Prof. dr hab. inż. Andrzej Maranda
Sieć Badawcza Łukasiewicz -
Instytut Przemysłu Organicznego
ul. Annopol 6
03-236 Warszawa
tel.: 228841243
e-mail: andrzej.maranda@ipo.lukasiewicz.gov.pl

Warszawa 22.11.2022

Recenzja

rozprawy doktorskiej zatytułowanej

„Opracowanie nowatorskiej i ekologicznej formuły materiału wybuchowego emulsyjnego luzem o zwiększonych parametrach detonacyjnych i stabilności chemicznej"

wykonanej na Politechniki Śląskiej
przez **mgr. inż. Bartłomieja Kramarczyka**
pod opieką naukową **dr hab. inż. Katarzyny Jaszcz prof. PŚl.**
i promotora pomocniczego **dr. inż. Tomasza Jarosza**

Recenzja została wykonana w związku z *art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższy i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.)* oraz na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna, z dnia 28 września 2022 roku.

A. Przedmiot rozprawy

Górnicze materiały wybuchowe (GMW) są mieszaninami typu utleniacz-składnik palny. Ich rozwój, począwszy od opracowanego w IX wieku przez Chińczyków prochu czarnego, jest związany głównie z poszukiwaniem odpowiedniego utleniacza, zapewniającego zdolność do wysokoenergetycznej reakcji i optymalne parametry tego procesu. Pierwszym utleniaczem stosowanym w GMW był azotan(V) potasu, później wykorzystywane były chlorany(V) i (VII), aby po patencie Norbinna i Ohlssona najpopularniejszym utleniaczem stał się azotan(V) amonu. W celu zapewnienia jak najwyższego stopnia przereagowania azotanu(V) amonu ze składnikiem palnym, mającego bezpośrednie przełożenie na wyższe parametry detonacyjne i większą zdolność do detonacji, w kolejnych typach GMW starano się uzyskać maksymalne rozdrobnienie (zwiększenie powierzchni właściwej) utleniacza. Azotan(V) amonu mielono (dynamity, amonity i ich odmiany bezpieczne wobec kopalnianych atmosfer palnych), porowacono (saletrole) i formowano ich wodne roztwory nasycone (materiały wybuchowe zawiesinowe - MWZ) i przesycone (materiały wybuchowe emulsyjne - MWE). Ta ostatnia forma „rozdrabniania" azotanu(V) amonu, w postaci emulsji typu „woda w oleju" została zaproponowana w roku 1969 przez Bluhma i zapewnia maksymalną homogenizację utleniacza (-czy) i składników palnych. Od tego czasu nastąpił coraz szybszy wzrost zastosowania MWE w przemyśle wydobywczym. Aktualnie jest to najpopularniejszy środek strzałowy wykorzystywany zarówno w kopalniach odkrywkowych jak i podziemnych. Również opublikowano szereg prac naukowych, a badania ukierunkowane na wyjaśnienie mechanizmu procesu detonacji czy też poprawienie właściwości użytkowych, są w dalszym ciągu kontynuowane. Obecnie liczba publikacji dotyczących innych GMW jest bardzo mała w stosunku do liczby artykułów dotyczących problematyki MWE.

Dlatego uważam, że temat jaki podjął się zrealizować Doktorant, a obejmujący opracowanie oryginalnego składu materiału wybuchowego emulsyjnego luzem o zwiększonych parametrach detonacyjnych i stabilności chemicznej a mniej obciążającego środowisko naturalne w stosunku do obecnie stosowanych MWE jest aktualny a jednocześnie bardzo trudny.

B. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska składa się z dwóch zasadniczych części. Część pierwszą można określić jako zestawienie szeregu elementów znajdujących się w typowych opisach eksperymentalnych prac magisterskich czy doktorskich, ale bez uwzględnienia tak zwanej części teoretycznej, będącej zazwyczaj przeglądem literatury. W pierwszym podrozdziale wstępu Doktorant podaje ogólne informacje o materiałach wybuchowych, ze szczególnym uwzględnieniem MWE. Podkreśla bardzo duże znaczenie sensybilizacji matrycy, co będzie meritum jego późniejszych osiągnięć. Następnie uzasadnia podjęcie zawartej w rozprawie tematyki badawczej, uwypuklając coraz większy udział MWE luzem w palecie stosowanych GMW. Analizuje problemy związane ze stosowaniem MWE luzem, między innymi ich o wiele niższą prędkość detonacji w porównaniu z MWE nabojowanymi i dynamitami. Następnie sygnalizuje potrzeby usprawnień dotychczasowych rozwiązań, zwracając uwagę na znaczący wpływ temperatury na proces uczulania, który utożsamia ze spadkiem gęstości MWE. Podaje zależność gęstości od czasu w warunkach różnych temperatur dla Emulinitu 8L, który w pracy jest MWE porównawczym dla mieszanin opracowanych przez Doktoranta. W kolejnym podrozdziale definiuje i uzasadnia cel pracy, zawarty w tytule rozprawy oraz przedstawia jej zakres. Prezentuje w bardzo skróconej formie obecny stan wiedzy w dziedzinie MWE.

Następnie omawia szczegółowo metody badawcze jakie stosował podczas realizacji eksperymentów a obejmujące pomiary: gęstości, prędkości detonacji, nadciśnienia powietrznej fali podmuchowej, względnej zdolności do wykonania pracy z zastosowaniem wahadła balistycznego i z użyciem bloku Trauzla, kruszności metodą Hessa, wrażliwości na tarcie i uderzenie, składu gazów postrzałowych oraz struktury matrycy i jej uczulonej postaci. W kolejnym podrozdziale relacjonuje i omawia wyniki przeprowadzonych badań. Większość eksperymentów ma charakter porównawczy. Testowane są Emulinit 8L (8L) oraz dwa MWE zawierające zmodyfikowane sensybilizatory, oznaczone przez Autora jako BK1 i BK2. Wszystkie rodzaje badanych materiałów wybuchowych emulsyjnych zawierają matrycę stosowaną w Emulinicie 8L a różnią się składem środka uczulającego. Uważam, że poważnym niedopatrzeniem Autora rozprawy, jest brak umieszczenia w opisie składów uczulaczy, których porównanie wpływu na wyznaczane parametry testowanych MWE jest *clou* recenzowanej pracy doktorskiej. Znalazłem je dopiero w załączonym artykule [E4].

Pomiary gęstości (ρ_o) MWE w funkcji czasu (t) wykazały, że w przypadku BK1 i BK2 po upływie około 60 minut proces nagazowania się praktycznie kończy, a w przypadku 8L trwa przez kolejne godziny. Uzyskane zależności $\rho_o=f(t)$ są podstawą do twierdzenia przez Doktoranta, że MWE BK1 i BK2 są bardziej stabilne chemiczne niż 8L.

W kolejnym podpunkcie Autor rozprawy relacjonuje wyniki pomiarów parametrów energetycznych, zaczynając od składów gazu postrzałowych, których do tych właściwości trudno zaliczyć. Z danych zawartych w tabeli 2 (str. 27) jednoznacznie wynika, że BK1 i BK2 podczas wybuchowego procesu generują

mniejsze ilości CO i NO_x niż 8L. Takie rezultaty badań składu gazów postrzałowych mgr inż. Bartłomiej Kramarczyk tłumaczy między innymi dokładniejszym rozmieszczeniem pęcherzyków gazowych (*hot spots*), co powoduje „*pełniejszą*" i „*gwałtowniejszą*" detonację. Chociaż nie pokazuje żadnego bezpośredniego dowodu dotyczącego rozmieszczenia gorących punktów. Do zastosowanych przez Doktoranta określeń procesu detonacji odniosę się w kolejnym punkcie recenzji. Niższe zawartości tzw. „*czadów*" mogą sugerować, że BK1 i BK2 są bardziej „*ekologicznymi*" składami niż 8L. Jednak należy wziąć pod uwagę, że w składach uczulaczy BK1 i BK2 znajduje się chloran(VII) sodu, który w ramach reakcji wymiany przekształca się według Autora w chloran(VII) amonu. Chloran(VII) amonu jest podstawowym utleniaczem stosowanym w heterogenicznych stałych paliwach rakietowych, których główną wadą jest generowanie podczas procesu spalania chlorowodoru. Definitywnym dowodem na wyższą „*ekologiczność*" BK1 i BK2 byłyby wyniki analiz cyklu życia porównywanych materiałów wybuchowych emulsyjnych.

Następnie Doktorant przedstawia wyniki badań rzeczywistych parametrów energetycznych. Rezultaty przeprowadzanych cykli eksperymentów wykazały, że materiały wybuchowe emulsyjne BK1 i BK2 mają wyższe prędkości detonacji, kruszności i względne zdolności do wykonania w porównaniu pracy w stosunku do 8L. Parametry powietrznych fal podmuchowych porównywanych MWE są zbliżone. Uważam, że konieczne jest podawanie przy wynikach pomiarów prędkości detonacji gęstości badanych MWE, ponieważ tylko wtedy można je porównywać. W kolejnym podpunkcie Autor przedstawia wnioski wynikające z rezultatów przeprowadzonych badań laboratoryjnych. Eksponując potencjalny wpływ powstającego chloranu(VII) amonu na przebieg procesu detonacji, konkluduje między innymi, że tworzy on dodatkowe gorące punkty przez co wzrasta wrażliwość na bodźce detonujące i propagacja fali detonacyjnej. Jednak jest to stwierdzenie intuicyjne, *a priori*, ponieważ Doktorant nie przedstawia dowodu, że MWE BK1 i BK2 mają większą zdolność do detonacji niż 8L, co można byłoby udowodnić wykonując np. test szczelinowy (*gap test*).

Bardzo istotny element pracy stanowią wyniki badań użyteczności w warunkach górniczych, które poprzedziły badania wrażliwości opracowanych MWE na bodźce mechaniczne. Wrażliwość na tarcie była powyżej 360 N, a uderzenia powyżej 50 J, i korelowały z danymi uzyskiwanymi dla standardowych MWE. Doktorant prowadził badania porównawcze dla MWE 8L i BK2. Zostały wykonane dwie podziemne próby. W pierwszej został zastosowany pojedynczy mieszalnik, jednak nie nastąpiło homogeniczne nagazowanie MWE. W drugiej próbie, wykorzystano podwójny mieszalnik, dzięki czemu nastąpiło lepsze ujednorodnienie MWE. Jednak kruszność BK2 była tylko o koło 8% wyższa w stosunku do 8L. W warunkach laboratoryjnych różnica wynosiła 20%. Doktorant podkreśla, że ładowanie otworów strzałowych zastosowanymi modułowymi układami pompująco-załadowczymi nie gwarantuje osiągnięcia wystarczająco wysokiego stopnia homogenizacji MWE, przez co MWE otrzymane w warunkach kopalnianych mają gorsze parametry użytkowe niż otrzymane w ramach prac laboratoryjnych.

Kolejne punkty części pierwszej zatytułowane „Podsumowanie i wnioski", „Znaczenie pracy i wpływ ich wyników na rozwój nauki i techniki" oraz „Wdrożeniowy potencjał uzyskanych wyników„ są ukierunkowane na eksponowanie znaczenia praktycznego wyników badań. Autor podkreśla opracowanie hybrydowego uczulacza, którego dodatek do standardowej matrycy MWE powoduje uformowanie dwóch typów gorących punktów: pęcherzyków gazu i kryształów chloranu(VII) amonu. Taka struktura MWE zapewnia wyższe parametry energetyczne opracowanych MWE,

które predysponują je do urabiania złóż zwięzłych w górnictwie podziemnym. Zastąpienie między innymi dynamitów, które ze względu na obecność w nich nitroestrów oddziałują niekorzystnie na górników strzałowych. Doktorant wysuwa na pierwszy plan korzyści wizerunkowe i finansowe NITROERG-u S.A. i szacuje, że sprzedaż materiałów wybuchowych emulsyjnych do KGHM-u w wyniku zastosowania opracowanych przez Niego MWE zwiększy się o 15%.

Cześć druga zawiera sześć artykułów, których Doktorant jest głównym autorem. Artykuł [P1] ma charakter przeglądowy. Po wstępie, w którym wyeksponowany jest wzrost zużycia w polskim przemyśle wydobywczym materiałów wybuchowych luzem, Autorzy na podstawie pięciu artykułów przedstawiają zagadnienia związane ze stabilnością MWE. Następnie przybliżają problematykę sensybilizacji MWE omawiając metody fizyczne i chemiczne. Analizują dodatki modyfikujące właściwości MWE. Kolejny punkt zatytułowany „*Energetic Properties of EEs*" zawiera dane dotyczące wpływu różnych czynników na prędkość detonacji oraz wyniki badań własnych Autorów składów gazów postrzałowych. Autorzy przedstawiają również zastosowanie MWE w inżynierii materiałowej, w technologiach zgrzewania metali i ich zagęszczaniu. Bibliografia artykułu [P1] zawiera 56 publikacji. Większość została opublikowana w końcówce drugiej dekady i na początku trzeciej dekady XXI wieku. Jednak uważam, że bibliografia powinna zawierać monografię Xuguang'a[1], która jest uważana jako „biblia" materiałów wybuchowych emulsyjnych, czy też bardziej dostępną na rynku krajowym monografię Marandy i innych[2].

Artykuł [E1] dotyczy zdolności MWE do detonacji podczas sezonowania i zawiera głównie szeroki zakres wyników badań zmiany prędkości detonacji Emulinitu 8L w czasie. Wraz z czasem sezonowania następował spadek prędkości detonacji od 4230 m/s (30 minut) do 2930 m/s (6 miesięcy). Uważam, że przy danej prędkości detonacji powinna być podana gęstość MWE. Ponieważ na tej podstawie można byłoby uzasadnić konieczność zastosowania pobudzacza do zainicjowania Emulinitu 8L po 6 miesiącach składowania. A więc czy powodem jego mniejszej zdolności do detonacji jest migracja pęcherzyków gazu z matrycy czy częściowe „odwrócenie" matrycy. Uzyskane rezultaty eksperymentów upoważniają Autorów publikacji do stwierdzenia, że nieprawdziwa jest teza o zaniku zdolności do detonacji MWE luzem po upływie 48 godzin, od momentu załadunku do otworów strzałowych.

Tematem kolejnego artykułu [E2] jest wpływ dodatku aluminium na wybrane parametry materiału wybuchowego emulsyjnego luzem. Do matrycy, o niesprecyzowanym składzie był dodawany pył aluminiowy w ilości 0, 1, 3, 5 i 7%. Zostały wykonane pomiary zdolności do wykonania pracy (metodą wahadła balistycznego i bloku Trauzla), prędkości detonacji i intensywności powietrznej fali podmuchowej. Wraz ze zwiększaniem zawartości metalicznego dodatku następował wzrost zdolności do wykonania pracy i parametrów powietrznej fali podmuchowej, a spadek prędkości detonacji. Oprócz pozytywnego wpływu na niektóre z wymienionych parametrów Autorzy artykułu podkreślają w podsumowaniu możliwość uczulenia przez pył aluminiowy matrycy, co może mieć bezpośrednie przełożenie na bardziej restrykcyjną klasę transportową.

Podobnie jak w artykule [E1] w publikacji [E3] bardzo ważnym elementem są wyniki pomiarów gęstości materiałów. Autorzy opisują szczegółowo mechanizm chemicznego uczulania MWE. Następnie przedstawiają wyniki dwóch cykli badań. W pierwszym przez 4-5 miesięcy były prowadzone pomiary gęstości MWE po 30

---

[1] Xuguang W. *Emulsion Explosives*. Metallurgical Industry Press. Bejing **1994**.

[2] Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J. *Materiały wybuchowe emulsyjne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa **2008.**

minutach od załadowania przez cztery różne urządzenia mieszalniczo-załadowcze. Na podstawie rezultatów kilkuset pomiarów wyznaczono średnie gęstości dla poszczególnych urządzeń, które były w dość wąskim zakresie 1,10-1,14 g/cm^3. W drugim etapie badań relacjonują wyniki pomiarów gęstości w czasie przy pięciu różnych stosunkach masy utleniacza do masy matrycy. Punktem wyjścia był standardowy stosunek 4,5:95,5, a dwa były wyższe i dwa niższe. Próby były prowadzone dla trzech matrycach różniących czasem między pobraniem próbki a produkcji wyjściowej matrycy. Większa masa środka uczulającego powodowała, w badanym zakresie czasu, bardziej intensywny spadek gęstości a różnice w gęstościach różnych testowanych matryc były niewielkie – do 0,02 g/cm^3.

Kolejne publikacja [E4] jest angielskojęzyczną wersją podsumowania większości wyników badań laboratoryjnych wykonanych podczas realizacji części eksperymentalnej pracy doktorskiej, zawartego w pierwszej części rozprawy, Uzupełnieniem są wyniki szacowań numerycznych parametrów detonacyjnych porównywanych MWE przeprowadzonych z wykorzystaniem oprogramowania EXPLO5. Zaskakujący jest fakt, że wyznaczone numerycznie prędkości detonacji są niższe niż otrzymane drogą eksperymentalną.

Ostatnia załączona publikacja [E5] w pierwszej części zawiera wyniki badań gęstości, kruszności i prędkości detonacji, wykonanych porównawczo dla MWE 8L i BK2 z zastosowaniem dwóch typów mieszalników. Kruszność obydwu MWE była zbliżona do kruszności uzyskanej w warunkach laboratoryjnych. Natomiast prędkość detonacji BK2 uformowanego z wykorzystaniem obydwu typów mieszalników była znacznie niższa niż uzyskana poprzez ręczną homogenizację. W przypadku mieszalnika pojedynczego różnica wynosiła ~1200 m/s a podwójnego ~1000 m/s. Wartości prędkości detonacji 8L i BK2 były porównywalne. Miało to bezpośredni wpływ na urabianie górotworu – nie stwierdzono zasadniczych różnic w rozdrobnieniu urobku.

C. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Jak wspomniałem powyżej przedstawioną do recenzji rozprawę zawiera dwie części: *resume* znajdujące się od strony 8 do strony 40 oraz prezentację 6 artykułów, których mgr inż. Bartłomiej Kramarczyk jest współautorem. Moje uwagi do wymienionych powyżej artykułów są zawarte w części B recenzji, natomiast poniżej zestawiłem zastrzeżenia do niektórych sformułowań użytych w opisie znajdującym się na początku pracy.

- Str. 5, „*Fazę wodną stanowi azotan(V) amonu*", Autor stosuje skrót myślowy, a powinno być „Fazą wodną jest przesycony wodny roztwór azotanu(V) amonu, ewentualnie dodatkowo innych nieorganicznych utleniaczy".
- Str. 5, *Nadgabaryty – bryły posiadające rozmiar większy od założonego na etapie projektowania prac strzałowych*", raczej „....mające wymiar....".
- Str. 5. „*Uczulacz – komponent MWE luzem, który zmniejsza jej gęstość i generuje pęcherzyki gazu.*", zapis powinien być odwrotny „.....generuje pęcherzyki gazu i zmniejsza jej gęstość." Najpierw jest przyczyna a później skutek.
- Str. 8. „*Fazę wodną stanowi nasycony roztwór azotanu(V) amonu,.....*", roztwór jest ***przesycony*** w warunkach stosowania. Jest nasycony na początku cyklu technologicznego, kiedy jest podgrzany np. do temperatury 90 °C. Według leksykonu[3] „***roztwór przesycony*** – roztwór o stężeniu określonego składnika większym, niż wynosi jego rozpuszczalność w danych warunkach".

[3] *Leksykon naukowo-techniczny*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa **2001**, str. 905.

- Str. 9, *„Matryca MWE musi zostać poddana procesowi uczulania, aby stać się właściwym materiałem wybuchowych..",* co to znaczy *„właściwym"* materiał wybuchowy? Należałoby sformułować „.....aby mieć zdolność do detonacji".
- Str. 9, *„Podczas przejścia fali detonacyjnej, wytworzone pęcherzyki gazu ulegają sprężeniu adiabatycznemu,...".* Pęcherzyki gazu spręża ***fala uderzeniowa***, która propaguje się na czole fali detonacyjnej.
- Str. 13, podpis pod rysunkiem 2, *„Wpływ temperatury na zmiany gęstości..... wywołane procesem uczulania".* Powinno być „Wpływ temperatury na zmianę gęstości w funkcji czasu ....."
- Str. 15, *„W przypadku MWE gęstość jest ściśle powiązana ze stopniem uczulenia"*, uważam, że bardziej logiczny jest zapis „W przypadku MWE stopień uczulenia jest ściśle związany z gęstością".
- Str. 27, *„....charakteryzują się pełniejszą detonacją ..." i „Gwałtowniejsza detonacja...".* Co Doktorant rozumie pod pojęciem *„pełniejsza"* czy *„gwałtowniejsza"* detonacja? Takich sformułowań w opracowaniu naukowym nie powinno się stosować.
- Str. 30, *„....wzrasta wrażliwość na bodźce detonujące...."* Co to znaczy *„bodźce detonujące"*?
- Na zakończenie trzy uwagi edytorskie. Nie należy stosować kropek na końcach tytułów tabel i podpisów pod rysunkami. Oprócz zapisów procentów oraz jednostek kątowych zawsze powinna być spacja pomiędzy wartością a jednostką. Wartości dotyczące gęstości (rys. 2, 12 i 18) powinny zawierać przecinki a „Gęstość" należy zapisać polskimi literami.

D. Ogólna ocena rozprawy

Głównym zadaniem Doktoranta było udoskonalenie składu sensybilizatora matrycy stosowanej w Emulinicie 8L. Jak wynika między innymi z tytułu rozprawy Doktorant postawił sobie cztery warunki, których spełnienie było celem realizacji pracy. Skład opracowanego MWE powinien być nowatorski i jednocześnie ekologiczny, charakteryzować się podwyższonymi parametrami detonacyjnymi i stabilnością chemiczną. Opracowany przez Niego hybrydowy uczulacz na pewno spełnia pierwszy warunek, chociaż jak sam Autor podkreśla chlorany(VII) jako składniki MWE w ilości 3-12% zostały opatentowane przez Wade'a[4] już w roku 1979. Dwadzieścia sześć lat później Hagfors[5], wykonując testy podwodne dodał 5% chloranu(VII) sodu do MWE zawierającego pył aluminiowy. Jednak w żadnym z przedstawionych przypadków chloran(VII) sodu nie był wykorzystany jako składnik środka uczulającego. Na temat *„ekologiczności"* opracowanego uczulacza już wcześniej pisałem, ale przyjmując kryterium Doktoranta, że o poprawie *„ekologiczności"* decyduje zmniejszenie zawartości tlenku węgla i tlenków azotu w gazach postrzałowych, to również należy przyjąć, że drugi warunek został spełniony. Materiały wybuchowe emulsyjne uczulane zmodyfikowanym uczulaczem charakteryzują się wyższą prędkością detonacji, kruszności i zdolnością do wykonania pracy, co bezsprzecznie świadczy o realizacji kolejnego warunku. Wyznacznikiem stabilności chemicznej MWE przyjętym w opiniowanej pracy jest ograniczenie czasu nagazowania matrycy. Materiały wybuchowe emulsyjne BK1 i BK2 po upływie około 60 minutach osiągają minimalną założoną gęstość, a w

[4] Wade C.G. *Cap Sensitive Emulsions Containing Perchlorates and Oclouded Air and Method.* Pat. US 4149916, **1979**.

[5] Hagfors M. Underwater Explosions. Part 2 – Effects of Aluminium Increments to the Shock, Gas Heave and Total Energy Values of an Emulsion Explosives. *Proc. 3rd EFEE World Conf. on Explosives and Blasting*, Brighton, September 13-16, **2005**, 527-533

przypadku 8L proces nagazowania trwa przez kolejne godziny. Wychodząc z wcześniej przyjętej miary oceny MWE BK1 i BK2 są bardziej stabilne chemicznie niż 8L, a więc i ostatni warunek został spełniony a Doktorant zrealizował wszystkie cele pracy.

Sposób realizacji pracy świadczy o dużej wiedzy praktycznej Autora rozprawy, umożliwiającej wykonanie założonych przedsięwzięć eksperymentalnych. Doktorant przeprowadził bardzo duży zakres urozmaiconych pomiarów, obejmujących wyznaczenie parametrów energetycznych (prędkość detonacji, kruszność, zdolność do wykonania pracy), składu gazów postrzałów i wrażliwości na bodźce mechaniczne. Należy podkreślić, że badania obejmowały nie tylko eksperymenty w skali laboratoryjnej, ale również zostały wykonane w warunkach kopalnianych. Autor rozprawy wykazał się zdolnością do prawidłowej analizy wyników badań i wyciągania z nich właściwych wniosków. Rezultaty przeprowadzonych eksperymentów i wypływające z nich wnioski, zostały przedstawione do zewnętrznej oceny, poprzez zgłoszenie do publikacji 5 artykułów w czasopismach mających *Impact Factor* zawsze powyżej 1,10, a w trzech przypadkach przekraczający 3,25. Uzyskały one pozytywne recenzje i zostały opublikowane, co jest dowodem na ich naukowy charakter, potwierdzający wiedzę teoretyczną Doktoranta.

E. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Kramarczyka jest oryginalnym opracowaniem dotyczącym zagadnień związanych z chemicznym uczulaniem emulsyjnych materiałów wybuchowymi emulsyjnych luzem. Uzyskane wyniki badań mają znaczenie zarówno poznawcze jak i utylitarne. Bardzo ważnym osiągnięciem Doktoranta jest opracowanie zmodyfikowanego środka uczulającego, pozwalającego w stosunkowo krótkim czasie ustabilizować gęstość MWE, która ma decydujący wpływ na prędkość detonacji, będącej jednym z podstawowych parametrów energetycznych GMW decydującym o urabialności górotworu. Problematyka pracy mieści się ściśle w zakresie dyscypliny: *inżynieria chemiczna*.

Recenzowana praca doktorska pt.: „Opracowanie nowatorskiej i ekologicznej formuły materiału wybuchowego emulsyjnego luzem o zwiększonych parametrach detonacyjnych i stabilności chemicznej" spełnia warunki określone w art. 191 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (j.t. Dz. U. z 2022 r. poz. 574, z późn. zm.) i zwracam się do Rady Dyscypliny Inżynierii Chemicznej Politechniki Śląskiej o dopuszczenie jej Autora do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

Podpisano odręcznie przez autora