

Gliwice, 22.04.2022 r.

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka JANIGI pt.:
**„CARBON STABLE ISOTOPE COMPOSITION OF INDIVIDUAL HYDROCARBONS (CSIA)
FOR SHALE FORMATION EVALUATION”**

Praca doktorska Pana mgr inż. Marka JANIGI dotyczy wykorzystania wyników analiz składu chemicznego i izotopowego gazu z formacji łupkowych, do określania miejsc wzbogacenia - tzw. „sweet spots”, na przykładzie struktur złożowych północnej Polski.

Uwagi wstępne

Autor podjął, istotny z punktu widzenia naukowego i gospodarczego, temat wyznaczania perspektywicznych lokalizacji złóż gazu w formacjach łupkowych. Cel pracy sformułowano jako identyfikację parametrów składu chemicznego i izotopowego składu gazów oraz zdefiniowanie wartości tych parametrów, na podstawie których możliwe będzie określenie „sweet spots”.

Przedstawiono tezę, mówiącą że metody interpretacji stosowane w geochemii ropy naftowej, po odpowiedniej modyfikacji, mogą być zastosowane w przypadku niekonwencjonalnych złóż gazu, a dla oceny dojrzałości materii organicznej skał macierzystych, oprócz składu izotopowego węgla w metanie należy również wziąć pod uwagę wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla etanu i propanu, ze względu na ich niewielką zawartość w gazach biogenicznych.

W pracy wykorzystano interpretację składu chemicznego i izotopowego gazów oraz wskaźniki pirolizy, do oceny systemu łupkowego oraz do wyznaczania wartości parametrów określających sweet spoty.

Dla potwierdzenia tezy i realizacji celu pracy Autor posłużył się logicznie zaplanowanymi i szeroko rozbudowanymi badaniami laboratoryjnymi, które miały na celu określenie składu chemicznego i izotopowego gazów ziemnych oraz przeprowadzenie analiz geochemicznych Rock-Eval, próbek z pięciu odwiertów badawczych, w formacjach łupkowych syluru i ordowiku północnej Polski. Zastosowana tutaj metodyka odpowiada standardom akceptowanym w laboratoriach analizujących cechy i skład węglowodorów. Bazując na rezultatach analiz składu chemicznego gazów obliczono wskaźniki $\text{C}_1/\text{C}_2+\text{C}_3$, C_2/C_3 , $i\text{-C}_4/n\text{-C}_4$ oraz $i\text{-C}_5/n\text{-C}$. Uzyskane wyniki poddano podstawowej analizie statystycznej. Ponadto, wykorzystując modele graficzne, w tym m. in. modele Fabera, Tanga, Chunga, oszacowano dojrzałość termiczną źródłowej materii organicznej oraz zidentyfikowano proces mieszania się z gazem biogenicznym oraz zjawiska wtórnego krakingu. Biorąc za podstawę dane referencyjne z formacji Barnett określono przybliżone wartości składu izotopowego gazów oraz obliczonych wcześniej wskaźników chemicznych, które mogą wskazywać na wystąpienia koncentracji złożowych - „sweet spots”.

Walory poznawcze rozprawy wynikają głównie z rezultatów uzyskanych w trakcie badań laboratoryjnych i polegają przede wszystkim na przeanalizowaniu składu chemicznego i izotopowego gazów oraz określeniu parametrów pochodnych, pozwalających na rekonstrukcję procesów ich formowania.

Rozbudowany i umiejętnie zastosowany zestaw metod badawczych oraz właściwy dobór próbek przekonują, że Autor w dojrzały sposób potraktował rozwiązanie postawionych przed sobą zadań badawczych.

Układ recenzowanej rozprawy

Dysertacja liczy 127 stron i zawiera 83 rysunki oraz 38 tabel. Zamieszczona na końcu pracy bibliografia obejmuje 113 elementów, z czego 98 to literatura anglojęzyczna. Pan mgr inż. Marek Janiga jest autorem lub współautorem dziewięciu z cytowanych pozycji.

Pracę podzielono na 7 rozdziałów:

- W części wprowadzającej - Rozdział 1 - Doktorant uzasadnia podjęcie tematu i definiuje główny cel badawczy rozprawy jakim jest określenie wartości parametrów określających *sweet spoty* oraz przedstawienie zróżnicowania składu izotopowego węglowodorów gazowych i jego relacji z dojrzałością termiczną źródłowej materii organicznej w formacjach łupkowych północnej Polski. Zdaniem Autora identyfikacja takiego powiązania może znaleźć zastosowanie w ocenie dojrzałości termicznej na podstawie analiz chemicznych i badań izotopowych węgla dla poszczególnych węglowodorów, wchodzących w skład gazu. Zasadnicza teza pracy dotyczy zatem możliwości oszacowania stopnia przekształcenia termicznego skały macierzystej na podstawie wartości $\delta^{13}\text{C}$ dla metanu, etanu i propanu. W rozdziale tym znalazły się też krótkie informacje na temat: struktury pracy, zastosowanych metod badawczych, analizowanych próbek oraz praw własności do uzyskanych wyników.
- Rozdział 2 poświęcono zastosowanej do celów pracy, metodzie pomiaru stosunków izotopowych (spektrometria IRMS). Zawiera on omówienie podstaw fizycznych metody oraz jej odmian: w systemie z podwójnym wlotem "dual inlet" oraz ciągłego przepływu „continuous flow”. Przedstawiono tu także zasady działania i przetwarzania wyników uzyskanych za pomocą chromatografu gazowego, sprzężonego z izotopowym spektrometrem mas - GC/C/IRMS
- W rozdziale 3 - Modele pochodzenia gazu ziemnego - przedstawiono koncepcje dotyczące interpretacji pochodzenia gazu w nawiązaniu do składu izotopowego jego składników w zależności od czasu i warunków zewnętrznych. Omówiono tutaj podstawy modeli graficznych zaproponowanych przez Stahla, Bernarda, Schoella, Fabera, Chunga oraz Tanga, zwracając równocześnie uwagę na konieczność weryfikacji i odpowiedniej adaptacji modeli genetycznych gazu złóż konwencjonalnych do zagadnień związanych z gazem łupkowym.
- W rozdziale 4 zaprezentowano opis metod badawczych wykorzystanych w pracy:
 - analizy chromatograficzne składu gazu, obejmujące tlen, azot tlenki węgla oraz węglowodory wykonywano na chromatografie dwukanałowym, z detektorem termokonduktometrycznym (TCD) i detektorem płomieniowo-jonizacyjnym (FID), natomiast do oznaczania helu, wodoru i związków siarki wykorzystano TCD i detektor płomieniowo-fotometryczny (FPD).
 - skład izotopowy węgla, azotu, tlenu, wodoru i siarki gazu ziemnego zbadano przy użyciu spektrometru IRMS; rozdziału składników gazu dokonywano przy pomocy kolumny chromatograficznej,
 - geochemiczne analizy materii organicznej przeprowadzono stosując metodę pirolizy Rock-Eval,

-
- kalibracje aparatury badawczej prowadzono przy użyciu odpowiednich, certyfikowanych materiałów referencyjnych,
 - statystyczna analiza danych ograniczona była do podstawowych statystyk opisowych, korelacji i regresji liniowej oraz badania rozkładu populacji wyników, przy zastosowaniu histogramów ilościowych.
- Rozdział 5 zawiera rezultaty pracy. Zawarto w nim: zestawienie odwiertów wraz z opisem badań, którym poddano pobrane z nich próbki oraz krótki opis budowy geologicznej obszaru badań. Przedstawiono w nim także wyniki:
 - analiz izotopowych, obejmujących: izotop ^{13}C w metanie, etanie i propanie oraz deuter w metanie,
 - analiz składu chemicznego gazów, przedstawionych przy pomocy współczynników geochemicznych (C1/C2+3, C2/C3, i-C4/n-C4 i i-C5/n-C5),
 - analiz Rock-Eval (wolne węglowodory – S1, węglowodory z krakingu kerogenu – S2, temperatura maksymalnego generowania węglowodorów - T_{max} oraz całkowita zawartość węgla organicznego - TOC),
 - analizy regresji dla izotopu ^{13}C i deuteru względem T_{max} oraz korelacji dla współczynników geochemicznych i wyników Rock-Eval.
 - W rozdziale 6 zaprezentowano interpretację wyników, opartą głównie na wykorzystaniu diagramów opisanych w rozdziale 3. Jest ona przeprowadzona wobec rezultatów, wykonanych na potrzeby pracy, oznaczeń izotopowych, analiz składu chemicznego oraz analiz Rock-Eval, w odniesieniu do odpowiednich danych referencyjnych, charakteryzujących formacje Barnett i Fayetteville.
 - Rozdział 7 jest zestawieniem wniosków, sformułowanych na podstawie przeprowadzonych prac.

Praca przedstawiona przez Pana mgr inż. Marka Janigę ma stosowny układ i jest napisana w sposób jasny, z zastosowaniem terminologii specjalistycznej odpowiedniej dla podjętego tematu. Bogata jest warstwa wizualizacyjna pracy, na którą składają się m.in. wykresy, diagramy oraz profile.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

W analizowanej rozprawie nie dostrzegłem błędów lub uchybień natury merytorycznej czy formalnej, które rzutowałyby na jej ostateczną ocenę. Poniżej, w kolejności zgodnej z tekstem, zamieszczam spostrzeżenia i uwagi oraz wątpliwości dotyczące fragmentów pracy. Niektóre z uwag są szczegółowe i mogą być przydatne przy przygotowywaniu tekstu do publikacji.

- Strona 15 – Autor stwierdza, że głównym celem badawczym rozprawy jest znalezienie wartości parametrów określających *sweet spoty*. Można z tego wysnuć wniosek, iż wartości owych parametrów nie są znane (jest to problem naukowy) i będą one wyznaczone, po zbadaniu odpowiednich cech próbek, pochodzących z lokalizacji, które zdefiniowano uprzednio jako *sweet spoty*. Wywody zawarte w dalszych częściach pracy pokazują, że jest inaczej: na podstawie badań laboratoryjnych wyznaczone są parametry, których porównanie z odpowiednikami opisującymi formacje Barnett i Fayetteville, pozwala na określenie *sweet spotów* w analizowanych formacjach łupkowych północnej Polski. Dla wyjaśnienia tej rozbieżności korzystne byłoby przedstawienie algorytmu wnioskowania, którym posłużono się w pracy.
- Strona 18 – generalny opis spektrometru, o ile jest niezbędny, byłby czytelniejszy gdyby zilustrować go schematem tego urządzenia. Wymieniono tu tylko jeden z kilku typów detektorów - puszkę Faradaya, prawdopodobnie ze względu na jej zastosowanie w wykorzystywanym urządzeniu Delta V Advantage.

- Strona 21 – Przy opisie modelu Stahla stwierdzono, że „proporcje lekkich izotopów węgla i bardzo wysokie stosunki $C1/\Sigma Cn$ wskazują na gaz biogeniczny”, nie definiując zakresów wartości tych proporcji. Nieco dalej znalazło się stwierdzenie: „A high temperature zone, where chemical processes (hydrolysis, cracking and hydrogen imbalance) are becoming increasingly important cause an increase of methane isotopes ratio”. Jest ono niezbyt fortunne, gdyż sugeruje istnienie izotopów metanu, podczas gdy chodzić powinno o izotopy węgla lub ewentualnie wodoru. Czy w pracy Bernard, Brooks and Sackett (1978) rzeczywiście analizowano pochodzenie i stężenia lekkich węglowodorów w wodach odpadowych - marine wastewater?
- Strona 28 – przedstawione tutaj werbalne definicje, m.in. miar oceny populacji: średniej arytmetycznej i rozstępu oraz współczynnika korelacji Pearsona, czy też opis histogramów nie są potrzebne, gdyż odnoszą się do wiedzy elementarnej. Jeżeli jednak uznano, że są one niezbędne to preferowane byłoby podanie stosownych formuł matematycznych.
- Strona 29 – W pracy wykorzystano metodę porównywania składu chemicznego gazów, otrzymanych poprzez zastosowanie wskaźników molekularnych. Wydaje się jednak, że oprócz badania korelacji wskaźników $C1/C2+3$, $C2/C3$ i innych, co przedstawiono w Tab. 31 (str. 75), można było pokusić się o bardziej zaawansowane techniki badania struktury danych, w odniesieniu do składników gazu w poszczególnych próbkach – Appendix 34-38. W tym przypadku analizowane byłyby udziały procentowe gazów w poszczególnych próbkach. Ponieważ udziały te sumują się do 100%, nie są zmiennymi niezależnymi, zatem wymagają specyficznego podejścia, które zapewnia zespół procedur określane jako analiza danych złożonych - Compositional Data Analysis (CDA). Ponadto, do dyspozycji pozostają m. in. analizy wielowymiarowe: analiza skupień, skalowanie wielowymiarowe lub analiza czynnikowa.
- Strona 30 – Opis budowy geologicznej byłby bardziej czytelny gdyby uzupełnić go o mapy lub przekroje geologiczne
- Strona 32 – Określenie „skład izotopowy” (isotopic composition) może być nieco mylące. Skład izotopowy wyrażany jest w pracy poprzez względną koncentrację izotopów, tzw. deltę izotopową (o czym wspomniano na str. 17). We wszystkich opisach składu izotopowego, rozumianego w ten sposób, podając odpowiednie wartości, należy zatem stosować symbol „ δ ”
- Strona 35 – W omówieniu zasad konstrukcji histogramów pada następujące stwierdzenie: „Kształt rozkładu częstości jest najczęściej skośny i niesymetryczny”. Nie wiadomo jednak, czy jest to wnioskiem z analizy histogramów wykonanych na potrzeby pracy. Jeżeli tak, to byłby to wniosek jedyny, gdyż na pięciu kolejnych stronach (38–42) zamieszczono aż 19 histogramów obrazujących liczebność wartości $\delta^{13}C$ w wyróżnionych przedziałach klasowych, nie opatrując ich odpowiednim komentarzem.
- Strona 43 – zawiera podsumowanie, przedstawionych dalej, w Tab. 6-10 i na Fig. 21-24, statystyk podstawowych, dotyczących parametrów składu izotopowego badanych próbek. Autor nie dzieli się jednak z czytelnikiem wnioskami, jakie zapewne wyciągnął, a dotyczącymi na przykład zróżnicowania statystycznego tych parametrów. Rysunki 21–24, przedstawiające porównanie wartości ekstremalnych, średnich i median parametrów izotopowych dla poszczególnych odwiertów należy traktować z dużą rezerwą. Zostały one wykreślone na podstawie populacji o różnych liczebnościach próbek (zarówno zbiorczo jak i dla kolejnych wydzieleni litostratygraficznych), ponadto w odwiercie L1 próbki z formacji kociewskiej stanowią 30% populacji, a w pozostałych formacja ta nie jest reprezentowana, itd. W tekście należałoby ponadto wyjaśnić zaobserwowany przez Autora fakt, że „Dla każdego odwiertu średnie arytmetyczne składu

izotopowego węgla w metanie, etanie i propanie z poszczególnych jednostek litostratygraficznych i formacji są do siebie zbliżone”.

- Strony 44 i 48 – nie zacytowano źródła, z którego pochodzą tabele 6 i 10; jest to publikacja: *Matyasik I., Janiga M., Spunda K., 2020, Ewaluacja sweet spotów w polskich formacjach łupkowych w odniesieniu do wybranych parametrów geochemicznych. Nafta-Gaz 78, nr2, pp 76-90.*
- Strona 56 – Analizowane próbki gazu pobrano, poprzez odgazowanie płuczki lub rdzenia, jedynie z odwiertów poszukiwawczych. Jest oczywiste, że analizy próbek gazu, pobranego w odwiertach produkcyjnych, pozwoliłyby na bezpośrednie potwierdzenie zależności pomiędzy wartościami analizowanych parametrów a obecnością *sweet spots*. W rozdziale 5.3. omówiono rezultaty analiz składu chemicznego próbek gazu, posługując się odpowiednimi wskaźnikami. Tutaj, podobnie jak w rozdziale 5.2, Autor ograniczył się do uproszczonego opisu danych statystycznych, nie podejmując, przynajmniej przybliżonej, interpretacji przyczyn ich zróżnicowania, podobieństwa lub charakteru rozkładów. Nie podano informacji jakiego rodzaju próbkami z odwiertów W-1 i B dysponowano; czy były to próbki z odgazowania rdzeni czy też płuczki. W rozdziale tym powinna być znaleźć się informacja na temat możliwości porównywania wyników analiz gazu, pobranego tymi obydwoema metodami.
- Strona 65 – Tak samo jak w rozdziałach 5.2 i 5.3, Autor podaje tylko opis statystyczny danych pochodzących z analizy Rock-Eval, brakuje interpretacji.
- Strona 74 – W rozdziale 5.4 znajduje się opis wyników analizy regresji, brakuje jednak interpretacji zjawisk leżących u podstaw znalezionych związków pomiędzy składem izotopowym, wynikami analizy pirolitycznej i wskaźnikami składu chemicznego gazów. Współczynniki determinacji dla liniowych modeli regresji, ukazanych na Fig. 38–60 wskazują na ich słabe dopasowanie do danych. Nie jest jasne dla czego Autor zdecydował się na przedstawienie zależności pomiędzy T_{max} a $\delta^{13}C$ w metanie etanie i propanie, skoro już na podstawie współczynnika korelacji (Tab. 31) widoczne były słabe związki pomiędzy tymi parametrami.
- Strona 84 – Zwrócono uwagę na fakt, że punkty reprezentujące próbki z odwiertu L-1 znajdują się poza polami diagramu, co można tłumaczyć sposobem pobierania próbek przez odgazowanie płuczki wiertniczej. Interesujące byłoby wyjaśnienie dlaczego także próbki z odwiertów K-1 i O-2 zaznaczają się na zewnątrz tych pól, mimo, że były one pobierane poprzez odgazowanie rdzeni.
- Strona 85 – Przydatne byłoby wyjaśnienie jakie, zdaniem Autora, procesy wpływać mogą na skład izotopowy etanu i propanu, powodując pojawienie się punktów reprezentujących większość próbek, poza obszarami wyznaczonymi na wykresie Abramsa – Fig.65.
- Strona 88 – Autor zauważa, że problem z oceną dojrzałości termicznej występuje w przypadku wykorzystania diagramu wg Fabera (1987) – Fig. 67, jak i modelu Tanga (2000)– Fig. 68. Należy mieć świadomość, że *de facto* jest to ten sam model; różnica polega jedynie na odmiennym przypisaniu osi w obydwu diagramach. Korzystne byłoby też krótkie wyjaśnienie w jaki sposób stwierdzono, że „...dla gazów z formacji łupkowych zmiana składu izotopowego węgla w metanie, etanie i propanie, wraz ze wzrostem poziomu dojrzałości materii organicznej, przy której następuje wytwarzanie gazu, nie wydaje się być opisywana zależnością liniową (jak w przypadku gazów konwencjonalnych)”.
- Strona 89 – Sugerowana jest weryfikacja wartości dojrzałości termicznej V_{Ro} , odczytanych zapewne z diagramu wg Fabera (1987) – Fig. 67.
- Strona 90 – do publikacji pracy należałoby poprawić symbolikę i indeksy w opisach osi wykresów – Fig. 66 i 67.

- Strona 98 – W omówieniu diagramu – Fig. 78 stwierdzono, że różnice między $\delta^{13}\text{C}$ dla propanu i etanu dla próbek z W-1 wynoszą od około 7 do 11. Różnica między $\delta^{13}\text{C-C2}$ a $\delta^{13}\text{C-C3}$ wynosząca co najmniej 7‰ lub odwrócony trend izotopowy (efekt roll-over) może być kolejnym parametrem opartym na składzie izotopowym, który może wskazywać na *sweet spot*. Wyjaśnienia wymagałoby, na jakiej podstawie określana jest owa minimalna różnica (7%).
- Strona 99 – Autor zauważa, że wszystkie korelacje między wskaźnikami molekularnymi są bardzo wysokie. W szczególności między wskaźnikiem wilgotności, a stosunkiem C2/C3 i że wartości obu wskaźników nie różnią się istotnie, więc wystarczy zastosować tylko parametr C1/C2+3. Zachodzi zatem pytanie, jakie są współczynniki korelacji między wskaźnikiem wilgotności a stosunkiem C2/C3. Poza tym, to nie niewielkie różnice pomiędzy wartościami tych wskaźników lecz raczej właśnie ich wysokie korelacje upoważniają mogą do wykorzystania w interpretacji tylko jednego z nich.
- Strona 101 – W oparciu o wyniki z odwiertu W-1 i dane referencyjne ze złóż Barnett i Fayetteville podano tutaj wartości wskaźników składu chemicznego, które mogą być wskazówką przy określaniu *sweet spot*. W przeciwieństwie do wskaźników C1/C2+3, i-C4/n-C4, i-C5/n-C5 dla W-1, dane ze złóż Barnett i Fayetteville są jednak bardzo rozproszone. Przydałby się komentarz czy oznaczałoby to, iż nie reprezentują one *sweet spots*, skoro wykraczają poza zakresy podanych przez Autora wartości.
- Strona 103 – Stwierdzono, że wartości wskaźnika HI pozwalają na wyraźniejsze odróżnienie próbek z poszczególnych odwiertów niż T_{max} i z tego powodu wskaźnik ten wraz z TOC i T_{max} powinien być uwzględniony w ocenie formacji łupkowych i określaniu *sweet spots*. Jest interesujące jakie zatem wartości HI, byłyby tutaj indykatywne.
- Strona 106 – Stwierdzenie, iż analizy izotopowe i składu chemicznego gazu łupkowego są narzędziem, które z powodzeniem można wykorzystać do oceny formacji złożowej jest założeniem, a nie wnioskiem płynącym z pracy. Teza ta mogłaby znaleźć ostateczne potwierdzenie dopiero po przeprowadzeniu testów produkcyjnych w odwiertach, które na podstawie wykonanych analiz uznano za perspektywiczne. Podobnie należy potraktować wniosek nr 3.
- Strona 107 – Stwierdzenie, że aspekty geologiczne i geochemiczne są kluczowe, z punktu widzenia perspektyw złożowych formacji łupkowej, nie budzi wątpliwości. Należy jednak zaznaczyć, że w pracy nie analizowano (gdyż nie było to jej celem) takich zagadnień geologicznych jak m.in. tektonika, głębokość występowania formacji, petrografia i parametry petrofizyczne skał, czy temperatura. Z tego też powodu nie wykazano braku ich związku ze składem chemicznym i izotopowym gazów.
- W spisie wykorzystanych, wieloautorskich źródeł literaturowych należy podawać nazwiska wszystkich autorów. Skrót „et al.” po nazwisku pierwszego autora stosowany jest zwykle w tekście pracy, po nazwisku pierwszego autora, przy wzmiankowaniu danego źródła, o ile autorów jest co najmniej trzech.
- Z założeniami leżącymi, u podstaw pracy, należy zapoznać czytelnika w rozdziałach wstępnych. W analizowanej rozprawie, dopiero na str. 83 przedstawiono jedno z założeń pracy: „Skład izotopowy węgla metanu w większości próbek z formacji Barnett odpowiada oknu ropnemu a dla większości próbek z formacji Fayetteville - oknu gazowemu. Średnie wartości składu izotopowego i indeksów chemicznych można traktować jako wartości przybliżone do określenia *sweet spot*. Oznacza to, że wartości odpowiednich parametrów charakteryzujących te złoża traktowane będą jako wartości wzorcowe”. Na podstawie tego właśnie założenia, wykorzystując średnie arytmetyczne składu izotopowego węgla w metanie, etanie i propanie dla formacji Barnett, na str 89, podaje Autor

przybliżone wartości $\delta^{13}\text{C}$, przy których można przewidywać poziomy perspektywiczne. Na str. 85 znalazło się kolejne założenie: „Klasyczne diagramy powstały na bazie analizy konwencjonalnych złóż ropy naftowej... ze względu na swoją wszechstronność mogą być z powodzeniem wykorzystywane do interpretacji zagadnień związanych z gazem łupkowym”.

W podsumowaniu pragnę podkreślić, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Marka Janigi prezentuje wysokie walory poznawcze i stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Przedstawiona w dysertacji interpretacja pochodzenia gazów oparta jest na dobrze ugruntowanych i zweryfikowanych modelach, opracowanych przez innych autorów, mimo to stwierdzić należy, że praca Pana mgr inż. Marka Janigi przedstawia sobą znaczną wartość, gdyż zagadnienia o podobnej tematyce nie były dotąd w Polsce rozwiązywane w sposób tak kompleksowy. Autor dowiódł umiejętności planowania i prowadzenia badań, a także krytycznej interpretacji ich rezultatów, w celu wykorzystania wyników analiz składu chemicznego i izotopowego gazu z formacji łupkowych, do określania miejsc wzbogacenia w strukturach złożowych północnej Polski. Przedstawiony w pracy wywód naukowy cechuje wnikliwość, co świadczy o głębokiej wiedzy teoretycznej Autora. Wszystko to potwierdza, iż Doktorant posiadał umiejętności samodzielnego organizowania i efektywnego prowadzenia badań naukowych.

Konkluzja

Recenzowana praca doktorska pt.: „CARBON STABLE ISOTOPE COMPOSITION OF INDIVIDUAL HYDROCARBONS (CSIA) FOR SHALE FORMATION EVALUATION” spełnia wszystkie warunki stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z 2003 r.) z późniejszymi zmianami. Wobec powyższego stawiam wniosek do Rady Dyscyplin Naukowych Nauki o Ziemi i Środowisku oraz Geografia Społeczno-Ekonomiczna i Gospodarka Przestrzenna Uniwersytetu Wrocławskiego, o dopuszczenie Pana mgr inż. Marka JANIGI do dalszego toku przewodu doktorskiego.

