



NSR L. dz. 282 / 2021
wpłynęło dnia 8.10.2021

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Energetyki i Paliw

Prof. dr hab. Katarzyna Zarębska
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
katarzyna.zarebska@agh.edu.pl

Kraków, 05.10.2021

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Marka Więckowskiego** pt.:
„Ocena zagrożenia pożarowego w fazie zagrzewania i wychładzania węgla”.

Promotor rozprawy: **dr hab. inż. Natalia Howaniec, prof. GIG**

Podstawa opracowania

Formalną podstawą przygotowania opracowania jest pismo Pani mgr. inż. Aleksandry Mraczek-Krzak Zastępcy Dyrektora ds. Finansowo-Ekonomicznych Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach z dnia 26 lipca 2021r.

Ocena celowości podjętej tematyki

Pożary podziemnie w kopalniach węgla kamiennego są wciąż jednym z ważniejszych zagrożeń naturalnych związanych z eksploatacją górnictwem. Jak dotąd analiza stanu zagrożenia pożarowego polegała głównie na ocenie ilościowej procesu w danej temperaturze. W warunkach rzeczywistych punkt zagrzewania nie ma stałej temperatury i jest charakteryzowany przez zakres temperatury: od temperatury maksymalnej w centrum ogniska do temperatury górotworu. Dąży się do tego aby analiza zagrzewania bądź wychładzania węgla uwzględniała skład gazów pochodzących z zagrzanego węgla z całego zakresu temperatury dla fazy zagrzewania i wychładzania.



Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Chemii Węgla i Nauk o Środowisku
al. al. Mickiewicza 30, A-4, IV p., pok. 423
tel. + 48 12 617 21 41, + 48 12 617 23 99
e-mail: katarzyna.zarebska@agh.edu.pl

KT

Ocena rozprawy

Praca doktorska zapisana została na 210 ponumerowanych stronach, zawiera 49 rysunków, 31 tabel i 225 pozycji bibliograficznych, wśród których dominują oryginalne artykuły naukowe w języku polskim i angielskim z ostatnich kilku lat. Integralną częścią pracy stanowi Załącznik 1, zawierający pozostałe rysunki, które pod względem obszerności materiału nie zostały omówione w pracy. Całość rozprawy podzielona jest na 5 zasadniczych rozdziałów. Treść pracy doktorskiej jest zgodna z tytułem.

Pracę rozpoczyna standardowo streszczenie oraz krótkie wprowadzenie, będące przedmiotem Rozdziału 1, w którym Autor w sposób syntetyczny przedstawia problematykę podjętą w pracy. Rozdział 2 zawiera cel i zakres pracy. Stanowi on bardzo dobre wprowadzenie do dalszej części rozprawy. Na elementy nowości podjętej tematyki badawczej, składają się: autorska instalacja laboratoryjna do badania procesu zagrzewania węgla, z możliwością rejestracji zmian temperatury węgla w czasie zagrzewania i wychładzania, opracowanie modeli procesu zagrzewania i wychładzania węgla uwzględniających różne wartości objętościowego natężenia przepływu gazu i różne uziarnienie węgla oraz określenie wpływu zmian temperatury pierwotnej górotworu na skład wydzielających się gazów przy stałej temperaturze ogniska zagrzewania.

Celem naukowym pracy postawionym przez Autora było określenie zmian rozkładu temperatury w próbce węgla oraz składu wydzielających się gazów w fazie jego zagrzewania i wychładzania. Dodatkowo cel użyteczny stanowiło określenie możliwości zastosowania wyników badań do oceny stanu zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego.

W ramach realizacji pracy doktorskiej opracowano metodę oceny samozagrzewania i wychładzania węgla uwzględniającą wpływ wielkości uziarnienia, objętościowego natężenia przepływu powietrza i azotu przez próbkę węgla oraz wpływ temperatury pierwotnej górotworu na te procesy. Wykonano badania laboratoryjne, które pozwoliły na analizę procesu zagrzewania i wychładzania węgla z uwzględnieniem składu gazów i pełnego zakresu temperatury potencjalnego ogniska pożaru.

Rozdział 3 stanowi przegląd stanu wiedzy w temacie dysertacji. Autor, bazując na literaturze odnosi się do stanu wiedzy dotyczącego procesu zgazowania węgla, poruszając kilka istotnych elementów, zaczynając od rysu historycznego, poprzez metody, kryteria oceny, wpływ czynników zewnętrznych, monitoring, kończąc na uwarunkowaniach prawnych.

Zasadniczą część dysertacji stanowi Rozdział 4, który zawiera opis części eksperymentalnej pracy i obejmuje badania zmian temperatury w próbce, wpływ uziarnienia węgla, prędkości przepływających gazów i temperatury pierwotnej górotworu na proces zagrzewania i wychładzania węgla.

Podrozdział 4.1 szczegółowo przedstawia metodykę, poprzez budowę stanowiska badawczego, procedurę badawczą, lokalizację wytypowanych kopalń z których zostały pobrane próbki do badań, sposób ich przechowywania i przygotowania do dalszych badań. Kolejno przedstawiono fizykochemiczne parametry badanych próbek węgla. Na podkreślenie zasługuje duża reprezentatywność materiału badawczego, zarówno pod względem ilości, jak i masy badanych próbek. Kolejno podrozdział 4.2 opisuje badania zmian wpływu temperatury w próbce węgla oraz składu wydzielających się gazów w procesie zagrzewania i wychładzania. Warte podkreślenia jest, iż prototypowe urządzenie badawcze, skonstruowane w ramach pracy doktorskiej, pozwala na uzyskanie w badanej próbce rozkładu temperatury zbliżonego do rzeczywistych warunków mających miejsce podczas zagrzewania węgla w kopalni. Jest to uzasadnione faktem, iż ocena zagrożenia pożarowego w kopalni bazująca na analizie zagrzewania czy wychładzania węgla, powinna uwzględniać parametry uzyskiwane z próbek węgla z przedziału temperatur od maksymalnej w ognisku zagrzenia do temperatury górotworu, co odpowiada warunkom naturalnym. Zbudowane w ramach pracy doktorskiej stanowisko badawcze spełnia wyżej wymieniony warunek, jednocześnie pozwala w bezpośredni sposób uzyskać przybliżony rozkład procentowy temperatury, co czyni je użytecznym narzędziem diagnostycznym.

Kolejno przedstawiono przebieg zmian stężenia gazów podczas zagrzewania i wychładzania badanych próbek węgla. Uzyskane wyniki pozwoliły Autorowi stwierdzić, iż dynamika przyrostu stężeń gazów była najwyższa w przedziale temperatury 100-150°C oraz 150-200°C. Jest to o tyle istotne, iż gazy o największej dynamice zmienności stężeń ułatwiają prognozowania zagrożenia pożarowego. Na podstawie uzyskanych stężeń gazów Autor obliczył

wartości wskaźników pożarowych służących do oceny zagrożenia pożarowego. Przedstawione w tym rozdziale wyniki dostarczyły informacji o dystrybucji ciepła wokół ogniska pożaru i o udziale procentowym węgla o określonej temperaturze otaczającym to ognisko w komorze reakcyjnej. Porównując udziały procentowe węgla o tej samej temperaturze w ognisku fazy zagrzewania i wychładzania zaobserwowano znaczne różnice rozkładu poszczególnych masowych udziałów procentowych węgla w otoczeniu ogniska. Jako jeden z najbardziej przydatnych gazów wytypowano etylen, szczególnie do oceny stanu zagrożenia pożarowego w fazie wychładzania węgla. Analiza wskaźników pożarowych pozwoliła Autorowi na wyciągnięcie wniosku, że przyjęcie wspólnych kryteriów oceny zagrożenia pożarowego dla fazy zagrzewania i wychładzania jest niemożliwe. Z tego powodu w celu dokładnego określenia temperatury w wychładzanym ognisku dla każdego węgla zaproponowano badania modelowe oraz dobór odpowiednich granic procesu. W kolejnym podrozdziale omówiono badania wpływu uziarnienia węgla na proces zagrzewania i wychładzania węgla. Największy wpływ zmian uziarnienia węgla stwierdzono podczas wydzielania etanu i propanu, natomiast najmniejszy w przypadku wodoru i tlenku węgla. Kolejno przedstawiono wyniki badania wpływu prędkości przepływających gazów przez próbkę węgla na proces zagrzewania i wychładzania węgla. Doświadczenie zrealizowano analizując zmiany stężeń gazów w trzech wariantach przepływu gazu.

Kolejny podrozdział to „Badania wpływu temperatury pierwotnej górotworu na proces zagrzewania i wychładzania węgla”. W badaniach wpływu temperatury pierwotnej górotworu analizowano stężenia gazów w zależności od temperatury zewnętrznej retorty, która symulowała temperaturę pierwotną górotworu. Podsumowując, można stwierdzić, że nawet niewielki wzrost temperatury pierwotnej górotworu ma istotny wpływ na wzrost stężeń gazów, w szczególności etylenu, propylenu i wodoru. Stężenia tlenku węgla oraz innych gazów w powietrzu kopalnianym są bowiem ważnym wskaźnikiem oceny stopnia rozwoju procesu samozagrzewania węgla. Uwzględniając fakt, że wydobywanie węgla w Polsce prowadzi się z coraz głębiej zalegających pokładów, trzeba mieć świadomość, że w istotny sposób wpływa to na desorpcję gazów, a zwłaszcza tlenku węgla (II). Wartości tzw. tła gazowego są różne dla różnych kopalń i różnej temperatury pierwotnej i mają istotny wpływ na wartości wskaźników pożarowych, a więc na ocenę zagrożenia pożarowego.

Rozdział 4.6 stanowi podsumowanie badań zmian temperatury w próbce węgla, wpływu uziarnienia węgla, prędkości przepływających gazów i temperatury pierwotnej na proces zagrzewania i wychładzania węgla. Kalorymetryczno-chromatograficzna metoda oparta jest na założeniu, że profil emisji produktów utleniania węgla jest charakterystyczny dla danej temperatury węgla. Konstrukcja stanowiska badawczego pozwoliła uzyskać rozkład temperatury w reaktorze i przybliżyć warunki eksperymentu do warunków rzeczywistych oraz przeprowadzenie badań wpływu temperatury pierwotnej górotworu na procesy samozagrzewania węgla. W ramach badań przeprowadzono analizę rozkładu temperatury w próbce węgla oraz składu gazów wydzielających się ze złoża węgla podczas jego zagrzewania i wychładzania. Analiza chromatograficzna gazów pochodzących z badanych próbek węgla zobrazowała zmienność stężeń tych gazów, wynikającą ze zwiększania się temperatury próbek podczas ich zagrzewania oraz zmniejszania się temperatury węgla w czasie wychładzania. Badania przeprowadzono dla różnych pokładów węgla występujących w Polsce, biorąc pod uwagę zarówno pokłady metanowe jak i niemetanowe. Zaobserwowano znaczne różnice rozkładu temperatury w próbce pomiędzy fazą zagrzewania i wychładzania. Dla wszystkich węgli średnia temperatura w fazie wychładzania była wyższa niż w fazie zagrzewania. Na podstawie przeprowadzonych wyników badań zaproponowano wskaźnik pożarowy oparty na stężeniu etylenu, które w fazie wychładzania zmienia się liniowo. Wyznaczono dwie wartości graniczne: około temperatury zapłonu i temperatury 100°C. Według Autora wskaźnik ten może być przydatny w obserwacji zagrożenia pożarowego w fazie zagrzewania i szczególnie użyteczny do oceny zagrożenia pożarowego w fazie wychładzania. Przeprowadzono również analizę wpływu uziarnienia węgla na ocenę zagrożenia rozwoju pożaru endogenicznego. Badania objęły proces zagrzewania i wychładzania ogniska pożarowego. Analizie poddano intensywność wydzielania etanu, etylenu, propanu, propylenu, acetylenu, tlenku węgla i wodoru, zależną od temperatury i stopnia uziarnienia próbek węgla. Dla wszystkich badanych próbek, wraz ze wzrostem temperatury różnice stężeń gazów wydzielanych z węgla standardowo i grubo kruszonego malały w fazie zagrzewania. W fazie wychładzania różnice stężeń gazów ponownie rosły, jednak nie osiągnęły początkowego poziomu. Największe różnice stosunku stężeń gazów wydzielanych z węgla standardowo i grubo kruszonego w fazie zagrzewania i wychładzania odnotowano dla etanu i propanu. Dla fazy

zagrzewania najmniejsze różnice stosunku stężeń zmierzono dla wodoru, tlenu węgla i acetyleny, natomiast dla fazy wychładzania dla tlenu węgla i wodoru. Różnice stosunku stężeń gazów pomiędzy węglem standardowo i grubo kruszonym było niższe dla fazy zagrzewania niż dla fazy wychładzania. Ustalono zależności wydzielania się gazów z węgla od prędkości przepływu powietrza syntetycznego i azotu przez próbkę węgla. Ustalono, że prędkość przepływu gazu przez zroby ma wpływ na ilość i szybkość wydzielania się gazów.

Następnie, bazując na przeprowadzonych badaniach określono wpływ temperatury pierwotnej górotworu na proces samozagrzewania się węgla. Wykazano, że temperatura pierwotna górotworu stanowi jeden z najważniejszych czynników wpływających na wydzielanie się gazów w początkowej fazie zagrzewania. Stwierdzono, że nawet niewielki wzrost temperatury pierwotnej górotworu ma istotny wpływ na wzrost stężeń gazów, w szczególności etylenu, propylenu i wodoru. W polskim górnictwie wartości tej temperatury zmieniają się od kilkunastu do 50°C. Dotychczasowe badania nie uwzględniały wpływu wartości temperatury pierwotnej na ocenę zagrożenia pożarowego. Zastosowana unikalna konstrukcja instalacji badawczej pozwoliła na symulację zarówno temperatury ogniska pożarowego, jak i temperatury pierwotnej odpowiadającej temperaturze panującej w pokładzie węgla. Przeprowadzona analiza stężenia gazów wydzielających się ze złoża węgla podczas jego zagrzewania i wychładzania oraz wskaźników pożarowych doprowadziła do wniosku, że przyjęcie wspólnych kryteriów oceny zagrożenia pożarowego zarówno dla fazy zagrzewania, jak i wychładzania węgla jest niemiarodajne. Zwykle podczas prognozowania, szczególną trudność sprawia określenie progowej temperatury do otwarcia pola pożarowego w kopalniach węgla kamiennego. Z tego powodu, w celu dokładnego określenia temperatury w wychładzanym ognisku dla każdego pokładu węgla należy przeprowadzić badania modelowe i dobrać odpowiednie granice.

Przeprowadzone w pracy badania wpływu uziarnienia węgla, prędkości przepływu powietrza lub azotu przez próbkę węgla, a także wpływu temperatury pierwotnej górotworu na wartości stężeń wydzielanych gazów pozwalają na wiarygodną ocenę poziomu zagrożenia pożarowego. Badania te przyczyniają się do lepszego zrozumienia i interpretacji wyników analiz powietrza kopalnianego, a tym samym do dokładniejszej oceny zagrożenia pożarowego.

Wyniki badań przedstawione w recenzowanej pracy mogą być wykorzystywane zarówno w praktyce górniczej do oceny stanu zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego oraz na składowiskach odpadów powęglowych. Na podstawie przeprowadzonych wyników badań zaproponowano wskaźnik pożarowy oparty na stężeniu etylenu. Wskaźnik ten może być przydatny w obserwacji zagrożenia pożarowego w fazie zagrzewania i szczególnie użyteczny do oceny zagrożenia pożarowego w fazie wychładzania. Zaprezentowana przez Autora tematyka wciąż wymaga poszukiwania nowych rozwiązań w aspekcie środowiskowym. Uzyskane wyniki stanowią potwierdzenie postawionych przez Doktoranta celów i hipotez badawczych.

Rozdział 5 obejmuje Spis Literatury, zawiera szereg prac dotyczących tematyki rozprawy zarówno krajowych jak i o zasięgu międzynarodowym.

W trakcie czytania rozprawy nasuwają się pewne uwagi, dotyczące strony edycyjnej dysertacji, które ograniczają się do najważniejszych i reprezentatywnych wątpliwości:

- Opis rysunku 3.10, pkt 15 w miejsce mieszacz powinno być mieszadło;
- Brak źródeł przy niektórych rysunkach, niejasne czy to dane literaturowe, czy opracowanie własne, np. 3.1.6, 3.1.17, 3.1.18, itd.;
- W pracy powinny być ujednolicone nazwy, odpowiednio tlenek węgla (II) i tlenek węgla (IV);
- Dane ze stron 85 i 86 dotyczące dynamiki przyrostu stężeń gazów byłyby bardziej czytelne zebrane w postaci tabeli;
- Str. 100, „Najniższą wartość w 35°C.....” zamiast kuszeniu powinno być kruszeniu;

Powyższych uwag nie należy odczytywać jako zarzutów, gdyż należy podkreślić, że rozprawę doktorską czyta się bardzo dobrze, napisana jest dobrym stylem. Czasem pojawiają się skróty myślowe, które wynikają zapewne z biegłej znajomości realizowanej przez Doktoranta tematyki.

Poniżej komentarze o których wyjaśnienie proszę podczas publicznej obrony:

- 1) Strona 51, powołanie na pracę Feng i inni (2017), czy autorzy na pewno omawiali wyłącznie absorpcję ditlenku węgla;
- 2) Proszę o podanie dokładności uzyskanych wyników;
- 3) Jak była powtarzalność otrzymanych danych?

Powyższe uwagi nie umniejszają wartości pracy doktorskiej, a recenzowana praca wnosi wiele elementów nowości naukowej, zarówno w części eksperymentalnej jak i teoretycznej. Analiza uzyskanych przez Doktoranta wyników przynosi wiele wartościowych informacji, zarówno możliwych do dalszego wykorzystania w pracach eksperymentalnych jak i aplikacyjnych. Rozprawa została napisana poprawnie. Na szczególne podkreślenie zasługuje biegłość Autora w doborze materiału, zaplanowaniu eksperymentu oraz analiza uzyskanych wyników. Uważam, że wielopłaszczyznowe podejście przez Autora do problemu badawczego jest niezwykle istotnym elementem rozwoju inżynierii środowiska. Dokonanie wyboru tematyki badawczej jak i metodyki rozwiązania problemu opisane w ocenianej pracy uznaje za zasadne i celowe. Wyniki badań przedstawione w pracy uzupełniają wiedzę na temat procesu samozagrzewania węgla i mogą być wykorzystywane do oceny stanu zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego oraz na składowiskach odpadów powęglowych. Sformułowany cel naukowy został przez Doktoranta osiągnięty. Mimo drobnych uwag o charakterze dyskusyjnym pracę oceniam wysoko.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marka Więckowskiego spełnia wymagania 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 późniejszymi zmianami). Stwierdzenie to upoważnia mnie do przedstawienia Wysokiej Radzie Naukowej Głównego Instytutu Górnicztwa w Katowicach wniosku o dopuszczenie mgr inż. Marka Więckowskiego do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Katarzyna Lisiecka', is written in a cursive style.