

Krosno, dnia 23.03.2023r.

dr hab. inż. Teresa STELIGA prof. INiG-PIB
Instytut Nafty i Gazu-Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
email:steliga@inig.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

nt. „OCENA ŚRODOWISKOWA I ENERGETYCZNA PROCESÓW POSZUKIWANIA I EKSPLOATACJI NIEKONWENCJONALNYCH ZŁÓŻ WĘGLOWODORÓW Z UWZGLĘDNIENIEM ANALIZY RYZYKA”

autorstwa:

mgr Moniki WÓJCIK

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Wojciech KOSTOWSKI, prof. PŚ
Promotor pomocniczy: dr inż. Paweł GŁADYSZ

1. PODSTAWA PRAWNA RECENZJI

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji była uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 19.01.2023r. przekazana pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina Nr RIE-BD 512.7.2023 z dnia 15.02.2023 r., o powołaniu mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim Pani mgr Moniki Wójcik.

2. PODSTAWOWE DANE O KANDYDACIE

Pani mgr Monika Wójcik w 2007r. uzyskała tytuł magistra w specjalności Ochrona Środowiska na Uniwersytecie Kard. Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Następnie w 2009r. uzyskała tytuł magistra o specjalności Edukacja medialna i Dziennikarstwo na Uniwersytecie Kard. Stefana Wyszyńskiego w Warszawie.

W latach 2014 – 2015 podjęła studia podyplomowe na Politechnice Warszawskiej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa w zakresie Bezpieczeństwa i Higieny Pracy. W roku 2018 rozpoczęła studia doktoranckie na Politechnice Śląskiej, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki.

Pracę zawodową rozpoczęła w 2008 roku w Ministerstwie Środowiska – Departament Globalnych Problemów Środowiska i Zmian Klimatu na stanowisku starszego inspektora. Następnie podjęła pracę w PGNiG S.A. jako Główny Specjalista ds. Ochrony Środowiska (2008 – 2018r.) oraz Kierownik Działu Ochrony Środowiska (2018r. – do chwili obecnej).

Z przesłanej recenzentowi dokumentacji nie wynika, aby Pani mgr Monika Wójcik ubiegała się wcześniej o nadanie stopnia naukowego doktora na jakiegokolwiek uczelni lub jednostce naukowo-badawczej, posiadającej uprawnienia do nadania stopnia naukowego doktora.

3. TEMATYKA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ I TRAFNOŚĆ JEJ WYBORU

Prowadzone na obszarze Polski poszukiwania i udostępnianie niekonwencjonalnych akumulacji gazu ziemnego zawartego głównie w czarnych łupkach ilasto-mułowcowych syluru i ordowiku oraz uwięzionego w piaskowcach czerwonego spągowca (gaz z łupków – *shale gas*) i gazu zamkniętego w skałach piaskowcowych lub węglanowych o niskiej przepuszczalności poniżej 0,1 milidarcy (mD) i porowatości poniżej dziesięciu procent matrycy (*tigh gas*), realizowane były przede wszystkim otworami horyzontalnymi. W celu umożliwienia uzyskania na dużej powierzchni złoża sieci sztucznych szczelin przeprowadzono zabiegi hydraulicznego szczelinowania. Realizacja takiej

inwestycji wymaga zastosowania na poszczególnych jej etapach zarówno nowoczesnych technik i technologii ich wykonywania jak również wykorzystania odpowiednio dobranych systemów płuczek wiertniczych i cieczy do hydraulicznego szczelinowania.

Przedsięwzięcie to stanowi potencjalne zagrożenie dla wszystkich elementów środowiska, gdyż generuje szereg zagrożeń: degradację gleb na terenie zajęтым pod wiertnię, lokalne zanieczyszczenie powierzchni ziemi i gruntów paliwami, olejami, środkami myjącymi, a także materiałami chemicznymi służącymi do sporządzania płuczek wiertniczych i płynów szczelinujących. Ponadto realizacja prac wiertniczych oraz udostępnienie złoża powoduje powstawanie odpadów wiertniczych oraz nadmiernej ilości odpadów po zabiegach hydraulicznego szczelinowania, zużycie wody z ujęć lokalnych, emisję hałasu z urządzeń wiertniczych oraz emisję do atmosfery zanieczyszczeń.

Prowadzone w Polsce w latach 2010–2016 intensywne prace poszukiwawcze i eksploatacyjne węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas* pozwoliły przetestować wiele rozwiązań technicznych i technologicznych związanych z przystosowaniem do lokalnych warunków geologicznych. Problemy ekonomiczne, polityczne, społeczne, a w szczególności środowiskowe dotyczące opracowania przyjaznych środowisku i wykonalnych z ekonomicznego punktu widzenia technologii gospodarowania wodą, ściekami i odpadami przy wydobyciu gazu z łupków były przedmiotem wielu raportów z realizowanych projektów badawczych oraz artykułów. Opracowano wiele nowoczesnych i interesujących metod monitorowania zagrożeń środowiskowych procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas*, jednakże brak jest syntetycznej oceny środowiskowej w oparciu o metodę *Life Cycle Assessment* (LCA) będącą jedną z metod zarządzania środowiskiem, która w połączeniu z oceną energetyczną metodą kosztu termoeologicznego (TEC) może stanowić narzędzie do określenia skutecznego sposobu zmniejszenia wyczerpywania nieodnawialnych źródeł energii pierwotnej oraz ograniczenia emisji szkodliwych substancji.

Doktorantka dostrzegła lukę poznawczą dotyczącą tej wiedzy zarówno naukowej jak i praktycznej i dlatego też skierowała swoje zainteresowania na te problemy upatrując w nich szansę wpisania prowadzonych badań w obszar ważnych i aktualnych problemów środowiskowych.

Ponadto wybór tematyki pracy doktorskiej uważam za ważny z punktu widzenia przemysłu gazowniczego oraz procesów transformacji energetycznej związanych z procesami klimatycznymi EU, gdyż gaz ziemny w okresie najbliższych kilkudziesięciu lat będzie stanowił paliwo przejściowe. Obecnie wykorzystanie węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych w Polsce, pomimo trudnego dostępu do tych surowców stwarza szansę na dywersyfikację źródeł energii.

Reasumując uważam, że zaproponowany temat i zakres pracy doktorskiej wpisuje się w światowy nurt badań środowiskowych i podjęcie jego realizacji należy uznać za w pełni uzasadnione. Tytuł pracy jest zwięzły i informuje o jej tematyce, która mieści się w problematyce dyscypliny: Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY WRAZ UWAGAMI KRYTYCZNYMI

Praca została napisana w języku polskim i składa się z wstępu, trzech głównych rozdziałów oraz podsumowania. Same nazwy tytuły rozdziałów są jedynie hasłowe, jednak każdy z nich zawiera szereg zdefiniowanych podrozdziałów. Rozdziały zostały poprzedzone indeksem stosowanych akronimów, spisem ważniejszych symboli i stosowanych jednostek oraz wykazem stosowanych symboli greckich. Zestawienia te są bardzo przydatne i zdecydowanie ułatwiają odbiór pracy.

Rozprawa zawiera 132 strony tekstu wraz z rysunkami i tabelami, których spis znajduje się bezpośrednio po podsumowaniu. Łącznie w pracy umieszczono 26 rysunków i 31 tabel. Na końcu pracy zamieszczono spis literatury oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Spis literatury obejmuje: artykuły i publikacje (69 poz.) w tym 28 – zagranicznych co stanowi 41%, akty prawne zawierające dyrektywy Parlamentu Europejskiego, rozporządzenia i ustawy (34 poz.) oraz inne (36 poz.).

Rozprawę doktorską rozpoczyna krótki „**Wstęp**” w którym Pani mgr Monika Wójcik dokonała wprowadzenia w tematykę pracy doktorskiej nakreślając zakres pracy obejmujący: analizę ryzyka środowiskowego, ocenę procesów poszukiwania i eksploatacji *shale gas* i *tight gas* przy zastosowaniu

metodyki oceny cyklu życia (LCA) w oparciu o którą przeprowadziła analizę energetyczno-ekologiczną metodą kosztu termoeologicznego (TEC).

Rozdział #1 obejmuje podstawowe informacje dotyczące procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas*. Autorka krótko charakteryzuje rodzaje złóż gazu niekonwencjonalnego (hydraty gazowe, metan z pokładów węgla, gaz zamknięty i gaz z łupków) oraz metody eksploatacji kopalin (podziemną, odkrywkową i otworową). Słusznie zauważa, że wydobycie gazu z złóż niekonwencjonalnych w ramach strategii zrównoważonego rozwoju powinno być akceptowalne w wymiarze społecznym, gospodarczym i środowiskowym. Następnie Doktorantka skrótowo opisuje procesy udostępniania i wydobycia węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas*, poczynszyszy od badań sejsmicznych, poprzez przygotowanie terenu pod budowę wiertni wraz z infrastrukturą jej towarzyszącą, zabiegi wiercenia otworami poziomymi i horyzontalnymi, cementowania, hydraulicznego szczelinowania oraz rekultywację terenu na którym prowadzono działalność górnictw. Wydobycie węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych jest ekonomiczne jedynie po wykonaniu wielu zabiegów hydraulicznego szczelinowania z podsadzką, prowadzących do uzyskania w skale systemu licznych szczelin i mikropęknięć, umożliwiających uwolnienie się zaadsorbowanego gazu oraz przepływ płynów złożowych z sieci porów do odwiertu. Składy cieczy technologicznych stosowanych przy wykonywaniu zabiegów hydraulicznego szczelinowania zależą od formacji geologicznej złoża oraz od rodzaju otworu (pionowy, poziomy). Preferuje się płyny bezpieczne dla środowiska, ale nie należy lekceważyć ryzyka wynikającego z negatywnego ich oddziaływania na wody powierzchniowe i podziemne. Z tego względu Autorka słusznie przedstawiła tabelaryczne zestawienie właściwości i składu substancji wchodzących w skład płynu szczelinującego, jednakże nie ustrzegła się od błędnej interpretacji głównego składnika chemicznego w przypadku inhibitora korozji (Uwagi inne pkt.6 recenzji). Cennym uzupełnieniem byłby komentarz o toksyczności płynów szczelinujących. Ważnym i pozytywnym aspektem jest zwrócenie przez Autorkę uwagi na przegląd aktów prawnych zarówno polskich jak i europejskich w zakresie poszukiwania i eksploatacji gazu ziemnego ze złóż niekonwencjonalnych, co świadczy o dobrym przygotowaniu Pani mgr Moniki Wójcik do realizacji tematu.

Rozdział #2 zawiera zarówno informacje zaczerpnięte z literatury dotyczące ogólnego przeglądu oceny ryzyka środowiskowego jak i wyniki analizy ryzyka środowiskowego przeprowadzonego przez Doktorantkę dla procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas* i został on podzielony na trzy podrozdziały.

W podrozdziale #2.1 dokonano charakterystyki zagrożeń najczęściej mogących wystąpić podczas poszukiwania i eksploatacji gazu z łupków do których zaliczono; emisję hałasu i zanieczyszczeń atmosferycznych powstających podczas spalania paliw, zmiany krajobrazu, zachwianie równowagi hydrogeologicznej poprzez znaczny pobór wód, zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych oraz powierzchni ziemi, generowanie odpadów powstałych w trakcie procesów wiercenia i hydraulicznego szczelinowania oraz sejsmiczność i promieniotwórczość. Doktorantka zbyt pobieżnie potraktowała zagadnienie zagrożeń wynikających z generowania podczas zabiegu hydraulicznego szczelinowania znacznych ilości ciekłych odpadów (płynu zwrotnego), które należy w racjonalny sposób zagospodarować. Należy zaznaczyć, że odzysk płynu pozabiegowego po hydraulicznym szczelinowaniu jest różny dla złóż gazu łupkowego typu *shale* i *tight gas* otworami pionowymi i poziomymi. Większość wypływu płynu pozabiegowego po hydraulicznym szczelinowaniu następuje w ciągu pierwszych kilku godzin do kilkunastu dni do momentu wywołania. Podczas kontaktu z górotworem płyn szczelinujący wchodzi w różnorakie reakcje ze skałami, a zawarta nim woda miesza się z wodą złożową wypełniającą pory w skale. W wyniku tego, skład chemiczny płynu pozabiegowego po hydraulicznym szczelinowaniu ulega zmianie w porównaniu ze składem płynu szczelinującego, przy czym zmiana jest tym bardziej widoczna, im dłużej płyn szczelinujący pozostaje w złożu. Wobec powyższego ważne jest monitorowanie składu płynu zwrotnego, gdyż pozwala ono na ustalenie kierunków jego zagospodarowania. Chciałabym prosić o ustosunkowanie podczas publicznej obrony pracy do kwestii składu płynu zwrotnego w trakcie jego odbioru, zalecanych wstępnych

procesów jego oczyszczania oraz ograniczeń, które uniemożliwiają jego zastosowanie jako bazy lub dodatku do sporządzania nowych partii płynu szczelinującego.

Doktorantka słusznie nawiązuje do badań ekotoksykologicznych, gdyż zastosowanie baterii testów nowej generacji, których bioindykatory należą do różnych grup taksonomicznych reprezentujących wszystkie poziomy troficzne: producentów, konsumentów i reducentów pozwalają na określenie toksyczności i kompleksową ocenę wpływu płynu szczelinującego, płynu zwrotnego po zabiegu hydraulicznego szczelinowania, odpadów powstałych podczas wiercenia (zużyta płuczka) na stan badanego środowiska. Badania toksykologiczne w połączeniu z kompleksowymi analizami fizyczno-chemicznymi stanowią nowatorskie narzędzie monitorowania zagrożeń środowiskowych. Wymaga to jednak szerszego komentarza podczas publicznej obrony.

Układ rzeczowy rozprawy powinien być zgodny z tradycyjnym układem prac mających cechy rozpraw doktorskich, gdzie zwyczajowo po przedstawieniu analizy stanu wiedzy w temacie rozprawy ma miejsce określenie celu ogólnego i celów szczegółowych ewentualnie też i zakresu pracy. W takim (klasycznym) układzie widoczne jest w sposób jednoznaczny, z czego wynika przyjęty cel pracy oraz planowany zakres prac umożliwiających jego realizację. Na koniec przedstawionego stanu wiedzy zabrakło jednak krótkiego, syntetycznego podsumowania części literaturowej, uzasadniającego cel prowadzenia podjętych badań i stanowiącego nawiązanie do kolejnej części rozprawy oraz nakreślenia celu ogólnego i celów szczegółowych i sformułowania tez pracy. Praca nie zawiera klasycznej tezy, dlatego trudno się w sposób bezpośredni do niej odnieść. Pośrednio można wnioskować, że Doktorantka uważa, że „Procesy poszukiwania, wydobywania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas* nie obciążają środowiska bardziej niż pozostałe paliwa konwencjonalne”, co udowadnia w trakcie realizacji pracy.

W podrozdziale # 2.2 Pani mgr Monika Wójcik w sposób syntetyczny przedstawiła światowe wytyczne oceny ryzyka środowiskowego, które potraktowała jako bazę wiedzy do opracowania własnej analizy ryzyk środowiskowych dedykowanej do zarządzania ryzykiem podczas procesów poszukiwania i wydobywania węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych. Na podstawie zebranych danych pochodzących z baz (PGNiG S.A., PIG, Map Geoserwisu Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska oraz badań monitoringowych) dla wytypowanych otworów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* (3 otwory) i *tight gas* (3 otwory) w poszczególnych etapach prac: 1) poszukiwawczo-rozpoznawczym, 2) przemysłowym wydobywaniu gazu, 3) zakończeniu eksploatacji, przeprowadziła szczegółową analizę ryzyk terenowych i środowiskowych opierając się na czteropunktowej skali oceny skutków i prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia. Ponadto przedstawiła arkusze, które zawierają analizy ryzyka będące uśrednionymi wartościami ryzyka dla analizowanych otworów *shale* i *tight gas*. Dzięki przeprowadzonej analizie przypadków oddziaływania na środowisko prac związanych z poszukiwaniem i eksploatacją węglowodorów niekonwencjonalnych, Doktorantka stwierdza, że mają one charakter krótkotrwały i przejściowy, a sumaryczna wielkość ryzyka na otworach badawczych *shale* i *tight gas* w pierwszym etapie prac jest niska, a zauważalne zwiększenie wartości ryzyka można odnotować w drugim etapie prac. Opracowany przez Doktorantkę model analizy ryzyka środowiskowego może być wykorzystywany do zarządzania ryzykiem podczas procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów zarówno ze złóż niekonwencjonalnych jak i konwencjonalnych. Jego opracowanie od Doktorantki wymagało dużego nakładu pracy i doświadczenia zawodowego.

Doktorantka mając na względzie charakter projektu „Doktorat Wdrożeniowy”, który oprócz charakteru zarówno poznawczego jak i aplikacyjnego powinien przynieść wymierne korzyści przedsiębiorstwu będącemu udziałowcem projektu, opracowała własną aplikację informatyczną FRACK służącą do wspomagania procesów decyzyjnych zarządzania ryzykiem podczas poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych w PGNiG S.A. (podrozdział #2.3). Autorka przedstawiła konstrukcję aplikacji FRACK oraz sposób posługiwania się aplikacją. Pomimo, że liczba otworów/odwiertów w aplikacji jest niewielka (6) to istnieje możliwość jej uzupełniania i ma ona duży potencjał do rozwoju w zależności potrzeb i wymagań użytkownika.

Rozdział #3 został poświęcony zagadnieniom kompleksowej oceny energetycznej i ekologicznej ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas*. Doktorantka słusznie stwierdza, że kompleksowa ocena zarządzania środowiskiem analizowanych procesów wymaga określenia

powiązań z gospodarką poprzez identyfikację oraz ocenę ilościową zużytych materiałów, nośników energii, emisji zanieczyszczeń oraz odpadów wprowadzanych do środowiska i w celu opisanie tych zależności zastosowała metodę *Life Cycle Assessment* (LCA), która jest jedną z metod zarządzania służącą do badania aspektów środowiskowych i potencjalnych wpływów na środowisko w całym zakresie życia produktu.

W *podrozdziale #3.1*. Doktorantka na wstępie dokonała charakterystyki metody LCA oraz przedstawiała wytyczne oceny cyklu życia LCA regulowane przez normy serii ISO od 14040 do 14049 oraz ich polskie odpowiedniki. Badania z wykorzystaniem metody LCA procesów poszukiwania i eksploatacji ze złóż niekonwencjonalnych realizowała zgodnie z metodyką czterech faz obejmującą: określenie celu i zakresu, analizę zbioru wejść i wyjść, analizę wpływu cyklu życia oraz interpretację. Doktorantka określiła granice systemu LCA w celu ustalenia liczby wejść i wyjść dla trzech etapów procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas* przyjmując, że maksymalny okres eksploatacji gazu ze złóż typu *shale* i *tight* wynosi 30 lat, zaś jednostką funkcjonalną jest 1 MJ gazu dostarczonego sieci. Na podstawie zgromadzonych zgodnie z normą PN-EN ISO 14044:2009 Pani mgr Monika Wójcik dokonała sekcji danych celem oszacowania zużycia nośników energii, wielkości emisji do powietrza, zużycia wody i ilości wytworzonych ścieków na wytypowanych otworach *shale gas* i *tight gas* w kolejnych trzech etapach procesu poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych. Jednakże, Doktorantka zbyt pobieżnie potraktowała opis generowanych odpadów podczas wiercenia oraz hydraulicznego szczelinowania dotyczący ilości oraz sposobów ich zagospodarowania i ograniczenia wytwarzania (*podrozdział # 3.1.3.4*).

W kolejnym etapie pracy Doktorantka na podstawie zgromadzonych i zweryfikowanych danych dotyczących: zużycia materiałów, paliw, wody, wytworzonych odpadów i emisji zanieczyszczeń do powietrza (CO₂, CO, NO_x, SO₂, TSP, benzo(a)piren) oraz wyznaczonych granic systemu LCA dokonała szacowania skutków środowiskowych procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale gas* i *tight gas* w poszczególnych etapach prac. Do realizacji tego zadania wytypowała trzy metody umożliwiające ocenę pod kątem różnych elementów oddziaływania: ReCiPe Midpoint (H), Cumulative Energy Demand (LVD) oraz IPCC 2013 GWP 100a z wykorzystaniem biblioteki danych Ecoinvent 3. W metodzie ReCiPe Midpoint (H) Doktorantka rozpatrywała wpływ na środowisko w 10 kategoriach (efekt cieplarniany, zużycie warstwy ozonowej, eutrofizacja zbiorników wodnych, działanie toksyczne na gleby, wodę i rakotwórcze na człowieka, wykorzystywanie zasobów mineralnych i surowców nieodnawialnych oraz zużycie wody), co pozwoliło jej na stwierdzenie, że model jest wrażliwy na zużycie energii elektrycznej i gazu ziemnego z zewnętrznej sieci przesyłowej oraz na dużą ilość wody w zabiegu hydraulicznego szczelinowania. Stosując metodę IPCC 2013 GWP 100a Doktorantka oszacowała współczynnik globalnego ocieplenia (GWP) dla *shale gas* (0,003 kgCO₂eq/MJ) oraz *tight gas* (0,004 kgCO₂eq/MJ) w 100 letnim horyzoncie czasowym. Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej potencjału globalnego ocieplenia innych paliw wykorzystywanych w Polsce wykazała, że jest on znacznie niższy niż dla węgla kamiennego i gazu skroplonego (LNG) i porównywalny do konwencjonalnego gazu ziemnego. Szacowanie skutków środowiskowych metodą Cumulative Energy Demand (LMH) w celu określenia skumulowanego zapotrzebowania na energię pozwoliło Doktorantce na stwierdzenie, że uzyskanie 1 MJ energii chemicznej z gazu typu *shale* i *tight* wymaga zużycia zaledwie 5–8% dodatkowych nośników energii w całym okresie życia produktu. Jest to możliwe między innymi dzięki pracy układu kogeneracyjnego na etapie eksploatacji, który umożliwia generowanie nadwyżek energii elektrycznej i oddawanie ich do sieci.

W *podrozdziale #3.2* Pani mgr Monika Wójcik przedstawia uzupełnienie analizy LCA wykorzystując metodę kosztu termoeologicznego (TCE). Obliczenia kosztu termoeologicznego dla procesów *shale* i *tight gas* Doktorantka przeprowadziła na podstawie zmodyfikowanego równania bilansu kosztu termoeologicznego w oparciu skumulowane zużycie energii wg oprogramowania SimaPro 9.1.0.11 PhD. Ocenę energetyczno-ekologiczną metodą kosztu termoeologicznego Autorka przeprowadziła w dwóch podejściach. W podejściu (I) przedstawiła obliczenia dotyczące skumulowanego zużycia energii w procesie *shale gas* i *tight gas* dla zasobów nieodnawialnych oraz skumulowanych emisji wybranych zanieczyszczeń (NO_x, SO₂, TSP) powstających w procesie *shale gas* i *tight gas*. Na podstawie skumulowanego zużycia energii bogactw nieodnawialnych oraz

kompensacji oddziaływania substancji szkodliwych (metoda procesu zastąpionego) obliczyła koszt termoeologiczny dla produktów typu *shale gas* i *tight gas*. Natomiast w podejściu (II) Doktorantka traktując proces wytworzenia *shale gas* i *tight gas*, jako dwupunktowy, przedstawiła obliczenia kosztu termoeologicznego dla produktów (wydobywanego gazu typu *shale gas* i *tight gas* oraz wyprodukowanej energii elektrycznej) w oparciu klucz energetyczny, odpowiednio rozdzielając wpływ tych produktów na zużycie zasobów nieodnawialnych. Przedstawione obliczenia w podejściu (II) pozwalają jej na stwierdzenie koszt termoeologiczny dla energii elektrycznej oddawanej do sieci jako produkt uboczny w procesach *shale* i *tight gas* jest trzykrotnie niższy w porównaniu z kosztem termoeologicznym dla energii elektrycznej w polskim systemie energetycznym. Z przedstawionego przez Autorkę porównania wynika, że wskaźnik kosztu termoeologicznego dla węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych jest niższy niż obliczony dla skroplonego gazu ziemnego oraz węgla kamiennego i brunatnego i tylko nieznacznie wyższy niż dla konwencjonalnego gazu ziemnego wysokometanowego. W dalszej części pracy Doktorantka w celu charakterystyki stopnia zrównoważonego rozwoju i jego negatywnego wpływu na zużycie zasobów przedstawiła obliczenia wskaźnika zrównoważonego rozwoju dla procesów *shale* i *tight gas* oraz zobrazowała porównanie wskaźnika zrównoważonego rozwoju oraz kosztu termoeologicznego dla procesów *shale* i *tight gas* w podejściach (I) i (II).

Ostatni rozdział pracy zawiera syntetyczne podsumowanie z przeprowadzonych eksperymentów, a całość pracy zamyka spis literatury, tabel i rysunków oraz krótkie streszczenie w języku polskim i angielskim, które nie oddaje w pełni zakresu pracy włożonej w przygotowanie niniejszej pracy, a powinno być jej wizytówką.

Podsumowując należy stwierdzić, że Doktorantka przedstawiła nowatorskie i oryginalne opracowanie zagadnień dotyczących metodologii LCA w połączeniu z metodą kosztu termoeologicznego w branży górnictwa naftowego i gazownictwa, w której dotychczas jest brak wytycznych w tym zakresie. Zaprezentowanie w rozprawie w sposób spójny i logiczny materiału badawczego wymagało znacznego nakładu pracy oraz inwencji i stanowi niewątpliwie oryginalne i twórcze osiągnięcie naukowe Doktorantki. Materiał ilustracyjny jest celowy i dobrany właściwie. Pani mgr Monika Wójcik wykazała się głęboką wiedzą teoretyczną, a także wysokimi umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W szczególności podkreślić należy swobodę, z jaką Doktorantka posługuje się stosowanymi metodami badawczymi z zakresu zagadnień środowiskowych.

5. ELEMENTY NOWOŚCI NAUKOWEJ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Po przeprowadzeniu analizy treści rozprawy stwierdzam, że przedstawiony przez Doktorantkę zakres pracy został zrealizowany.

5.1. Najważniejsze oryginalne osiągnięcia recenzowanej pracy doktorskiej to:

- zastosowanie *Oceny Cyklu Życia* (LCA) do zarządzania środowiskiem procesów poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale* i *tight gas* poprzez identyfikację procesów jednostkowych, analizę zbioru wejść i wyjść, co umożliwia podejmowanie działań ograniczających zużycie surowców i energii oraz efektywne gospodarowanie powstającymi odpadami;
- oszacowanie metodą IPCC2013GWP 100a współczynnika globalnego ocieplenia dla gazu typu *shale* i *tight*;
- wyznaczenie skumulowanego zapotrzebowania na energię metodą LHV według etapów dla gazu typu *shale* i *tight*;
- połączenie analiz cyklu życia i energii w procesach poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale* i *tight gas* poprzez określenie wskaźnika kosztu termoeologicznego metodą procesu zastąpionego i klucza energetycznego oraz wskaźnika zrównoważonego rozwoju na podstawie danych z bazy Sima Pro.

5.2. Najważniejsze osiągnięcia praktyczne to:

- o autorskie opracowanie i praktyczne zastosowanie modelu analizy ryzyka środowiskowego pozwalającego na identyfikację kluczowych przypadków ryzyka mających wpływ na realizację prac w trakcie poszukiwania i eksploatacji węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych w warunkach krajowych;
- o autorskie opracowanie i praktyczne zastosowanie aplikacji informatycznej FRACK służącej do wspomagania procesów zarządzania ryzykiem środowiskowym.

5. INNE UWAGI

Poniższe uwagi mają charakter komentarzy i nie umniejszają mojej jednoznacznie pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej Pani mgr Moniki Wójcik.

str. 15 – niefortunne sformułowanie "Zawiera metan (75–95%) oraz azot, czasem śladowe ilości etanu, propanu, helowców, tlenu i tlenku węgla", zaś powinno być "Zawiera metan (75–95%) oraz azot, niewielkie ilości etanu, propanu, ditlenku węgla, helu oraz śladowe wodoru i tlenku węgla";

str.20 – 21 – nieprawidłowe odwołanie do pozycji literatury [15,1616,17] zamiast [15,16,17];

str.21-22 (tab.1) – zamiast "n-dimetyloformamid" głównym składnikiem inhibitora korozji są żywice aminowe, kwasy tłuszczowe i kalafioniowe, alkohole (porpargilowy, izopropylowy, metanol);

– potoczne sformułowanie „guar, guma,” zamiast "hydroksypropylo guar, hydroksyetylo celuloza”;

str.31 – zamiast „Rozrządzenie Ministra Środowiska” powinno być „Rozrządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 roku w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. z 2020, poz.10)”;

str.33 – zamiast „toru i potasu” powinno być „toru, uranu i potasu” oraz zamiast „⁴⁰K, ²²⁶Rn” powinno być „⁴⁰K, ²²⁶Ra i ²²⁸Th”;

str.40 – 41 – zamiast „stężenie jonów HCO₃⁻, Ca, Na oraz Cl₂” powinno być „stężenie jonów HCO₃⁻, Ca²⁺, Na⁺ oraz Cl⁻”;

str. 64 – nieprawidłowe sformułowanie „poniżej 1% substancji takich jak alkohol, kwas solny, izopropanol, glikol” to nie są główne składniki płynów szczelinujących. Ze względu na zróżnicowaną ilość substancji chemicznych występujących w płynie szczelinującym, można ten akapit zapisać „Płyn do zabiegu hydraulicznego szczelinowania składa się z wody (90,5– 95,9%), polimeru i innych dodatków chemicznych (substancje sieciujące, inhibitory korozji, stabilizator itów, środki powierzchniowo-czynne, łamacz polimeru, biocydy) w ilości do 0,4 do 0,5% oraz podsadzki (piasek o odpowiedniej granulacji (3,6– 9,0%));

str.84 – niefortunne sformułowanie „W ostatnich latach opracowano płuczki na bazie wody, które można wykorzystać w rolnictwie lub w ogrodnictwie” nie odzwierciedla wykorzystania zużytych płuczek wiertniczych powstałych podczas wiercenia w formacjach łupkowych.

Spis cytowanych pozycji należy ujedynolnić np. w stylu hardwadzkim, dla pozycji [27] nie podano pierwszego autora, dla pozycji [30] brak roku, w spisie aktów prawnych [P4], [P14], [P15], [P16], [P17], [P18], [P19], [P20], [P21], [P23], [P24], [P31], [P32], [P34] należy podać rok, nr, poz, poniżej podano przykład:

- o *Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 roku Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011, Nr 163, poz. 981 z póź. zm.)*
- o *Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 roku w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 2020, poz.10)*

6. ZGODNOŚĆ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ Z USTAWĄ

Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity Dz. U. z 16 marca 2021r., poz.478) w artykule 187 określa następujące wymagania, co do rozprawy doktorskiej:

1. *Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej*

Stwierdzam, że Pani mgr Monika Wójcik posiada szeroką wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, a swoją rozprawą doktorską udowodniła umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

2. *Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.*

Pani mgr Monika Wójcik przedstawiła w swojej rozprawie doktorskiej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, jakim była ocena środowiskowa i energetyczna procesów poszukiwania i eksploatacji niekonwencjonalnych złóż węglowodorów z uwzględnieniem analizy ryzyka. Podejmowane przez Doktorantkę analizy wnoszą istotny wkład w zakresie badań LCA z uwzględnieniem wskaźnika kosztu termoeologicznego procesów poszukiwania i wydobycia węglowodorów ze złóż niekonwencjonalnych typu *shale* i *tight gas*. Niewątpliwie rozważane zagadnienia w branży górnictwa naftowego i gazownictwa są nowatorskie i należą do ważnych i otwartych problemów środowiskowych.

3. *Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna lub artystyczna, a także samodzielna i wydodrębiona część pracy zbiorowej.*
4. *Do rozprawy doktorskiej dołącza się. streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim.*

Rozprawa doktorska Pani mgr Moniki Wójcik to praca pisemna, monografia naukowa, zawierająca streszczenie w języku polskim i angielskim.

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr Moniki Wójcik stanowi oryginalne dzieło naukowe o znacznym potencjale użytkowym.

Wybór tematu uznać należy za trafny ze względów zarówno poznawczych jak i aplikacyjnych. Zakres pracy został ostatecznie osiągnięty poprzez realizację przyjętego programu badań. Podjęte przez Doktorantkę zagadnienia zostały rozwiązane w sposób oryginalny i twórczy z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi metodycznych, co świadczy o jej dojrzałym warsztacie naukowym w obszarze nauk technicznych, w tym zwłaszcza w obszarze ocen środowiskowych i energetycznych. Wyniki przeprowadzonych analiz Pani mgr Monika Wójcik odnosi do wytycznych światowych i krajowych, obowiązujących ustaw i rozporządzeń oraz danych literaturowych, które są licznie cytowane w tekście, co świadczy o posiadaniu szerokiej wiedzy teoretycznej w tym zakresie. Wskazanie w rozprawie doktorskiej kierunków dalszych badań, dowodzi o doskonałym przygotowaniu Autorki do prowadzenia dalszych prac badawczych. W moim przekonaniu, przedłożona przez Panią mgr Monik Wójcik rozprawa doktorska jest dobrym przykładem prawidłowo zaplanowanych i zrealizowanych badań.

Podsumowując ocenę stwierdzam, że praca doktorska Pani mgr Moniki Wójcik spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez aktualne i wymagane przepisy prawa, tzn. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a kandydatka wykazała ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętnością planowania i samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zatem wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pani mgr Moniki Wójcik do dalszego postępowania kwalifikacyjnego w procedurze do uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych.

Teresa Felija