

Zabrze, 21.08.2017

Dr hab. Sławomira Pusz

Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. M. Curie-Skłodowskiej 34  
41-819 Zabrze

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jolanty Kuś

pt. „*Wpływ pożarów pokładów węgla na jego właściwości petrologiczne na przykładzie z północnych Chin*”

wykonanej pod opieką prof. dr hab. inż. Barbary Kwiecińskiej,

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, prof. dr hab. inż. Jacka Matyszkiewicza

Podziemne pożary pokładów węgla występują dość powszechnie na całym świecie i stanowią poważny problem w górnictwie węglowym, zarówno z technicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Pożary te mają również negatywny wpływ na środowisko naturalne poprzez emisję zanieczyszczeń, promieniowanie cieplne czy zmiany krajobrazowe. Z powyższych względów zjawisko pożarów węgla w pokładach jest od dawna obiektem intensywnych badań, których głównym celem jest znalezienie i optymalizacja skutecznych sposobów zapobiegania, wykrywania, monitorowania i zwalczania pożarów węgla w pokładach oraz ograniczanie ich negatywnych skutków. Niewiele jest natomiast informacji na temat efektów oddziaływania pożarów, na jakość węgla w pokładach.

Prace badawcze podjęte przez Doktorantkę w ramach interdyscyplinarnego, chińsko-niemieckiego projektu obejmującego szeroko zakrojone badania pożarów pokładów węgla w zagłębiu węglowym Wuda w północnych Chinach dotyczyły właśnie określenia wpływu pożarów na właściwości petrologiczne węgla.

### Ocena merytoryczna pracy

Praca doktorska mgr inż. Jolanty Kuś składa się z dwóch jednoautorskich artykułów naukowych pod łącznym tytułem „*Wpływ pożarów pokładów węgla na jego właściwości petrologiczne na przykładzie z północnych Chin*”, opublikowanych w 2017 roku w International Journal of Coal Geology (wydawnictwo Elsevier) w języku angielskim i zatytułowanych odpowiednio: (1) „*Impact of underground coal fire on coal petrographic properties of high volatile bituminous coals: A case study from coal fire zone No. 3.2 in the Wuda Coalfield, Inner Mongolia Autonomous Region, North China*” (Wpływ podziemnych pożarów węgla na właściwości petrograficzne węgla kamiennego o wysokiej zawartości części lotnych na przykładzie strefy pożaru nr 3.2 w zagłębiu węglowym Wuda, Autonomiczny Region Mongolii Środkowej, Północne Chiny), Int J. Coal Geol., vol. 171, str. 185-211 oraz (2) „*Oxidatively and thermally altered high-volatile bituminous coals in high-temperature coal fire zone No. 8 of the Wuda Coalfield (North China)*” (Węgle kamienne o wysokiej zawartości części lotnych zmienione termicznie w wysokotemperaturowej strefie pożaru nr 8 w zagłębiu węglowym Wuda (Północne Chiny)), Int J. Coal Geol., vol. 176-177, str. 8-35.

W przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej, publikacje zostały poprzedzone krótkim opracowaniem tekstowym zawierającym podziękowania, streszczenie w języku polskim i języku angielskim, przedstawienie tematyki badawczej, cel i tezy badań oraz sposób ich realizacji, a także wnioski i spis literatury.

Celem badań prowadzonych przez Doktorantkę było zbadanie wpływu pożarów pokładów węgla kamiennych o wysokiej zawartości części lotnych na właściwości petrologiczne tych węgla, na przykładzie zagłębia węglowego Wuda w północnych Chinach.

Badania zostały przeprowadzone dla dwu różnych stref pożarowych: niskotemperaturowej (strefa nr 3.2) i wysokotemperaturowej (strefa nr 8), a wyniki badań zostały opublikowane, odpowiednio, w ww. artykułach (1) i (2).

W obszernych wstępach do obydwóch artykułów Doktorantka, na podstawie danych literaturowych, szczegółowo opisała przyczyny i mechanizmy powstawania pożarów w pokładach węgla oraz scharakteryzowała procesy fizyko-chemiczne zachodzące w węglu pod wpływem pożarów. Następnie, przedstawiła budowę geologiczną i profil stratygraficzny zagłębia węglowego Wuda oraz historię powstania i rozprzestrzeniania się stref pożarowych w obrębie tego złoża, ze szczególnym uwzględnieniem odpowiednio, niskotemperaturowej strefy pożarowej nr 3.2 w artykule (1) oraz wysokotemperaturowej strefy pożarowej nr 8 w artykule (2).

Dla osiągnięcia wyznaczonego celu Doktorantka zastosowała w swoich badaniach metodę mikroskopii optycznej w świetle odbitym, optymalnie wykorzystując szerokie możliwości tej metody. Dla próbek węgla z obydwóch stref pożarowych przeprowadzone zostały badania składu petrograficznego, analiza ilościowa mikrostruktur oraz szczegółowe pomiary refleksyjności wityrynytu.

Na podstawie otrzymanych wyników oraz w oparciu o bogate dane literaturowe Doktorantka ustaliła, że dominującym procesem odpowiedzialnym za przeobrażenia substancji organicznej w niskotemperaturowej strefie pożarowej (< 400 °C) jest niskotemperaturowe utlenianie przejawiające się rozwojem systemu mikroszczelin i mikrospękań oraz ciemnych obwódok wzdłuż spękań i na krawędziach ziaren węgla, a także niewielkim wzrostem lub spadkiem średniej wartości refleksyjności wityrynytu. Wyższa refleksyjność wityrynytu oraz obecność półkoks w niektórych próbkach posłużyła, jako podstawa do wydzielenia podstrefy, w której obok procesów utleniania, na węgiel oddziałują również procesy niskotemperaturowej pirolizy.

Dla próbek węgla z wysokotemperaturowej strefy pożarowej (ponad 800 °C), obok analizy mikrostruktur oraz średniej refleksyjności wityrynytu, wykonane zostały pomiary wartości maksymalnej i minimalnej refleksyjności wityrynytu. Podobnie jak dla strefy niskotemperaturowej, Doktorantka stwierdziła powszechne występowanie mikrostruktur spowodowanych procesami utleniania. Wyraźnie wyższe wartości średniej i maksymalnej refleksyjności wityrynytu oraz obecność licznych jasnych punktów w obrębie ziaren wityrynytu i liptynytu, zinterpretowanych, jako zarodki mezofazy wskazują na silniejszy wpływ podwyższonej temperatury na właściwości węgla ze strefy pożarowej nr 8. Potwierdza to również wysrępowanie dwóch populacji wityrynytu w węglach z tej strefy pożarowej, będące przypuszczalnie skutkiem zróżnicowanej reakcji materii organicznej na podwyższonej temperaturę. Wzrost wartości średniej i maksymalnej refleksyjności wityrynytu w strefie pożarowej nr 8, w porównaniu do węgla otaczających, wskazuje, że pod wpływem pożaru zmienił się stopień uwęglenia węgla, od węgla kamiennego o wysokiej zawartości części lotnych do węgla kamiennego o niskiej zawartości części lotnych.

Najważniejszym osiągnięciem naukowym Doktorantki jest, przeprowadzona na podstawie wyników badań i danych literaturowych, rekonstrukcja procesów termicznych zachodzących w węglach pod wpływem pożaru i określenie ich wpływu na właściwości petrologiczne węgla. Ponadto, analiza i interpretacja wyników przeprowadzonych badań pozwoliły na wyciągnięcie ogólnych wniosków, istotnych zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Wnioski te są następujące:

- w obszarze stref pożarów, w wyniku procesów utleniania i oddziaływania termicznego dochodzi do istotnych przeobrażeń materii organicznej.
- intensywnie rozwija się system szczelin i spękań prowadzący do rozpadu ziaren węglowych, co jest szczególnie ważnym czynnikiem w procesie samozagrzewania węgla.

- przeobrażenia termiczne węgla w strefach pożarowych cechuje silne zróżnicowanie, a duża zmienność właściwości optycznych odzwierciedla heterogeniczność struktury węgla.
- zmienność warunków termicznych w nisko- i wysokotemperaturowych strefach pożarowych jak i dynamika rozwoju pożarów przyczyniają się do zmiany stopnia uwęglenia badanych węgla.

Podkreślić należy, że wyniki badań przeprowadzonych przez Doktorantkę w zagłębiu węglowym Wuda w północnych Chinach mają wartość znacznie wykraczającą poza zakres regionalny. Mogą służyć nie tylko do oceny wpływu pożarów na właściwości petrologiczne węgla, ale również mogą być pomocne w zrozumieniu procesów związanych np. z podziemnym zgazowaniem węgla oraz składowaniem węgla na zwałowiskach.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa doktorska Mgr inż. Jolanty Kuś wnosi istotny wkład w poznanie wpływu pożarów węgla w pokładach na ich właściwości petrologiczne. Po raz pierwszy zostały przeprowadzone tak kompleksowe badania petrologiczne węgla ze stref pożarowych charakteryzujących się odmiennymi warunkami termicznymi. Potwierdzone zostały szerokie możliwości badawcze mikroskopii optycznej, ze szczególnym uwzględnieniem parametrów refleksyjności, które są bardzo czułym wskaźnikiem zmian struktury węgla. Uwagę zwraca optymalne wykorzystanie wyników badań, których głęboka analiza i interpretacja, również w odniesieniu do bogatych danych literaturowych, świadczy o bardzo dobrej znajomości przedmiotu i dojrzałym warsztacie badawczym Doktorantki. W mojej opinii cel postawiony przez Doktorantkę został osiągnięty, a sformułowane przez nią wnioski są właściwe i dobrze uzasadnione wynikami badań.

Na podkreślenie zasługuje również imponujący dorobek naukowy doktorantki. Oprócz publikacji stanowiących podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej, składają się na niego 32 publikacje w czasopismach notowanych w bazie Web of Science. W przypadku 10 publikacji Doktorantka jest pierwszym autorem. Publikacje te są cytowane 133 razy (bez autocytowań), a indeks Hirsha wynosi 9.

Pomimo wysokiego poziomu publikacji składających się na pracę doktorską, Doktorantka nie ustrzegła się pewnych błędów lub braków, które przedstawiam poniżej.

Dla próbek węgla z obydwóch stref pożarów Doktorantka wykonała oznaczenia składu petrograficznego. Wyniki wykazały duże zróżnicowanie, szczególnie dla próbek z pokładu 9 z wysokotemperaturowej strefy pożarowej nr 8. We fragmentach artykułów dotyczących analizy wyników badań petrograficznych Doktorantka podaje jedynie średnie i skrajne zawartości poszczególnych grup macerałów nie podejmując jednak żadnej próby ich interpretacji. Tymczasem bardzo interesujące byłoby wyjaśnienie tak zróżnicowanego składu petrograficznego w obrębie jednego pokładu, w obszarze niewielkiej skądinąd strefy pożarowej.

W obydwóch strefach pożarowych, Doktorantka wydzieliła podstrefy, z których węgle charakteryzowały się nieco odmiennymi właściwościami optycznymi niż w pozostałej części danej strefy. Z treści artykułów wynika, że miało to dość istotne znaczenie dla interpretacji wyników badań. Dlatego szkoda, że informacje dotyczące wydzielonych podstref są bardzo skromne i rozproszone w tekście, a przez to mało czytelne. Sytuację poprawiłoby również zaznaczenie wydzielonych podstref na mapkach przedstawiających lokalizację miejsc pobrania próbek w poszczególnych strefach pożarowych.

Na podstawie zmian wartości refleksyjności zostało stwierdzone, że w strefie pożarowej nr 8 nastąpił wzrost stopnia uwęglenia węgla, od węgla kamiennego o wysokiej zawartości części lotnych do węgla kamiennego o niskiej zawartości części lotnych. Wydaje się, że analiza elementarna i techniczna węgla z tej strefy pożarowej oraz z obszarów otaczających stanowiłaby dobre uzupełnienie dla pomiarów refleksyjności i pozwoliłaby dokładniej określić charakter przemian, jakie zaszły w węglu pod wpływem pożaru.

W ramach prowadzonych badań, Doktorantka wykonała pomiary refleksyjności wityrytu: średniej refleksyjności dla próbek z niskotemperaturowej strefy pożarowej nr 3.2 oraz średniej, maksymalnej i minimalnej refleksyjności dla próbek z wysokotemperaturowej strefy pożarowej nr 8. O ile

interpretacja wyników pomiarów refleksyjności dla węgla z niskotemperaturowej strefy pożarowej (artykuł (1)) nie budzi zastrzeżeń, o tyle w przypadku wysokotemperaturowej strefy pożarowej (artykuł (2)) występują pewne wątpliwości.

Pomiary zarówno średniej jak i maksymalnej oraz minimalnej refleksyjności wykonane dla próbek z tej strefy wykazały występowanie w niektórych z nich dwóch populacji wityrynytu. We wszystkich przypadkach dominujące były populacje charakteryzujące się niższymi wartościami refleksyjności (I), natomiast populacje (II) wykazujące wyższe wartości refleksyjności miały znaczenie drugorzędne.

Niezrozumiałe jest, dlaczego, co wynika z danych przedstawionych w Tab. 1 i Tab. 3 oraz na rysunkach 15 i 19, druga populacja wityrynytu została wyznaczona dla innych próbek na podstawie średniej refleksyjności (W8-07/6, W8-08/7, W8-44/8, W8-41a/12, W8-33b/17, W8-03/20, W8-05/22, W8-2/25) i dla innych próbek na podstawie maksymalnej refleksyjności (W8-11/3, W8-45/5, W8-08/7, W8-41a/12, W8-41/13, W8-03/20, W8-05/22). W obydwóch zestawach występują jedynie cztery, następujące próbki: W8-08/7, W8-41a/12, W8-03/20 i W8-05/22.

W Tab. 1 prezentującej wyniki średniej refleksyjności wityrynytu, dla próbki W8-05/22 podano 3 wartości (0.91; 1.18 i 1.36). Czy to oznacza, że w tej próbce występują 3 populacje wityrynytu?

Na rysunkach 21 – 24 Doktorantka przedstawiła zależności pomiędzy różnymi parametrami refleksyjności badanych próbek. We wszystkich przypadkach Doktorantka analizuje łącznie wartości refleksyjności obydwóch populacji wityrynytu. Takie podejście wydaje się błędne, gdyż każda z wydzielonych populacji może charakteryzować się odmienną strukturą i w efekcie wykazywać inne zależności pomiędzy parametrami refleksyjności. Osobna analiza wyników dla poszczególnych populacji oddawałaby lepiej zależności pomiędzy badanymi parametrami refleksyjności, wyrażone np. współczynnikiem determinacji  $R^2$ . Np. dla zależności pomiędzy parametrami  $R_{max}$  i  $R_r$  (średnia refleksyjność), przedstawionej na rysunku 23, współczynnik determinacji  $R^2$  wyznaczony przez Doktorantkę dla obydwóch populacji łącznie ma wartość 0.6125 (dopasowanie liniowe), a wyznaczony tylko dla dominującej populacji (I) miałby wartości odpowiednio, 0.7768 przy dopasowaniu liniowym i 0.9007 przy dopasowaniu wielomianowym.

Szczęśliwie, w niniejszej pracy udział, a więc i wpływ (II) populacji wityrynytu na właściwości optyczne badanych węgla jest drugorzędny. W efekcie, łączna analiza parametrów refleksyjności obydwóch populacji daje wyniki nieodbiegające znacząco od tych, które otrzymalibyśmy analizując osobno dominującą (I) populację wityrynytu. Jednakże, w przypadku gdyby udziały wyróżnionych populacji były zbliżone, wyniki otrzymane dla obydwóch populacji łącznie i dla każdej osobno byłyby zupełnie inne.

Na rysunkach 14 i 15 oraz 19 i 20, poszczególne populacje wityrynytu są zaznaczone odmiennymi symbolami, podczas gdy na rysunkach 17 i 18 oraz 21 – 25 nie ma takiego rozróżnienia. Wydaje się, że rozróżnienie populacji wityrynytu na wszystkich rysunkach przedstawiających wyniki pomiarów refleksyjności poprawiłoby ich czytelność i ułatwiło interpretację wyników.

Linie regresji i współczynniki determinacji  $R^2$  podane na rysunku 18 wydają się zbędne. Biorąc pod uwagę bardzo niską wartość tych ostatnich, nie mają one żadnego znaczenia statystycznego.

Na rysunku 21 błędnie opisano osie wykresu. Na osi X, opisanej, jako maksymalna refleksyjność wityrynytu, odłożone są wartości minimalnej refleksyjności wityrynytu badanych próbek, a na osi Y odwrotnie.

Powyższe uwagi krytyczne nie obniżają merytorycznej oceny rozprawy, jako wartościowego opracowania naukowego.

### **Ocena strony formalnej pracy**

Pod względem formalnym pracę oceniam bardzo dobrze. Artykuły składające się na pracę doktorską mgr inż. Jolanty Kuś są napisane jasno i zwięźle, a zamieszczone w nich wywody są spójne i tworzą wyraźny ciąg logiczny. Forma przedstawienia wyników obserwacji i pomiarów; tabelaryczna, graficzna i fotograficzna, jest przejrzysta. Sposób rozumowania Doktorantki, przedstawiony w dyskusji

otrzymanych wyników, wskazuje na bardzo dobrą znajomość tematu oraz biegłość w analizowaniu i prezentowaniu wyników badań. Wykaz pozycji bibliograficznych jest zgodny z treścią pracy i bardzo obszerny. Zawiera 312 publikacji obejmujących bardzo szeroki zakres tematyczny i czasowy, przy czym w zdecydowanej większości dotyczy prac nowych.

Również pod względem edytorskim artykuły są przygotowane bardzo dobrze. Rysunki i fotografie są bardzo dobrej jakości i właściwie dobrane, co w połączeniu z wysokim poziomem merytorycznym i językowym tekstu artykułów ułatwia ich zrozumienie.

Niejakim mankamentem w opisywanych artykułach są powtórzenia dotyczące lokalizacji i budowy geologicznej złoża węglowego Wuda. Wydaje się, że w artykule (2) można by pominąć niektóre rysunki (np. 2, 3 i 4), a w zamian dać odnośnik do artykułu (1). Z kolei rysunek 2 z artykułu (2), przedstawiający mapę obszaru objętego chińsko-niemieckim projektem badawczym powinien znaleźć się raczej w artykule (1), w którym brakuje takiej informacji.

W artykule (1) Tab. 2 i Fig. 8 oraz Tab. 3 i Fig. 10 zawierają dokładnie te same dane. W takim przypadku wystarczyłoby pozostawienie w publikacji albo tabeli albo rysunków. Podobna sytuacja dotyczy Tab. 4 i Fig. 26 w artykule (2).

### **Wniosek**

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozprawy doktorskiej mgr inż. Jolanty Kuś pt. „*Wpływ pożarów pokładów węgla na jego właściwości petrologiczne na przykładzie północnych Chin*”, stwierdzam, że rozprawa ta spełnia wymogi Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. nr 65, poz. 595) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki ze zmianami z dnia 2 grudnia 2014 roku i Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 3 października 2014 roku. Niniejsza praca stanowi oryginalne opracowanie, które w istotny sposób poszerza wiedzę na temat mechanizmów i efektów oddziaływania podziemnych pożarów węgla na ich właściwości petrologiczne, a uzyskane wyniki mogą znaleźć zastosowanie w różnych dziedzinach związanych z wydobyciem, wykorzystaniem i przetwórstwem węgla. Treść rozprawy wskazuje na wysoki poziom wiedzy naukowej Doktorantki oraz świadczy o umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym, wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Jolanty Kuś do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.