Dnipro, 16 sierpnia 2021 r.

Prof. dr hab. Roman Dychkovskyi (Dyczkowski)
Państwowy Uniwersytet Techniczny "Politechnika Dniprowska"
(Dnipro University of Technology)
Katedra Geoinżynierii i Edukacji
D. Yavornytskoho 21, UA-49000 Dnipro, Ukraine

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» КАНЦЕЛЯРІЯ

Podpis prof. R Dychkowskyi potwierdzam

# Recenzja rozprawy doktorskiej
## mgr inż. Marka Więckowskiego
## pt. „Ocena zagrożenia pożarowego w fazie zagrzewania i wychładzania węgla"

Podstawą opracowania niniejszej recenzji było pismo Zastępcy Dyrektora ds. Finansowo-Ekonomicznych Głównego Instytutu Górnictwa Pani mgr Aleksandry Mraczek-Krzak z dnia 26 lipca 2021 roku. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Natalia Howaniec, prof. GIG.

### 1. Tematyka rozprawy doktorskiej i trafność jej wyboru

Praca poświęcona jest opracowaniu metody oceny samozagrzewania i wychładzania węgla, uwzględniającej wpływ wielkości uziarnienia, objętościowego natężenia przepływu powietrza lub azotu przez próbkę węgla oraz wpływu temperatury pierwotnej górotworu na te procesy. Samozagrzewanie się węgla jest jednym z głównych zagrożeń naturalnych wpływających na ryzyko pożarowe w kopalniach węgla kamiennego. W praktyce górniczej stosuje się różne metody oceny rozwoju procesu samozagrzewania się węgla, polegające na ocenie ilościowej stężeń gazów wydzielających się z całej masy węgla w określonej stałej temperaturze oraz na analizie wartości wyznaczanych w oparciu o nie wskaźników pożarowych. Takie podejście ma jednak kilka podstawowych wad. Podstawową wadą stosowanych obecnie metod jest założenie stałej temperatury procesu, choć w rzeczywistości temperatura jest najwyższa w ognisku pożaru i zmniejsza się ze wzrostem odległości od niego. Kolejnym uproszczeniem stosowanych obecnie metod oceny ryzyka wystąpienia pożaru endogenicznego jest pominięcie wpływu parametrów fizycznych węgla na wystąpienie ryzyka pożarowego. Brak uwzględnienia tych aspektów sprawia, że wartości wskaźników wyznaczanych w laboratorium różnią się od wartości tych wskaźników uzyskanych w warunkach rzeczywistych. Mgr inż. Więckowski w ramach pracy doktorskiej podjął badania mające na celu opracowanie metody, uwzględniającej

zarówno wybrane parametry fizyczne węgla jak i zmienność temperatury w zależności od odległości od ogniska pożaru, w celu lepszego odwzorowania w warunkach laboratoryjnych rzeczywistych warunków procesu samozagrzewania się węgla i występowania pożaru endogenicznego. Prace nad opracowaniem ulepszonej metody oceny samozagrzewania się węgla wpisują się w światowy nurt badań w zakresie prewencji przeciwpożarowej w kopalniach węgla kamiennego i na składowiskach odpadów powęglowych.

Reasumując uważam, że zaproponowany temat i zakres pracy doktorskiej wpisują się bez wątpienia w obszar ważnych i aktualnych problemów dotyczących zagrożenia pożarowego w przemyśle górniczym. Podjęcie tematu należy uznać za w pełni uzasadnione.

## 2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska zawiera 162 strony, 49 rysunków, 31 tabel i 225 pozycji bibliograficznych, wśród których dominują artykuły naukowe w języku angielskim. Dodatkowo do pracy dołączono liczący 60 stron Załącznik 1 zawierający 47 rysunków przedstawiających szczegółowe wyniki badań Doktoranta, które zostały opisane w pracy doktorskiej. Rozprawę doktorską rozpoczyna szczegółowy spis treści, w którym spis tabel i rysunków zamieszczono z poprawnymi numerami stron, ale błędnie - na końcu tego spisu, podczas gdy w tekście rozprawy doktorskiej spisy tabel i rysunków znajdują się bezpośrednio po spisie treści. W pracy zamieszczono również wykaz ważniejszych symboli, oznaczeń i skrótów, którego nie wykazano w spisie treści. Na początku pracy doktorskiej mgr inż. Więckowski opisał i uzasadnił cel naukowy pracy doktorskiej, którym jest określenie zmian rozkładu temperatury w próbce węgla oraz składu wydzielających się gazów w fazie jego zagrzewania i wychładzania. Doktorant sformułował również cel utylitarny pracy, którym jest określenie możliwości zastosowania wyników badań do oceny stanu zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego. Jasne sformułowanie celu naukowego i utylitarnego definiuje poznawczy i aplikacyjny charakter prac badawczych przedstawionych w rozprawie doktorskiej.

Rozważania w części teoretycznej pracy Doktorant rozpoczyna od szczegółowej analizy metod oceny stanu zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego. Omawia szczegółowo metodę polegającą na ocenie ilościowej stężeń gazów i wskaźników pożarowych w określonej temperaturze, przy założeniu, że cała masa węgla posiada stałą temperaturę. Jednocześnie wykazuje słabe strony tej metody, która nie odzwierciedla rzeczywistych warunków

panujących w kopalniach. Wśród innych metod Doktorant wymienia metody wczesnego wykrywania pożarów, prowadzone w oparciu o zmierzone stężenia gazów wydzielających się w wyniku samozagrzewania węgla w warunkach laboratoryjnych podczas wygrzewania wzorcowej próbki, w których to metodach gazy pobierane są z ogniska pożarowego charakteryzującego się stałą temperaturą, a następnie poddawane analizie chromatograficznej. Warunki laboratoryjne różnią się od rzeczywistych a przez to wyznaczone w ten sposób wskaźniki nie odzwierciadlają stanu rzeczywistego zagrożenia pożarowego. Doktorant stwierdza, że w warunkach rzeczywistych ognisko zagrzewania węgla nie ma stałej temperatury, a raczej jest charakteryzowane przez zakres temperatury: od maksymalnej w centrum ogniska do temperatury górotworu, a w związku z tym analiza procesów zagrzewania lub wychładzania próbek powinna uwzględniać skład gazów pochodzących z zagrzanego węgla z całego zakresu temperatury, zarówno dla fazy zagrzewania, jak i wychładzania. Aby doszło do samozapłonu węgla muszą zostać spełnione odpowiednie warunki tj. obecność odpowiedniej ilości rozkruszonego węgla, dopływ powietrza do miejsca nagromadzenia węgla oraz możliwość akumulacji ciepła. Doktorant stwierdza również, że na proces samozagrzewania węgla ma wpływ wiele czynników takich jak stopień metamorfizmu węgla, jego skład petrograficzny, zawartość wilgoci, grubość pokładu, rozdrobnienie węgla i stopień przewietrzania. Nasuwa się tu pytanie czy z praktycznego punktu widzenia model uwzględniający wybrane parametry fizyczne węgla oraz fakt fluktuacji temperatury w zależności od odległości od ogniska pożaru pozwoli szybciej zlokalizować miejsca samozagrzewania się węgla i tym samym zapobiegać wystąpieniu pożaru endogenicznego w kopalni bądź na składowisku odpadów powęglowych? Bardzo proszę o ustosunkowanie się do tej kwestii podczas publicznej obrony pracy.

Omawiając w dalszej części teoretycznej pracy kwestie stanu zagrożenia pożarowego w kopalniach węgla kamiennego w Polsce Doktorant zwraca uwagę, że polskie kopalnie są bardzo zróżnicowane pod względem ryzyka wystąpienia pożaru endogenicznego. W Tabelach 3.1-3.4 przedstawia statystyki pożarów egzogenicznych i endogenicznych z podziałem na zastosowane systemy eksploatacji pokładów, głębokość powstania pożaru, grupy samozapalności węgla, ustalone lub przypuszczalne przyczyny powstania pożaru oraz udział pożarów wykrytych za pomocą CO-metrii automatycznej. Komentarza wymaga jednak duża zmienność ilości pożarów w poszczególnych latach. Na str. 18 Doktorant pisze, że na przestrzeni ostatnich 30 lat nie obserwowano wyraźnego wzrostu zagrożenia pożarowego, określanego zarówno na podstawie wskaźnika pożarowości, jak i w liczbach bezwzględnych. Wzrost odnotowano natomiast w

ciągu ostatnich pięciu lat (liczba pożarów wzrosła z 3 do 13, a wskaźnik pożarowości wzrósł z 0,04 do 0,21). Jeżeli w ostatnich 5 latach obserwowany jest wzrost to jednak nie można mówić o braku tej zmienności. Konieczny jest tutaj komentarz Doktoranta odnośnie przyczyny wzrostu ilości pożarów w ostatnim okresie. Ponadto zabrakło krótkiego, syntetycznego podsumowania części literaturowej, uzasadniającego cel prowadzenia podjętych badań i stanowiącego nawiązanie do kolejnej części rozprawy, przedstawiającej metodykę i część badawczą.

W rozdziale 4 poświęconym badaniom zmian temperatury w próbce, wpływu uziarnienia węgla, wpływu prędkości przepływających gazów i wpływu temperatury pierwotnej górotworu na proces zagrzewania i wychładzania węgla Doktorant przedstawia wyniki badań własnych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że badania były prowadzone z wykorzystaniem autorskiej instalacji laboratoryjnej do badań procesu zagrzewania i wychładzania węgla z komorą reakcyjną o objętości 10 $dm^3$, w której umieszczany jest rozdrobniony węgiel, a pomiędzy jego ziarnami przy zagrzewaniu przepływa powietrze syntetyczne, a przy wychładzaniu azot. W instalacji próbki rozdrobnionego węgla umieszczane są w komorze reakcyjnej, do której doprowadza się dwoma kanałami powietrze syntetyczne i azot (faza wychładzania). Dlaczego doprowadza się te dwa media gazowe oddzielnymi kanałami? Doktorant określił straty ciepła na podstawie wymiarów komory reakcyjnej i zmierzonych wartości temperatury w sześciu punktach pomiarowych. W jaki sposób zostały wybrane te punkty? Doktorant stwierdza, że stosując masę próbki węgla około 6,5 kg uzyskał cyt. „wytłumienie fluktuacji temperatury". Co oznacza „wytłumienie fluktuacji temperatury"? W swoich badaniach Doktorant przebadał próbki pochodzące z dwudziestu dwóch pokładów węgli kamiennych z rejonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Co Doktorant rozumie pod stwierdzeniem, że próbki te były pobierane z miejsc „ze świeżo odsłoniętej calizny pokładu węgla, z miejsc reprezentujących średnie własności pokładu dotyczące jego zagrożenia pożarem endogenicznym"? W swoich badaniach Doktorant rozdrabniał pobrane bryły węgla w kruszarce ślimakowo-tarczowej. Im bardziej rozdrobniony materiał tym większa powierzchnia kontaktu z czynnikiem utleniającym, czyli inaczej niż w górotworze. W pokładzie węgla mamy caliznę węglową. Czy to było brane pod uwagę w interpretacji otrzymanych wyników? Z opisu przedstawionych wyników wynika, że do próbek węgla umieszczonych w komorze reakcyjnej doprowadzano powietrze syntetyczne zawierające 20,5%obj. tlenu. Czy rozważano również inne mieszanki powietrza o mniejszej zawartości tlenu?

Poziom zagrożenia pożarowego w kopalniach określa się w Polsce przez przyrost stężenia tlenku węgla oraz ΔCO, %, oraz wskaźnikiem ilości tlenku węgla VCO, $dm^3/min$, o czym szczegółowo Doktorant pisze w Rozdziale 3.12. Wyniki pomiarów stężeń gazów wykonanych z zastosowaniem metody chromatograficznej wykorzystywane są do wyznaczenia wskaźnika Grahama. Wzrost temperatury w ognisku zagrzewania węgla powoduje wzrost stężenia tlenku węgla, etanu, etylenu, propanu, propylenu, wodoru, acetylenu i ditlenku węgla oraz zmniejsza się zawartość tlenu. Z kolei w procesie gaszenia (obniżenie temperatury) obserwuje się spadek stężeń tych gazów. Największym wyzwaniem jest ocena zagrzewania zarówno w początkowej jak i końcowej fazie, gdyż wówczas stężenia gazów są niskie w porównaniu z ich wartościami w trakcie pożaru (gdy temperatura jest wysoka). Istnieje wiele prac naukowych, w których opisana jest kolejność pojawiania się poszczególnych produktów utleniania węgla. Najważniejszym osiągnieciem naukowym Doktoranta na tym etapie badań było stwierdzenie na podstawie analizy zmian stężeń wydzielanych gazów podczas zagrzewania i wychładzania oraz dynamiki zmian stężeń gazów dla badanych węgli, że najniższe przyrosty stężeń zmierzono dla etanu, propanu i ditlenku węgla a najwyższe stężenia odnotowano dla etylenu, propylenu, wodoru i tlenku węgla. Doktorant wyznaczył wartości tła, czyli stężenia gazów w temperaturze pierwotnej skał przy zagrzewaniu i wychładzaniu. Doktorant potwierdził, że zastosowanie kryterium wskaźnika Grahama przy zagrzewaniu jest w pełni uzasadnione jednakże posługiwanie się tym kryterium przy wychładzaniu przedwcześnie wskazuje na możliwość otwarcia pola pożarowego, a więc prowadzi do błędnych wniosków. Do podobnych wniosków Doktorant doszedł wyznaczając wskaźnik Littona. Mianowicie wskaźnik Littona przy wychładzaniu przyjmuje wartość 1 (ochłodzenie do temperatury otoczenia) w przedziale temperatury 200 do 100°C, co także wskazywało w przypadku przeprowadzonych badań zbyt wcześnie na wychłodzenie. Podobne wnioski zostały wyciągnięte przez Doktoranta z analizy pozostałych, stosowanych w polskim górnictwie wskaźników. Mianowicie, wskaźnik Tricketta posiada kryterium poprawnie wskazujące początek palenia się węgla, jednak nie posiada przyjętych niższych progów, przydanych dla określenia zagrożenia pożarowego w niższych temperaturach. Podobnie w przypadku wskaźników pożarowych WP-1, WP-2 i WP-3 stosowanych pomocniczo w polskich kopalniach węgla kamiennego – te wskaźniki wykazują przydatność tylko podczas procesu zagrzewania. Po dogłębnej analizie Doktorant stwierdził, 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 przeprowadził badania modelowe. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań zaproponował 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. I to należy uznać za największe osiągnięcie pracy.

Czytając rozprawę doktorską zauważono pewne niedociągnięcia o charakterze redakcyjnym. Wybrane z nich przedstawiono poniżej:

- ✓ W rozdziale 3.11 str.58 jest: „dwutlenek azotu", powinno być: „ditlenek azotu"
- ✓ Część wzorów zapisana jest pogrubionym tekstem. Pogrubione symbole są zarezerwowane dla macierzy i wektorów, a takowe w tych równaniach nie występują (patrz np. wzór 9 i 10 str.39; 11 str.40 itp.)
- ✓ Ilość wydobywanego węgla powinna być wyrażona w Mg a nie tonach (patrz np. str. 16).
- ✓ Powinny być stosowane jednostki SI.

**Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Marka Więckowskiego spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65. Poz. 595 z późniejszymi zmianami). Zwracam się do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa z wnioskiem o dopuszczenie mgr inż. Marka Więckowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.