

*Prof. dr hab. inż. Jan Palarski*  
Instytut Eksploatacji Złóż  
Wydział Górnictwa i Geologii  
Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 2  
44-100 Gliwice

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgra inż. Michała Strzeleckiego pt. „Model termo-filtracji**  
**w obszarze oddziaływania generatora zgazowania węgla”**  
**wykonanej pod kierunkiem: promotor: dr hab. inż. Jan**  
**Kudelko, prof. PWr, promotor pomocniczy: dr inż.**  
**Magdalena Król**

**1. Podstawa formalna opracowania recenzji, uwagi wstępne**

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej oraz zlecenie Dziekana Wydziału, Pana prof. dr hab. inż. Wojciecha Ciężkowskiego z dnia 15. stycznia 2016 roku (W6/49/2016).

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, zawarta na 192 stronach, obejmuje osiem rozdziałów tekstu, bibliografię, na którą składają się 142 pozycje, spisy rysunków i tabel oraz 2 załączniki.

Jak wynika z ustawy, rozprawa doktorska powinna „stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (...) oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej” (*Art. 13.1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.*). Kierując się wymaganiami ustawowymi, przy ocenie rozprawy doktorskiej mgra M. Strzeleckiego, przyjęto następujące kryteria: znaczenie naukowe i utylitarne przyjętej problematyki, poprawność celów badawczych, metodyka badań wyłonionych problemów, struktura rozprawy oraz jej strona warsztatowa.

## **2. Znaczenie naukowe i utylitarne rozpatrywanego problemu**

Podjęta w rozprawie tematyka dotycząca modelowania procesu termofiltracji w obszarze oddziaływania generatora zgazowania węgla stanowi aktualny problem badawczy, zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i utylitarne. Badania nad podziemnym zgazowaniem węgla trwają od ponad 100 lat i w tym czasie wykonano wiele eksperymentów laboratoryjnych i polowych, które wskazały na możliwość realizacji takiego procesu w specjalnych warunkach geologicznych, co w istocie oznacza w pokładzie węgla zalegającego w otoczeniu szczelnych skał. Niestety, jak dotychczas, podejmowane próby podziemnego zgazowania węgla nie dały zadawalających rezultatów, jeśli oceniać tę technologię zarówno od strony efektywności, w tym jakości produktów, sprawności i wydajności procesu, jak i oddziaływania na środowisko. Niektóre z nich, w krajach uprzemysłowionych, zakończyły się wręcz katastrofami ekologicznymi, np. w ostatnich latach w Australii: Kingaroy (projekt firmy Cougar Energy i Chinchilla (projekt firmy Linc Energy –



postępowanie sądowe w toku). Prowadzone modelowanie i analizy wyników eksperymentów wskazują jednak na możliwość bezpiecznego prowadzenia procesu w odpowiednich warunkach geologicznych i przy zastosowaniu specjalnych technologii zgazowania. Duże nadzieje wiąże się z zastosowaniem w tym procesie wierceń kierunkowych, podziemnego szczelinowania węgla, ekranów izolacyjnych i podsadzania. Po takich zmianach zgazowanie węgla mogłoby być prowadzone w sposób kontrolowany, podobnie jak eksploatacja gazu z łupków. W Polsce można dostrzec rosnące zainteresowanie tematyką związaną ze zgazowaniem węgla w generatorach powierzchniowych i podziemnych, które to rozwiązania mogłyby się w przyszłości przyczynić do efektywniejszego wykorzystania rodzimych zasobów węgla i wytwarzania energii, przy kontrolowanej emisji gazów cieplarnianych i ograniczonych szkodach górniczych w stosunku do tradycyjnych technologii górniczych. Dlatego też, prowadzenie różnego rodzaju modelowania, symulacji i testów jest jak najbardziej pożądane.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybór tematu rozprawy doktorskiej przez mgr inż. M. Strzeleckiego uznać należy za właściwy i podkreślić jego aktualność i wagę. Ze względu na konieczność wieloaspektowego rozpoznawania zjawisk towarzyszących podziemnemu zgazowaniu węgla, zaproponowana w pracy idea modelowania powinna dostarczać cennych informacji dotyczących oddziaływania procesu na środowisko, a w szczególności na wody podziemne.

### **3. Poprawność celów i metodyki badań**

Problem badawczy, cel główny rozprawy, cele pośrednie i hipotezy badawcze Doktorant zaprezentował we wstępie, a szczegółowiej w podrozdziale 1.2. Wyłoniony problem badawczy sformułowany został w postaci opracowania „... modelu matematycznego procesu termo-filtracji cieczy oraz gazów

i w oparciu o ten model wykonanie obliczeń numerycznych przepływu cieczy i pary wodnej w gruntach otaczających generator zgazowania węgla brunatnego, z wykorzystaniem metody elementów skończonych". Przyjęty problem badawczy wymagał doprecyzowania pojęć, analizy parametrów modelu i stworzenia trójwymiarowego modelu numerycznego procesu wraz z realizacją obliczeń. Te zagadnienia stanowiły cele pośrednie pracy. Założony cel główny i wpisane cele pośrednie sformułowano poprawnie, wyraźnie wskazując kierunek badań. W pracy doktorskiej winny być także wyłożone w sposób klarowny tezy pracy, które należy udowodnić albo obalić, czasem zweryfikować. Tezy są głównym przesłaniem pracy naukowej, niestety w opiniowanej rozprawie nie postawiono żadnej z nich.

Generalnie zakres pracy jest logiczny i adekwatny do osiągnięcia sformułowanego celu, sprowadzającego się, w uproszczeniu, do opracowania modelu opisującego zjawiska zachodzące wokół generatora. Model ten nie został jednak przetestowany na kilku rzeczywistych przykładach generatorów podziemnego zgazowania węgla, dla których istnieją już dane z monitoringu. Ponadto górnictwo węglowe dysponuje wieloma danymi z podziemnych pól pożarowych, czyli procesów wpływających w podobny sposób na otaczający górotwór jak zgazowanie. Natomiast w pracy, w celu wykonania numerycznego modelu filtracji wód podziemnych oraz modelu termo-filtracji przeprowadzona została generalizacja budowy geologicznej obszaru planowanej lokalizacji instalacji podziemnego zgazowania węgla brunatnego, rozpoznanego 15 otworami wiertniczymi. Dla takiej budowy geologicznej (objektu przestrzennego) dokonano obliczeń przepływu wód podziemnych w otoczeniu generatora z uwzględnieniem drenażu pionowego i po uproszczeniach modelu przestrzennego, wykonano również obliczenia termo-filtracji.

Przyjęta przez Doktoranta metodyka badań jest odpowiednia do realizacji sformułowanych celów. Mgr inż. M. Strzelecki dokonał krytycznej analizy bogatej polskiej i zagranicznej literatury przedmiotu. Wykazał się



znajomością problematyki podziemnego zgazowania węgla oraz modeli matematycznych filtracji wód podziemnych i równań różniczkowych termo-filtracji, co dało mu podstawę do prowadzonych badań i jest dowodem Jego erudycji.

#### **4. Struktura pracy i ocena merytoryczna**

Strukturę rozprawy można uznać za poprawną i zgodną z przyjętą koncepcją badawczą. Praca składa się z wprowadzenia, przeglądu literatury, pięciu rozdziałów merytorycznych, podsumowania i wniosków oraz spisów literatury, rysunków, tabel i dwóch załączników. W związku z tym, że Doktorant w streszczeniu scharakteryzował zwięźle i wiernie oddał treść pracy, nie widzę potrzeby szczegółowego omawiania zawartości rozdziałów. W recenzji odniosę się do merytorycznej części pracy, a mianowicie rozdziałów od trzeciego do siódmego. W rozdziałach od trzeciego do piątego przedstawiono modele matematyczne filtracji, konsolidacji, termo-filtracji i analizę numeryczną tych modeli. Rozbudowane opisy znanych modeli procesów filtracji, konsolidacji i część wywodów dotyczących termo-filtracji należy uznać za zbędne, gdyż w literaturze naukowej zostały scharakteryzowane oraz przeanalizowane bardzo dokładnie i są powszechnie wykorzystywane w profesjonalnych oprogramowaniach, np. Flex PDE. Dla zrozumienia istoty badanych problemów wystarczyło podać, jakie równania opisują procesy filtracji i konsolidacji i przejść do układu równań termo-filtracji zawartych w rozdziale 4.5 i analizy numerycznej, czyli rozdziału 5. Czytając tę pracę trudno jednoznacznie określić wkład własny Doktoranta i podać oryginalne dokonania, a w szczególności zawarte w tych teoretycznych rozdziałach. Tak naprawdę, oryginalne dokonania naukowe Doktoranta zostały zaprezentowane w rozdziale 6. Rozdział obejmuje rezultaty modelowania numerycznego procesu termo-filtracji, które wyznaczono dla przestrzennego obiektu uwzględniającego

budowę geologiczną górotworu, w którym zalega węgiel brunatny przewidziany w przyszłości do zgazowania. Do obliczeń przyjęto, że woda w warstwach wodonośnych znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie generatora na skutek ogrzania będzie zamieniana w parę wodną. Materiał zawarty w siódmym rozdziale nie jest powiązany z tematem pracy i jej celami, gdyż prezentuje wyniki obliczeń dla ruchomych drobnych piasków pustynnych przemieszczających się na skutek przepływu powietrza wywołanego różnicą temperatury. Nic nie uzasadnia wprowadzenia tego rozdziału do pracy, poza pokazaniem innego zastosowania modelu matematycznego termo-filtracji. W pracy doktorskiej ma zostać udowodniona postawiona teza, a nie prezentowanie przykładów zastosowań, chyba, że rozprawa doktorska jest zbiorem spójnych tematycznie artykułów opublikowanych lub przyjętych do druku w czasopismach naukowych. W przypadku opiniowanej pracy nie mamy do czynienia z taką sytuacją.

W ostatnim, ósmym rozdziale, dokonano głównie omówienia przeprowadzonych obliczeń, znacznie mniej miejsca poświęcono wnioskom z pracy i nie wskazano, co można w związku z uzyskanymi wynikami, czy stwierdzonymi niedociągnięciami, np. zastosowanymi uproszczeniami w modelu matematycznym, zrobić w przyszłości. Praca zyskałaby w przypadku rozbicia tego rozdziału na dwa, a mianowicie: zakończenie oraz wnioski o znaczeniu naukowym i użytecznym.

## **5. Inne uwagi**

W opiniowanej rozprawie, problem badawczy został przez Doktoranta sprowadzony do przeanalizowania kilku zagadnień filtracji wywołanej procesem zgazowania. Takie ujęcie znacznie zawężyło opis zachowania się górotworu, wody i gazów w otoczeniu podziemnego generatora, zwłaszcza znacznych rozmiarów, nad którym wykształcają się strefy rumowiska skał stropowych,



spękań, zeszkliwionych skał, wypełnionego substancjami smolistymi szkieletu porowatego i spękanego itd. Współczesne modelowanie zjawisk towarzyszących procesowi podziemnego zgazowania węgla prowadzi się w ujęciu kompleksowym, a nie cząstkowym. Istnieją na świecie modele matematyczne, które pozwalają opisać przebieg procesu zgazowania, poczynając od kinetyki reakcji chemicznych, przez transport masy i ciepła, zmianę geometrii generatora w czasie zgazowania, do destrukcji i deformacji górotworu i przepływu w nim wód wraz z migrującymi zanieczyszczeniami. Tylko kompleksowe spojrzenie na proces zgazowania, otaczający górotwór i migrujące w nim wody oraz zanieczyszczenia, w tym gazy pozwala wysnuć wnioski odnośnie przebiegu procesu, zagrożeń towarzyszących i efektywności zgazowania (wydajność i jakość gazu, koszty, ...). Jednym z istotniejszych zagadnień w tego typu modelowaniu jest właściwe ujęcie, tzw. własności termomechanicznych, a w szczególności rozwój strefy spękań i zmiany porowatości skał z temperaturą w najbliższym otoczeniu reaktora. Doktorant częściowo odnosi się do tej problematyki, chociaż w nieco innym ujęciu. Można jednak stwierdzić, że przedstawione w rozprawie podejście, zawężone do procesu filtracji i odkształceń ośrodka porowatego w otoczeniu podziemnego generatora, jest oryginalne i może stanowić istotny wkład w budowę modeli podziemnego zgazowania - modeli termo-hydro-mechanicznych mających zastosowanie w skali regionalnej.

Praca jest napisana dobrym językiem technicznym i zredagowana starannie. Przy użytej w tekście ilości wzorów matematycznych nie udało się uniknąć pewnych błędów i zastosowania niewłaściwych oznaczeń. Uchybienia te, nie miały jednak wpływu na ich wykorzystanie w modelowaniu.

W związku z dużą ilością w tekście zapożyczeń z literatury i prac własnych i współautorskich istnieje konieczność sprawdzenia treści doktoratu systemem wykrywania plagiatów prac naukowych i złożenia przez mgra inż. M. Strzeleckiego oświadczenia o samodzielnym zrealizowaniu pracy

w podanej formie, z ewentualnym wskazaniem treści zaczerpniętej z literatury, w tym własnej lub współautorskich publikacji i prac badawczych. Nie oznacza to, że została, tym stwierdzeniem, zakwestionowana oryginalność pracy i jej autorstwo. Jest to istotne, aby uniknąć niejednoznaczności i pomówień, gdyż w znacznej części rozprawy, z racji jej teoretycznego charakteru, wykorzystuje się powszechnie znane równania i ich przekształcenia. To może zawsze rodzić wątpliwości.

## **6. Wniosek końcowy**

Recenzowana praca posiada pewne mankamenty merytoryczne i braki, na które zwróciłem uwagę w części szczegółowej recenzji. Jednak żadne z podejść Doktoranta do modelowanych zjawisk i konkluzji nie wydało mi się na tyle kontrowersyjne czy nieuzasadnione, aby je w pełni podważać.

W podsumowaniu pragnę podkreślić, że pomimo stwierdzonych mankamentów merytorycznych i drobnych usterek formalnych - redakcyjnych, zrealizowany cel, szeroki zakres, walory poznawcze i aplikacyjne kwalifikują opiniowaną rozprawę do pracy, w której zaproponowano oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Doktorant wykazał się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym problematyką rozprawy, umiejętnościami samodzielnego planowania i prowadzenia badań oraz interpretacji ich wyników, a także znajomością modelowania matematycznego i rozwiązywania problemów teoretycznych. Na podkreślenie zasługuje również Jego znaczny dorobek publikacyjny i udział w pracach badawczych i rozwojowych. Tak więc, ogólny wizerunek zawodowy Doktoranta i przedstawiona do opinii rozprawa doktorska świadczą o Jego przygotowaniu i umiejętnościach samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.



Recenzowana rozprawa mgra inż. Michała Strzeleckiego pt. „Model termo-filtracji w obszarze oddziaływania generatora zgazowania węgla” spełnia wymogi Ustawy o stopniach naukowych (*Art. 13.1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. nr 65, poz. 595, z późn. zm.*), co skłania mnie do postawienia wniosku o przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Gliwice, 18. lutego 2016r.*

