



Bielsko-Biała 12 kwietnia 2023r.

dr hab. inż. Józef Myrczek, prof. ATH
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska
ul. Willowa 2
43-309 Bielsko-Biała
jmyrczek@ath.bielsko.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Moniki Wójcik

pod tytułem:

**„Ocena środowiskowa i energetyczna procesów poszukiwania i eksploatacji
niekonwencjonalnych złóż węglowodorów z uwzględnieniem analizy
ryzyka”**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji:

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr Moniki Wójcik pt: „ Ocena środowiskowa i energetyczna procesów poszukiwania i eksploatacji niekonwencjonalnych złóż węglowodorów z uwzględnieniem analizy ryzyka” przygotowano na podstawie Uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 19 stycznia 2023r. w oparciu o pismo nr RIE-BD.512.7.2023 z dnia 15 lutego 2023r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca doktorska mgr Moniki Wójcik powstała pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Wojciecha Kostowskiego, prof. PŚl (Politechnika Śląska) jako promotora głównego oraz dr inż. Pawła Gładysza (Akademia Górniczo-Hutnicza) jako promotora pomocniczego. Rozprawa doktorska została przygotowana w ramach programu Ministerstwa Edukacji i



Nauki Doktorat wdrożeniowy II edycja i została zrealizowana przy współudziale przedsiębiorstwa Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA (dalej w skrócie PGNiG SA), który jest pracodawcą mgr Moniki Wójcik.

Praca obejmuje 3 rozdziały główne oraz 18 podrozdziałów o łącznej objętości 132 stron. Praca zawiera 26 rysunków, 31 tablic, 139 pozycji literaturowych, w tym 69 wydawnictw zwartych oraz 34 akty prawne.

3. Ocena merytoryczna pracy

Zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego w obecnej sytuacji naszego kraju należą do jednego z priorytetów polityki gospodarczej. Z jednej strony dotyczy to zapewnienia źródeł energii w turbulentnym otoczeniu, co jest szczególnie istotne w związku ze znacznym uzależnieniem od importu nośników energii. Z drugiej strony wzrastająca świadomość ekologiczna społeczeństwa oraz regulacje krajowe i międzynarodowe zmierzają do jak najmniejszego obciążania środowiska naturalnego negatywnymi konsekwencjami produkcji energii. Prace badawcze w obszarze tych zagadnień mają charakter zarówno teoretyczny, jak i walor praktyczny.

Praca doktorska mgr Moniki Wójcik wpisuje się bardzo dobrze w zarysowaną powyżej istotną i aktualną dla gospodarki krajowej tematykę badawczą. Dodatkowym walorem pracy jest jej charakter doktoratu wdrożeniowego przygotowanego przy współudziale PGNiG SA, którego Doktorantka jest pracownikiem.

Przedstawiona do recenzji praca dotyczy analizy procesów poszukiwania i eksploatacji niekonwencjonalnych złóż gazu typu *shale gas* (gaz łupkowy) oraz *tight gas* (gaz zamknięty) na podstawie odwiertów zrealizowanych na terenie Polski. Szczególnym zainteresowaniem Doktorantki była ocena środowiskowa i energetyczna tych procesów z uwzględnieniem analizy ryzyka.

Doktorantka przeprowadziła pełną, kompleksową analizę środowiskową. Zaproponowała system zarządzania ryzykiem dla procesów poszukiwania i eksploatacji złóż typu *shale gas* oraz *tight gas* na 3 etapach : poszukiwawczo-rozpoznawczym (Etap 1) , przemysłowego wydobywania gazu (Etap 2) oraz zakończenia eksploatacji połączonej z rekultywacją terenu (Etap 3). Dokonała analizy ryzyka wychodząc od klasycznego podejścia bazującego (dla

każdego ryzyka) na wyliczeniu iloczynu prawdopodobieństwa materializacji czynnika ryzyka oraz skutku w postaci możliwego wpływu na środowisko. Szacunek prawdopodobieństw oraz skutków dla każdego potencjalnego ryzyka na każdym etapie prac (od poszukiwań aż do zakończenia eksploatacji) został dokonany na podstawie danych empirycznych zawartych w bazach PGNiG SA (PITAKA, PETROFAKT), Państwowego Instytutu Geologicznego, Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska oraz badań monitoringowych PGNiG SA odwiertów *shale gas* i *tight gas*. Dokonując oceny ryzyka środowiskowego Doktorantka skorzystała zarówno z obowiązujących przepisów krajowych jak i aktualnych wytycznych obowiązujących w Unii Europejskiej, USA, Wielkiej Brytanii i innych krajach, opisanych w cytowanej literaturze.

Autorka dokonała szczegółowej oceny ryzyka środowiskowego dla 6 otworów zrealizowanych przez PGNiG SA, w tym 3 *shale gas*, oznaczonych jako S-1, S-2 oraz S-3, zlokalizowanych w województwie pomorskim oraz 3 otworów *tight gas*, oznaczonych jako T-1, T-2 i T-3, zlokalizowanych w województwie podkarpackim. Dla każdego z tych otworów zdefiniowała 6 zagrożeń terenowych oraz 11 zagrożeń środowiskowych, dokonując dla każdego z tych zagrożeń oszacowania prawdopodobieństwa oraz skutków materializacji ryzyka na każdym z 3 etapów: poszukiwania, eksploatacji i rekultywacji. Wykaz potencjalnych zagrożeń stanowi listę kontrolną (ang. checklist) jako podstawowe narzędzie identyfikacji i zarządzania ryzykami. Do wspomagania procesu zarządzania ryzykiem środowiskowym Doktorantka opracowała autorską aplikację internetową FRACK (skrót od pełnej nazwy w języku angielskim Find Risk and Calculate Key). Z punktu widzenia zarządzania ryzykiem takie podejście należy ocenić jako skuteczne i zachowujące równowagę pomiędzy stopniem skomplikowania analizy, dostępnymi danymi i osiągnięciem praktycznych wniosków. Na etapie poszukiwawczo-rozpoznawczym ryzyko sumaryczne oceniono jako niskie, na etapie przemysłowego wydobywania gazu jako średnie, na etapie zakończenia eksploatacji jako ryzyko niskie. Nie zauważono istotnej różnicy w przypadku otworów typu *shale gas* i *tight gas*. Podwyższone ryzyko może wystąpić w przypadku realizacji otworów na terenach powodziowych i podmokłych (czynniki terenowe) oraz w przypadku zwiększonej produkcji odpadów (zagrożenie środowiskowe), które zidentyfikowano dla otworów typu *shale gas* na etapie eksploatacji oraz rekultywacji. Nawet w tym przypadku ryzyko to nie zostało zakwalifikowane jako ryzyko wysokie. Przedstawiona analiza stanowi podstawę do zaplanowania działań zaradczych mających na celu bądź

zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego bądź minimalizację jego skutków.

Dla dokonania oceny energetycznej i ekologicznej procesów w recenzowanej pracy doktorskiej zastosowana została metoda cyklu życia (LCA – ang. Life Cycle Assessment). Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę odwiertów, co wpływa na zakres dostępnych danych rzeczywistych wykonano badania na poziomie uproszczonym, zgodnie z metodyką czterech faz: określenie celu i zakresu, analiza zbioru wejść i wyjść, ocena wpływu cyklu życia oraz interpretacja wyników. Przygotowanie danych obejmowało: szacowanie zużycia nośników energii, wielkości emisji do powietrza, zużycia wody i ilości ścieków, ilości wytworzonych odpadów. Przeprowadzona w tym zakresie analiza jest kompletna i opiera się na aktualnym stanie wiedzy oraz obowiązujących przepisach prawa. Do obliczenia skutków środowiskowych wykorzystano 3 metody uwzględniające różne elementy oddziaływania, a mianowicie:

- ReCiPe MidPoint II (analizowano 10 kategorii wpływu w tym emisji gazów cieplarnianych podczas etapu poszukiwania i wydobywania pochodzących z bezpośredniego spalania gazu w pochodniach oraz emisje z silników samochodowych i agregatów prądotwórczych). Przy użyciu tej metody Doktorantka dokonała szczegółowych obliczeń oddzielnie dla gazu typu *shale gas* oraz *tight gas*, dla każdej kategorii wpływu oraz dla każdego z etapów 1-3.
- IPCC 2013 GWP 100a (wpływ emisji gazów cieplarnianych w horyzoncie czasowym 100 lat). Doktorantka oszacowała potencjał globalnego ocieplenia dla gazu typu *shale gas* oraz *tight gas*. Otrzymane wartości są porównywalne dla wartości otrzymanych dla gazu *shale gas* w Hiszpanii, oraz znacznie mniejsze (o rząd wielkości) w stosunku do węgla kamiennego, który jest nadal głównym surowcem do produkcji energii elektrycznej w Polsce.
- Cumulative Energy Demand (całkowite zużycie energii w całym cyklu życia produktu). W pracy wykazano, że szczególnie w przypadku pracy układu kogeneracyjnego na etapie 2 możliwe jest zużycie jedynie 5-8% energii dostarczanej z zewnątrz dla otrzymania jednostki (1 MJ) energii chemicznej pozyskanej z gazu.

Powyższe obliczenia, wykonane dla danych rzeczywistych, jednoznacznie wskazują na korzystne kształtowanie się wyżej wskazanych parametrów dla gazu pozyskiwanego ze złóż

niekonwencjonalnych w stosunku do takich nośników energii jak węgiel kamienny, węgiel brunatny czy gaz LNG.

Uzupełnieniem analizy cyklu życia (LCA) jest przeprowadzona ocena metodą kosztu termoeekologicznego (ang. Thermo Ecological Cost), która bazuje na analizie egzergetycznej. Zastosowanie tego podejścia należy ocenić bardzo pozytywnie. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem bazy danych SimaPro.

Zastosowano dwa podejścia:

W podejściu (I) obliczono zużycie egzergii metodą Cumulative Exergy Demand ograniczając się do zasobów nieodnawialnych. Przybliżenie to jest właściwie uzasadnione.

W podejściu (II) założono wytwarzanie zarówno oczyszczonego gazu ziemnego jak i energii elektrycznej w wyniku pracy zespołu kogeneracyjnego na etapie 2. Proces staje się dwuproduktowy, co w sposób istotny poprawia jego efektywność.

Przeprowadzone oszacowania prowadzą do wniosku, że koszt termoeekologiczny dla gazu ze złóż niekonwencjonalnych zarówno *shale gas* jak i *tight gas* jest zbliżony (lub tylko nieznacznie wyższy) od wartości dla gazu ziemnego wysokometanowego, ale istotnie niższy niż dla skroplonego gazu ziemnego, węgla kamiennego oraz szczególnie węgla brunatnego. Wynika z tego praktyczny i ważny dla gospodarki narodowej wniosek, że korzystanie z w/w złóż niekonwencjonalnych w obecnej sytuacji wpływa pozytywnie na jakość krajowego systemu paliw i energii. Jednocześnie nie obciąża istotnie środowiska. Jednym z najważniejszych wniosków z przeprowadzonych badań jest stwierdzenie „znacznie korzystniej jest produkować energię elektryczną podczas eksploatacji gazu typu *shale* i *tight*, niż w obecnym miksie energetycznym Polski”.

Wykonana praca badawcza jest oryginalna. Może służyć jako punkt wyjścia do opracowania wymogów w zakresie kompleksowej oceny energetycznej i ekologicznej metodą cyklu życia (LCA) do zastosowań w górnictwie węglowodorów.

Struktura pracy jest przejrzysta, wywód logiczny, wnioski dobrze uzasadnione. Jednocześnie wyniki zawarte w pracy otwierają pole do kontynuacji i rozszerzenia zakresu badań.

Doktorantka wykazała się bardzo dobrą znajomością literatury i zagadnień teoretycznych. Wykorzystała w sposób skuteczny zróżnicowane instrumentarium badawcze. Osiągnięte wyniki mają walor poznawczy i praktyczny.

4. Uwagi szczegółowe

- Doktorantka stwierdza: „... jeszcze w 2021 roku w Polsce energia elektryczna była wytwarzana w około 80% z węgla kamiennego...” (str. 11)

Według danych Urzędu Regulacji Energetyki podana wielkość dotyczy produkcji energii elektrycznej zarówno z węgla kamiennego jak i brunatnego łącznie.

- Prawdopodobieństwo w sensie matematycznym może przyjąć wartości jedynie z przedziału zamkniętego $[0,1]$. Tak więc określenie prawdopodobieństwa P wystąpienia zdarzenia na str. 39 i 40 jako przyjmujące jedną z wartości dyskretnych 0, 1, 2, 3 jest pewnym rozszerzeniem definicji prawdopodobieństwa i dla zachowania precyzji formalnej lepiej byłoby je nazwać parametrami, wskaźnikami albo kwantyfikatorami (lub podobnie) prawdopodobieństwa. Trzeba jednak przyznać, że w literaturze przedmiotu dotyczącej zarządzania ryzykiem takie podejście, które zostało wykorzystane w recenzowanej pracy, jest akceptowane, często używane, pomimo tego, że nie jest ścisłe.

5. Uwagi szczegółowe o charakterze formalnym

- dość liczne błędy typograficzne, na przykład: str. 14 wiersz 1 od dołu; str. 22, wiersz 2 od góry (ostatni wiersz Tablicy 1.; str. 23, wiersz 1 od dołu, str. 37, wiersz 10 od dołu; str. 53 wiersz 5 od góry; str. 57, wiersz 8 od dołu; str. 64 wiersz 4 od dołu; str. 69 wiersz 4 od góry; str. 82 wiersz 2 od góry; str. 85 wiersze 4 i 5 od dołu; str. 109 wiersz pod tablicą 29; str. 113 wiersz 3 od góry; str. 131, wiersze 4 oraz 9 od góry; str. 127 wiersz 11 od góry oraz wiersze 12 i 15 od dołu.

- błędy w nazwiskach autorów w spisie Literatury poz. [1] [7] [11].

- tekst napisany poprawnym językiem. Bardzo nieliczne błędy stylistyczne („najbardziej najskuteczniejszy”, str.111).

- obiekty podpisane Rysunek 6 i Rysunek 7 mają charakter tablic (str. 41 oraz 42).

6. Wnioski

Po zapoznaniu się z rozprawą autorstwa mgr Moniki Wójcik stwierdzam, że spełnia wymagania ustawowe (Ustawa z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z późniejszymi zmianami) stawiane tego typu pracom naukowym. Autorka wykazała się obszerną wiedzą teoretyczną oraz wiedzą praktyczną wynikającą z doświadczeń zawodowych, znajomością literatury przedmiotu oraz umiejętnością prowadzenia badań naukowych z wykorzystaniem narzędzi o charakterze interdyscyplinarnym (w tym szczególnie w zakresie zarządzania ryzykiem, informatyki oraz termodynamiki). Praca wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy o poszukiwaniu i eksploatacji niekonwencjonalnych złóż gazu typu *shale gas* oraz *tight gas*, szczególnie na terenie Polski. Recenzowana rozprawa posiada jednocześnie charakter użytkowy – przydatny dla przedsiębiorstwa PGNiG SA. Może mieć również znaczenie dla podejmowania decyzji gospodarczych przez władze krajowe. W związku z powyższym należy stwierdzić, że praca ta nie tylko spełnia warunki ustawowe w zakresie uzyskania stopnia naukowego doktora, ale jednocześnie jest przykładem właściwego wykorzystania formuły doktoratu wdrożeniowego.

Wniosuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr Moniki Wójcik pt. „Ocena środowiskowa i energetyczna procesów poszukiwania i eksploatacji niekonwencjonalnych złóż węglowodorów z uwzględnieniem analizy ryzyka” i dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto biorąc pod uwagę wartość poznawczą recenzowanej pracy doktorskiej oraz jej potencjał aplikacyjny w praktyce gospodarczej wnioskuję o wyróżnienie pracy.

Podpisał Józef Myrczek