

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Aleksandry Karoliny Stachowskiej pt.:

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

Formalną podstawą wykonania recenzji rozprawy jest pismo prof. dr. hab. Stanisława Mazura, Dyrektora Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk z dnia 15 czerwca 2023 r. (umowa o dzieło nr *DIN.510.1B.2023*), działającego na mocy decyzji Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk z tego samego dnia, w której zostałem powołany na recenzenta wymienionej w nagłówku rozprawy.

Praca doktorska została wykonana pod opieką promotora dr. hab. inż. Piotra Krzywca, profesora ING PAN i przedstawiona do recenzji w formie zestawienia złożonego z dwóch publikacji, poprzedzonego streszczeniem polskim i angielskim a także wstępem, w którym określono cele dysertacji i uzasadniono potrzebę ich realizacji. Autorka zaznaczyła we wstępie, że wyniki Jej badań realizowanych w ramach projektu naukowego Narodowego Centrum Nauki nr 2015/17/B/ST10/03411 przedstawione zostały szerszemu gronu nie tylko we wspomnianych dwóch publikacjach, ale także podczas szeregu prezentacji konferencyjnych, których naliczyłem sześć (w tym pięć konferencji zagranicznych).

Ponadto w części wstępnej omówiono historię badań górnej kredy oraz przedstawiono pozyskane na potrzeby doktoratu dane sejsmiczne dostępne w ramach projektu PolandSPAN™ i otworowe, głównie pochodzące z wierceń prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny oraz Polskie Górnictwo Naftowe i Gazowe w latach 1961–1987.

W dalszej kolejności Doktorantka przedstawiła zastosowane w dysertacji metody badań, w tym wykorzystanie bazy danych w programie do interpretacji danych sejsmicznych SMT Kingdom firmy IHS Markit, analizę rdzeni, interpretację danych sejsmicznych oraz sposób połączenia danych otworowych i sejsmicznych. Szczególne miejsce w tej części rozprawy zajmuje rozdział opisujący zastosowaną w rozprawie analizę sekwencji oraz facji sejsmicznych.

Zasadniczą część dysertacji zawierającą publikacje, poprzedza ich obszernie streszczenie w języku polskim oraz dodatkowo podsumowanie, wykaz 126 pozycji literatury cytowanych w części wstępnej rozprawy (+ 3 źródła internetowe) oraz załącznik 1 (choć 2 i kolejnych nie zauważyłem) ze spisem otworów wiertniczych wraz z zastosowanymi skrótami. Zatem część wprowadzająca rozprawy ujęta w 6 rozdziałach wraz z podrozdziałami, liczy ogółem 44 strony (numeracja jest prowadzona od strony tytułowej) zawierające 5 figur i 1 tabelę.

Pierwsza z przedstawionych w rozprawie publikacji pt. *Depositional architecture of the Upper Cretaceous succession in central Poland (Grudziądz-Polik area) based on regional seismic data* ukazała się w czasopiśmie *Geological Quarterly* w 2021 r., w tomie 65, zeszyt 2. Jest to wspólna publikacja Doktorantki i Promotora, przy czym Doktorantka jest wymieniona jako autor korespondencyjny. Z dołączonych do rozprawy oświadczeń autorów wynika ponadto, że udział Doktorantki w powstaniu publikacji wynosi 80%, jest więc Ona jej głównym autorem, biorącym udział we wszystkich etapach powstawania publikacji. Na wstępie należy odnieść się do rangi czasopisma, w którym ukazała się omawiana publikacja. *Geological Quarterly* należy do czołówki wydawanych w Polsce tytułów z dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, wycenionych w ostatnim wykazie czasopism MEiN z lipca 2023 na 100 punktów. Periodyk posiada współczynnik wpływu IF=1.576 (2021) i 1.0 (2022) wg Journal Citation Report firmy Clarivate, z kolei w bazie Scopus firmy Elsevier znajduje się w środku światowego rankingu czasopism bardzo pojemnego pola tematycznego *geology* (141 miejsce na 284 klasyfikowanych w tym polu). W momencie pisania recenzji, publikacja ta doczekała się 2 cytowań (w tym jedna autocytacja).

W artykule przedstawiono wyniki szczegółowej sejsmo-stratygraficznej analizy sukcesji i wewnętrznej geometrii górnej kredy segmentu warszawskiego synklinorium kościerzyńsko-puławskiego. Do analiz wykorzystano część regionalnego profilu PL1-1100 o wysokiej rozdzielczości projektu PolandSPAN™, który został skorelowany z danymi pochodzącymi z otworów badawczych Grudziądz IG 1 oraz Polik IG 1. Widoczne na sejsmogramach pochodzących ze wspomnianych otworów odbicia w obrębie górnej kredy skorelowano z kluczowymi granicami litologicznymi a także z występującym regionalnie poziomem piaskowców z glaukonitem i fosforytami górnego albu.

Jednym z najważniejszych wyników powyższych analiz jest rozpoznanie w części profilu PL1-1100 regionalnej niezgodności występującej w kompleksie osadów górnej kredy oraz innych, o nieco mniejszym zasięgu, lateralnych zmian w architekturze depozycji badanych serii osadowych w rejonie Grudziądza i Polika (gm. Rościszewo). Wspomniana nieciągłość rozdziela w tym rejonie sukcesję górnej kredy na dwa kompleksy, niżej- i wyżejległy, charakteryzujące się różną geometrią wewnętrzną osadów. Tym samym, w znacznym stopniu zmienia to dotychczasowy pogląd na występowanie na tym obszarze niezaburzonej serii, leżących zgodnie po sobie osadów górnokredowych, tzw. *layer-cake* model. Co ciekawe, niezgodność ta jest trudna do uchwycenia w obrazach geofizyki wiertniczej dostępnych pomiarów w istniejących otworach. Nie wyraża się także znaczącymi zmianami litologicznymi, pomimo jej regionalnego charakteru i nosi charakter powierzchni diachronicznej. Autorzy zwracają jednak uwagę, że powierzchnia ta może być korelowaną z powierzchniami nieciągłości znanymi z otworów zlokalizowanych w południowo-wschodniej części badanego rejonu, gdzie wyrażona jest powierzchniami nieciągłości typu twarde dno oraz luką stratygraficzną obejmującą najwyższy kampan – dolny mastrycht. Podobną lukę można zaobserwować w analizowanym profilu otworu Polik IG 1.

W artykule scharakteryzowano więc oba kompleksy rozdzielone niezgodnością: jednostka dolna cechuje się prawie poziomym układem głównie ciągłych horyzontów sejsmicznych w odróżnieniu od jednostki górnej, w której dominują ukośne odbicia sejsmiczne, stykające się z powierzchnią nieciągłości pod niewielkim kątem ($\sim 0,7^\circ$). Klinoforn jednostki górnej zanika w kierunku południowym. Poza tym, jednostki w niewielkim stopniu różnią się litofacją, przeważają osady węglanowo-krzemionkowe.

Istotną częścią publikacji jest zaproponowany jakościowy model koncepcyjny analizowanej części basenu polskiego w późnej kredzie. W modelu tym, stwierdzona niezgodność wiązana jest z kampańsko-wczesnomastytryczką erozją spowodowaną wypiętrzeniem pn.-wsch. części basenu polskiego. Przyczyny tego wypiętrzenia są trudne do jednoznacznego ustalenia, ale Autorzy sugerują wystąpienie wielkoskalowego wyboczenia krawędzi kratonu (ang. *buckling*). Deformacja ta miałaby powstać w polu naprężeń ściskających, które doprowadziły do inwersji basenów sedymentacyjnych w wielu regionach Europy, w tym w basenie polskim.

Druga z przedstawionych w dysertacji publikacji pt. *The Late Cretaceous tectono-sedimentary evolution of northern Poland – A seismic perspective on the role of transverse and axial depositional systems during basin inversion* jest obszerną kontynuacją badań nad tektoniczno-sedymentacyjną ewolucją północnej Polski w późnej kredzie. Jak wskazuje informatywny tytuł, jest to perspektywa sejsmiczna wpływu czynników wpływających na sedymentację związanych z poprzecznym i równoległym systemem depozycyjnym. Tym razem jednak pod lupę wzięto pn.-zach. część synklinorium kościerzyńsko-puławskiego oraz fragmenty segmentu warszawskiego i monokliny mazursko-podlaskiej.

Publikacja, podobnie jak pierwsza, jest dziełem Doktorantki i promotora, i podobnie jak poprzednio, Doktorantka jest autorem do korespondencji z deklarowanym udziałem 80%, pełniła więc kluczową rolę w powstaniu dzieła.

Artykuł ukazał się w czasopiśmie *Marine and Petroleum Geology*, w roku 2023, w tomie 152, nr artykułu 106224. Ponieważ data ukazania się tego tomu to czerwiec 2023, praca nie została jeszcze zacytowana ani razu, ale biorąc pod uwagę tematykę oraz rangę czasopisma, zapewne niedługo to nastąpi. Czasopismo *Marine and Petroleum* w ostatnim wykazie czasopism MEiN wycenione zostało na 140 pkt, jest zatem jednym z najlepszych czasopism w dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku. Współczynnik wpływu czasopisma (IF) wynosi obecnie 4.2 (5.361 w 2021 r.) wg JCR, zaś w bazie Scopus znajduje się w światowej czołówce czasopism w kategorii nauk o Ziemi i środowisku, np. 2/50 podkategoria stratygrafia, czy 10/284 w podkategorii geologia.

Analizę architektury systemu depozycyjnego górnej kredy oparto na analizie 5 wysokorozdzielczych profili sejsmicznych pochodzących z realizacji przytaczanego już projektu PolandSPAN™ oraz starszych profili obrazujących strukturę Koszalin-chojnice oraz pn.-wsch. część antyklinorium śródpolskiego. Profile te skalibrowano z danymi pochodzącymi z głębokich otworów wiertniczych. W 10 przypadkach kalibrację oparto na danych z sejsmogramów syntetycznych a w 8 na podstawie danych z pionowych profilowań prędkości średnich (PPS).

W rezultacie zinterpretowano w pierwszym etapie prac szereg uskoków głównych i podrzędnych, w tym wąs pas deformacji cienkonaskórkowych (ang. *thin-skinned*) w obrębie struktury Koszalin-chojnice, uwidaczniający się jako uskoki listryczne, zakorzenione w obrębie cechsztyńskich ewaporatów. Na pn.-wsch. od tej struktury deformacje tektoniczne obejmujące nadkład kratonu wschodnioeuropejskiego są znacznie słabsze - stwierdzono tam występowanie w obrębie osadów albu górnego i kredy górnej zaledwie kilku uskoków normalnych o niewielkiej amplitudzie przemieszczeń pionowych. W przypadku wyniesienia

Łeby, najbardziej wypiętrzonej struktury północnej części badanego obszaru, stwierdzono redukcję miąższości pokrywy triasowo-jurajskiej na skutek erozji przedpóźnokredowej, tworzącej regionalną niezgodność. W wyniku tej erozji, górna kreda leży bezpośrednio na dolnej lub środkowej jurze, a być może także na triasie. Ponadto, interpretacja profili sejsmicznych potwierdziła wyraźny wzrost miąższości pokrywy permo-mezozoicznej w kierunku osi antyklinorium śródpolskiego, czyli depocentrum istniejącego tam przed inwersją basenu polskiego czy też bruzdy śródpolskiej.

W kolejnym etapie analizy danych sejsmicznych, w tym przebiegu horyzontów sejsmicznych podzielono badaną sukcesję obejmującą osady górnego albu i górnej kredy na 5 jednostek sejsmicznych (*Unit 1–5*) charakteryzowanych przez wyróżnione facje sejsmiczne. Podzielono je na agradecyjne, progradacyjne i związane z sejsmicznymi formami wklęsłymi, od niewielkich, ok. 1 km do ponad 25 km, rozległych wcięć erozyjnych (ang. *moat*). Facje te skorelowano z litofacjami rozpoznanymi w otworach wiertniczych. Na tym etapie zwraca uwagę rozpoznanie nieznanymi wcześniej cech sejsmicznych typu wcięcia, lateralne zmiany miąższości oraz niezgodności świadczące o istotnej roli tektoniki inwersyjnej oraz aktywności prądów morskich na architekturę depozycji osadów górnej kredy.

Rozpoznane w ten sposób facje i struktury w obrębie wyznaczonych jednostek sejsmicznych posłużyły do skonstruowania regionalnego i trójwymiarowego modelu depozycji górnej kredy w północnej części basenu polskiego. Model uwzględnia 3 aspekty rozwoju sedymentacji, począwszy od środowisk pelagicznych, poprzez środowiska ze znaczną dostawą materiału terygenicznego z pn. brzegu lub wypiętrzonych elementów, po aktywność prądów dennych. Prądy te opływały wypiętrzone elementy antyklinorium śródpolskiego przemieszczając osady, ale także zmieniając morfologię dna morskiego. W modelu przedstawiono 4 etapy ewolucji tektoniczno-sedymentacyjnej badanego obszaru: późny albnajwcześniejszy koniak (etap I); późny koniak–santon (II); najwcześniejszy kampan (III); późny kampan–mastrycht (IV). Wspomniane prądy konturowe związane są z zakończeniem depozycji w etapie I na system prądów konturowych pn.-pd., oraz system pn. zach.-pd. wsch. zapoczątkowany w późnym koniak (etap II). Pierwszy system prądów konturowych rozwijał się wzdłuż łagodnego skłonu w obrębie szelfu, oddzielając osady silikoklastyczne występujące na pn. od osadów węglanowo-krzemionkowych głębszego zbiornika występującego na wsch. Z kolei prądy konturowe pn. zach.-pd. wsch. stwierdzono na pn.-wsch. od struktury Koszalin-Chojnice. Ich zapis sejsmiczny odpowiada podobnym cechom znanym z pn.-zach. części antyklinorium śródpolskiego. Wg Autorów pojawienie się tego systemu prądów konturowych zbiega się w czasie z inwersyjnym wypiętrzeniem antyklinorium śródpolskiego i struktury Koszalin-Chojnice w późnej kredzie. Nie wykluczone zatem, że ten układ prądów występował także na pd.-wsch. odcinku antyklinorium śródpolskiego, czyli w pd.-wsch. Polsce.

W artykule odniesiono się także do proponowanego już wcześniej tzw. wyboczenia litosfery, które mogło odpowiadać za utworzenie regionalnej śródgórnokredowej niezgodności, zidentyfikowanej przede wszystkim w poprzedniej publikacji. Postulowane szerokopromiennofałdowe wyboczenie litosfery mogło doprowadzić do wypiętrzenia obszaru dzisiejszego Morza Bałtyckiego a także w pd.-wsch. Polsce i zach. Ukrainie. Kulminację tego fałdowania można łączyć z fazą subhercyńską orogenezy alpejskiej, która mogła być jednym z głównych impulsów wystąpienia tektoniki inwersyjnej obserwowanej w wielu europejskich basenach sedymentacyjnych.

Uwagi do przedstawionego cyklu publikacji

Prezentowany przez mgr Aleksandrę Karolinę Stachowską zestaw dwóch publikacji jest spójny tematycznie i dotyczy kompleksowego spojrzenia na architekturę systemów depozycyjnych zapisanych w osadach albu i górnej kredy synklinorium kościerzyńsko-puławskiego obejmującego segment kościerzyński i warszawski a także graniczącą z synklinorium część monokliny mazursko-podlaskiej. Jest to zatem znaczna część pozakarpackiej pokrywy kredowej w Polsce, co czyni dysertację szczególnie interesującą dla dużego grona odbiorców. Zwięźleniem dysertacji jest przedstawienie modelu depozycyjnego górnej kredy na omawianym obszarze uwzględniającego wyróżnione w transektach sejsmicznych facje oraz charakterystyczne struktury, w tym powierzchnie nieciągłości lub deformacji tektonicznych czy też wcięć erozyjnych.

Opracowanie w znacznym stopniu poszerza naszą wiedzę o rzeczywistym obrazie sukcesji górnokredowej niecki brzeżnej i krawędzi platformy wschodnioeuropejskiej, która do tej pory przedstawiana była w całości jako sekwencja leżących zgodnie na sobie, naprzemianległych warstw kolejnych wydzieleni litostratygraficznych (tzw. *layer-cake*). Szczególne znaczenie ma tutaj rozpoznanie regionalnej niezgodności kątowej rozdzielającej dolny kompleks zalegający poziomo od górnego, reprezentowanego przez klinofornie zanikające stopniowo ku południowi. Ponadto, wykazano istnienie luki stratygraficznej, znanej z innych obszarów Polski na pograniczu kampanu i mastrychtu.

Zaproponowany model sedymentacji i ewolucji analizowanej brzeżnej części basenu polskiego w późnej kredzie proponuje szereg istotnych uzupełnień dotychczasowych ustaleń. Z pewnością dotyczy to omówienia działalności prądów konturowych i redystrybucji materiału klastycznego wzdłuż wyniesionych elementów. Istotne są także ustalenia odnoszące się do mechanizmów tektoniki inwersyjnej, które kontrolowały procesy depozycyjne. Podkreśla się przy tym znaczenie fazy subhercyńskiej, która przemodelowała wiele europejskich basenów sedymentacyjnych w późnej kredzie.

Jak podkreśla Doktorantka, przedstawione interpretacje zasadniczo zmieniają obraz wewnętrznej architektury górnej kredy, stanowią jednak zaledwie początek nowego spojrzenia na tę sukcesję w omawianym obszarze, a zapewne i całą pokrywę kredową na Niżu Polskim. Wynika to w dużej mierze z niedoskonałości rozpoznania chronostratygraficznego, będącego również pochodną skąpości dostępnego materiału badawczego (niewielki stopień rdzeniowanie otworów wiertniczych).

Niewątpliwie jednak Doktorantka pokazała jak potężnym narzędziem w rozpoznaniu systemów depozycyjnych są dane sejsmiczne, szczególnie w połączeniu z danymi geofizyki otworowej. Dysertacja jest więc przykładem, niemal wzorcowym, wykorzystania sejsmiki. Swój, doskonale opanowany, warsztat interpretacji zapisu refleksów sejsmicznych Doktorantka zaprezentowała szczególnie dobitnie w artykule 2, gdzie przedstawiła wyróżnione facje sejsmiczne. Każda z facji jest udokumentowana przykładem ze zdjęcia sejsmicznego wraz z interpretacją zapisu i opisem (por. Fig. 10). Przedstawione na Fig. 18 modele zdradzają mistrzowski poziom interpretacji i prezentacji rezultatów. Obie publikacje, a szczególnie artykuł 2, mają szansę wejścia do kanonu literatury geologicznej dotyczącej depozycji górnej kredy Niżu Polskiego, ale także dotyczącej metodyki analizy profilowań

sejsmicznych. (Na marginesie, należy żałować, że artykuł opublikowany w *Marine and Petroleum Geology* nie jest dostępny w modelu *Open Access*).

Przedstawiona do recenzji dysertacja w zasadzie nie zawiera żadnych uchybień, które można byłoby tutaj przytoczyć. Należy docenić świadomość Doktorantki dotyczącą niedoskonałości stratygrafii, która jest kręgosłupem analizy sekwencji depozycyjnych, staż wyrażono przez Nią potrzebą rewizji prezentowanych ustaleń. Kilka jedynie drobiazgów, natury raczej edytorskiej pozwolę sobie jednak wskazać. Należy do nich pisownia słowa “śródgórnokredowa”, które Doktorantka konsekwentnie pisze z dywizem po “śród-”. Prawidłowo jest to jedno słowo, podobnie do “śródpolska”, gdzie tego dywizu Doktorantka nie używa. Dodam jeszcze, dla porządku, że Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) zostało jakiś czas temu zastąpione Ministerstwem Edukacji i Nauki (MEiN). Zabrakło mi także wskazania administracyjnego położenia otworu Polik IG 1, okazuje się bowiem, że są trzy miejscowości o takiej nazwie położone dość blisko siebie. Ale są to wszystko zgoła nieistotne sprawy. Część wstępna, wprowadzająca, jest znakomicie skonstruowana i napisana dobrym, komunikatywnym stylem.

Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr Aleksandry Karoliny Stachowskiej składająca się z zestawu dwóch publikacji spójnych tematycznie pt. *Późnokredowa tektoniczno-sedymentacyjna ewolucja północnej Polski – opracowanie na podstawie regionalnych danych sejsmicznych* prezentuje wyniki analiz profili sejsmicznych wnoszących nowe i istotne interpretacje prezentujące architekturę systemów depozycyjnych górnej kredy pn.-zach. części antyklinorium kościerzyńsko-puławskiego i przyległej części monokliny mazursko-podlaskiej. Proponowany model ewolucji depozycji w późnej kredzie stanowi kompleksowe opracowanie obejmujące znaczną część basenu polskiego, ma więc szansę stać się w przyszłości modelem referencyjnym.

Doktorantka pełniła wiodącą rolę w powstaniu przedstawionych publikacji (80%).

W związku z tym uważam, iż spełnia ustawowe wymogi stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora.

W konkluzji wnoszę więc do Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk **o dopuszczenie mgr Aleksandry Karoliny Stachowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**