

Dr hab. Sławomir Kędzior
Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk o Ziemi w Sosnowcu
Ul. Będzińska 60
41-200 Sosnowiec

Katowice, Sosnowiec, 6.12.2018 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Piotra Guzego pt.: „Analiza wyników powierzchniowych badań geochemicznych na tle rozpoznania sejsmicznego wybranego obszaru Karpat zewnętrznych w aspekcie lokalizacji wglębnych akumulacji węglowodorów”

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Guzego została wykonana w Katedrze Surowców Energetycznych na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie pod kierunkiem dra hab. inż. Henryka Sechmana.

Niniejszą recenzję sporządzono zgodnie z decyzją Rady Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH z dnia 24 września 2018 r. dotyczącą powołania mnie na recenzenta ww. rozprawy doktorskiej.

Uwagi wstępne

Recenzowana dysertacja dotyczy zastosowania powierzchniowych badań geochemicznych w poszukiwaniach akumulacji wglębnych ropy naftowej i gazu ziemnego. Obecnie w Polsce poszukiwania naftowe przeżywają swój renesans, o czym świadczą ponowne, po pewnym okresie słabszych rezultatów, odkrycia nagromadzeń węglowodorów w różnych częściach naszego kraju przejawiające się chociażby zwiększoną trafnością wierceń poszukiwawczych (np. w obszarach koncesyjnych PGNiG oraz Orlen Upstream z zapadlisku przedkarpackim).

Karpaty zewnętrzne, będące terenem badań Doktoranta, są najstarszym obszarem wydobywania węglowodorów w Polsce i jednym z najstarszych na świecie, z którego do tej pory wydobyto przeszło 12 mln ton ropy oraz 13 mld m³ gazu. Eksploatowane złoża karpackie, należące do małych i bardzo małych, są w znacznym stopniu wyczerpane, jednak ze względu na nie do końca zbadany pod względem możliwości występowania węglowodorów, teren Karpat zewnętrznych, stanowi wciąż interesujący i obiecujący teren poszukiwań. Od pewnego czasu na tym terenie prowadzone są zintensyfikowane prace poszukiwawcze ukierunkowane przede wszystkim na głębsze partie górotworu (>1200 m) i polegające na wykonywaniu zarówno zdjęć sejsmicznych, jak i głębokich otworów poszukiwawczych. Niezależnie od tego realizowane są roboty geologiczno-wiertnicze na już

eksploatowanych złożach mające na celu poszerzenie bazy zasobowej i zwiększenie wydobycia węglowodorów. W tym kontekście przedstawiona rozprawa doktorska wpisuje się w te działania.

Badania geochemiczne od dawna stanowią jedną z metod poszukiwania węglowodorów zakumulowanych w serii skalnej, jednak w skali globalnej nie do końca docenianą. Treści zaprezentowane w rozprawie doktorskiej przez pana mgra inż. Piotra Guzega skłaniają do tego, by ten stan zmienić.

Ocena formalna pracy

Rozprawa doktorska składa się z dwóch części – tekstowej, liczącej 152 strony ponumerowane oraz załącznikowej, zawierającej 19 załączników w tym 5 tabelarycznych (załączniki od 1 do 5), 5 map i 9 przekrojów sejsmicznych z nałożonymi profilami geochemicznymi. Załączniki są zszyte i stanowią coś w rodzaju drugiego tomu rozprawy. Tom pierwszy, czyli tekst składa się z 8 rozdziałów zapoczątkowanych wstępem i zakończonych podsumowaniem oraz wnioskami. Poza tym zawiera spisy literatury, figur oraz tabel. Rozdziały dzielą się dodatkowo na podrozdziały, a te w niektórych przypadkach na jeszcze mniejsze jednostki. Zastosowany przez Autora rozprawy podział treści całkowicie wynika z zakresu tematycznego pracy i jest w pełni uzasadniony. Na uwagę zasługuje poprawny, przejrzysty i komunikatywny styl, co sprawia, że tekst czyta się łatwo i ze zrozumieniem. Błędy literowe i gramatyczne są nieliczne. Pragnę jednak zwrócić Autorowi uwagę na pisownię wyrazu „spośród” (np. str. 18, 2 wiersz od góry), w oryginale jest „z pośród”. Jednak z uwagi na to, że w innych miejscach wyraz ten napisany jest poprawnie, uznaję to za błąd literowy.

Szata graficzna składająca się z 65 figur jest bardzo starannie wykonana i doskonale uzupełnia tekst, podobnie tabele w liczbie 12 w sposób przejrzysty obrazują wykorzystane w pracy dane. Dotyczy to zarówno części tekstowej, jak i załączników. Pewnym mankamentem jest zastosowanie zbyt małej czcionki na osi X, przy większej czcionce na osi Y na niektórych wykresach (np. figura 30) oraz mikroskopijnych liter w legendach map w załącznikach 1 – 5, co bardzo utrudnia studiowanie tych map. To samo dotyczy np. figury 16 w części tekstowej. Doradzałbym Autorowi zwrócić na to uwagę, przy przygotowywaniu manuskryptu do publikacji.

W pracy Autor powołuje się na 206 pozycji literaturowych, w tym na wiele anglojęzycznych o obiegu międzynarodowym. Autor odwołuje się także do informacji ustnych. Cytowane prace w szerokim zakresie reprezentują zakres tematyczny rozprawy i obejmują znaczny przedział czasowy, gdyż najstarsza cytowana praca pochodzi z 1930 r., a najnowsze z 2018 r. Poza tym w spisie literatury wymienione zostały także niepublikowane dokumentacje wynikowe otworów oraz odwołanie do jednej strony internetowej.

Podsumowując część recenzji poświęconą ocenie formalnej pracy stwierdzam, że rozprawa pod względem edytorskim została przygotowana bardzo starannie.

Ocena merytoryczna pracy

Celem rozprawy było „...przeanalizowanie przydatności wyników powierzchniowych badań geochemicznych w prospekcyjnej hierarchizacji wyinterpretowanych stref anomalnego zapisu sejsmicznego na obszarze Karpat zewnętrznych”. Realizując ten cel Autor skupił się przede wszystkim na zbadaniu wpływu tektoniki oraz zróżnicowania litologicznego wychodni fliszu karpackiego na charakter zapisu geochemicznego oraz na wzajemnych stosunkach ilościowych pomiędzy gazowymi alkanami i alkenami z punktu widzenia aktywności mikroprzenikania substancji węglowodorowych z wglębnych źródeł rozpraszania do strefy przypowierzchniowej. Teren badań objął rejon Krosno-Besko znajdujący się w obrębie centralnego synklinorium jednostki śląskiej i stanowiący wschodnią część koncesji poszukiwawczej ropy naftowej i gazu ziemnego „Sobniów-Kombornia-Rogi”. W obszarze tym wykonano wcześniej badania sejsmiczne oraz ich interpretację geologiczną, co stanowiło podstawę rozważań będących przedmiotem niniejszej rozprawy.

Analizę problemu badawczego Autor poprzedził wnikliwym opisem podstaw teoretycznych powierzchniowych badań geochemicznych, procesów rządzących migracją węglowodorów do strefy przypowierzchniowej i atmosfery (rozdział 2.1.) sporo uwagi poświęcając aktualnemu stanowi rozpoznania geochemicznego na obszarze Karpat zewnętrznych (rozdział 2.2.) oraz rozpoznaniu sejsmicznemu (rozdział 2.3.). Omówienie budowy geologicznej oraz ropo- i gazonośności badanej części Karpat (centralnego synklinorium karpackiego) zamieszczone zostało w rozdziale 3. Zawarte informacje w rozdziałach 2 i 3 dają solidne podstawy teoretyczne i stanowią mocny fundament ciągu rozważań zamieszczonych w rozdziałach następnych.

Rozprawę charakteryzuje bardzo rozbudowana część metodyczna (poświęcono jej dwa rozdziały), uwzględniająca wiele aspektów, a mianowicie badania terenowe obejmujące pobór próbek gleby i gazu glebowego, a także pomiary emisji metanu (rozdział 4.1 i 4.2.) oraz laboratoryjne polegające na analizie składu cząsteczkowego gazu glebowego, trwałych izotopów węgla w metanie i dwutlenku węgla, czy analizie zawartości węglanu wapnia w glebie, pH gleby i pomiarze podatności magnetycznej (rozdział 4.3-4.7). Poza tym cały rozdział 5 poświęcony został metodyce analizy statystycznej uzyskanych wyników badań zarówno terenowych, jak i laboratoryjnych. Moim zdaniem dobór metody rozwiązania postawionego w pracy problemu jest jak najbardziej uzasadniony i uwzględnia zarówno analizę ilościową oraz jakościową zebranego materiału. Na uwagę zasługuje także fakt obecności Autora rozprawy na wszystkich etapach prowadzonych badań oraz samodzielnego wykonywania większości analiz, co uwzględniwszy zakres czynności niezbędnych do zrealizowania celu badawczego, jest imponujące i świadczy o dużym doświadczeniu Doktoranta w prowadzeniu zarówno prac terenowych jak i laboratoryjnych.

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na problem ewentualnych zarzutów, na które naraża się Autor pracy. Zarzuty te dotyczą kwestii, skąd wiadomo, że ujawnione podczas badań geochemicznych węglowodory w gazie glebowym są wynikiem migracji wskutek rozpraszania węgłbnego źródła ropnego, lub gazowego a nie są one na przykład rezultatem procesów chemicznych zachodzących współcześnie w glebie, czy działań związanych z rolnictwem, nawożeniem gleb itd.?

W rozdziałach 6 i 7 mających charakter interpretacyjny i stanowiących trzon rozprawy Autor w sposób szczegółowy, wnikliwy i analityczny zinterpretował wyniki swoich badań i obserwacji zwracając baczna uwagę na postawiony powyżej problem interpretacyjny. W tym celu posłużył się m.in. rozbudowanym aparatem statystyki matematycznej oceniając rozkłady statystyczne wybranych wskaźników geochemicznych oraz relacje między nimi (rozdział 6.2.), dokonując oceny związków korelacyjnych pomiędzy zbiorami stężeń węglowodorów i wskaźników geochemicznych oraz wodoru (rozdział 6.4.), a następnie statystycznej analizy porównawczej zbiorów pomierzonych stężeń w obrębie wydzielen strukturalno-tektonicznych oraz litostratygraficznych (rozdział 6.5.). Bardzo istotną czynnością uwiarygadniającą interpretację i późniejsze wnioski było wyznaczenie tła geochemicznego przy zastosowaniu metody statystycznej (rozdział 5.2.) i jego wykorzystanie przy określaniu wartości anomalnych stężeń węglowodorów (rozdział 6.6.). Istotne było także przeanalizowanie relacji pomiędzy alkanami i alkenami pomierzonymi w gazie glebowym (rozdział 6.7) oraz określenie charakteru źródła rozpraszania węglowodorów (ropnego, czy kondensatowego) na podstawie współczynnika etan/propan (rozdz. 6.8). Mocnym argumentem wspierającym określanie źródła węglowodorów w glebie była analiza trwałych izotopów węgla w metanie i dwutlenku węgla oraz stosunek udziału ciężkiego izotopu ^{13}C w gazie w odniesieniu do ilorazu zawartości metanu i wyższych węglowodorów. Wyniki tej analizy zamieszczone w rozdziale 6.3., potwierdziły obecność węgłbnych akumulacji węglowodorów, chociaż w niektórych próbkach wskazały na mikrobialne pochodzenie metanu.

W rozdziale 7 zawierającym wyniki analizy wskaźników geochemicznych wzdłuż fragmentów 9 profili sejsmicznych realizowanych w obszarze Krosno-Besko Autor powiązał uzyskane w trakcie badań polowych i laboratoryjnych rezultaty z budową geologiczną analizowanego obszaru i możliwościami akumulacji węgłbnych węglowodorów. W każdym z analizowanych profili zostały wyznaczone stężenia metanu, etanu, propanu, sumy butanów i pentanów oraz etylenu, a także dwutlenku węgla i wodoru. Autor zwrócił szczególną uwagę na maksymalne i anomalne wartości oznaczonych składników gazu. Pozwoliło to Autorowi, po uwzględnieniu wcześniejszych analiz statystycznych, na wytypowanie miejsc szczególnie perspektywicznych co do możliwości występowania węgłbnych akumulacji węglowodorów i skojarzenie ich z wcześniejszym zapisem sejsmicznym. Miejscami tymi okazały się obszary łusek Targowisk-Beska oraz antykliny Bóbrki-Rogów. Wyniki dodatkowych badań geochemicznych (obecności kalcytu, podatności magnetycznej oraz pH), zamieszczone w rozdziale 7.3. także

potwierdziły możliwość migracji węglowodorów z głębi do strefy przypowierzchniowej, czego dowodem może być wtórna mineralizacja kalcytowa na drodze migracji węglowodorów. Wyniki pomiarów strumienia emisji metanu (rozdział 7.4) nie wykazały związku z zarejestrowanymi podwyższonymi stężeniami alkanów i dlatego zdaniem Autora nie powinny stanowić przesłanki do wyznaczania potencjalnych stref perspektywicznych dla występowania wglębnych akumulacji węglowodorów.

Przeprowadzona przez Doktoranta bardzo szczegółowa analiza geochemiczna poszczególnych składników gazu glebowego i obecnego w strefie przypowierzchniowej wspomóżona zastosowaniem metod analizy statystycznej wykazała, że stwierdzone anomalne wielkości węglowodorów w gazie mogą być oznaką występujących wglębnych akumulacji węglowodorów. Jedynie metan, którego występowanie zostało stwierdzone w największych stężeniach, może pochodzić z różnych źródeł, na co Autor pracy wskazywał wielokrotnie. Do najistotniejszych argumentów przemawiających za związkiem stwierdzonych węglowodorów w strefie przypowierzchniowej i glebie z wglębnymi akumulacjami węglowodorowymi, zdaniem Autora należą m.in.:

- silny związek występowania alkenów z alkanami wskazujący na migracyjne pochodzenie węglowodorów,
- związek pomiędzy rozkładem pośrednich wskaźników geochemicznych a stężeniami węglowodorów zarejestrowanymi w gazie glebowym,
- korelacje przestrzenne pomiędzy charakterem struktur tektonicznych i litologią skał fliszowych a potencjalnymi drogami migracji węglowodorów potwierdzone anomalnym zapisem węglowodorów w gazie ze strefy przypowierzchniowej,
- zgodność zapisu sejsmicznego objawiającego potencjalne drogi migracji węglowodorów z ich anomalnymi wskaźnikami na profilach geochemicznych.

W moim odczuciu powyższe argumenty można uznać za przekonujące i wskazujące na bardzo możliwy związek uzyskanych wyników badań geochemicznych z potencjalnymi wglębnymi źródłami rozpraszania węglowodorów powiązanych z akumulacjami ropy naftowej lub kondensatu.

Uwagi, zapytania i sugestie

Recenzowana rozprawa mimo bardzo pozytywnych cech, zawiera pewne drobne niedociągnięcia, wymienione poniżej.

- Na str. 49 akapit 3 Autor pisze o wychodniach wydzieleni stratygraficznych i o przypisanych do nich punktach pomiarowych. Skąd Autor wiedział, że porusza się w obrębie takiej czy innej wychodni? Czy kartował teren samodzielnie, czy dysponował mapą geologiczną, czy przekrojem? Taka informacja powinna znaleźć się w pracy.

- Str. 51 akapit 1. W przypadku jednego odchylenia standardowego poziomu ufności wynosi 68,3% przy założeniu, że mamy do czynienia z rozkładem normalnym. Tymczasem Autor podaje wartość 84,1%.

- Na stronie 55 akapit 1 Autor podaje, że spadek wartości stężeń alkanów ze wzrostem liczby atomów węgla w cząsteczce świadczy o wglębnym pochodzeniu i migracji z nagromadzeń wglębnych węglowodorów. To stwierdzenie poparte jest cytatami. W moim odczuciu to stwierdzenie jest jednak zbyt kategoryczne. Jeżeli jest to potwierdzone wcześniejszymi badaniami, to dobrze byłoby to krótko opisać, chociażby streszczając informacje zawarte w cytowanych pracach, ażeby nie zmuszać czytelnika do szukania tej informacji w literaturze, zwłaszcza że jest ona bardzo istotna dla tematyki pracy.

- Na str. 61, na początku rozdziału 6.3. jest napisane, że jeżeli zachodzi nierówność $C_1/\sum(C_2-C_5) > 1000$ to można uznać, że pochodzenie gazu jest współczesne (mikrobiałne). Zgadza się z tym, że jest mikrobiałne, ale czy tylko współczesne? Gaz ziemny mikrobiałny stanowi ok. 20% zasobów złóż gazu na świecie i często jest wieku np. miocenijskiego (jak w zapadlisku przedkarpaccim) i też charakteryzuje się wysokim stosunkiem ilościowym metanu do wyższych węglowodorów.

- Str. 62, akapit 2. Dlaczego niska wartość mediany i niewielka różnica pomiędzy medianą i wartością średnią współczynnika C_2/C_3 sugerują, że w badanym obszarze występują źródła o charakterze ropnym i ropno-kondensatowym? Może warto pokrótce to wyjaśnić, np. streszczając informacje z cytowanych prac.

- Str. 103, podrozdział 7.2.2. Profil pomiarowy nr 2, przedostatnie zdanie. „Generalnie, w miejscach o podwyższonych stężeniach składników alkanowych, pomierzone zostały również podwyższone stężenia alkanów oraz metanu”. Alkany w tym zdaniu pojawiają się dwa razy, czy nie powinny być „alkeny” w pierwszym użyciu?

Poza powyższymi uwagami, według mnie, zbyt słabo został wyeksponowany rzeczywisty obszar badań w zakresie lokalizacji, granic, powierzchni oraz budowy geologicznej. Informacje te wprawdzie można znaleźć w pracy, ale są one rozlokowane w dwóch rozdziałach (2 i 3) i podawane na tle innych informacji np. przy omawianiu budowy geologicznej centralnego synklinorium karpacciego, lub przy zakresie badań terenowych i laboratoryjnych. Brakuje konkretnego podrozdziału traktującego o zagadnieniach dotyczących wyłącznie badanego obszaru. Lokalizacja obszaru badań jest jednak zaznaczona na figurze 14 w formie prostokąta i tylko to daje pogląd o położeniu badanego obszaru.

Zastanowiłbym się również nad potencjalnym charakterem wglębnych źródeł rozpraszania w obszarze badań. Rejon karpaccy charakteryzuje się występowaniem przeróżnego

rodzaju akumulacji węglowodorowych, do których zaliczyć można np. objawy węglowodorowe bez znaczenia przemysłowego, potencjalne akumulacje o charakterze ekonomicznym, które czekają na odkrycie i zagospodarowanie, złoża eksploatowane, czy w końcu akumulacje, których eksploatacja zakończyła się, lecz zawierające jeszcze ropę naftową (ok. 60% zasobów geologicznych ropy pozostaje w złożu po eksploatacji). Dlatego przed przystąpieniem do terenowych badań geochemicznych należałoby bardzo dobrze przeanalizować stan rozpoznania geologiczno-eksploatacyjnego terenu, czy istnieją stwierdzone akumulacje węglowodorów, czy w przeszłości były prowadzone prace wiertnicze oraz eksploatacja ropy naftowej, czy obecnie takie prace są prowadzone. Istnieje bowiem ryzyko, że uchwycony zapis geochemiczny węglowodorów w strefie przypowierzchniowej może pochodzić od złoża ropy kiedyś eksploatowanego i wyczerpanego, w którym pozostała ropa wciąż jest rozpraszana, lub z pozostałości po dawnych pracach wiertniczych (oleje, smary) itp. Należy pamiętać, że Karpaty, a zwłaszcza rejon Bóbrki ma za sobą ponad 150-letni okres eksploracji i eksploatacji ropy naftowej oraz gazu, co nie pozostaje bez wpływu na współczesne (antropogeniczne) procesy migracyjne i akumulacyjne węglowodorów zachodzące w górotworze.

Ciekawi mnie również, czy zaproponowana w tej pracy metodyka może być stosowana też poza Karpatami, na przykład na Niżu Polskim, gdzie mamy do czynienia generalnie z głębszymi akumulacjami ropy i gazu, dobrze uszczelnionymi m.in. ewaporatami cechsztyńskimi oraz facjami ilastymi i węglanami cechsztynu oraz młodszych systemów.

Powyższe uwagi i zalecenia mają charakter drobnny oraz polemiczny i nie wpływają na bardzo dobrą ocenę całości pracy.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Autor rozprawy mgr inż. Piotr Guzy podjął się niezwykle trudnego i pracochłonnego zadania polegającego na powiązaniu geochemicznych metod wykrywania podziemnych akumulacji węglowodorów z geofizycznymi (sejsmicznymi) metodami poszukiwania nagromadzeń ropno-gazowych o charakterze przemysłowym. Wnikliwie i bardzo starannie przeprowadzone badania terenowe i laboratoryjne, a także trafnie dobrana metodyka pracy pozwoliła Autorowi założyćony cel tego zadania osiągnąć. Przeprowadzając swój wywód Doktorant udowodnił, że związek przestrzenny pomiędzy obecnością wyższych węglowodorów gazowych w strefie przypowierzchniowej oraz glebie a wgłębnyimi akumulacjami ropno-gazowymi jest bardzo możliwy i zaproponowana przez Doktoranta metoda może być wykorzystana jako wspomagająca interpretację zdjęć sejsmicznych. Chociaż szczegóły zgrania obu metod wymagają jeszcze dopracowania, jest to bardzo dobry początek działań zmierzających do stworzenia innowacyjnej metodyki poszukiwania złóż ropy i gazu. W tym

kontekście praca ma charakter aplikacyjny i nosi w sobie znamiona wdrożeniowe. Może być udostępniona firmom poszukiwawczym z sektora naftowego w celu dostarczenia im nowych rozwiązań na polu eksploracyjnym, zwłaszcza w Karpatach, w których są potencjalne możliwości odkrycia kolejnych przemysłowych akumulacji węglowodorów .

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Guzega spełnia wymagania ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) i w związku z tym wnoszę do Wysokiej Rady Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ze względu na istotne walory innowacyjne rozprawy oraz dużą samodzielność Doktoranta w prowadzeniu badań i niełatwej interpretacji wyników składam wniosek do Wysokiej Rady o jej wyróżnienie.

Ryszard Kozłowski