

**Recenzja rozprawy doktorskiej
pplk. mgr inż. Radosława WARCHOŁA**

pt. „*Badania dynamicznych procesów spalania w pirotechnicznych ładunkach opóźniających z wykorzystaniem radiografii czasu rzeczywistego*”

Podstawa wykonania recenzji: pismo ITWL z dn. 10.07.2019 r. podpisane przez z-cę przewodniczącego Rady Naukowej ITWL prof. dr hab. inż. J. Żurka oraz sekretarza RN ITWL dr. inż. G. Kowalczyka, prof. ITWL, sporządzone na podstawie uchwały Rady Naukowej ITWL z dn. 30.05.2019 r.

1. Uwagi ogólne o rozprawie

Recenzowana rozprawa doktorska zawarta jest na ok. 140 stronach, napisana trzcionką *times new roman* rozmiaru 12. Jest bogato ilustrowana, zawiera ok. 80 schematów, zdjęć, wykresów, skanów i rysunków. Dane z badań i analiz zgromadzono w 27 tabelach. Na początku zamieszczono wykaz rysunków i skrótów, brakuje wykazu tabel. Literatura zawiera 60 pozycji dotyczących głównie tematyki pirotechnicznej.

Pomysł na temat rozprawy powstał dzięki doświadczeniu Doktoranta w badaniach rentgenograficznych amunicji i elementów uzbrojenia na istniejącym w WITU stanowisku diagnostycznym (RSD). Te nieniszczące badania umożliwiały ocenę poprawności montażu podzespołów oraz różnorodnych typów środków bojowych. Dla każdego z różnych obiektów badań należało opracować odmienną konfigurację parametrów pracy stanowiska w celu uzyskania optymalnego końcowego czyli kontrastowego, wyraźnego wizerunku badanego obiektu. Tematyka rozprawy mieści się w szerokim rozumieniu dyscypliny naukowej – budowa i eksploatacja maszyn.

2. Charakterystyka rozprawy

Technika diagnostyczna RTR (Real-Time Radiography) jest rozwinięciem metody rentgenografii impulsowej (błyskowej) pozwalającej na rejestrację pojedynczych obrazów z czasem ekspozycji rzędu 10^{-8} s. W ostatniej dekadzie XX w. rozwój techniki rentgenografii umożliwił rejestrację ciągłą (filmowanie) obrazów RTG, co zastosowano do diagnostyki szybkich zjawisk

fizycznych. Stanowiska do rentgenografii ciągłej umożliwiały rejestrację dynamicznych zjawisk z szybkością rzędu 10^3 klatek na sekundę. Pionierem wykorzystania nowej metody wizualizacji do badania procesów spalania materiałów wysokoenergetycznych był prof. Kenneth Kuo z Pensylwania State University. Doktorant cytuje w przeglądzie literatury jedną z jego prac – poz. [7]. Jakość uzyskiwanych obrazów była jednak względnie niska, co było przyczyną niewielkiego zainteresowania naukowców tą metodą badawczą, o czym może świadczyć skromna liczba pozycji literaturowych na ten temat w ostatnich dwóch dekadach. Stan wiedzy Doktorant opisał w rozdz. 2.

Idea Doktoranta zastosowania metody RTR do rejestracji względnie powolnych procesów palenia mieszanin pirotechnicznych w gotowych bojowych elementach opóźniających okazała się słuszna. Sprzyjającą Doktorantowi okolicznością stały się możliwości techniczne użytego rentgenograficznego stanowiska diagnostycznego (RSD), pozwalające na dość precyzyjną identyfikację ruchomej strefy spalania w trakcie działania elementu opóźniającego. Zaslugą Doktoranta było pełne wykorzystanie tych możliwości w celu uzyskania wyraźnych i kontrastowych obrazów (klatek filmu) w rejestrowanych dynamicznych zjawiskach palenia ładunku pirotechnicznego w badanym elemencie uzbrojenia.

W pierwszym kroku Doktorant zaadaptował funkcjonujące stanowisko diagnostyczne RTG do badania elementów pirotechnicznych w trakcie ich spalania (rozdz. 5,6 i 7). Polegało to na zainstalowaniu układu usuwającego produkty spalania z przestrzeni stanowiska i zabezpieczeniu przed oddziaływaniem wysokiej temperatury. Dla każdego typu elementu pirotechnicznego należało dobrać optymalne parametry promiennika RTG oraz detektora RTG i monitora obrazującego. Kolejnym krokiem był wybór obiektu badań, którym były pirotechniczne elementy opóźniające stosowane w amunicji bojowej (rozdz. 3). Wykorzystywane w tych elementach mieszaniny pirotechniczne są tradycyjnymi mieszaninami stosowanymi od dziesięcioleci. Doktorant zebrał dane fizyko-chemiczne o 10 takich mieszaninach, klasyfikując je w trzy grupy, zależnie od prędkości palenia.

W kolejnym rozdziale (8. Badania eksperymentalne) Doktorant przedstawia budowę i wyniki badań RTG pirotechnicznych elementów opóźniających do kilku typów amunicji:

- zapalnika UZRGM do grantów ręcznych;
- 40 mm granatnikowego naboju NGO;
- bomby głębinowej RBG-60;
- pocisku plotn. b. krótkiego zasięgu;
- granatu dymnego GAK-81.

Konstrukcja pirotechnicznego elementu opóźniającego oraz metoda elaboracji mieszaniny pirotechnicznej jest wyraźnie zobrazowana na pierwszych kadrach filmu RTG przedstawiającego proces palenia. Metoda elaboracji mieszaniny pirotechnicznej polegająca na zaprasowaniu kolumny ładunku w obudowie składającej się z wielu kolejno prasowanych warstw, powoduje wyraźne zróżnicowanie gęstości ładunku wzdłuż osi ładunku, co można zaobserwować na zdjęciach RTG.

Dotychczasowe metody diagnostyczne pozwalały wyłącznie na wyznaczenie średniej prędkości palenia dla całego ładunku. Zastosowana przez Doktoranta metoda badawcza jest przełomem w badaniach elementów pirotechnicznych. Umożliwia bowiem wyznaczenie quasi-chwilowej prędkości palenia mieszaniny pirotechnicznej wzdłuż osi ładunku. Analizując np. wykres prędkości palenia wielowarstwowego ładunku pirotechnicznego wzdłuż osi (rys. 62, str. 97) różnice prędkości palenia w obrębie jednej warstwy sięgają 50%. Wynika to z silnej zależności prędkości palenia od gęstości ładunku. Opisany efekt ma znaczenie praktyczne i jest istotnym osiągnięciem naukowym Doktoranta.

Znamienną cechą każdej rozprawy doktorskiej jest postawienie na początku tezy badawczej, którą zamierza się w rozprawie udowodnić. W pracach o charakterze użytkowym można założyć realizację celu rozprawy, którym jest model (prototyp, demonstrator urządzenia (maszyny) lub technologia (metoda badawcza) o cechach innowacyjnych. W recenzowanej rozprawie główny cel pracy pojawia się na str. 40, zdecydowanie za późno. Najbardziej właściwym miejscem dla sformułowania celu pracy jest str. 19, zaraz po Wstępie, a przed rozdz. 2 – „Rozpoznanie stanu wiedzy...” i rozdz. 3 – „Charakterystyka pirotechnicznych elementów opóźniających”. Niekonsekwentnie, na str. 50 na początku rozdz. 7 – „Nowa metoda badań pirotechnicznych układów opóźniających” pojawia się wyrażenie o postawionej tezie „o możliwości wykorzystania RSD ... do obserwacji dynamicznych procesów spalania PŁO jako nowej metodyki badań PEO”. We Wnioskach na str. 135, autor konsekwentnie pisze o zrealizowaniu celu głównego pracy.

3. Uwagi krytyczne

We Wnioskach końcowych Doktorant stwierdza, że w pracy „zarejestrowano po raz pierwszy na świecie pewne elementy strukturalne i geometryczne ... w MP PŁO”. Odpowiedzialnie można napisać, że po raz pierwszy dokonano tego osiągnięcia w kraju i nie znaleziono odpowiedniej pracy w literaturze światowej. Cytowana przez Doktoranta poz. [10] w spisie literatury (z r. 2015) w przeglądowym artykule cytuje inne prace stosujące technikę

RTR do lokalizacji strefy spalania w ładunkach paliw heterogenicznych, nie wykluczone więc, że do ładunków pirotechnicznych również w świecie metoda mogła być stosowana.

Podstawowa uwaga dotycząca słownictwa specjalistycznego dotyczy używania zamiennie terminu *mieszaniny pirotechniczne* i *masy pirotechniczne*. O ile jest przyjęte używanie tego drugiego terminu w slangu zawodowym lub w literaturze patentowej, to w pracach naukowych jest to niedopuszczalne. Masa jest wielkością fizyczną zastrzeżoną do określenia bezwładności ciała w polu grawitacyjnym. Niepoprawna nazwa głównego obiektu badań występuje w rozprawie zbyt często, m. in. na str. : 5¹², 17¹⁰, 34¹⁰, 54¹¹, 59¹⁵, 60⁴, 69₁, 70¹, 70⁸, 72⁵ itd. Niepoprawne przetłumaczono również ten termin w angielskim streszczeniu rozprawy jako *pyrotechnic mass* (5¹², 6₈, 6⁹, 7₇, 8_{9,9}) zamiast używanego powszechnie w światowej literaturze naukowej terminu *pyrotechnic composition*.

Na str. 59 (drugi myślnik) użyto kilkakrotnie piętrowego neoplazmu: „odważka masy w ilości 135 mg”. Wystarczy „odważka 135 mg”. W tym samym akapicie użyto 4-krotnie określenia „pod naciskiem 130 kG na powierzchnię prasowania”. Poprawniej i precyzyjniej jest określić ciśnienie prasowania, wyrażone w MPa, unikając jednostek spoza układu SI (czyli kG).

W całej pracy zauważyłem pozostawianie na końcu wiersza jednoliterowych spójników oraz przyimków (i, w, z, o,), co psuje estetykę edycji rozprawy. Zabrakło dokładnej końcowej korekty redakcyjnej.

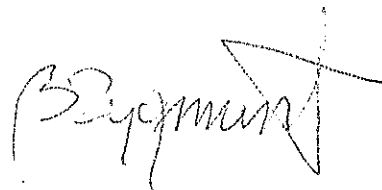
Mam nadzieję, że wytknięte błędy zostaną uwzględnione przez Doktoranta w dalszej pracy naukowej. Nie mają wpływu na końcową ocenę rozprawy, którą uważam jako solidną.

4. Ocena końcowa rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska pplk. mgr. inż. Radosława Warchoła jest przykładem nowatorskiego zastosowania wyrafinowanej komercyjnej nieniszczącej metody diagnostycznej do badania procesów palenia mieszanin pirotechnicznych w układach zamkniętych, trudnego do zrealizowania innymi metodami. Rozprawę doktorską oceniam jako innowacyjną w skali międzynarodowej, posiadającą wysoką wartość aplikacyjną.

Doktorant wykazał się umiejętnością przeprowadzenia opracowanej koncepcji technicznej w realne rozwiązanie i przeprowadzenie doświadczeń o charakterze naukowym na zaadaptowanym stanowisku. Za najważniejsze dokonanie naukowe Doktoranta uważam określenie „chwilowej” średniej prędkości frontu spalania dla wielowarstwowych pirotechnicznych ładunków opóźniających i zwrócenie uwagi na znaczące wahania wartości prędkości palenia wzdłuż osi, spowodowane zmianą gęstości ładunku pirotechnicznego.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę z dn. 14 marca 2003 r. o tytule i stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki – Dz. U. z r. 2003, Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami. Równocześnie przedstawiam Radzie Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych wniosek o dopuszczenie ppłk. mgr. inż. Radosława Warchoła do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bryman', with a large, stylized flourish extending from the end of the word.