

**UNIWERSYTET HUMANISTYCZNO-PRZYRODNICZY
IM. JANA DŁUGOSZA W CZĘSTOCHOWIE**

Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych

ul. Armii Krajowej 13/15 • 42-200 Częstochowa

tel.: +48 34 361 21 79 • fax: +48 34 366 54 15 • e-mail: wnspt@ujd.edu.pl • http://www.wnspt.ujd.edu.pl

Częstochowa, 6.06.2022

dr hab. inż. Marcin Sosnowski, prof. UJD
Zakład Zaawansowanych Metod Obliczeniowych
Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy
im. Jana Długosza w Częstochowie

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Marcina Karbownika
pt. „Zastosowanie uniporowego i bidispersyjnego modelu
sorpcji metanu w węglu kamiennym”
napisanej pod opieką naukową
promotora dr hab. inż. Jerzego Krawczyka, prof. IMG PAN
oraz promotora pomocniczego dr inż. Katarzyny Godyń**

PODSTAWA OPRACOWANIA RECENZJI

Niniejsza recenzja została opracowana w odpowiedzi na pismo Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa – prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska z dnia 11.04.2022 o sygnaturze NOP/106/2022/R.

WYBÓR TEMATU ORAZ POSTAWIONEGO CELU PRACY

Tematyka podjęta w ramach przedstawionej do oceny pracy ma zarówno duże znaczenie poznawcze jak również aplikacyjne, gdyż analiza zjawisk związanych z transportem gazu w strukturze węgla kamiennego jest istotna w aspekcie zapobiegania zagrożeniom metanowym oraz wyrzutom gazów i skał. W/w aspekty stanowią wystarczające uzasadnienie dla przyjętego tematu pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Karbownika i dlatego wybór tematyki pracy uważam za trafny i aktualny.

Celem naukowym rozprawy była ocena zakresu stosowania modelu uniporowego oraz rozwiniętego w ramach pracy modelu bidispersyjnego do uzyskania wiedzy dotyczącej kinetyki sorpcji i dyfuzji metanu w strukturze węgla kamiennego. Aby zrealizować postawiony cel, Autor przeprowadził badania laboratoryjne w zakresie analizy sorpcji oraz cech petrograficznych dla próbek węgla o zróżnicowanym stopniu uwęglenia i składzie macerałowym jak również różnych parametrach fizykochemicznych. Ponadto w ramach pracy



zrealizowano badania numeryczne polegające na wykorzystaniu modelowania matematycznego i implementacji badanych modeli w celu analizy kinetyki sorpcji próbek węgla. Do otrzymanych eksperymentalnie krzywych reprezentujących kinetykę sorpcji metanu na węglu kamiennym dopasowano przebiegi modelowe otrzymane z wykorzystaniem modelu uniporowego oraz modelu bidispersyjnego. Wymiernym efektem pracy jest zdefiniowanie współczynników w rozwiązaniach matematycznych opisujących kinetykę sorpcji i dyfuzji metanu w węglu kamiennym oraz określenie zakresu wykorzystania obu modeli w zależności od właściwości badanej próbki. Zatem postawiony cel pracy został prawidłowo sformułowany oraz osiągnięty poprzez realizację badań eksperymentalnych i modelowych uzupełnionych trafną analizą wyników otrzymanych w trakcie przeprowadzonych badań.

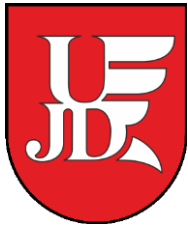
STRUKTURA I UKŁAD ROZPRAWY

Praca doktorska mgr inż. Marcina Karbownika została zrealizowana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Jerzego Krawczyka, prof. IMG PAN oraz promotora pomocniczego dr inż. Katarzyny Godyń. Praca liczy 131 ponumerowanych stron i obejmuje dziesięć rozdziałów i liczne podrozdziały uzupełnione o spis symboli, bibliografię liczącą 157 pozycji oraz spisy 142 rysunków i 6 tabel. Pracę poprzedzono szczegółowym spisem symboli wykorzystanych w rozprawie. Kolejność rozdziałów i układ treści w poszczególnych rozdziałach są logiczne i merytorycznie uzasadnione. Praca charakteryzuje się poprawnym układem i zawiera wszystkie niezbędne elementy struktury przynależne pracom naukowym z dziedziny nauk inżyniersko-technicznych.

Pierwszy rozdział pracy stanowi syntetyczne wprowadzenie w analizowaną tematykę jak również uzasadnienie jej podjęcia. Autor dowodzi, iż analiza zjawisk związanych z transportem gazu w strukturze węgla kamiennego ma istotne znaczenie w kontekście zapobiegania zagrożeniom naturalnym takim jak zagrożenia metanowe oraz wyrzuty gazów i skał. Ponadto Autor podkreśla, że aktualnie w kraju do opisu kinetyki sorpcji metanu na węglu kamiennym stosuje się wyłącznie model uniporowy.

Cel i główne założenia pracy zostały zdefiniowane w rozdziale drugim. W rozdziale tym Autor syntetycznie przedstawia również zarys badań, które pozwoliły na osiągnięcie założonego celu badawczego.

Aktualny stan wiedzy w zakresie analizowanej w pracy tematyki został szczegółowo przeanalizowany w rozdziale trzecim. Rozdział ten jest rozbudowany i dlatego słusznie został podzielony na pięć podrozdziałów traktujących o zagrożeniach wyrzutami gazów i skał, parametrach opisujących właściwości układu węgiel-gaz, transporcie gazów w strukturach porowatych, opisie modeli dyfuzji oraz metodach analizy sorpcji opisywanych w literaturze naukowej. W rozdziale tym Autor odnosi się do licznych pozycji literaturowych polskojęzycznych jak i anglojęzycznych. Są to zarówno pozycje najnowsze, opublikowane w okresie kilku ostatnich lat jak również pozycje starsze o fundamentalnym znaczeniu dla tematyki rozprawy.



Charakterystykę wykorzystanej w trakcie pracy aparatury do pomiaru kinetyki sorpcji oraz przyjętą metodykę badawczą Autor przedstawia w rozdziale czwartym. Ilustrując zdjęciami omówiono wykorzystany w badaniach laboratoryjnych grawimetryczny system sorpcyjny IGA-001 wraz z dedykowanym oprogramowaniem jak również przedstawiono metodykę badań w zakresie oznaczenia zawartości części lotnych, popiołu i wilgoci higroskopijnej w analizowanych próbkach węgla. Ponadto wskazano, że analizy petrograficzne wykonano we współpracy z Instytutem Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk, a pomiar współczynnika refleksyjności wityrytu przeprowadzono w Instytucie Geoniki Czeskiej Akademii Nauk. W tym samym rozdziale w podrozdziale 4.4 przedstawiono kwestie związane z modelowaniem matematycznym.

Rozdział piąty dotyczy materiału badawczego i obszaru badań, który został ograniczony do Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Autor wskazuje na pochodzenie badanych próbek węgla kamiennego oraz przedstawia ich zestawienie z podaniem właściwości fizykochemicznych takich jak zawartość wilgoci higroskopijnej, popiołu oraz części lotnych. Ponadto wytypowano próbki wybrane do szczegółowych badań oraz pogrupowano je według stopnia uwęglenia.

Przedstawienie wyników badań laboratoryjnych próbek węgla oraz ich analizę zaprezentowano w najbardziej obszernym rozdziale – tj. rozdziale szóstym. W szczególności przedstawiono badania refleksyjności wityrytu oraz składu macerałowego wykonane metodami mikroskopowymi jak również oznaczono zawartość wilgoci higroskopijnej, popiołu oraz części lotnych w próbkach. Zawartość poszczególnych grup macerałów przeliczono na czystą zawartość węgla oraz podano zawartość substancji mineralnej dla każdej z badanych próbek. W rozdziale tym Autor dokonał szczegółowego opisu próbek w oparciu o zamieszczony w pracy materiał zdjęciowy. Ponadto przedstawiono wyniki badań w zakresie kinetyki sorpcji metanu z wykorzystaniem systemu sorpcyjnego IGA-001 wyznaczając pojemność sorpcyjną oraz efektywny współczynnik dyfuzji. W ramach przeprowadzonych analiz wyznaczono połówkowy czas sorpcji. Badania zaprezentowane w tym rozdziale wykorzystane zostały przez Autora do dalszych rozważań związanych z możliwością aplikacji modelu uniporowego i bidispersyjnego.

W rozdziale siódmym dokonano analizy oceny jakości opisów modelowych, w szczególności korelacji modelu uniporowego i modelu bidispersyjnego z rzeczywistymi przebiegami sorpcji uzyskanymi w trakcie badań eksperymentalnych. Wyniki przeprowadzonych analiz korelacji danych modelowych i danych eksperymentalnych zaprezentowano w formie graficznej oraz podając wartość błędu średniokwadratowego dopasowania modelu uniporowego i modelu bidispersyjnego do danych pomiarowych dla każdej z analizowanych próbek. Ponadto Autor dokonał analizy wspomnianego wyżej dopasowania.

Analizę możliwości zastosowania modelu uniporowego i bidispersyjnego w kontekście oceny występowania zjawisk gazogeodynamicznych Autor przedstawił w rozdziale ósmym. W oparciu o przeprowadzone badania i analizy Autor zaproponował, aby oba modele wykorzystywać zamiennie, w zależności od właściwości petrograficznych węgla stosując procedurę identyfikacji oraz modelowanie w celu zweryfikowania dopasowania.



W rozdziale dziewiątym Autor opisał opracowaną procedurę umożliwiającą wyznaczenie parametrów pomocnych podczas określania predyspozycji pokładów węgla do występowania zjawisk gazogeodynamicznych. Procedura ta w czytelny sposób zobrazowana została w postaci schematu blokowego. Parametry wyznaczone dla modelu uniporowego to dyfuzyjność oraz efektywny współczynnik dyfuzji, natomiast dla modelu bidispersyjnego są to efektywna dyfuzyjność mikroporów, efektywna dyfuzyjność makroporów, stosunek skali czasu procesów zachodzących w mikroporach i makroporach oraz stosunek sorpcji w mikroporach i makroporach w równowadze.

W ostatnim, dziesiątym rozdziale autor potwierdził osiągnięcie zakładanego celu pracy i wskazał metody jego osiągnięcia. Ponadto w tym rozdziale sformułowano twierdzenie, iż model uniporowy nie daje zadowalającego dopasowania do rzeczywistych przebiegów sorpcji metanu w przypadku wybranych węgli. Autor wskazał również na przyczyny braku uniwersalności tego modelu. Jako model pozwalający uzyskać lepsze dopasowanie wskazano model bidispersyjny. Jednocześnie dokonano jego syntetycznej charakterystyki jak również wskazano na korzyści płynące z jego stosowania.

OCENA MERYTORYCZNA

Podjęty w recenzowanej pracy doktorskiej temat jest aktualny i istotny dla rozwoju dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka jak również oprócz wartości poznawczych ma duże znaczenie aplikacyjne. W związku z powyższym podjęcie przez mgr inż. Marcina Karbownika badania zastosowania uniporowego i bidispersyjnego modelu sorpcji metanu w węglu kamiennym uważam za w pełni uzasadnione. Podkreślić należy, że jest to praca doktorska stanowiąca dowód biegłej orientacji Autora w tematyce analizy i interpretacji zagadnień transportu metanu w strukturze węgla kamiennego. Autor wykazał się ponadto kompetencjami w zakresie analizy danych i konstruowania wniosków. Zaprezentowane w pracy wyniki badań w zakresie kinetyki akumulacji oraz uwalniania gazu pozwalają na lepsze zrozumienia i szczegółowy opis zjawiska transportu gazu w strukturze węgla. Przeprowadzona w pracy analiza możliwości zastosowania modelu uniporowego oraz bidispersyjnego sorpcji i dyfuzji pozwoliła na wyznaczenie parametrów znajdujących się w rozwiązaniach matematycznych, określających szybkość przebiegu transportu gazu w strukturze węgla. Zaprezentowane w pracy wyniki badań laboratoryjnych dowodzą biegłości Autora w opracowaniu metodyki badań i wykorzystaniu aparatury badawczej jak również umiejętności prezentacji i analizy otrzymanych wyników. Ponadto Autor wykazał się umiejętnością efektywnego wykorzystania aparatu matematycznego. W oparciu o przeprowadzone badania i analizy Autor zdefiniował trafne i uzasadnione merytorycznie wnioski. W pracy odniesiono się do 157 poprawnie dobranych pozycji literaturowych, z których blisko sto to pozycje anglojęzyczne. Świadczy to o umiejętności wykorzystania przez Autora bogatej literatury przedmiotu. Rozprawa została dobrze i starannie zredagowana z zachowaniem wysokich standardów edytorskich. Przedstawione rysunki i tabele są prawidłowo opracowane i wspomagają interpretację analizowanych wyników badań. Język pracy jest fachowy i

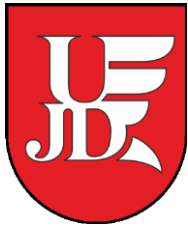


merytoryczny. W pracy znalazły się jedynie nieliczne błędy natury językowej wskazane poniżej, które nie wpływają na merytoryczną ocenę pracy:

- strona 3, linia 4 w spisie symboli: zamiast „określa zmierzoną wartość stosunku” proponuję „zmierzona wartość stosunku”;
- strona 4, linia 1 w spisie symboli: zamiast „powierzchnia makroporów” proponuję „względna powierzchnia makroporów”;
- strona 4, linia 14 w spisie symboli: zamiast „określa wartość M_t/M_∞ wyznaczoną z ...” proponuję „wartość M_t/M_∞ wyznaczona z ...”;
- strona 6, akapit 2 linia 8: zamiast „podstawne” proponuję „zasadne”;
- strona 8, akapit 2 linia 9: brak kropki na końcu zdania;
- strona 11, linia 1: warto oprócz samego symbolu wskazać jego znaczenie tj. refleksyjność wityrytu;
- strona 44, piąty punktator: zamiast „od 30 do 24%” proponuję „od 24 do 30%”; ta sama uwaga dotyczy identycznego zapisu na stronie 48 oraz na stronie 50;
- strona 55, przedostatnia linia: zamiast „Analiza próbki D-3...” powinno być „Analiza próbki D-6...”;
- strona 62, szósta linia od dołu: zamiast „...przez z kolotelinit...” powinno być „...przez kolotelinit...”;
- strona 102, pierwsza linia: zamiast „...dla modelu bidispersyjnym...” powinno być „dla modelu bidispersyjnego...”;

Podsumowując rozważania dotyczące oceny merytorycznej przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej przygotowanej przez mgr inż. Marcina Karbownika można stwierdzić, że jest to praca, którą ocenić należy zdecydowanie pozytywnie. Niemniej jednak proszę Autora o odniesienie się do następujących pytań i komentarzy w trakcie publicznej obrony:

- w rozdziale 3.5.3 „Metody grawimetryczne” Autor nie wskazuje na zalety grawimetrycznych urządzeń stosowanych do badania sorpcji gazu lecz wymienia wady tego typu urządzeń wskazując na ich skomplikowaną budowę, konieczność uwzględnienia siły wyporu w ostatecznym wyniku oraz stosunkowo wysokie koszty. Dlaczego zatem Autor zdecydował się na wykorzystanie właśnie metod grawimetrycznych w realizowanych w pracy badaniach eksperymentalnych?
- metodykę badawczą zastosowaną dla modelowania matematycznego opisano w podrozdziale 4.4. „Modelowanie matematyczne i procedura identyfikacji”. Podrozdział ten obejmuje zaledwie nieco ponad stronę maszynopisu i w mojej ocenie nie można go uznać za pełne i kompleksowe przedstawienie ważnego w pracy elementu badań modelowych, zwłaszcza w kontekście wprowadzenia modelu bidispersyjnego.
- na stronie 42 Autor podaje, że „pomiarów rzeczywistych dokonywano w zmiennych okresach (...) Liczba pomiarów uzależniona była od czasu osiągnięcia stanu równowagi (...) Liczba pomiarów wynosi w zależności od badania od około 250 do 500.” Oczekiwałbym nieco dokładniejszego przedstawienia doboru różnej liczby pomiarów dla poszczególnych próbek analizowanych w trakcie przeprowadzonych badań eksperymentalnych.



- na tej samej stronie Autor wskazuje, że „Nieskończone ciągi w równaniach przybliżono wykorzystując 30 pierwszych składników, jednakże w poprzednich badaniach zauważono, że nawet przybliżenie do 10 składników pozwala osiągnąć zadowalające wyniki”. Dlaczego zatem wykorzystano 30 a nie 10 pierwszych składników? Jaka była różnica w przybliżeniach obliczonych dla 30 i 10 pierwszych składników?
- proszę o podanie kryteriów zaklasyfikowania do szczegółowych badań jedynie 23 z 41 próbek węgla;
- na stronie 75 Autor pisze: „Charakterystyczny przebieg krzywej dla próbki D-24 wynika z jej niezwykle wysokiej kinetyki. Nie została ona właściwie zarejestrowana w pierwszych minutach pomiaru, ze względu na możliwości aparatury grawimetrycznej.” Czy zatem zasadne jest analizowanie przebiegu kinetyki sorpcji próbki D-24 skoro sam Autor wskazuje na niepoprawne wyniki pomiaru? To samo pytanie dotyczy próbki D-25.
- na stronie 86 wskazano, że „dopasowanie nie jest zadowalające” m.in. w przypadku próbek, dla których błąd średniokwadratowy wynosił 0,00092 oraz 0,00095, podczas gdy dopasowanie w przypadku próbki, dla której błąd średniokwadratowy wynosił 0,00087 uznane już zostało przez Autora za zadowalające. Ponadto w przypadku modelu bidispersyjnego Autor wskazuje na „dobre dopasowanie” nawet dla próbek, dla których błąd średniokwadratowy wyniósł 0,00721 (strona 99). Jakie są zatem przyjęte przez Autora kryteria dopasowania określonego jako „zadowalające” lub „niezadowalające”?

KONKLUZJA

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie ważnego problemu naukowego wraz ze wskazaniem jego praktycznego zastosowania, świadczy o dużej wiedzy teoretycznej z zakresu dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz dyscyplin z nią powiązanych jak również posiadaniu przez Autora umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa mgr inż. Marcina Karbownika pt. „Zastosowanie uniporowego i bidispersyjnego modelu sorpcji metanu w węglu kamiennym” **spełnia wymogi formalne** określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 4 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późn. zm.).

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Marcina Karbownika do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy przedstawionej do oceny pracy, jakość przeprowadzonych badań, wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz bardzo staranne przedstawienie badań realizowanych w ramach pracy - **wnioskuję o jej wyróżnienie.**