



Katowice, 14.11.2017

dr hab. inż. Stanisław Gil, prof. nzw. w Pol. Śl.  
Zespół Ochrony Środowiska  
Katedra Metalurgii Ekstrakcyjnej i Ochrony Środowiska  
tel.: 32 6034221  
e-mail: stanislaw.gil@polsl.pl

## RECENZJA

**pracy doktorskiej mgr Aleksandry Strugały-Wilczek  
pt. „Wymywalność wybranych pierwiastków z odpadów stałych zalegających  
w kawernie powstałej w wyniku podziemnego zgazowania węgla”**

### *Podstawy formalne wydania recenzji*

Recenzję pracy doktorskiej mgr Aleksandry Strugały-Wilczek opracowano na zlecenie Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa z dnia 9.10.2017 r. wystawionego na podstawie uchwały Rady Naukowej GIG.

### *Ogólna charakterystyka, celowość podjęcia tematu badawczego oraz merytoryczna ocena pracy doktorskiej*

Recenzowana praca doktorska została wykonana w Głównym Instytucie Górnictwa pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Krzysztofa Stańczyka.

Technologia podziemnego zgazowania węgla przyciąga w ostatnim czasie coraz większą uwagę badaczy ze względu na konieczność ograniczenia szkodliwego oddziaływania tego surowca na środowisko w konwencjonalnych procesach spalania oraz na potencjalne korzyści techniczne i ekonomiczne.

W dotychczasowych opracowaniach nie podnoszono na szerszą skalę problematyki ryzyka zanieczyszczenia wód podziemnych pierwiastkami nieorganicznymi z zalegających w kawernie pozostałości poprocesowych technologii PZW takich jak: popiół, karbonizat, smoła czy żużel. Po zakończonym procesie, napływające do przestrzeni poreakcyjnej

podziemne wody, poprzez kontakt z tymi pozostałościami wymywają pewną ilość substancji toksycznych, a następnie poprzez powstałe spękania i szczeliny powodują migrację tych związków do otaczających warstw wodonośnych. Składowanie pozostałości po podziemnym zgazowaniu węgla stanowi więc problem ekologiczny i wymaga kompleksowego zbadania migracji tych zanieczyszczeń.

Właśnie tym zagadnieniom doktorantka poświęciła swoją rozprawę doktorską stawiając tezę, że metale i niemetale obecne w pozostałości po PZW mogą powodować zanieczyszczenie wód napływających do przestrzeni poreakcyjnej, jak również, że rodzaj węgla podlegającego termicznej konwersji i jego przemiany fizykochemiczne mają wpływ na intensywność rozprzestrzeniania się tych zanieczyszczeń w środowisku wodnym. Podjęcie się przez doktorantkę realizacji prezentowanej w pracy tematyki badawczej należy uznać za bardzo celowe i potrzebne z punktu widzenia ochrony środowiska oraz rozwoju technologii podziemnego zgazowania węgla, a poziom i elementy naukowe wykonanej pracy w pełni uzasadniają jej przyjęcie jako przedmiotu rozprawy doktorskiej.

Praca zawiera 171 stron, streszczenie w języku angielskim, 37 tablic i 45 rysunków. Zakres prac badawczych wykonanych przez doktorantkę jest bardzo obszerny i obejmuje między innymi:

- przegląd przedmiotowej literatury zawierający 172 zacytowanych pozycji, na podstawie których w rozprawie przedstawiono: charakterystykę procesu podziemnego zgazowania węgla, jego aspekty środowiskowe, problemy związane z pozostawianiem i składowaniem odpadów pod ziemią, migrację zanieczyszczeń w wodach podziemnych oraz modelowanie procesów hydrogeochemicznych;
- w części praktycznej zaprezentowano opis eksperymentów i ich wyniki, porównano wymywanie pierwiastków z pozostałości poprocesowych PZW oraz z popiołów po spaleniu węgla; analizowano wymywanie pierwiastków przez wody podziemne o zróżnicowanym stopniu mineralizacji; przedstawiono zjawiska sorpcyjne w aspekcie migracji metali ciężkich do środowiska wodnego w otoczeniu wygaszonego georeaktora; w ostatnim rozdziale zademonstrowano modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w rejonie reaktora w fazie poeksploatacyjnej.

W części dotyczącej przeglądu literatury rozprawę rozpoczyna analiza dotycząca dokonań w badaniach nad podziemnym zgazowaniem węgla, gdzie przedstawiono między innymi: ogólną charakterystykę procesu, jego strefowość i zjawiska fizykochemiczne w fazie gazowej i stałej, potencjalne zagrożenia hydrogeologiczne i rodzaje zanieczyszczeń powstających w pozostałości poeksploatacyjnej. Następnie omówiono wpływ wód

podziemnych na wymywanie zanieczyszczeń i ich wymywanie z odpadów stałych. Kolejnym problemem przedstawionym przez Doktorantkę były mechanizmy transportu zanieczyszczeń w wodach podziemnych takie jak: unoszenie substancji przez przepływający płyn, proces samorzutnego rozprzestrzeniania się cząsteczek w ciekach wodnych, uwalnianie cząsteczek zanieczyszczeń z fazy stałej do ciekłej oraz matematyczny opis transportu zanieczyszczeń w gruncie. Ostatnim zagadnieniem poruszonym w części literaturowej była prezentacja dwóch modeli procesów hydrogeochemicznych, gdzie jeden dotyczył metody elementów skończonych, a drugi modelowania w środowisku COMSOL Multiphysics. Zebrany materiał, zawierający wyczerpujące omówienie migracji wybranych pierwiastków z odpadów stałych zalegających w kawernie umożliwił sformułowanie interesującego celu rozprawy. Autorka charakteryzuje się dużą dociekliwością oraz obiektywnym krytycyzmem w odniesieniu do informacji zawartych w publikacjach literaturowych.

Kolejna część pracy zawiera opis eksperymentów przeprowadzonych w instalacji doświadczalnej do symulacji procesu podziemnego zgazowania węgla, a także analiz wymywalności wybranych pierwiastków oraz ich sorpcji przez węgiel aktywny, węgiel surowy i karbonizat. Powyższe badania pozwoliły na zidentyfikowanie poszczególnych grup pierwiastków pod kątem ich powinowactwa do fazy wodnej i określenie, jak termiczna konwersja węgla wpływa na zdolność wymywania poszczególnych pierwiastków do środowiska wodnego. Na uwagę zasługuje weryfikacja zdolności samooczyszczania się wód podziemnych z metali toksycznych po procesie PZW w obszarze kawerny na podstawie charakterystyki sorpcyjnej odpadów stałych w niej pozostawionych. Należy też podkreślić, że wszystkie eksperymenty przeprowadzone przez Doktorantkę były starannie zaplanowane.

Przeprowadzone badania pozwoliły na klasyfikację wymywanych pierwiastków pod względem powinowactwa do fazy wodnej, gdzie dość duże powinowactwo wykazują takie pierwiastki jak: molibden, bor, selen i ołów, natomiast mniejsze: cynk, aluminium, chrom i nikiel. Autorka zaobserwowała, że większe powinowactwo wykazują pozostałości po zgazowaniu węgla brunatnych niż węgla kamiennych, a intensywność ich wymywania zależy nie tylko od stopnia przereagowania węgla i rodzaju struktury, ale też od parametrów zgazowania takich jak: medium zgazowujące, temperatura i ciśnienie. W oparciu o współczynnik wzbogacania Doktorantka zaliczyła rtęć, selen i kobalt do grupy metali najbardziej lotnych, a część z nich przyporządkowała jednocześnie do dwóch różnych grup, uzasadniając to zależnością od typu węgla, właściwości danego pierwiastka i rodzaju struktury. Do głównych czynników wpływających na zdolność wymywania metali z pozostałości po procesie PZW Autorka zalicza: skład chemiczny wód podziemnych, rodzaj

i skład pozostałości w kawernie oraz stopień jej przereagowania w wyniku termicznej konwersji. Stwierdza też, że karbonizat z PZW w porównaniu z węglem kamiennym wykazuje lepsze właściwości sorpcyjne, co wiąże się z wielokrotnie większą powierzchnią wewnętrzną karbonizatu uzyskaną w procesie obróbki termicznej, a konsekwencją tych właściwości sorpcyjnych karbonizatu jest opóźnienie migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych. W procesie wytwarzania węgla aktywnych o dużej powierzchni wewnętrznej (nawet do 3000 m<sup>2</sup>/g) metodą aktywacji fizycznej, zwłaszcza w drugim jej etapie, używa się podobnych czynników zgazowujących jak w procesie PZW, a różnica zależy jedynie od wysokości temperatury i od kontroli kinetyki procesu, dlatego karbonizat wykazuje zdecydowanie lepsze właściwości sorpcyjne niż węgiel kamienny. Opracowany przez Doktorantkę model propagacji zanieczyszczeń nieorganicznych do wód podziemnych w okolicach reaktora PZW potwierdza pozytywny wpływ własności sorpcyjnych poprocesowego karbonizatu na spowolnienie migracji zanieczyszczeń w funkcji czasu i odległości od kawerny.

### ***Uwagi do rozprawy doktorskiej***

Praca została zredagowana bardzo starannie. Napisana jest zwięzłym językiem, a podawane stwierdzenia są dobrze wyważone. Podczas jej czytania nasunęło mi się stosunkowo niewiele uwag merytorycznych. Zauważyłem także niewiele błędów formalnych i drukarsko-redakcyjnych. Dla kompletności recenzji poniżej przytaczam ważniejsze z nich:

- ❑ na stronie 46 w opisie równania 3.6, autorka zapisała „średnia prędkość porowa wody”, czy nie powinno być „średnia prędkość przepływu wody przez pory” ?
- ❑ w tablicach 5.16 i 5.17 na stronie 93 podawane są wyniki analiz składu roztworów po badaniach sorpcji na węglu kamiennym i na karbonizacie wraz z bezwzględnymi niepewnościami pomiarowymi; proszę o wyjaśnienie, co oznacza niepewność  $\pm 0,0000$  ?
- ❑ w tablicy 5.19 na stronie 94 dla ołowiu jest wynik współczynnika  $K_F$  wynoszący  $0,46 \pm 0,21$ , daje niepewność względną wynoszącą ok. 46 %; proszę o skomentowanie tego wyniku;
- ❑ w opisach rysunków 5.1 do 5.4 na stronach 95 i 96 jako jednostka występuje litr, a w tablicach dm<sup>3</sup>; należałoby ujednoczyć te jednostki;
- ❑ na stronie 104 jest podany  $\log_{10}(k_d)$ , a współczynnik dystrybucji  $k_d$  ma wymiar; chciałbym prosić o wyjaśnienie, jaka będzie jednostka po wykonaniu operacji

logarytmowania tego współczynnika, bo moim zdaniem nie można logarytmować wielkości mianowanej, gdyż temu służą wielkości zredukowane;

- ❑ na stronie 142, we wzorze 7.3 porowatość i dyspersja mają to samo oznaczenie  $\theta$ ;
- ❑ nieliczne usterki stylistyczne i błędy literowe zaznaczyłem w dostarczonym egzemplarzu pracy i z tego powodu nie będę ich zamieszczał w tym miejscu.

Przytoczone powyżej uwagi mają w większości charakter dyskusyjny lub mówią jedynie o niedociągnięciach i w niczym nie pomniejszają zasadniczej wartości pracy.

### ***Podsumowanie pracy***

Recenzowana praca przedstawia wiele oryginalnych elementów naukowych i poznawczych, zawiera wiele wątków i wymagała szczegółowego opisu występujących zjawisk fizykochemicznych w samym procesie PZW, jak i w procesie migracji pierwiastków z odpadów stałych zalegających w kawernie do wód podziemnych, co stanowiło trudne wyzwanie dla Autorki. Za największe osiągnięcie doktorantki uważam opracowanie metodyki kompleksowej analizy zjawiska wymywania pierwiastków (w części toksycznych) z pozostałości po procesie PZW oraz opracowanie modelu propagacji zanieczyszczeń nieorganicznych do wód podziemnych.

Podsumowując uważam, iż postawiony w pracy ambitny cel został osiągnięty, a uzyskane wyniki stanowią cenny materiał uzupełniający dotychczasową wiedzę dotyczącą podziemnego zgazowania węgla i konsekwencji ekologicznych prowadzenia tego procesu.

### ***Wniosek końcowy***

**Stwierdzam jednoznacznie, że zgodnie z ustawą o stopniach i tytułach naukowych, praca doktorska mgr Aleksandry Strugały-Wilczek w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Naukową Głównego Instytutu Górnictwa.**

