

Prof. dr hab. inż. Andrzej Maranda
Sieć Badawcza Łukasiewicz -
Instytut Przemysłu Organicznego
ul. Annopol 6
03-236 Warszawa
tel.: 604 942 969
e-mail: andrzej.maranda@ipo.lukasiewicz.gov.pl

Warszawa 03.09.2024

Recenzja

rozprawy doktorskiej zatytułowanej
„Kompleksowe oznaczanie parametrów detonacji zapalników”
wykonanej przez mgr. inż. Mateusza Pytlika
pod opieką naukową dr. hab. inż. Jana Drzewieckiego
i promotora pomocniczego dr. inż. Jacka Sobali

Recenzja została wykonana na podstawie pisma Pana Jarosława Zagórowskiego Dyrektora Głównego Instytutu Górniczego – Państwowego Instytutu Badawczego z dnia 02 sierpnia 2024 roku.

A. Omówienie rozprawy

Prace strzałowe powinny charakteryzować się dwoma podstawowymi cechami: bezpieczeństwem i efektywnością. Szczególnie istotny jest ten pierwszy element – bezpieczeństwo – ponieważ prawie zawsze efekt przeprowadzonych odstrzałów można poprawić, natomiast w przypadku wystąpienia niekontrolowanego wybuchu negatywne skutki są nieodwracalne. O wymienionych powyżej dwóch składowych decydują parametry zastosowanego materiału wybuchowego i środka inicjującego, którego jedynym lub pierwotnym członem jest zapalnik, oraz technika prowadzenia prac strzałowych. Bardzo ważne są parametry użytkowe zapalnika. Między innymi precyzja założonego fabrycznie czasu zadziałania, zdolność inicjalna czy też wpływ różnych czynników zewnętrznych na stabilność wymienionych parametrów.

Dlatego uważam, że podjęty przez Doktoranta temat, obejmujący kompleksowe badania parametrów stosowanych w krajowym przemyśle wydobywczym różnego typu zapalników jest aktualny. Obok aspektów poznawczych ma potencjalne znaczenie użytkowe, ponieważ w wyniku jego realizacji zostały opracowane nowe stanowiska badawcze, umożliwiające uzyskanie wyników szczegółowo opisujących podstawowe parametry użytkowe zapalników, których znajomość zapewnia ich bezpieczne i efektywne stosowanie.

Recenzowana praca zawiera 127 stron, obejmuje 21 tabel i jest ilustrowana 60 rysunkami. Dysertację można podzielić na dwie podstawowe części: literaturową (rozdział 3) i eksperymentalną (rozdziały 4-7), które poprzedza wprowadzenie oraz cel i zakres pracy, a uzupełniają rozdziały zawierające opis opracowanej metody badawczej, dyskusję wyników, wnioski i bibliografię.

Wprowadzenie zawiera krótką charakterystykę zjawiska wybuchu i materiałów wybuchowych z uwzględnieniem ich klasycznego podziału. Autor przedstawia definicję zapalników oraz stopień ich zużycia na przestrzeni ostatnich lat. Zestawia szczegółowe wymagania jakie powinny spełniać zapalniki i przekaźniki. Podkreśla, że stuletnie doświadczenie Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w zakresie górniczych środków strzałowych pozwala na wytyczenie nowych kierunków badawczych służących poprawie i efektywności prowadzenia prac strzałowych. Przykładem tego jest budowa w Głównym Instytucie Górnictwa nowego stanowiska do określania charakterystyk materiałów wybuchowych kruszących i miotających w warunkach wysokich ciśnień. Może ono stanowić prototyp do przygotowania zmodyfikowanego stanowiska do badania zapalników między innymi w warunkach dynamicznych, które według Doktoranta będzie pomocnym narzędziem do realizacji założonych celów pracy doktorskiej.

Kolejnym rozdziałem jest cel i zakres pracy. Autor dzieli cele pracy na poznawczy i użyteczny. Celem poznawczym było sprawdzenie niezawodności działania zapalników elektrycznych (ZE) i elektronicznych. Jego osiągnięcie będzie realizowane poprzez: opracowanie systemu pomiarowego zapewniającego jednoczesne oznaczenie parametrów jednego zapalnika, badania zapalników w warunkach ciśnienia hydrostatycznego, analizę parametrów użytkowych zapalników obciążonych ciśnieniem dynamicznym i porównanie uzyskanych wyników eksperymentów do rezultatów uzyskanych innymi metodami badawczymi. Natomiast celem użytecznym było opracowanie nowej metody oceny zapalników poprzez wyznaczenie: czasu opóźnienia, odporności na ciśnienie hydrostatyczne i dynamiczne, równoważnika energii i charakterystyk elektrycznych zapalników.

Część literaturowa zatytułowana „*Stan wiedzy w zakresie środków inicjujących materiały wybuchowe*” składa się z czterech podrozdziałów. W podrozdziale pierwszym Doktorant przedstawił w formie bardzo zwartej kilka zagadnień związanych z inicjacją materiałów wybuchowych. Kolejny podrozdział jest poświęcony historii rozwoju środków inicjujących. Autor relacjonuje jej kolejne

etapy, od opracowania przez Alfreda Nobla zapalników zawierających piorunian rtęci, poprzez zapalniki elektryczne, systemy nieelektryczne i elektroniczne.

Kolejny podrozdział części literaturowej zawiera opis środków inicjujących: lontu prochowego, spłonek, lontów detonujących oraz zapalników elektrycznych, nieelektrycznych i elektronicznych. We wstępie Doktorant prezentuje podstawowe materiały wybuchowe inicjujące. Krótko charakteryzuje lont prochowy, przedstawia budowę i podstawowe parametry spłonek. Omawia konstrukcję lontu detonującego oraz podział lontów detonujących w aspekcie bezpieczeństwa stosowania w atmosferach palnych. Zestawia również kierunki ich zastosowania.

Innymi omawianymi w dysertacji środkami inicjującymi są zapalniki elektryczne. Doktorant szczegółowo opisuje zespół zapalczy. Podkreśla, że o masie i rodzaju materiału wybuchowego kruszącego tworzącego ładunek wtórny decyduje specyfika zastosowania. Przedstawia kilka kryteriów klasyfikacji zapalników elektrycznych: czasu zadziałania, bezpieczeństwa wobec metanu i pyłu węglowego, oraz odporności na niestandardowe warunki (obniżona i podwyższona temperatura, podwyższone ciśnienie). Kolejny ważny parametr zapalników jaki Autor pracy eksponuje to natężenie prądu nieodpalającego. Zestawia w formie tabelaryzowanej cztery klasy zapalników elektrycznych według wycofanej normy polskiej i zharmonizowanej normy europejskiej. Na zakończenie tego punktu opisuje wady i zalety stosowania zapalników elektrycznych w pracach strażowych. Takie krytyczne zestawienie robi w kolejnych punktach w przypadku zapalników nieelektrycznych i elektronicznych.

Opis systemów nieelektrycznych dotyczy rurki detonującej, która jest jego bardzo ważnym elementem. Opisuje szczegółowo jej budowę i parametry na przykładzie systemu RIOLINE. Podkreśla, że do poprawnej jej inicjacji konieczna jest dedykowana zapalarka, chociaż można ją również pobudzać lontem detonującym lub zapalnikiem. Natomiast kolejne opisywane zapalniki elektroniczne, zapewniające precyzyjne opóźnienia, można zainicjować wyłącznie dedykowanym sprzętem, co ze względu na bezpieczeństwo jest ich niewątpliwą zaletą.

Ostatni podrozdział części literaturowej zawiera opis metod badawczych zapalników. Autor zestawia dwadzieścia pięć norm zharmonizowanych europejskich oraz jeden standard techniczny, które zawierają wymagania i sposoby badań zapalników. Zwraca uwagę na fakt, że dopuszcza się również prowadzenie badań innymi metodami zgodnie z procedurami stosowanymi w laboratoriach

akredytowanych. Było to asumptem dla Doktoranta, z uwagi na cele pracy, do przeprowadzenia analizy metod opisanych w literaturze, których zastosowanie umożliwi wyznaczenie równoważników zdolności inicjowania i dokładności czasu opóźnienia oraz odporności zapalników na ciśnienia hydrostatyczne i dynamiczne. Dlatego w kolejnych punktach zestawia metody proponowane w literaturze do oznaczania poszczególnych parametrów. Według przeprowadzonej analizy Autora dysertacji równoważnik zdolności inicjalnej można wyznaczyć stosując: test podwodny, metodę zdolności przebijania płytek ołowianych, wahadło Barbara i test stalowej rury. Czas zadziałania zapalnika można zmierzyć z wykorzystaniem metodyk przedstawionych we wycofanej normie polskiej PN-C-86017:1994 lub zharmonizowanej normie europejskiej PN-EN 13763-16:2005, z wykorzystaniem rejestratora MicroTrap, szybkiej kamery lub czujników ciśnienia oraz poprzez rejestrację w warunkach kopalnianych drgań parasejsmicznych. Następnie opisuje pięć znormalizowanych metod oznaczania odporności zapalników na ciśnienie hydrostatyczne podkreślając, że żadna z przedstawionych metod nie zakłada detonowania zapalników pod ciśnieniem hydrostatycznym, a więc w warunkach jakie występują w długim pionowym otworze strzałowym.

Ostatnie zagadnienie jakie analizuje w części literaturowej jest odporność zapalników na ciśnienie dynamiczne. Zwraca uwagę na możliwość zaburzenia prawidłowej pracy zapalnika wskutek oddziaływania fali uderzeniowej wygenerowanej przez sąsiedni zapalnik o krótszym czasie opóźnienia. Opisuje geometrię układu do obciążania zapalników falą uderzeniową.

Pierwszy rozdział części doświadczalnej pt.: „*Charakterystyka opracowanej metody badawczej*” składa się z trzech podrozdziałów. W pierwszym Autor pracy przedstawia wizualizację procesu detonacji zapalnika elektrycznego natychmiastowego w przezroczystym naczyniu o średnicy 300 mm, a więc takiej samej jaką będzie miał zbiornik zaprojektowanego urządzenia pomiarowego. W trakcie eksperymentu zostały wyznaczone za pomocą szybkiej kamery, czasy dojścia fali uderzeniowej i pęcherza gazowego do ścianki pojemnika, od momentu detonacji zapalnika,. W podrozdziale drugim jest szczegółowo opisana budowa zaprojektowanego i zbudowanego przez Doktoranta stanowiska badawczego, który podkreśla, że unikalna konstrukcja (układ zamknięty) umożliwia zasymulowanie warunków panujących w otworze strzałowym poprzez nastawienie założonego nadciśnienia wstępnego. Następnie Autor pracy bardzo szczegółowo opisuje dwie

wersje systemów pomiarowych, przedstawiając charakterystyki i dane techniczne poszczególnych elementów.

Rozdział drugi części doświadczalnej zawiera weryfikację opracowanej metodyki badawczej. W pierwszym podrozdziale Doktorant oznacza dokładność czasu zadziałania zapalnika. Próby przeprowadza dla 20 zapalników elektronicznych o zaprogramowanym czasie opóźnienia. W eksperymentach został uwzględniony czas opóźnienia 0,1 ms jaki potrzebuje fala uderzeniowa na pokonanie dystansu między zapalnikiem a czujnikiem ciśnienia, wyznaczony w eksperymencie przeprowadzonym w przezroczystym zbiorniku. Uzyskane wyniki pomiarów są porównywalne z rezultatami badań przeprowadzonych z wykorzystaniem szybkiej kamery oraz metody zwarciowej, i spełniają wymagania przedstawione we wcześniej cytowanych normach i standardzie technicznym. Należy podkreślić, że zaproponowana przez Doktoranta metodyka wyznaczania czasu opóźnienia zadziałania zapalników, na przykładzie zapalników elektronicznych najbardziej odpowiednich do tego typu badań ze względu na ich powtarzalność, została pozytywnie zweryfikowana.

Kolejny podrozdział obejmuje wyniki wyznaczania równoważnika energii fali uderzeniowej generowanej w wyniku detonacji zapalnika. Testy zostały przeprowadzone w dwóch seriach (nadciśnienia: 0 MPa i 1 MPa) po dwadzieścia zapalników elektrycznych natychmiastowych w łusce miedzianej, zawierających 650 mg pentrytu. W obydwu seriach pomiarowych uzyskano bardzo duży rozrzut wyników pomiarów dotyczących maksymalnego nadciśnienie fali uderzeniowej i wyznaczonego impulsu nadciśnienia. Odchylenia standardowe wyznaczanych parametrów są w granicach od kilkunastu procent a nawet powyżej dwudziestu. Z porównania dokładności uzyskanych rezultatów z danymi uzyskanymi metodami opisywanymi europejskiej normie zharmonizowanej jednoznacznie wynika, że w przypadku tych drugich uzyskuje się mniejszy rozrzut. Autor pracy tłumaczy to stosowaniem układu zamkniętego oraz mniejszą odległością pomiędzy czujnikiem a testowanym zapalnikiem. Według mnie odległość nie powinna mieć znaczenia a decydujący wpływ mają fale odbite od ścianki pojemnika zaburzające pomiar. Negatywnym wynikiem – bardzo duży rozrzut rezultatów pomiarów – zakończyło się oznaczanie równoważnika energii pęcherza gazowego.

Trzeci rozdział części eksperymentalnej zawiera wyniki badań wpływu fali uderzeniowej na zapalniki. Fale uderzeniowe były generowane w wyniku detonacji

zapalnika elektrycznego natychmiastowego zawierającego 650 mg pentrytu w łusce miedzianej. Intensywność fal uderzeniowych była regulowana poprzez zmianę odległości pomiędzy detonującym (donor) a testowanym (akceptor) zapalnikiem. W pierwszej fazie badań Doktorant wyznaczył zależność maksymalnego nadciśnienia padającego na badany zapalnik od odległości od donora. Następnie określił różnice pomiędzy odpornością na falę uderzeniową pomiędzy zapalnikiem elektrycznym w łusce miedzianej i aluminiowej oraz zapalnikiem elektrycznym i elektronicznym. Wykonał również badania wpływu ciśnienia hydrostatycznego na odporność zapalnika na falę uderzeniową. W przypadku testów zapalników elektrycznych, jeżeli łuska nie została rozerwana, badał ich zdolność do detonacji po dynamicznym obciążeniu. Zapalniki elektryczne w łusce aluminiowej miały wyższą odporność na oddziaływanie fali uderzeniowej (292 MPa) niż w łusce miedzianej (249 MPa). Zwiększenie ciśnienia hydrostatycznego o 1 MPa, przy takim samym obciążeniu (249 MPa), nie wpływało zasadniczo na zwężenie łuski aluminiowej.

Zapalniki elektroniczne okazały się mniej odporne na obciążenie falą uderzeniową. Już niewielkie odkształcenie łuski powodowało, że obciążony zapalnik elektroniczny nie detonował, pomimo że w niektórych przypadkach nawiązywał komunikację z zapalarką. Detonacja zapalnika elektronicznego w łusce aluminiowej następowała po obciążeniu falą uderzeniową o intensywności 57 MPa a w łusce miedzianej 82 MPa, a więc odwrotnie niż w przypadku zapalników elektrycznych.

Ostatni rozdział części doświadczalnej dotyczy zastosowania czujnika tensometrycznego do pomiaru wybranych parametrów użytkowych zapalników. Doktorant opisuje dane tensometru oporowego zastosowanego w czujniku, dobór materiału płytki stalowej, kolejne etapy jej przygotowania do zainstalowania na jej powierzchni tensometru oraz montaż układu pomiarowego w miejscu płytki bezpieczeństwa. Po statycznym wzorcowaniu czujnika Doktorant przeprowadził próby wyznaczenia czasu opóźnienia serii dwudziestu zapalników elektronicznych oraz zdolności inicjalnej zapalników elektrycznych. O ile w przypadku określania czasów opóźnienia zastosowany czujnik tensometryczny podawał prawidłowe i bardzo powtarzalne wartości, to przy wyznaczaniu równoważnika energii fali uderzeniowej generowanej w wyniku detonacji zapalnika otrzymane wyniki miały bardzo duży rozrzut, a uzyskane wartości maksymalnego nadciśnienia były znacznie powyżej możliwych, co podkreśla Doktorant, dla masy MW znajdującego się w zapalniku i odległości zapalnika od czujnika.

W kolejnym rozdziale pracy Autor przedstawia opracowaną metodykę badawczą. Metoda badawcza zakłada między innymi wyznaczenie parametrów użytkowych przy jednej próbie badawczej. Jest czteroetapowa i jej zastosowanie pozwala na kompleksowe określenie parametrów użytkowych wszelkiego typu zapalników, szczególnie w warunkach podwyższonego ciśnienia hydrostatycznego. Jest to *novum* uwzględniające czynnik ciśnienia, który może decydować o zdolności zapalnika do detonacji i zainicjowania podstawowego ładunku materiału wybuchowego.

W następnym rozdziale Doktorant przeprowadza analizę wyników badań wykonanych z wykorzystaniem czujnika ciśnienia oraz z czujnikiem tensometrycznym. Podkreśla, że opracowane stanowisko umożliwi detonację zapalnika w warunkach podwyższonego ciśnienia, w których uzyskał w miarę powtarzalne wyniki pomiarów przebiegu w czasie nadciśnienia fali uderzeniowej. Stwierdził również, że przy podwyższonym ciśnieniu nie można wyznaczyć energii pęcherza gazowego z powodu jego natychmiastowego kolapsu. Biorąc pod uwagę bardzo duży rozrzut wyników pomiarów bez podwyższania ciśnienia uważam, że również w tym przypadku wyznaczenie energii pęcherza gazowego jest niemożliwe. Analizując wyniki badań z wykorzystaniem czujnika tensometrycznego podkreśla, że uzyskał mniejszy ich rozrzut niż dla czujnika ciśnienia. Kolejny rozdział zawiera jedenaście wniosków, które zasadniczo są adekwatne do wyników przedstawionych eksperymentów. Mam uwagę wyłącznie do wniosku pierwszego, w którym kategorycznie stwierdza „..... *opracowano system pomiarowy umożliwiający oznaczenie **jednocześnie** kilku parametrów*” co jednak nie udowodnił eksperymentalnie. Dopiero w piątym wniosku doprecyzowuje, że jednoczesny pomiar dotyczy parametrów elektrycznych ZE.

Cytowana w rozprawie bibliografia zawiera 96 pozycji, w tym 19 aktów prawnych (m.in. dyrektywy, normy zharmonizowane europejskie i normy polskie), związanych bezpośrednio z tematyką recenzowanej dysertacji, ewentualnie zagadnień do niej zbliżonych. Uważam, że powinien być zacytowany artykuł (*J. Paszula, A. Maranda T. Szydłowska. Determination of Initiating Capability of Detonators by Underwater Explosion Tests. Cent. Eur. J. Energ. Mater. 2006, 3, 1-2, 73-82.*), w którym przedstawiono wyniki badań zapalników elektrycznych zawierających różne masy MW z zastosowaniem testu podwodnego. Przywołane pozycje są z małymi wyjątkami polskojęzyczne, opublikowane w czasopiśmie

głównie spoza tzw. „listy filadelfijskiej”. Bibliografia jest przygotowana starannie, tylko w niektórych przypadkach Autor odstępuje od przyjętego szablonu. Na przykład zapisując w zróżnicowany sposób artykuły opublikowane w czasopiśmie *Górnictwo i Geoinżynieria* – pozycje [1] i [3] czy też wielkimi tytuł artykułu [5].

B. Ogólna ocena rozprawy

W punkcie pierwszym recenzji pracy podkreśliłem aktualność tematyki jaka jest w niej poruszana, a nie wypunktowałem wysokiego stopnia jej trudności, w aspekcie realizacji pracy doktorskiej i uzyskania odpowiednich efektów zarówno poznawczych jak i użytkowych. Ponieważ, jak wynika z przytoczonej przez Autora bibliografii, jest bardzo mało artykułów o charakterze naukowym, dotyczących parametrów użytkowych zapalników. W literaturze można znaleźć szereg pozycji, ale dotyczą głównie właściwości mieszanin pirotechnicznych stosowanych w opóźniaczach zapalników elektrycznych i systemów nieelektrycznych albo, o czym Autor dysertacji wspomina, zastąpienie klasycznych materiałów wybuchowych inicjujących MW nie zawierającymi w molekułach metali ciężkich a szczególnie ołowiu. Jednak Doktorant, poprzez umiejętne prowadzenie prac eksperymentalnych, uzyskał efekty poznawcze a szczególnie użytkowe odpowiadające wymaganiom jakie stawia się przed pracami doktorskimi.

Najważniejszą częścią recenzowanej pracy są rozdziały 4-7 zawierające wyniki badań eksperymentalnych. Należy podkreślić, że Doktorant podczas realizacji kolejnych etapów badań opracowywał nowe oryginalne stanowisko badawcze, które pozwoliło wyznaczyć opóźnienie zapalników, równowagę energii fali uderzeniowej generowanej w wyniku detonacji zapalnika oraz odporność zapalników na falę uderzeniową. W przypadku wyznaczania intensywności fali uderzeniowej uzyskał dość duży rozrzut wyników, co jest typowe dla tego rodzaju pomiarów. Opracowane stanowisko badawcze umożliwia wyznaczenie parametrów użytkowych w zakresie ciśnień początkowych do 30 MPa. Można je w przyszłości rozbudowywać, między innymi w kierunku prowadzenia badań parametrów użytkowych zapalników w podwyższonych temperaturach. Liczba stanowisk badawczych stosowanych do określania parametrów detonacyjnych i skutków detonacji jest niewielka. Dlatego każde nowe czy też zmodyfikowane stanowisko jest bardzo cenne w aspekcie

przewodzenia badań materiałów wybuchowych, do których zgodnie z ustawą zaliczamy zapalniki.

Z punktu widzenia poznawczego bardzo istotne są rezultaty badań dynamicznego oddziaływania fal uderzeniowych na zapalniki, które pokazują wpływ materiału łuski zapalnika czy też typu zapalnika (elektryczny czy elektroniczny) na stopień jego odkształcenia oraz prawidłowość zadziałania. Większość rezultatów eksperymentów jest oryginalna i poszerza wiedzę dotyczącą wpływu nadciśnienia na równoważnik energetyczny fali uderzeniowej generowanej w wyniku detonacji zapalnika czy też oddziaływania różnych czynników na zdolność zapalników do detonacji.

Autor dysertacji wykazał się umiejętnością prawidłowej analizy wyników badań i wyciągania wniosków adekwatnych do uzyskanych rezultatów eksperymentów. Należy podkreślić, że Doktorant bardzo krytycznie podszedł do otrzymanych wyników pomiarów. Zwraca uwagę na duże rozrzuty rezultatów eksperymentów jakie uzyskał przy wyznaczaniu równoważników energii fali uderzeniowej a szczególnie pęcherza gazowego. Jednocześnie przedstawia hipotezę, jakie czynniki mogły zadecydować o bardzo zróżnicowanych wartościach danych pomiarowych. Pod względem edytorskim praca zredagowana jest starannie, a występujące niedoskonałości (przedstawione w części C recenzji), nie mają wpływu na pozytywną ocenę rozprawy.

C. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Podczas redagowania wielostronicowej dysertacji Doktorant, w niektórych przypadkach stosował nieadekwatne do treści sformułowania oraz nie ustrzegł się usterek edytorskich. Najistotniejsze według mnie zostały wymienione poniżej.

- Detonacja jest procesem zachodzącym wyłącznie wewnątrz ładunku materiału wybuchowego. Parametry jakie się wyznacza w celu jej scharakteryzowania, to: prędkość, ciśnienie i temperatura oraz prędkość masowa. Żaden z wymienionych powyżej parametrów nie został w opiniowanej pracy zbadany eksperymentalnie ani oszacowany teoretycznie. Dlatego uważam, że w tytule pracy nie powinno się użyć sformułowania „.... parametrów detonacyjnych” ale na przykład „..... parametrów użytkowych”, co jest bardziej

adekwatne do zakresu relacjonowanych badań. Określenie „*parametry użytkowe*” jest wielokrotnie stosowane w pracy przez Doktoranta.

- Str. 18 i 19. Na stronie 18 podane są lata 60. wynalezienia systemów nieelektrycznych a na rys. 3.1 rok 1980.
- Str. 54. Autor opisuje geometrię układów stosowanych do obciążania dynamicznego falą uderzeniową generowaną w wyniku detonacji zapalnika o krótszym czasie opóźnienia lub ładunku dynamitu ale nie precyzuje jaki cykl badań po obciążeniu należy wykonać aby określić jego efekt.
- Str. 60. Podpis pod rys. 4.2, powinno być: „*Przebieg procesu detonacji zapalnika w zbiorniku wodnym*”, ponieważ na rysunku nie znajduje się jeden kadr ale cała ich sekwencja.
- Str. 77-78. Podpunkt 5.2 ma tytuł „*Oznaczenie równoważnika energii uderzeniowej zapalnika*”, według mnie powinno być „*Oznaczenie równoważnika energii fali uderzeniowej generowanej przez detonację zapalnika*”. Również w tytułach tabel 5.2 i 5.3 powinno być wyeksponowane, że maksymalne nadciśnienie i energia dotyczą **fali uderzeniowej**.
- Str. 85. Autor popełnia czterokrotnie błąd określając badany zapalnik jako elektroniczny a jest to w rzeczywistości zapalnik elektryczny, ten sam błąd popełnia jeden raz na str. 87.
- Str. 85, 87 i 89. Brak odnośników w tekście do tabel odpowiednio 6.1, 6.2 i 6.3.

D. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa jest dowodem wysokich umiejętności eksperymentalnych i posługiwania się przez Doktoranta szerokim spektrum metod badawczych oraz jego zaangażowania w realizację prac laboratoryjnych. Jest oryginalnym opracowaniem poszerzającym wiedzę dotyczącą metodyki wyznaczania parametrów użytkowych zapalników elektrycznych i elektronicznych oraz wpływu na nie różnych czynników zewnętrznych: cieniienia hydrostatycznego i fal uderzeniowych. Praca ma istotne aspekty użytkowe, ponieważ Doktorant zaprojektował i wykonał nowe stanowisko badawcze z różnymi systemami pomiarowymi, które można wykorzystywać do realizacji kolejnych etapów

kompleksowej metodyki badawczej dotyczącej właściwości użytkowych zapalników. Problematyka pracy mieści się ściśle w zakresie dyscypliny *górnictwo i geologia inżynierska*.

Rozprawa doktorska pt.: „**Kompleksowe oznaczanie parametrów detonacji zapalników**” spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm), w związku z powyższym zwracam się o dopuszczenie **mgr. inż. Mateusza Pytlika** do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

