którego nie da się opisać w tej rozprawie, ale brakuje chociażby referencji do podstawowej literatury. W tym samym rozdziale doktorantka opisała „Dokonano wyrównania spektralnego oraz poprawek czasowych do referencyjnych pomiarów PolandSPAN”. Czy to było proste wygładzanie spektralne (spectral whitening) czy jakieś bardziej zaawansowane techniki wyrównania amplitud.
- 3) Fig.8 Artykułu I przedstawia korelację seismostratygraficzną pomiędzy otworami Grudziądz IG 1 i Polik IG 1 wykazując niezgodność pomiędzy etapami santon i kampan. Niestety nie widać surowych danych i trudno jest prześledzić poprawość interpretacji szczególnie w problematycznym regionie północno-zachodnim. Chciałbym zobaczyć te dane podczas obrony i, jeśli to możliwe, przedyskutować zaproponowaną interpretację.
- 4) Proces wybożenia litosfery (lithospheric buckling) został zaproponowany przez promotora pracy Piotra Krzywca już w 2018 roku, a także w analizach danych z Ukrainy w pracach ze Starostienko i Jarosinskim w 2012 i 2013. Czy to osiągnięcie przedstawione w rozprawie jest nowe czy jest jedynie potwierdzeniem hipotezy na doskonałych danych z PolandSPAN?
- 5) Przedstawione interpretacje dynamiczne są wyłącznie ćwiczeniem myślowym i nie bazują na żadnym modelowaniu ani innych obliczeniach. To jest wnioskowanie z kształtu sejsmiki, które jest z resztą bardzo dobrze opisane. Do tego sejsmika jest 2D, a pewne wnioski wymagają obrazu 3D (np. prądy denne i ich kierunki). Czy przedstawione osiągnięcia można lepiej uzasadnić modelowaniem komputerowym?
- 6) Trudno jest określić wkład merytoryczny doktorantki w finalnej interpretacji ewolucji regionu, bo pracuje z bardzo dobrym promotorem, który bada dynamikę litosfery Polski od wielu lat. Co jest autorskim wkładem doktorantki? Jej warsztat jest z pewnością potwierdzony, bo zgodnie z oświadczeniami do artykułów, wykonała całą analizę (interpretacja sejsmiki, dowiązanie odwiertów), ale to są działania na istniejącym, komercyjnym oprogramowaniu, którego da się nauczyć. Co jest nowe metodycznie? Wynik jest znakomity, bo dane PolandSPAN są wyjątkowe.

5. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa, a szczególnie drugi artykuł ją tworzący, przedstawiają oryginalne i metodycznie poprawne rozwiązanie problemu naukowego jakim jest określenie ewolucji północnej Polski w określonym okresie.

Biorąc pod uwagę ciekawe wyniki oraz wysoką jakość pracy nie mam wątpliwości, że recenzowana praca spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami (tekst jednolity w Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) oraz przez rozporządzenie MNiSW z dnia 19 stycznia 2018 r. (Dz. U. 2018 r. poz.

261). Jednocześnie, stawiam wniosek do Wysokiej Rady Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr. Aleksandry Stachowskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rojduch'.

Warszawa, 4.08.2023