

Dr hab. inż. Paweł Maksimowski, prof. PW
Zakład Materiałów Wysokoenergetycznych
Wydział Chemiczny, Politechnika Warszawska
ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa
tel: 22 2347991
e-mail: pmaksimowski@ch.pw.edu.pl

Warszawa 04.08.2020

Recenzja

rozprawy doktorskiej zatytułowanej

„Wytwarzanie i badanie właściwości materiałów miotających o obniżonej wrażliwości”
wykonanej na Wydziale Nowych Technologii i Chemii w Wojskowej Akademii Technicznej
przez mgr inż. Marcina Harę
pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Waldemara Trzczińskiego

Recenzja została wykonana na podstawie uchwały Rady Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej.

A. Omówienie rozprawy

W obecnych czasach coraz bardziej rosnące wymagania stawiane materiałom wybuchowym stosowanym w nowoczesnej amunicji oraz paliwach raketowych powodują, że coraz intensywniej poszukuje się również zamienników klasycznych materiałów miotających, które częstokroć nie spełniają wysokich wymagań współczesnego pola walki.

Od ponad stu lat niemal wszystkie rodzaje prochów były oparte na odkrytej w 1945 roku nitrocelulozie. Odkrycie to doprowadziło do opracowania prochu bezdymnego, stosowanego na całym świecie do chwili obecnej. Ze względu na zastosowanie w prochach bezdymnych związków takich jak nitroceluloza czy nitrogliceryna, amunicja zawierająca te składniki jest bardziej podatna na przypadkowe zainicjowanie przez bodźce zewnętrzne, takie jak fala uderzeniowa, otwarty ogień, uderzenie czy tarcie. Stwarza to poważne zagrożenie dla sprzętu, a przede wszystkim dla ludzi. Wysoka podatność na wyżej wymienione bodźce związana jest głównie z niską temperaturą rozkładu nitroestrów.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa amunicji opracowano prochy o zmniejszonej wrażliwości, które określa się akronimem LOVA (Low Vulnerability Ammunition). Czułość takich prochów jest kilka razy mniejsza w porównaniu do konwencjonalnych prochów jedno- i dwubazowych. Pierwsze tego typu prochy dopuszczono do użycia w USA w latach siedemdziesiątych. Kluczem do uzyskania takiej amunicji jest zastosowanie w kompozycjach prochów materiałów wysokoenergetycznych rozproszonych w obojętnym składniku polimerowym służącym jako flegmatyzator i lepiszcze. W prochach LOVA znalazły zastosowanie głównie nitroaminy heterocykliczne heksogen i oktagon, o wysokiej temperaturze inicjowania. W Polsce do tej pory nie były prowadzone badania nad amunicją typu LOVA.

Dlatego uważam, że podjęty przez Doktoranta temat, aby zbadać możliwość otrzymania w warunkach polskich prochów do amunicji typu LOVA, bazujących na nitroaminach

o parametrach termochemicznych i balistycznych zbliżonych do parametrów prochów opartych na nitrocelulozie, ale o mniejszej wrażliwości, ma duże znaczenie praktyczne.

Recenzowana praca doktorska zawiera 162 strony, jest ilustrowana 95 rysunkami i 48 tabelami. Praca podzielona jest na 13 rozdziałów: wstęp; przegląd literatury poświęcony prochom LOVA; parametry termochemiczne dla potrzeb balistyki wewnętrznej, przegląd kodów obliczeniowych i opis termodynamicznego modelu spalania; teza i zakres pracy; teoretyczna optymalizacja składu prochów o obniżonej wrażliwości; składniki i metoda wytwarzania prochów; eksperymentalne i teoretyczne wyznaczenie ciepła spalania prochów; eksperymentalne i teoretyczne badanie właściwości balistycznych prochów; badanie wrażliwości prochów na bodźce mechaniczne, ciepłe oraz wybuchowe; badanie trwałości prochów; badanie wpływu temperatury początkowej na parametry spalania prochów; podsumowanie i wnioski; literatura.

Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do tematu prowadzonej pracy doktorskiej i konieczności podjęcia badań nad otrzymywaniem prochów o obniżonej wrażliwości typu LOVA.

W rozdziale drugim zatytułowanym „Przegląd literatury poświęcony prochom LOVA” Doktorant dokonał przeglądu literaturowego w oparciu o 64 cytowane publikacje dotyczącą składu, otrzymywania i badań właściwości fizykochemicznych, termochemicznych i balistycznych prochów LOVA. W przeprowadzonym przeglądzie literaturowym Doktorant prezentuje ogólny podział prochów złożonych o obniżonej wrażliwości, przedstawia zalety prochów LOVA podając przykłady z literatury oraz podaje możliwe składy tych prochów charakteryzując podstawowe ich składniki oraz ich funkcje w materiale miotającym. W dalszej części tego rozdziału Doktorant porównuje wybrane prochy nitrocelulozowe z prochami LOVA pod kątem ich właściwości termochemicznych, charakterystyk wrażliwościowych i właściwości balistycznych. Następnie Doktorant opisuje znane metody wytwarzania prochów LOVA, metody ich zapłonu oraz metody badań materiałów miotających w tym prochów LOVA. Na zakończenie tego rozdziału Doktorant podsumowuje dokonany przegląd literaturowy podając podstawowe parametry, które należy bezwzględnie brać pod uwagę przy opracowaniu nowych typów prochów.

W rozdziale trzecim zatytułowanym „Parametry termochemiczne dla potrzeb balistyki wewnętrznej, przegląd kodów obliczeniowych i opis termodynamicznego modelu spalania” Doktorant dokonał opisu podstawowych parametrów termochemicznych wykorzystywanych w balistyce wewnętrznej: siły materiału miotającego f , kowolumenu gazowych produktów spalania α , stosunku „zamrożonych” ciepł właściwych κ , wykładnika izentropy produktów spalania γ , energii balistycznej E_b , ciśnienia produktów spalania w stałej objętości p_v , ciepła spalania w stałej objętości Q_v oraz sposoby ich wyznaczania. Doktorant opisał opracowane modele numeryczne i programy (tzw. kody termochemiczne) służące do wykonywania termodynamicznych obliczeń parametrów spalania skondensowanych materiałów wysokoenergetycznych. Jeden z opracowanych kodów termochemicznych CHEETAH został przez Doktoranta zmodyfikowany i wykorzystany do obliczeń termochemicznych wykonywanych w pracy.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawia cel badawczy i zakres tematyczny pracy. Celem pracy było zbadanie możliwości otrzymania prochów do amunicji typu LOVA bazujących na nitroaminach o parametrach termochemicznych i balistycznych zbliżonych do

parametrów prochów opartych na nitrocelulozie, ale o mniejszej wrażliwości na bodźce cieplne i mechaniczne oraz wydłużonej trwałości. Do realizacji tego celu Doktorant zaplanował następujące zadania: wykonanie teoretycznej optymalizacji składu prochu z dominującym składnikiem wysokoenergetycznym pod kątem ich parametrów termochemicznych i balistycznych; wytworzenie złożonych prochów opartych na heksogenie i zbadanie ich parametrów termochemicznych i balistycznych; zbadanie wrażliwości nowych prochów na bodźce ciepłe i mechaniczne; zbadanie wpływu temperatury na parametry balistyczne prochu oraz ocena trwałości nowych prochów.

W rozdziale piątym Doktorant przedstawił teoretyczną optymalizację składu prochów o obniżonej wrażliwości. Do obliczeń wykorzystał kod termochemiczny CHEETAH. Jako wyjściowy proch do badań optymalizacyjnych Doktorant wybrał proch XM-39 oparty na heksogenie. W swoich obliczeniach Doktorant badał wpływ rodzaju materiału wybuchowego, zawartości nitrocelulozy, zawartości materiału wybuchowego i zawartości lepiszcza (CAB) na parametry prochu. Podsumowując tę część badań Doktorant pisze, że uzyskane wyniki teoretycznej optymalizacji składu prochów bazujących na heksogenie zostały wykorzystane przez niego do doboru składu prochów w badaniach eksperymentalnych, ale dodaje także, że dominujący wpływ na ilościowy udział poszczególnych składników w nowych prochach miały właściwości reologiczne ciasta prochowego, właściwości ziaren prochowych i wyniki badania trwałości prochów.

W rozdziale szóstym Doktorant scharakteryzował stosowane składniki i urządzenia oraz metodę zastosowaną przez siebie do wytwarzania prochów LOVA. Doktorant opisuje w kolejności przebieg: sporządzania ciasta prochowego, formowania ziaren prochowych oraz suszenia i cięcia ziaren prochowych.

W rozdziale siódmym zatytułowanym „Eksperymentalne i teoretyczne wyznaczanie ciepła spalania prochów” Doktorant przedstawił wyniki eksperymentalnie wyznaczonego ciepła spalania za pomocą bomby kalorymetrycznej. Do badań wytypował 6 prochów różniących się składem, kształtem i wymiarami. Uzyskane wyniki porównał z wynikami dla prochu nitrocelulozowego JA-2. Jeden z badanych prochów (P3) miał porównywalne ciepło spalania z prochem JA-2, natomiast pozostałe miały porównywalne do siebie wartości ciepła spalania, ale mniejsze niż ciepło spalania zmierzone dla JA-2. Zastosowana przez Doktoranta metoda i warunki pomiaru pozwoliły na uzyskanie powtarzalnych wyników. Dla tych samych składów prochów Doktorant wykonał także obliczenia teoretyczne wartości ciepła spalania. Do obliczeń wykorzystał kod CHEETAH. Na podstawie analizy zmierzonych i obliczonych wartości ciepła spalania stwierdził, że najlepszą zgodność wyników eksperymentalnych i teoretycznych otrzymał przy założeniu, że w obliczeniach produkty spalania zamrażane są w temperaturze 1300 K.

W rozdziale ósmym zatytułowanym „Eksperymentalne i teoretyczne badanie właściwości balistycznych prochów” Doktorant przedstawił wyniki eksperymentalne uzyskane za pomocą bomby manometrycznej. Do badań wytypował 6 prochów różniących się składem, kształtem i wymiarami. Uzyskane wyniki porównał z wynikami dla prochu nitrocelulozowego JA-2. Badania prowadził dla dwóch gęstości ładowania 100 i 200 kg/m³. Na podstawie badań wyznaczył parametry balistyczne: ciśnienie maksymalne, kowolumen gazowych produktów spalania i siłę prochu. Wyniki badań wskazywały, że niektóre z badanych prochów mają parametry balistyczne zbliżone do parametrów prochu JA-2. Dla tych samych składów

prochów Doktorant wykonał także obliczenia teoretyczne. Do obliczeń wykorzystał kod CHEETAH. Na podstawie analizy zmierzonych i obliczonych wartości stwierdził dość dobrą zgodność parametrów eksperymentalnych i teoretycznych.

W rozdziale dziewiątym zatytułowanym „Badanie wrażliwości prochów na bodźce mechaniczne, ciepłe oraz wybuchowe” Doktorant przedstawił wyniki badań otrzymanych prochów na bodźce mechaniczne, cieplne oraz wybuchowe. Do badań wykorzystał znane metody pomiarowe. Wrażliwość na uderzenie (prochy P1-P9, JA-2) badał za pomocą kafara Kasta, wrażliwość na tarcie (prochy P1-P9, JA-2) za pomocą aparatu tarcowego Petersa, wrażliwość na bodźce cieplne za pomocą różnicowej analizy termicznej TG/ DTA (prochy P2, P8 i JA-2). W ramach badań wrażliwości na bodźce wybuchowe przeprowadził testy przejścia palenia w detonację (zapłon wewnętrzny) (prochy P8 i JA-2), pobudzenia płomieniem (Fast Cook-off Test), na oddziaływanie strumienia kumulacyjnego oraz na przestrzelenie pociskiem. Badania wrażliwości na tarcie i uderzenie wykazały, że otrzymane prochy na bazie heksogenu są o wiele mniej wrażliwe niż sam heksogen oraz proch dwubazowy JA-2. Wyniki analizy termicznej wykazały, że próbki prochu JA-2 rozkładają się wcześniej i w sposób dużo gwałtowniejszy niż badane próbki prochów oparte na heksogenie. Wybrany proch P8 w testach wrażliwości na bodźce wybuchowe reagował podobnie jak proch JA-2 w testach na wewnętrzny impuls cieplny i szybkie ogrzewanie, a jego reakcja na uderzenie strumienia kumulacyjnego i przebiecie pociskiem była bardziej gwałtowna. Dyplomant stwierdził w konkluzji, że wybrany do badań proch P8 w rurze stalowej nie spełnia wszystkich wymagań stawianych amunicji małowrażliwej, ale ponieważ wymagania te dotyczą gotowej amunicji gdzie łuska w naboju artyleryjskim jest zdecydowanie mniej wytrzymała na ciśnienie niż zastosowana w badaniach rura stalowa, to reakcja prochów na bazie heksogenu w testach z amunicją może być mniej gwałtowna.

W rozdziale dziesiątym zatytułowanym „Badanie trwałości prochów” Doktorant przedstawił wyniki badań starzeniowych wybranych prochów. Prochy starzone były w trzech temperaturach 70, 80 i 90 °C przez określony czas, a następnie analizowany był ubytek masy prochu i stabilizatora za pomocą różnych metod. Do oznaczenia ubytku stabilizatora Doktorant wykorzystywał takie techniki jak: chromatografia cienkowarstwowa TLC, chromatografia kolumnowa, wysokosprawna chromatografia cieczowa HPLC. Doktorant przeprowadził także próby rozdziału produktów reakcji stabilizatora zachodzących podczas starzenia prochu oraz ich identyfikacji za pomocą analizy NMR. Uzyskane wyniki ogólnie świadczą o trwałości otrzymanych prochów na bazie heksogenu.

W rozdziale jedenastym Doktorant przedstawił badania dotyczące wpływu temperatury początkowej na parametry spalania prochów. Obliczenia Doktorant wykonał dla prochów JA-2, P7 i P8 wykorzystując program CHEETAH, dla prochów tych również wykonał pomiary w bombie manometrycznej umieszczając w niej próbki prochów zmrożone do temperatury -40 °C lub podgrzane do temperatury 50 °C oraz w temperaturze pokojowej. Różnice obliczonych parametrów nie były duże, co świadczy według Doktoranta o tym, że nowe prochy złożone mogą być stosowane w amunicji poddawanej dużym wahaniom temperatury otoczenia.

Rozdział dwunasty to podsumowanie przeprowadzonych badań i wnioski z nich płynące. Doktorant na zakończenie stwierdza, że cel pracy został osiągnięty, dokonał optymalizacji składu prochów bazujących na heksogenie w taki sposób, aby otrzymane ziarna prochowe

były jednorodne i trwałe, a parametry termochemiczne i balistyczne były porównywalne z klasycznymi prochami dwubazowymi. Prochy te charakteryzują się również mniejszą wrażliwością na bodźce cieplne i mechaniczne oraz posiadają wydłużoną trwałość.

Cytowana w rozprawie bibliografia liczy 109 pozycji. Przywołane pozycje są opublikowane w większości w anglojęzycznych czasopismach naukowych, głównie z tzw. listy filadelfijskiej. Przegląd literaturowy jest wystarczająco zaawansowany, co umożliwiło Doktorantowi poznanie aktualnego stanu wiedzy na temat prochów LOVA.

B. Ogólna ocena rozprawy

Doktorant zrealizował założone cele pracy. Dokonał optymalizacji składu prochów bazujących na heksogenie w taki sposób, aby otrzymane ziarna prochowe były jednorodne i trwałe, a parametry termochemiczne i balistyczne były porównywalne z klasycznymi prochami dwubazowymi. Prochy te jednocześnie charakteryzują się mniejszą wrażliwością na bodźce cieplne i mechaniczne oraz są trwałe. Aby to osiągnąć wykonał bardzo dużą ilość badań eksperymentalnych oraz teoretycznych. Rozprawa doktorska zawiera propozycję metodyki otrzymywania nowych, do tej pory jeszcze w Polsce nie badanych prochów o obniżonej wrażliwości do amunicji typu LOVA. Przedstawiona praca świadczy o wysokich umiejętnościach eksperymentalnych Doktoranta pozwalających zastosować całą gamę zróżnicowanych metod eksperymentalnych. Autor dysertacji wykazał się umiejętnością, poza wyjątkami umieszczonymi w następnej części recenzji, prawidłowej analizy rezultatów badań i wyciągania wniosków adekwatnych do uzyskanych rezultatów eksperymentów.

Praca została napisana w sposób jasny i przejrzysty. Pod względem edytorskim praca zredagowana jest starannie, a występujące niedociągnięcia nie deprecjonują pozytywnej oceny rozprawy.

C. Uwagi dyskusyjne i krytyczne.

Podczas przygotowania wielostronicowej dysertacji Doktorant nie ustrzegł się błędów, z których najistotniejsze według mnie zostały wymienione poniżej:

- Brak wydzielonej części eksperymentalnej. Doktorant co prawda w każdym rozdziale podaje materiały i sposób realizacji badań, ale dla większej przejrzystości lepiej by było, aby te informacje były zsumowane w jednym rozdziale, tak jak praktykuje się w większości prac doktorskich.
- Doktorant od samego początku operuje w większości przypadków skrótami związków chemicznych nie podając ich pełnej nazwy. Przyjęte jest, że kiedy po raz pierwszy wymienia się związek chemiczny, należy podać jego pełną systematyczną nazwę ze skrótem lub nazwą zwyczajową.
- Pomędzy wartością temperatury a stopniami Celsjusza powinna być spacja, uwaga dotyczy całej pracy.
- Strona 11 – Doktorant jako przykład termoplastycznego elastomeru podaje poliAMMO – poliAMMO nie jest termoplastycznym elastomerem, termoplastycznymi elastomerami są kopolimery blokowe zawierające w swojej strukturze blok twardy i blok miękki.

- Strona 14 – w tabeli 2.2 Doktorant podaje temperaturę topnienia dla polimerów np. HTPB. Jest to nieprawda – HTPB jest polimerem amorficznym, nie ma temperatury topnienia, możemy go charakteryzować przez temperaturę zeszklenia.
- Strona 15 – Doktorant pisze, że HNF jest wysoce higroskopijny – nie jest to prawda HNF nie jest higroskopijny, higroskopijny jest ADN.
- Strona 16 – cytata „Ponieważ cząstki ADN, HNF i HNIW wytwarzają nadmiar tlenu wśród swoich produktów spalania, cząstki te są wykorzystywane jako materiały spełniające dodatkową rolę utleniaczy w prochach typu LOVA.” – co to znaczy cząstki; bilans tlenowy HNIW wynosi -11%, nie jest on utleniaczem.
- Strona 17 i 18 – cytata „CAB jako środek sieciujący zapewnia wytrzymałość fizyczną poprzez poprawę wytrzymałości na rozciąganie i modułu sprężystości. Dodatkowo jest bardzo dobrym zamiennikiem dla AC, maślanu celulozy oraz trimetylolopropanu” – CAB pełni rolę lepiszcza, a nie środka sieciującego; trimetylolopropan nie jest lepiszczem.
- Strona 19 – temperatura zeszklenia GAP powinna być - 45 °C, a nie 45 °C.
- Strona 19 – cytata „Podczas utwardzania polimeru następuje uwolnienie tlenu węgla (IV), które powoduje reakcję wolnej grupy hydroksylowej z grupami izocyjanianowymi obecnymi w utwardzaczach.” – cytata dotyczy utwardzania GAP-u. Tlenek węgla (IV) wydziela się w wyniku reakcji grup izocyjanianowych ze śladami wody w GAP-ie.
- Strona 19 – opis poliGLYN, „charakteryzuje się niską wrażliwością” – polimer ten charakteryzuje się największą wrażliwością w stosunku do innych polimerów wysokoenergetycznych.
- Strona 20 – ostatni akapit na tej stronie nie dotyczy lepiszczy, jest to opis plastyfikatora.
- Strona 21 – nitromerkurowanie, demerkurowanie – co to znaczy?
- Strona 21 – opis otrzymywania NHTPB, jest: otrzymuje się przez epoksydowanie grup hydroksylowych, powinno być: epoksydowanie wiązań podwójnych.
- Strona 22 – w tabeli 2.3 podawana temperatura zeszklenia w większości przypadków jest nieprawdziwa.
- Strona 25 – rys. 2.10, błędy we wzorach.
- Strona 32 – jest: temperatura tworzenia, powinno być: entalpia tworzenia.
- Strona 65 i 73 – CAB – Doktorant w swojej pracy stosował acetylo-maślancelulozy (CAB), ale nie scharakteryzował go dokładnie. Na właściwości fizykochemiczne tego związku ma podstawowy wpływ stosunek grup acetylowych do butyrowych, co nigdzie nie zostało podane. Tak samo nie wiadomo, czy podawane przez Doktoranta dane fizykochemiczne CAB zawsze dotyczą tego samego związku.
- Strona 69 – podany przez Doktoranta sumaryczny skład prochu wyjściowego przekracza 100%.
- Strona 71 – podany przez Doktoranta skład prochu wyjściowego nie sumuje się do 100%.
- Strona 74 – w opisie sporządzania ciasta prochowego podano, że go wstępnie mieszano. Doktorant nie podał w jaki sposób prowadzono tą operację.
- Strona 75 – w opisie sporządzania ciasta prochowego podano, że dodawano aceton oraz etanol w stosunku objętościowym 3/7, ale nie podano ilości tych rozpuszczalników w stosunku do masy pozostałych składników.

- Strona 75 – cytata „Po zakończonym mieszaniu powstałe ciasto prochowe było wyjmowane z mieszalnika z zachowaniem wszelkich starań, aby nie doszło do nadmiernego odparowania rozpuszczalników” – jakie to były starania.
- Rozdział 6 – w poprzednim rozdziale Doktorant pisał, że wpływ na ilościowy udział poszczególnych składników w nowych prochach miały właściwości reologiczne ciasta prochowego, właściwości ziaren prochowych i wyniki badania żywotności prochów. W tym rozdziale, opisującym składniki i metodę wytwarzania prochów, prezentowane są składy 9 prochów, ale nie opisano jak zmiany w składzie otrzymywanego prochu przekładają się na właściwości reologiczne ciast prochowych oraz trwałość prochów i dlaczego akurat wybrano te składy prochów do dalszych badań.
- Strona 89 – Doktorant nie wyjaśnił dlaczego nie wszystkie próby badań w bombie manometrycznej zakończyły się sukcesem.
- Strona 101 – na zakończenie podrozdziału 9.1 brak jest próby dyskusji wyników wrażliwości na uderzenie badanych prochów. Różnice w składach są niekiedy niewielkie, a duża jest różnica w ich wrażliwości.
- Strona 105, rys. 9.8 – analiza termograficzna prochu JA-2 przeprowadzona jest nieprawidłowo. Według przedstawionej krzywej w niektórych temperaturach są dwie różne wartości przepływu ciepła. Przyczyną tego jest zbyt duża masa próbki lub zastosowanie zbyt dużej szybkości wzrostu temperatury w czasie pomiaru.
- Strona 106 – w opisie krzywych na termogramie Doktorant używa sformułowania: temperatura dla pików wynosi....., powinno być: wartość temperatury w maksimum pików wynosi.....
- Strona 106 – cytata „Początek procesu następuje w temperaturze 193,2 °C, natomiast najwyższa zarejestrowana temperatura wynosi 235,1 °C” – co to znaczy?
- Strona 107 - analiza TG prochu JA-2 przeprowadzona jest nieprawidłowo, jak wyżej.
- Strona 107 – cytata „Całkowity ubytek masy podczas badania TG dla prochu JA-2 wynosi -103,34%.” – nie może być ubytku masy poniżej 100%, niższy ubytek może wynikać z błędów pomiaru.
- Strona 113 – jest: w stalowej rurze o promieniu wewnętrznym....., powinno być: w stalowej rurze o średnicy wewnętrznej....
- Strona 129 – może jako roztwór wzorcowy w badaniach TLC należałoby także zastosować ekstrakt prochu przed starzeniem.
- Strona 129 – w pracy nie ma wzmiankowanego rysunku przedstawiającego wygląd ziaren przed oraz po starzeniu dla prochu P9.
- Strona 130 – cytata „jak można zaobserwować w tabeli 10.2 ubytki mas różnią się od siebie o około 0,25%. Świadczy to o tym, że wraz z upływem czasu większa część składników prochu (RDX i NC) ulega rozkładowi.” – czy jest to prawdziwy wniosek przy tak małym ubytku masy?
- Strona 145 – Doktorant sprawdzał, czy obliczone w wyniku przeprowadzonych analiz ilości Akardytu II pozostałego w próbkach starzonego prochu są zgodne z kryteriami dla prochów nitrocelulozowych, ale nie sprawdził jaka jest efektywność ekstrakcji akardytu z prochu.
- Strona 152 – jest: nachylenie wykresu, powinno być: nachylenie krzywej.

D. Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa doktorska jest oryginalnym opracowaniem wnoszącym wkład w rozwój badań nad wytwarzaniem i badaniem właściwości materiałów miotających o obniżonej wrażliwości. Autor pracy opanował całe spektrum metod badawczych, które umiejętnie wykorzystał do realizacji postawionego celu pracy. Uzyskane na tym etapie rezultaty badań mogą być wykorzystane do dalszych prac nad prochami LOVA. Recenzowana praca pt.: **„Wytwarzanie i badanie właściwości materiałów miotających o obniżonej wrażliwości”** spełnia warunki określone Ustawą **„O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”**. Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Hary zwracam się do Rady Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej o dopuszczenie jej Autora do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

Dr hab. inż. Paweł Maksimowski, prof. PW

P. Maksimowski