

Warszawa, 19 listopada 2021 r.

Prof. dr hab. Paweł Karnkowski
Katedra Geologii Złożowej i Gospodarczej
Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego

Recenzja

pracy doktorskiej mgr Pawła Rydera pt.

„Wpływ architektury depozycyjnej na rozkład właściwości zbiornikowych oraz akumulacji gazu ziemnego w obszarze badań sejsmicznych „Przemysł 3D” (miocen zapadliska przedkarpackiego)”

**wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie**

Recenzowana dysertacja doktorska mgr Pawła Rydera zamyka się w przestrzeni geologicznej wyznaczonej przez zdjęcie sejsmiczne „Przemysł 3D”. W tej przestrzeni analizowane są przede wszystkim relacje wyznaczone przez trzy pojęcia: architektura depozycyjna – skały zbiornikowe – złoża gazu. Już na samym wstępie trzeba zauważyć, że obszar wspomnianego zdjęcia sejsmicznego prawie w całości położony jest na obszarze występowania fliszu karpackiego oraz jednostki stebnickiej i zgłobickiej, które z tektonicznego punktu widzenia tworzą orogen karpacki. Widać stąd, że jest to wyjątkowy obszar badań, gdyż miocenne utwory zapadliska przedkarpackiego znajdują się pod nasunięciem orogenu. Wykonane zdjęcie sejsmiczne jest zatem dużym osiągnięciem technologicznym PGNiG. Zrealizowanie prac sejsmicznych 3D w rejonie Przemysła znacznie przyczyniło się do zintensyfikowania prac poszukiwawczych, które już przynoszą realne efekty w postaci udokumentowania dodatkowych zasobów złożowych w obszarze złoża Przemysł.

Praca doktorska mgr Pawła Rydera wykonana jest w tradycyjny sposób, tzn. jest to jednoautorskie obszerne opracowanie w formie jednego tomu w formacie A-4, zawierającego 200 stron tekstu oraz 16 załączników. W samym tekście jest 119 rycin (często wieloobrazowych) oraz spis literatury zawierający 223 pozycje. Z przytoczonej powyżej statystyki jasno widać, że recenzowane opracowanie jest bardzo obszerne, a ilość elementów graficznych znakomicie dokumentuje i objaśnia omawiane zagadnienia.

Recenzowana praca składa się z dziesięciu rozdziałów. W pierwszej kolejności zostaną omówione poszczególne rozdziały ze szczególnym zwróceniem uwagi na pozytywne elementy w nich zawarte oraz zaznaczenie uwag i wątpliwości recenzenta.

1. Wstęp – 1.1. Geneza i przedmiot rozprawy: Doktorant przedstawił tutaj zarys odkrycia złoża gazu ziemnego Przemyśl pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku oraz zarysował jego wstępną charakterystykę. W przytoczonych na tę okoliczność cytowaniach najstarsza praca pochodzi z roku 1988, a więc 30 lat po odkryciu złoża. Zwrócono też uwagę *na skomplikowany charakter występowania akumulacji gazu ziemnego w rejonie Przemyśla, który jest od wielu lat tematem rozważań w świetle sposobu udostępnienia nie tylko interwałów piaskowcowych, ale również pakietów warstw odznaczających się częstą alternacją piaskowcowo-mułowcową, czyli tzw. utworów heterolitowych.* Przytoczone tutaj pozycje literaturowe są datowane na ostatnie 10 lat, a przecież to zagadnienie było dobrze znane geologom od początku poszukiwań w utworach miocenu zapadliska przedkarpackiego. Warto tutaj przypomnieć metodykę otwierania horyzontów mioceńskich za pomocą rur szlicowanych w kilkusetmetrowych interwałach w rejonie Lubaczowa pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku. W pierwszej dekadzie XXI wieku intensywne prace w zakresie układów cienkowarstwowych prowadzili pracownicy Instytutu Nafty i Gazu, np. M. Stadtmuller, czy T. Zorski z AGH, we współpracy z geologami PGNiG z Sanoka i Jasła. Oczywiście dzisiaj rozpoznanie utworów heterolitowych nabiera nowego znaczenia, gdyż jak pisze Doktorant *znajomość rozprzestrzenienia litosomów piaszczystych, których kształt zależy od środowiska sedymentacji, umożliwia zrównoważoną strategię rozwiercania i udostępniania poszczególnych segmentów złoża.* Temu też zagadnieniu Doktorant przypisuje cel swojej pracy (**1.2. Cele pracy**) i wyjaśnia, że jego dysertacja podejmuje zagadnienie wyróżnienia dominujących elementów architektury depozycyjnej formacji z Machowa w obszarze badań sejsmicznych „Przemyśl 3D” oraz usystematyzowania podziału litofacjalnego dostępnych, rdzeniowanych profili otworowych, wskazania indywidualizujących się zespołów facjalnych, a także określenia warunków sedymentacji silikoklastycznej sukcesji późnego badenu i wczesnego sarmatu w rozważanym obszarze. Za kluczową część pracy Doktorant uznaje wykonanie spójnych, uwzględniających możliwie jak największą ilość danych geologicznych i geofizycznych, przestrzennych modeli strukturalnych i parametrycznych poszczególnych serii złożowych. Do tego zadania mają mu posłużyć modele numeryczne w celu określenia zasięgu oraz kubatury elektrofacji indywidualizujących się w zapisie profilowań geofizyki otworowej. Powiązanie klas (elektrofacji) z analizą sedymentologiczną

ma sprecyzować ich charakterystykę zbiornikową oraz zmienność w obszarze badań sejsmicznych „Przemysł 3D”.

2. Zarys regionalny i budowa geologiczna obszaru badań, 2.1. Zapadlisko

przedkarpackie. W rozdziale tym Doktorant stara się przedstawić główne rysy budowy geologicznej regionalnej przedkarpackiej jednostki geologicznej. Oczywiście posiłkuje się przy tym dorobkiem innych geologów. Uwagę recenzenta zwróciło, że doktorant bez wszechstronnego zaznajomienia się z literaturą przedmiotu przyjmuje pogląd, iż głównym źródłem dostawy materiału terygenicznego w przykarpackiej części basenu był erodowany karpacki pas fałdowo-nasuwczy. Oczywiście jest wiele prac, które poruszają ten temat i bez trudu można znaleźć stosowne cytowania. Trzeba jednak pamiętać, że poglądy w tym zakresie kształtowały się na przestrzeni przeszło półwiecza i recenzent uważa, że zasygnalizowanie tego zagadnienia w rozdziałach wstępnych podniosłoby walor pracy.

Podrozdział 2.2. Budowa geologiczna obszaru Przemysła: 2. 2.1. Piętro prekambryjskie – omawia utwory prekambryjskie i paleozoiczno-mezozoiczne budujące podłoże zapadliska przedkarpackiego, **2.2.2. Piętro alpejskie –** charakteryzujące osady miocenijskie w zapadlisku.

Jest to bardzo dobrze opracowany rozdział z bogatym omówieniem głównych prac sedymentologicznych i tektonicznych, przede wszystkim z ostatniego dwudziestolecia.

Podrozdział 2.3. Złoże gazu ziemnego „Przemysł” - odnosi się do zagadnień systemu naftowego omawianego złoża, gdzie są scharakteryzowane poszczególne elementy tego systemu nie tylko na podstawie danych literaturowych, ale również autorskich opracowań Doktoranta.

3. Problematyka badawcza, 3.1. Historia badań - to rozdział poświęcony szerokiemu przeglądowi prac geologicznych, sedymentologicznych, tektonicznych i strukturalnych na obszarze zapadliska przedkarpackiego. Pomimo wymienienia i omówienia wielu pozycji bibliograficznych można z łatwością wskazać brak niektórych ważnych poglądów zarówno jeżeli chodzi o tektogenezę Karpat, jak i rozwój sedymentacji w zapadlisku przedkarpackim. Szczególnie recenzent ma tu na uwadze prace Myśliwca i Dziadzio, które zwracają uwagę na dwuetapowy rozwój sedymentacji w zapadlisku przedkarpackim: pierwszy – etap formowania się stożków podmorskich, i drugi – etap sedymentacji deltowej. Jako zasadniczy kierunek przemieszczania się osadów deltowych podaje się wektor ku wschodowi, czyli osiowe przemieszczanie się osadów w zapadlisku, a w etapie formowania się stożków podmorskich - kierunki S-N i N-S. **Rozdział 3.2. Stopień rozpoznania złoża „Przemysł” a problematyka**

złożowa – nawiązuje do rozdziału 2.3. ale znacznie poszerza dane o złożu „Przemyśl” .

Niezwykle sugestywne są tutaj dwie ryciny: Ryc. 11, która przedstawia liczbę wykonanych wierceń w poszczególnych latach w granicach złoża „Przemyśl”, gdzie można zobaczyć ożywienie w wykonywaniu nowych wierceń po wykonaniu zdjęcia sejsmicznego „Przemyśl 3D” oraz Ryc. 12, gdzie przedstawiono zmiany wielkości pierwotnych zasobów geologicznych złoża „Przemyśl” w latach 1971-1999, które wzrosły w tym okresie o 20 mld m³, czyli ok. 25% zasobów. Jednocześnie podkreślono, że w *analizowanym obszarze nie wykonywano dotąd na szeroką skalę kluczowych dla prospekcji węglowodorów badań mających na celu wyróżnienie oraz określenie przestrzennego rozkładu zespołów facji, czyli elementów definiujących architekturę depozycyjną obszaru. Z uwagi na powyższe, określenie procentowej zawartości piaskowców i pyłowców w poszczególnych zespołach facjalnych jest fundamentalne w aspekcie ich wpływu na wielkość szacowanych zasobów geologicznych. W świetle wyników dotychczasowych badań problemami natury geologiczno-złożowej pozostają:*

- *określenie zdolności akumulacyjnych cienkoławicowych heterolitów wydzielanych uprzednio jako nieperspektywiczne, dla których wyniki ostatnich badań sygnalizują dodatkowy potencjał zbiornikowy;*
- *rozpoznanie elementów architektury depozycyjnej i podział osadów formacji z Machowa w obszarze Przemyśla w oparciu o indywidualizujące się zespoły facjalne i procentowy stosunek piasku do mułu;*
- *określenie rozciągłości i geometrii litosomów piaszczystych, a w szczególności heterolitów, które są tematem licznych dyskusji w zakresie projektowania optymalnych trajektorii wierceń oraz efektywnego drenażu gazu ziemnego.*

Przytoczony powyżej cytat z pracy Doktoranta jeszcze raz jasno i dobitnie podkreśla cel jego pracy, ale również wskazuje na konieczny w najbliższym czasie kierunek prac analitycznych i projektowych geologów naftowych w PGNiG.

Rozdział 4. Materiał badawczy zawiera podstawowe informacje o ilości otworów wykorzystanych w analizie Doktoranta (510), rdzeniach wiertniczych, tzn. z ilu wierceń (37) i w jakim metrażu (449m) wykorzystano materiał skalny do badań bezpośrednich, jak wykorzystano profilowania geofizyki wiertniczej i sejsmiki w recenzowanej pracy. Jest to zatem zwięzły przekaz do którego recenzent nie wnosi żadnych uwag.

Rozdział 5. Metody badań i terminologia. Tytuł tego rozdziału po przeczytaniu treści w niej zawartej od razu budzi pytanie: po co użyto tutaj członu „terminologia”? W istocie rzeczy

rozdział poświęcony jest omówieniu szerokiego spektrum metod badawczych wykorzystanych w trakcie pracy nad dysertacją i nie ma żadnego podrozdziału tyającego się zagadnień terminologicznych. Zresztą gdyby zaszła potrzeba odniesienia się do tej kwestii, to powinno się to zrobić w bardziej stosownym tematycznie miejscu doktoratu. Rozdział 5 – według recenzenta – powinien po prostu mieć tytuł „Metody badań”. W treści tego rozdziału mamy szczegółowo omówione zastosowane różnorodnie metody badań, które hasłowo są następująco nazwane: „Interpretacja sedymentologiczna rdzeni wiertniczych, Model facjalny, Selektywna filtracja zdjęć rdzeni, Analiza wyników badań mikrofaunistycznych, Interpretacja profilowań geofizyki otworowej, Obliczenie krzywej zailenia i wyznaczenie elektrofacji, Stratygrafia sekwencji, Analiza PUW i pomiarów obrazowania oporności ścian otworu, Interpretacja danych sejsmicznych, Modelowania 3D struktur geologicznych, elektrofacji oraz parametrów zbiornikowych, Model strukturalny, Geostatystyka”. Ponieważ w wymienionych podrozdziałach są z reguły scharakteryzowane poszczególne metody badawcze, to recenzent ma tu niewiele do skomentowania, poza ich wielością. Rzeczywiście zakres metod badawczych jest imponujący, w szczególności jeżeli chodzi o wykorzystanie nowoczesnych technik komputerowych (np. programów Petrel czy TechLog). Porównując ilość danych wykorzystanych w pracy Doktoranta oraz mnogość użytych metod do ich wszechstronnej analizy można tylko wyrazić uznanie dla pracowitości i umiejętności mgr Pawła Rydera.

Rozdział 6. Analiza sedymentologiczna rdzeni wiertniczych jest objętościowo największym rozdziałem w całej recenzowanej pracy. Zawiera aż 70 stron i jest podzielony na dwa podrozdziały: **6.1. Opis i interpretacja litofacjalna osadów formacji z Machowa** oraz **6.2. Asocjacje litofacjalne**. Podrozdział 6.1. jest bardzo szczegółowym opisem wydzielonych facji, których Doktorant wyróżnił aż 15 (facja A-O). Recenzent nie ma uwag co do samego wyróżnienia i opisu wyróżnionych facji, ale jego niepokój budzi przyjęta nomenklatura. W tytule podrozdziału jest używane określenie „interpretacja litofacjalna”, czyli wyróżnione jednostki może powinny być nazywane „litofacjami”. W istocie litofacja to jednostka stratygraficzna wyróżniona na podstawie cech litologicznych. To jest również definicja jednostki litostratygraficznej (*nota bene* – w całej dysertacji ani razu nie użyto określenia litostratygrafia). Recenzent domyśla się, gdzie jest problem w nazewnictwie: w dalszej części pracy łączy się wyróżnione tutaj „facje” w asocjacje, które nazywane są litofacjami. Doktorant, aby jakoś odróżnić te dwa byty, jeden nazywa facjami, a drugi litofacjami. Podobnie jest w pracy Lis & Wysocka (2012), gdzie też wyróżnia się szczegółowo „facje”, ale używa się również pojęcie „zgeneralizowane litofacje: litofacja piaszczysta, litofacja

heterolityczna i litofacja łośwcowo-mułowcowa”. To, że sprawa jest trudna, niech świadczy przykład z Tabeli 1, gdzie zestawiono szereg cech „facji A-O” ale tytuł tabeli brzmi: ”*Zestawienie cech strukturalno-teksturalnych przyjętych dla wyróżnienia grup oraz litofacji*”. W główkach kolumn tabeli nie ma jednak nazwy litofacji oraz grupy. Z całą pewnością zagadnienie nomenklatury stratygraficzno-sedymentologicznej będzie wymagało jeszcze przemyślenia. Pomimo powyższych uwag recenzent bardzo wysoko ocenia ten podrozdział, jako znakomite udokumentowanie graficzne i opisowe litofacji osadów mioceńskich w rejonie Przemyśla. Tym bardziej jest to cenne, że wcześniej powstała praca (Lis & Wysocka, 2012) o podobnym charakterze, ale w innym rejonie. Zresztą Doktorant powołuje się na to opracowanie i wykorzystuje je częściowo do swoich porównań.

Drugi podrozdział - **6.2. Asocjacje litofacjalne** zajmuje się już zagadnieniem systemów depozycyjnych. Z 15 wyróżnionych „facji” skonstruowano 8 *genetycznie powiązanych zespołów facji, które przypisano do 3 środowisk w ramach systemu depozycyjnego stożków podmorskich*. Z definicji system depozycyjny to trójwymiarowy zespół litofacji powiązanych ze sobą genetycznie. Rzeczywiście, specjalnie skonstruowana Tabela 3 ma za zadanie pokazać te zespoły litofacjalne, gdzie faktycznie w poszczególnych zespołach litofacjalnych wypisano występowanie poprzednio wyróżnionych „facji” (*nota bene* – kolumna, która to zawiera jest nazwana „dominujący typ ławic (facje)”). Jest to bardzo ważny moment w recenzowanej pracy, gdyż zaczynamy widzieć przyjęty schemat systemu depozycyjnego stożków podmorskich., którym przypisano trzy środowiska sedymentacji: *kontrolowana strukturalnie równia basenowa, środowisko basenowych stożków podmorskich, środowisko skłonu*. To ostatnie określenie w Tabeli 3 jest nazwane jako „środowisko skłonu prodelty oraz rozwijających się w jego dolnej części stożków”. Widać, że zagadnienie klasyfikacji asocjacji litofacjalnych jest bardzo skomplikowane, co można stwierdzić choćby na podstawie Ryciny 44 „*Zestawienie procentowego udziału ławic w rozpoznanych zespołach facjalnych*”. Dopiero wizualizacja udziału poszczególnych ławic („facji”) w wyróżnionych zespołach facjalnych uświadamia całą złożoność przyjętej metodyki. Wyróżnionym zespołom facjalnym (8) nadano odpowiednio nazwy: *Asocjacja 1 - rozległe wały przykorytowe, Asocjacja 2 - dystalne części stożków i obszary międzylobowe, Asocjacja 3 - loby depozycyjne rozcinane płytkimi kanałami rozprowadzającymi, Asocjacja 4 – koryta rozprowadzające i wały brzegowe, Asocjacja 5 – górna część stożka rozcinana przez kanał centralny, Asocjacja 6 – piaszczyste loby stożków deponowane w dolnej części skłonu, Asocjacja 7 - osady dolnej*

partii mułowego skłonu rozcinane łobami oraz produktami grawitacyjnej deformacji skłonu, Asocjacja 8 - mułowce płytszej części skłonu położone między normalną a sztormową podstawą falowania. Te asocjacje są z kolei przypisane do środowisk sedymentacji systemu depozycyjnego stożków podmorskich: Asocjacja 1 do środowiska kontrolowanej strukturalnie równi basenowej, Asocjacje 2, 3, 4, 5 do środowiska basenowych stożków podmorskich, a Asocjacje 6, 7, 8 do środowiska skłonu. Wszystkie te opisy, analizy, klasyfikacje są bardzo bogato ilustrowane profilami, tabelami, fotografiami, wykresami, diagramami, korelacjami międzyotworowymi oraz schematycznymi modelami 2D. W całym rozdziale 6 nie ma ani jednej mapy, czyli nie jest spełniony warunek trójwymiarowości systemu depozycyjnego. Chociaż Doktorant naprawdę włożył tutaj bardzo dużo pracy to powinien spróbować chociaż schematycznie pokazać przestrzenne położenie wyróżnionych asocjacji. W końcu pierwszym członem badanego zagadnienia jest architektura depozycyjna, która z natury rzeczy jest geoprzestrzenna, a dla istoty niniejszej pracy absolutnie niezbędna.

Rozdział 7. Synteza danych sejsmostratygraficznych jest poświęcony wykorzystaniu metod sejsmicznych do analizy mioceńskiego wypełnienia osadowego na obszarze zdjęcia sejsmicznego „Przemysł 3D”. W pierwszym podrozdziale **7.1. Budowa geologiczna obszaru Przemysła w świetle interpretacji sejsmicznej** zwrócono przede wszystkim uwagę na charakter podłoża miocenu wykartowanego dzięki metodom sejsmicznym. W szczególności warto tu podkreślić rozważania Doktoranta na temat uskoku Kniażyc. Rekonstrukcja paleotektoniczna podłoża zapadliska w rejonie Kniażyc (Ryc. 78) jest bardzo przekonująca i jednoznacznie pokazuje na synsedymentacyjny charakter tego uskoku, a jeszcze dokładniej mówiąc, na gwałtowne pograżenie skrzydła zrzuconego, co świetnie tłumaczy prawie brak osadów miocenu po południowej stronie tego uskoku. Następny podrozdział 7.2. **Analiza zapisu sejsmicznego pod kątem śledzenia form sejsmogeomorfologicznych** (*w oryginalnym zapisie jest zabawna literówka*) podejmuje próbę opisu wyróżnienia głównych horyzontów sejsmicznych M2-M5 i dowiązania do nich horyzontów złożowych. Zwrócono również uwagę na istnienie koryt paleomorfologicznych i rozciągłości W-E starszych od stożków przedstawianych w publikacjach Myśliwca, Maksyma, Dziadzio i in. I w końcu w podrozdziale **7.3. Kompleksy sejsmostratygraficzne nadewaporatowej sukcesji miocenu w obszarze Przemysła** zaprezentowano wyróżnienie sześciu kompleksów sejsmostratygraficznych (Załącznik 5, 6). Było to możliwe dzięki integracji danych sejsmicznych, profilowań geofizyki otworowej oraz wyników analizy sedymentologicznej i badań mikrofaunistycznych. Dodatkowo kompleks 1 został podzielony jeszcze na trzy

podkompleksy, a kompleks 2 na dwa podkompleksy. Tak wyróżnionym jednostkom przypisano serie złożowe (od XII serii aż po kompleks uszczelniający). Dla każdego kompleksu przygotowano jego rekonstrukcję sedimentologiczną zwizualizowaną tylko w formie 2D. W nazwie kompleksów wpisano również określenia paleogeograficzne nawiązujące do asocjacji litofacjalnych opracowanych wcześniej. Ten rozdział również nie zawiera żadnych map, czyli trudno jest sobie wyobrazić przestrzenny obraz wyróżnionych kompleksów sejsmostratygraficznych.

Rozdział 8. Wyniki modelowań 3D ma może mało wyrazisty tytuł, a zawiera bardzo ważne treści. W rozdziale tym opisane jest wykonanie 23 modeli poszczególnych serii złożowych obejmujących **rozkłady przestrzenne** elektrofacji, porowatości efektywnej oraz współczynnika NTG. Recenzent specjalnie w tym zdaniu uwypuklił określenie „rozkłady przestrzenne, ponieważ po raz pierwszy pojawiają się w tej dysertacji zagadnienia, które są przedstawiane na mapach. Rozdział ma przede wszystkim charakter metodyczny. Również tytuły podrozdziałów: **8.1. Opis metodyki dla etapu modelowania** i podrozdział **8.1.1 Model elektrofacjalny** mogą budzić mniejsze zainteresowanie, szczególnie po lekturze poprzedniej części dysertacji - bardzo obszernej, szczegółowej i wszechstronnej. Tak jednak nie jest. Doktorant pisze: *Dla każdego z 232 otworów ujednoliconymi pomiarami naturalnej promieniotwórczości stworzono model elektrofacjalny 1D. Wartości progowe przyjęto na bazie indeksu IGR, który pozwolił wyróżnić 6 klas elektrofacji.* Elektrofacjom tym odpowiadają konkretne litofacje: piaskowce gruboławicowe, piaskowce zailone I, piaskowce zailone II, heterolity i osady silnie zailone. Dobrym przykładem zastosowania tej metodologii jest np. Ryc. 96, gdzie przedstawiono przestrzenny rozkład klas elektrofacji serii złożowej VIIIc oraz dodatkowo potwierdzono uzyskany wynik rdzeniowym interwałem z otworu Batycze-1 dla tego kompleksu. W dalszej części tego rozdziału opisana jest metodyka modelowań petrofizycznych „net to gros” (NTG) oraz modelowań porowatości efektywnej. Ważne jest tutaj porównanie wyników uzyskanych powyższymi metodami (dla VII serii złożowej), które zaprezentowano na Ryc. 102, z której wynika, że obraz elektrofacjalny i model przestrzenny rozkładu porowatości są do siebie bardzo podobne. Prawdopodobnie Doktorant doszedł do tego samego wniosku co recenzent i w konsekwencji przedstawił niejako podsumowanie tego rozdziału na 9 mapach „litofacjalnych” (Ryc. 108-110) dla serii złożowych od X do V. W objaśnieniach do tych map pokazane są klasy elektrofacji (5 klas, którym wcześniej przypisano konkretną litologię i dlatego recenzent je nazywa „litofacjalnymi” - bo w istocie takie one są). Dodatkowo dla każdej mapy „litofacjalnej”

wykonano mapę sumarycznej miąższości elektrofacji I i II (piaskowce gruboławicowe i piaskowce zailone), które – jak pisze Doktorant - *pozwoili na wyodrębnienie 9 podmorskich stożków budujących obszar badań. Stożki zostały rozpoznane w seriach złożowych X, IXa, IX, VIIIc, VIIIa', VIII, VII, VI oraz V (Rycina 108, Rycina 109, Rycina 110).*

Rozdział 9. Podsumowanie i dyskusja wyników zawiera kilka podrozdziałów a pierwszym z nich jest **9.1 Charakterystyka rozpoznanych stożków podmorskich**. Recenzent spodziewał się tutaj charakterystyki 9 podmorskich stożków budujących obszar badań. Tymczasem w całym tym podrozdziale jest tylko jedna ilustracja (*Ryc.113. Rozpoznane główne elementy architektury depozycyjnej wraz z relacjami przestrzennymi rozpoznanych asocjacji facjalnych (na podstawie: Mutti i in., 2009 oraz literatury cytowanej tamże).* Na tej rycinie nigdzie nie ma określenia stożki Takie odniesienie możemy dopiero znaleźć w tekście: *peryferyjne wały przykorytowe (asocjacja 1), dystalne części stożków i obszary międzylobowe (asocjacja 2), loby depozycyjne rozcinane płytkimi kanałami rozprowadzającymi (asocjacja 3), koryta rozprowadzające i wały brzegowe (asocjacja 4), górna część stożka rozcinana przez kanał centralny (asocjacja 5), oraz piaszczyste loby stożków deponowane w dolnej części skłonu (asocjacja 6).* Można oczywiście próbować dopatrzeć się na Ryc. 113 zmiany charakteru sedimentacji silikoklastycznej w czasie, ale jest to trudne i ryzykowne dla czytelnika. Dalej w tekście znajdują się stwierdzenia uogólniające (np. *Rozpoznane stożki cechują się słabo zaznaczającymi się wcięciami erozyjnymi elementów osiowych; czy - Na oboczny sposób rozbudowywania stożków wskazuje zazębienie się ławic hybrydowych z gruboławicowymi piaskowcami frakcjonowanymi normalnie (facja G) i bardzo gruboławicowymi piaskowcami i żwirowcami z klastami mułowców, frakcjonowanymi normalnie (facja H),*), które nie są poparte przykładami czy przywołaniami.

W dalszej części tego podrozdziału znajduje się akapit nazwany **„Zasilanie systemu stożków”**. Recenzent wynotował tu bardzo interesujące spostrzeżenia Doktoranta:

Zdaniem autora wyróżnione stożki rozbudowywały się w okresie niskostanowym i podlegały stabilizacji w warunkach transgresywnych. W rozważanym obszarze wachlarze stożków sarmackich były następnie stopniowo modyfikowane przez system wzdłużbasenowego rozciągania osadów w trakcie okresów powodziowych (TST i HST). Rozrost stożków sarmackich w kierunku SE potwierdzają mapy rozkładu elektrofacji i mapy miąższościowe, na podstawie których można zauważyć tendencję do ich rozrastania z obszaru Tuligłówek i Maćkowie, gdzie na ogół zapis radiometryczny wskazuje na „blokową”, gruboziarnistą i gruboławicową charakterystykę.

Hipotezę o istnieniu osiowego stylu redystrybucji materiału klastycznego potwierdzają wyniki badań sejsmicznych w obszarach sąsiednich („Łańcut-Kańczuga 3D”), uwidaczniające system relatywnie płytkich koryt o orientacji równoległej do frontu Karpat (Ryder, 2021). Rodzi się zatem potrzeba rewizji modelu depozycyjnego opierającego się na zasilaniu strefy przykarpackiej basenu zapadliska jedynie przez system stożków poprzecznych.

Za powszechny, wysoki stopień zróżnicowania charakteru ławic może odpowiadać nie tylko hiperpyknałny system zasilania, ale dostawa materiału z więcej niż z jednego źródła, modyfikacja prądów zawieszinowych przez "odbijanie" od progów morfologicznych, a także wpływ osiowego systemu rozprowadzającego.

Te spostrzeżenia Doktoranta wynikają z analizy jego map elektrofacjalnych, gdzie tylko stożek X i IXa mają rozciągłość SW-NE, a wszystkie młodsze stożki są ukierunkowane NW-SE. Recenzent bardzo docenia te uwagi, gdyż są oparte o rzetelne i wszechstronne analizy bardzo dużej ilości danych. W podrozdziale **9.2. Środowiska sedymentacji** Doktorant omawia to zagadnienie przywołując poglądy kilku autorów dzielących opinię o Karpatach, jako głównym elemencie paleotektoniczny będącym obszarem źródłowym dla podmorskich stożków. W tym podrozdziale znalazł się również akapit zatytułowany **Cykle sedymentacyjne**. Granicami cykli są spągi kolejnych serii piaskowcowych. Genezę tych cykli Doktorant przypisuje mechanizmowi autocyklicznego rozbudowywania i zamierania działalności lobów depozycyjnych. W podrozdziale **9.2.1. Architektura depozycyjna** na istotną uwagę zasługują następujące stwierdzenie Doktoranta: *Wykonane korelacje oraz mapy elektrofacjalne wskazują, iż **głównym czynnikiem warunkującym architekturę depozycyjną głębszych partii złoża tj. XII-IXa w analizowanym obszarze było ukształtowanie skał podłoża. Relief prekambryjskiego fundamentu w znacznym stopniu wpływał na dystrybucję osadów miocenijskich w późnym badenie, co odzwierciedlają obszary występowania piaskowców na przekrojach (Załącznik 11, 12, 13) oraz mapy elektrofacjalne i miąższościowe.(...) Do momentu wypełnienia zróżnicowanego morfologicznie minibasenu w obszarze Przemyśla, tj. do sedymentacji utworów serii złożowej IX, większość transportowanego materiału akumulowana była w paleodolinach wyerodowanych w skałach podłoża. (...)W toku prac wykartowano 9 stożków budujących obszar badań o zróżnicowanej geometrii. (...)Przeprowadzone modelowania elektrofacji dyskwalifikują tym samym obecność postulowanego przez Myśliwca (2004) stożka o stosunkowo prostej, wachlarzowatej geometrii w obszarze Przemyśla. (...)** Rozkład piaskowców w wyższych jednostkach obejmujących dolny sarmatu (kompleksy 2(2A) i 3) wskazuje na powinowactwo z rozwijającym się od W i NW stożkiem Tuligłowów. Podobną koncepcję wysunęli Myśliwiec i*

in. (2006), którzy wskazują na istnienie górnej-środkowej części stożka podmorskiego w sarmacie w rejonie Tuligłowów. (...) Przeprowadzone w niniejszej pracy badania częściowo potwierdzają tę koncepcję. **Wykonane modelowania sugerują źródło dostawy położone na NW od obszaru badań.** W podrozdziale 9.3. **Aspekty złożowe** Doktorant zwraca uwagę, że obszar złoża Przemysł znajduje się w schyłkowym okresie eksploatacji zasobów konwencjonalnych i teraz głównym celem prac poszukiwawczych powinny być cienkwarstwowe litosomy izolowane hydraulicznie. Problem ten powinien być rozwiązywany z wykorzystaniem modelowań facjalnych 3D, w pierwszym rzędzie poprzez modelowaniami elektrofacji.

Rozdział 10. Wnioski zawiera kilka akapitów, które nie są numerowane i uszeregowane (np. zaczynając od najważniejszych). Recenzent subiektywnie wybrał dwa najważniejsze:

- *Główną skalą zbiornikową, tworzącą największy wolumen złożowy w obszarze badań sejsmicznych „Przemysł 3D”, są piaskowce zdeponowane w kanałach rozprzeczających i lobach stożków podmorskich. Zidentyfikowano 9 stożków, które występują zarówno w części badeńskiej formacji z Machowa (serie złożowe X i IXa) jak i jej sarmackim segmencie (serie złożowe IX, VIIIc, VIIIa', VIII, VII, VI i V), gdzie tworzą dobrze skomunikowane lateralnie ciała piaskowcowe. Stożki badeńskie związane są z poprzeczną dostawą materiału klastycznego (w kierunku N-NE), natomiast stożki sarmackie wykazują związek z podłużnym, osiowym systemem dystrybucyjnym (w kierunku E-SE).*
- *Powiązanie modelu elektrofajalnego z właściwościami zbiornikowymi umożliwiło wyznaczenie domen cechujących się określonymi rozkładami właściwości zbiornikowych jak porowatość czy współczynnik NTG. Skonstruowane modele statyczne, skalibrowane z modelem facjalnym umożliwiają prognozowanie powyższych parametrów dla przyszłych wierceń w dowolnej lokalizacji wybranej serii złożowej*

Natomiast we **Wnioskach** nie znalazło się wiele trafnych uwag i spostrzeżeń Doktoranta, które są w jego pracy, a recenzent starał się je zauważyć i zacytować w swojej recenzji. Chodzi tu przede wszystkim u uwagi o wpływie paleomorfologii podłoża mioceńskiego na kierunki i warunki sedymentacji silokoklastycznej oraz na obszary źródłowe dostawy materiału do tworzących się stożków podmorskich. Recenzent ponad dwadzieścia lat temu wykonał modelowania ewolucji zapadliska przedkarpackiego. Oprócz artykułów

poświęconych temu zagadnieniu były wygłaszane referaty na ten temat przy różnych okazjach i w różnych gronach geologów. Do dnia dzisiejszego nikt nie zanegował poglądów recenzenta, ale nie było szerokiego poparcia dla przedstawionej wtedy idei. Było to spowodowane zapewne faktem, że recenzent (PHK) nie wykonał osobiście żmudnych analiz sedymentologicznych, a wykorzystano jedynie prace innych autorów na poparcie zaprezentowanej tezy, że „owszem kierunek transportu materiału formującego stożki podmorskie był z południa, ale nie z Karpat”. Za taką koncepcją przemawiały w szczególności osiągnięcia Kolegów z PGNiG, którzy wyrysowali szereg stożków mioceńskich w południowej części zapadliska przedkarpackiego. Lokalizacja tych stożków i umiejscowienie dla nich obszarów źródłowych dobrze się koreluje z wyspami i głębiami (paleodolinami) na mapach paleogeograficznych/paleotektonicznych recenzenta. Praca doktorska mgr Pawła Rydera dostarczyła recenzentowi dodatkowych argumentów do hipotezy o silnym pareolifie podłoża mioceńskiego i jego przemożnym wpływie na warunki sedymentacji w zapadlisku przedkarpackim. Niniejsza praca wprawdzie nie dotyczy bezpośrednio badeńskich utworów ewaporatowych - formacja z Krzyżanowic (Ryc. 6, mapka miąższości tej formacji), ale w rejonie Rzeszowa formacja ta nie występuje. Jedni geolodzy ten fenomen nazywali „wyspą rzeszowską” a inni „głębią rzeszowską”. Recenzent uważa, że jedni i drudzy mają rację, co wynika z wpływu bardzo silnego paleoreliefu na warunki sedymentacji w czasie epizodu ewaporatowego. Uzyskane przez Doktoranta wyniki, w szczególności mapy elektrofacji (litofacjalne) i miąższościowe horyzontów złożowych zostały przez recenzenta wkomponowane w jego model ewolucji basenu przedkarpackiego. Wszystko pasuje do modelu recenzenta. A to co jest tutaj konieczne podkreślenia, to rzetelność Doktoranta, który wykonał swoje analizy zgodnie ze sztuką, a swoje nieśmiałe uwagi „ukrył” w treści rozdziałów bieżących. Wprawdzie w całej pracy, na wielu przekrojach paleogeograficznych stale są wrysowywane Karpaty w bezpośrednim zapleczu południowego brzegu basenu sedymentacyjnego zapadliska przedkarpackiego, ale już w tekście pojawiają się jednoznaczne sugestie, co do kierunków dostawy materiału klastycznego (nie od strony Karpat). Najstarsze stożki (późnobańskie) mają kierunek SW-NE, a młodsze NW-SE. Można z tego wysnuć wniosek, że im Karpaty były bliżej swej obecnej krawędzi tym bardziej nie pasują kierunki transportu do ich pozycji geograficznej. Podobnie jest z litofacjami w zapadlisku przedkarpackim: im Karpaty bliżej swej obecnej krawędzi, tym drobniejszy materiał był dostarczany do wypełnienia basenu sedymentacyjnego. We wschodniej części zapadliska wyróżniane są w górnej części profilu mioceńskiego ility krakowieckie i można je uznać za typowy produkt dostawy z Karpat, jako efekt przepływów hiperpykmalnych

związanych z małymi rzekami transportującymi materiał osadowy głównie w zawieszynie i drenujący obszary górskie (Mulder & Syvitsky, 1995). Powyższe uwagi wskazują, że w rozważaniach o dostawie materiału do zapadliska przedkarpackiego powinno się brać pod uwagę również paleomorfologiczne elementy śródbasenowe, jako źródła materiału piaszczystego w budowie stożków podmorskich.

Oceniając pracę doktorską mgr Pawła Rydera trzeba powiedzieć, że jest ona bardzo obszerna jak na doktorat, a dodatkowo zawiera w sobie bardzo duży udział elementów metodycznych. Recenzent jest pod wrażeniem ogromu pracy jaka musiała być wykonana, aby ta dysertacja została ukończona w formie recenzowanej. Trzeba również podkreślić, że jest to dużą zasługą PGNiG, które popiera ten kierunek badań. Bez wsparcia PGNiG taka praca by nie powstała. Na docenienie zasługują również zdolności i umiejętności Doktoranta w łączeniu tak wielu aspektów badawczych, poczynając od zagadnień czysto akademickich, a skończywszy na złożonych problemach poszukiwawczych i złożowych w zakresie geologii naftowej. Praca z całą pewnością zasługuje na wyróżnienie, o co recenzent wnioskuje.

Jednocześnie recenzent chciałby zwrócić uwagę, że nie odnosi się swoimi uwagami do spisu literatury oraz do uwag językowych (styl, poprawność terminologiczna, itp.), gdyż nie ma do tych działań zasadniczych zastrzeżeń.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska pana mgr Pawła Rydera spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 4 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. Ustaw nr 65 poz. 595 z późn. zm.) i wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, biorąc pod uwagę jakość przedstawionej dysertacji oraz bardzo wysokie kompetencje naukowe i zawodowe Doktoranta wnioskuje o wyróżnienie przedstawionej mi do oceny pracy

