

Marcin BAJKOWSKI¹, Jacek Mateusz BAJKOWSKI²

STANOWISKO BADAWCZO-DYDAKTYCZNE DO BADANIA WPLYWU TLUMIKA MAGNETOREOLOGICZNEGO NA SIŁĘ PCHNIĘCIA BRONI RAMIENNEJ

Streszczenie. Artykuł przedstawia stanowisko badawczo-dydaktyczne pozwalające poznać wpływ wprowadzenia do układu broń ramienna–strzelec systemu programowania przebiegu zjawiska odrzutu przez zastosowanie zsynchronizowanego układu sterowanych tłumików magnetoreologicznych (MR). Badanie ma na celu oszacowanie wpływu tłumienia wysokoenergetycznego impulsu pochodzącego od broni małokalibrowej ramiennej na siłę pchnięcia. Dla dostępnego zestawu tłumików MR dobierany jest doświadczalnie zakres prądów sterowania cewką urządzenia MR. Opracowanie wyników w szczególności dotyczy związku układu MR z przebiegiem i wielkością siły pchnięcia, mającej bezpośredni wpływ na celność broni. Otrzymane wyniki badań dowodzą, że zaproponowany układ: obiekt specjalny–tłumik MR–strzelec wpływa korzystnie między innymi na jego stabilność (odrzut oraz podrzut). W artykule przedstawiono schematyczną budowę stanowiska, podstawowe parametry badanego układu oraz wybrane wyniki badań.

Słowa kluczowe: odrzut, podrzut, siła pchnięcia, kolba, tłumienie

EXPERIMENTAL–DIDACTIC STAND FOR THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE MAGNETHOREOLOGICAL DAMPER ON THE THRUST FORCE IN SMALL CALIBER ARMS

Summary. This paper presents the laboratory stand, designed for research and didactic purposes. The stand allows investigating the performance of the programmable system for controlling the recoil effect in the small caliber arm–shooter configuration. The system incorporates synchronized magnetorheological (MR) damper. The aim of the study is to describe the influence of the damping of a high-energy pulse from small caliber arm, on the value of the thrust force. For the considered set of MR dampers the range of the operating currents for the MR coil is experimentally selected and adjusted. In the study of the results the emphasis is put on the influence of MR damper on the force characteristics, which directly affects the accuracy of the weapon. The obtained results show that the proposed system special object–MR damper–shooter, has a major, positive effect on the accuracy by reducing the components of the recoil. A scheme of the laboratory stand is presented. Basic parameters of the investigated system and research results are discussed.

Keywords: recoil, thrust, shoulder stock, damping

¹ Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, e-mail: granada@pomp.pl

² Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, e-mail: jm.bajkowski@gmail.com

1. WPROWADZENIE

Z punktu widzenia rozwoju konstrukcji automatycznych broni ramiennych, niezależnie od systemów uruchamiania ich mechanizmów, można uznać, iż oprócz głównych cech eksploatacyjnych, takich jak niezawodność i szybkostrzelność, kluczowym do rozwiązania zadaniem jest zapewnienie optymalnych wartości wielkości charakteryzujących zjawisko odrzutu oraz podrzutu broni. Wymienione wielkości mają niezwykle istotny wpływ na celność broni oraz na komfort strzelca [1, 2, 3]. Czynniki mającymi duże znaczenie dla celności broni są między innymi:

- typ i charakterystyka urządzeń celowniczych [4],
- parametry dynamiczne związane z cechami konstrukcyjnymi elementów mechanicznych [5],
- parametry wzajemnego oddziaływania elementów układu broń–strzelec.

Do parametrów oddziaływania zalicza się między innymi tłumienie w całym układzie oraz ograniczenie zjawiska uderzenia elementów ruchomych w broni, np. suwadła, o korpus [6].

Badania przeprowadzane na zaproponowanym stanowisku badawczo-dydaktycznym pozwalają na poznanie wpływu wprowadzonego do układu broń–strzelec systemu programowania zjawiska odrzutu oraz podrzutu na siły występujące w układzie, a przez to na celność broni. System ten wykorzystuje sterowane tłumiki z cieczą magnetoreologiczną (MR) [8, 10, 12]. Dzięki unikalnym właściwościom cieczy sterowalnych badany układ urządzeń MR umożliwia wpływ między innymi na przebieg zjawiska odrzutu, podrzutu oraz na związaną z nimi utratę stabilności układu broń–strzelec w odniesieniu do utrzymania stałości naprowadzania broni na cel. W literaturze przedmiotu nie znaleziono wyników badań dotyczących wykorzystania tego typu rozwiązań w tłumieniu drgań i minimalizacji przemieszczenia broni ramiennej, wpływających na jej skuteczność.

2. METODYKA BADAWCZA

Wysokoenergetyczne wymuszenia impulsowe, jakim poddawane są tłumiki MR w układzie broń–strzelec, z punktu widzenia cech dynamicznych mają specyficzne właściwości. Charakteryzują się one przede wszystkim nieustabilizowanym i niepowtarzalnym ruchem układu następującym po oddaniu strzału [7]. Pod względem skuteczności działania broni wydaje się nieosiągalne uzyskanie trafień w serii w jeden punkt. Wynika to ze współistnienia w układzie broń–strzelec wielu powiązanych ze sobą czynników uniemożliwiających precyzyjne wycelowanie i oddanie strzału. Jednym z kluczowych zjawisk są obserwowane po każdym strzale odrzut oraz podrzut. Związane są one z przemieszczeniami różnych elementów składowych broni oraz oddziaływaniem reakcji dynamicznej gazów prochowych wydobywających się z lufy po opuszczeniu przez nią pocisku. Obecnie stosowane rozwiązania, mające na celu ograniczenie wspomnianych zjawisk, nie pozwalają na eliminację ruchomych części układu.

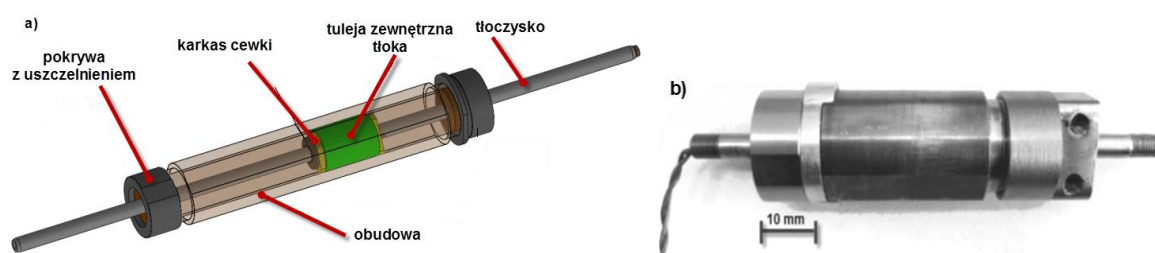
W związku z pojawieniem się nowych materiałów oraz zaawansowanych technologii, a zwłaszcza z możliwością wykorzystania materiałów należących do grupy tzw. smart materials słuszne wydaje się podejmowanie badań nad możliwością poprawy parametrów eksploatacyjnych omawianych układów [14, 15] z wykorzystaniem cieczy magnetoreologicznych. Ciecze MR oraz urządzenia je wykorzystujące dzięki możliwościom łatwego sterowania ich właściwościami i parametrami pracy za pomocą pola magnetycznego

pozwalają poszukiwać nowych rozwiązań zmierzających do ograniczenia zjawiska odrzutu oraz podrzutu.

Zastosowanie układu sterowanych tłumików magnetoreologicznych w omawianym układzie umożliwia dostosowywanie badanego obiektu do zmiennych obciążeń i związanych z nimi przemieszczeń. Sterowanie wielkościami rozpraszania i pochłaniania energii pozwala nie tylko minimalizować zjawisko odrzutu wpływające na celność strzału amunicją strzelecką, lecz także znacząco wpływać na poprawę komfortu strzelca przy realizacji strzelań z użyciem granatów nasadkowych czy granatników podwieszanych. Badanie wpływu tłumika MR na odpowiedź układu jest realizowane na przykładzie karabinka samoczynno-samopowtarzalnego typu AKMS kalibru 7,62 mm. Aspekt dydaktyczny obejmuje zestawienie toru pomiarowego, opracowanie modelu fizycznego, a także analizę wpływu parametrów sterowania tłumikami MR na właściwości eksploatacyjne broni w układzie broń–strzelec.

2.1. Stanowisko badawcze

Na potrzeby budowy stanowiska opracowano i wykonano kolbę badawczą karabinka, wyposażoną w prototypy tłumików TR-1.0M (rys. 1) wykorzystujące ciecz Basonetic 5030 firmy BASF. Tłumiki były napełniane cieczą w komorze próżniowej, co pozwoliło na wyeliminowanie ryzyka zapowietrzenia układu.



Rys. 1. Budowa zastosowanego tłumika MR (a) oraz fotografia rzeczywistego tłumika TR-1.0M (b)
Fig. 1. Assembly of the used MR device (a) and the TR-1.0M damper photo (b)

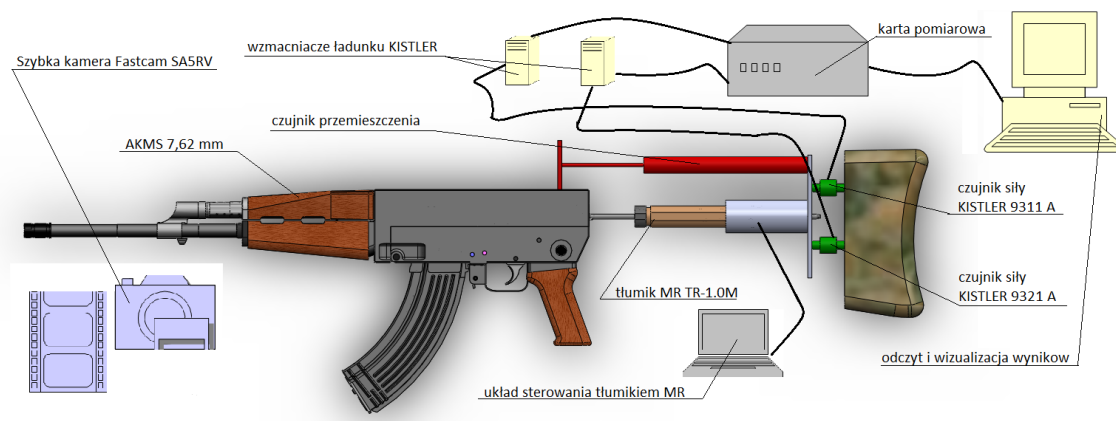
Pierwszy z tłumików podpira korpus broni i jest umieszczony w kolbie, na wysokości osi lufy. Posiada on ruchomą obudowę, a szczelina ma wysokość 0,5 mm. Drugi tłumik pełni funkcję zderzaka suwadła i jest umieszczony na wysokości środka ciężkości suwadła wraz z tłokiem zaporowym broni. Umocowanie tłumika zostało tak zrealizowane, aby obudowa była nieruchoma. Wysokość szczeliny przepływowej drugiego tłumika wynosi 0,6 mm.

Oba amortyzatory zostały wyposażone w sprężyny, zapewniające powrót tłoczyiska do położenia pierwotnego w czasie krótszym niż okres pomiędzy strzałami w serii. Schemat poglądowy stanowiska badawczo-dydaktycznego przedstawiono na rys. 2.

Na strzelnicy laboratoryjnej wykonywane są pomiary siły pchnięcia działającej na strzelca przy różnych wartościach natężenia prądu sterowania tłumikami. Podczas realizacji wyżej wymienionych pomiarów używa się:

- karabinka samoczynnego AKMS, kaliber 7,62 mm, wyposażonego w tłumiki MR,
- zmodyfikowanej stopki kolby, wyposażonej w dwa czujniki siły (KISTLER 9311A, 9321A),
- czujnika pomiaru przemieszczenia tłoczyiska tłumika, podpierającego korpus broni,
- bramki chwili wyjścia pocisku z lufy,
- kamery Fastcam SA5RV o prędkości do 1 mln zdjęć na sekundę,
- aparatury rejestracyjnej, w tym karty pomiarowej z systemem akwizycji.

Wyposażenie broni w czujnik do zwarciego pomiaru chwili wyjścia pocisku z lufy daje możliwość zestawienia wyników pomiarów dla poszczególnych strzałów na wykresach porównawczych do wspólnego układu odniesienia. Badania są przeprowadzane dla strzałów pojedynczych oraz dla 3 strzałów w serii ogniem ciągłym, z zachowaniem pięciokrotnego powtórzenia. Pierwszy pomiar jest traktowany jako wynik referencyjny, służący do weryfikacji poprawności zestawienia aparatury.



Rys. 2. Schemat poglądowy stanowiska badawczego

Fig. 2. The configuration of the laboratory stand

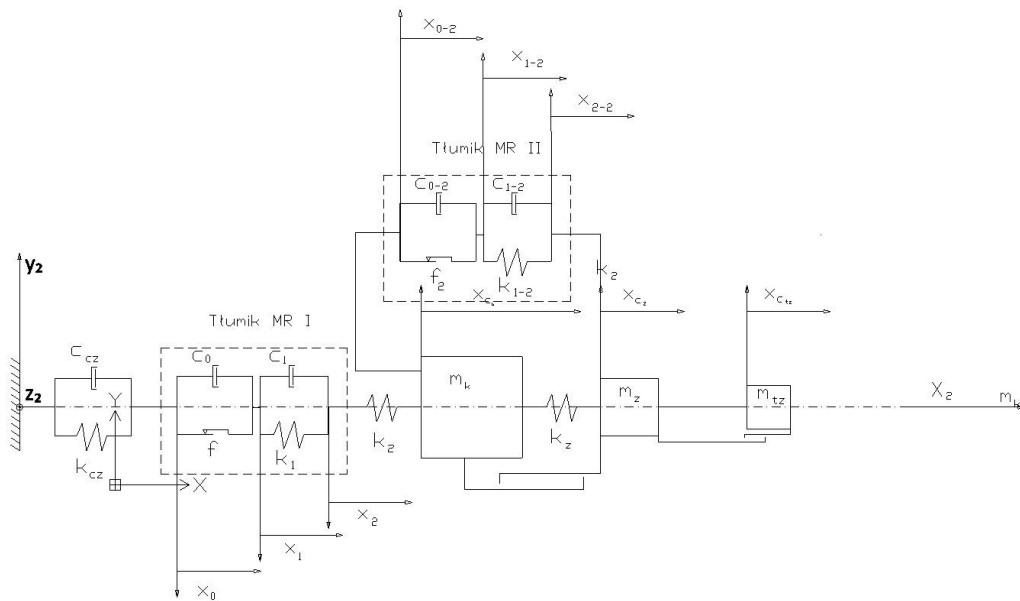


Rys. 3. Przykładowe ujęcie z kamery do szybkich zdjęć

Fig. 3. The high-speed camera photo

Zdjęcia z szybkiej kamery pozwalają zaobserwować wpływ zastosowania urządzeń magnetoreologicznych na działanie ruchomych elementów broni, a także na analizę luzów konstrukcyjnych. Obecność luzów jest widoczna na zdjęciach jako unoszenie się suwadła na prowadnicach w momencie zderzenia z korpusem. Analiza poklatkowa (rys. 3) ukazuje w czytelny sposób skuteczność działania magnetoreologicznych tłumików na zjawisko podrzutu. Pozwala na wizualną weryfikację prawidłowości doboru parametrów sterowania tłumika, pełniącego funkcję zderzaka suwadła. Możliwe jest także określenie granicznej wartości prądu sterowania tłumika, powodującej nadmierne zwiększenie oporów tłumienia. Prowadzi to do nadmiernego usztywnienia układu, co znajduje odzwierciedlenie na wykresach siły pchnięcia oraz przemieszczenia tłoczyska.

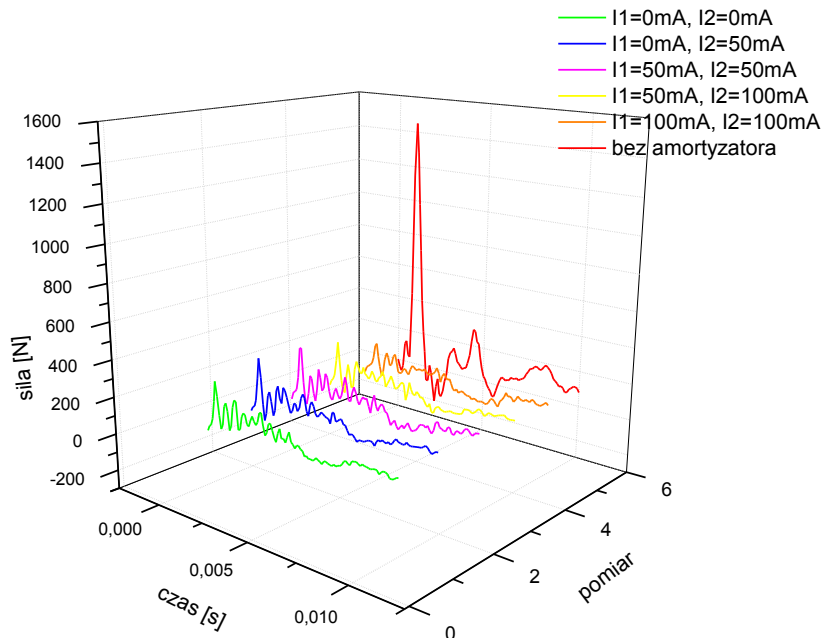
Na dalszym etapie analizy tworzony jest model reologiczny, przedstawiony na rys. 4. Stanowi on bazę dla matematycznego modelu odwzorowującego dynamiczne cechy układu. W zaproponowanym modelu tłumik magnetoreologiczny jest modelowany jako urządzenie o niedefiniowanych wprost właściwościach, realizujące proces pochłaniania i rozpraszania energii [11, 12, 13].



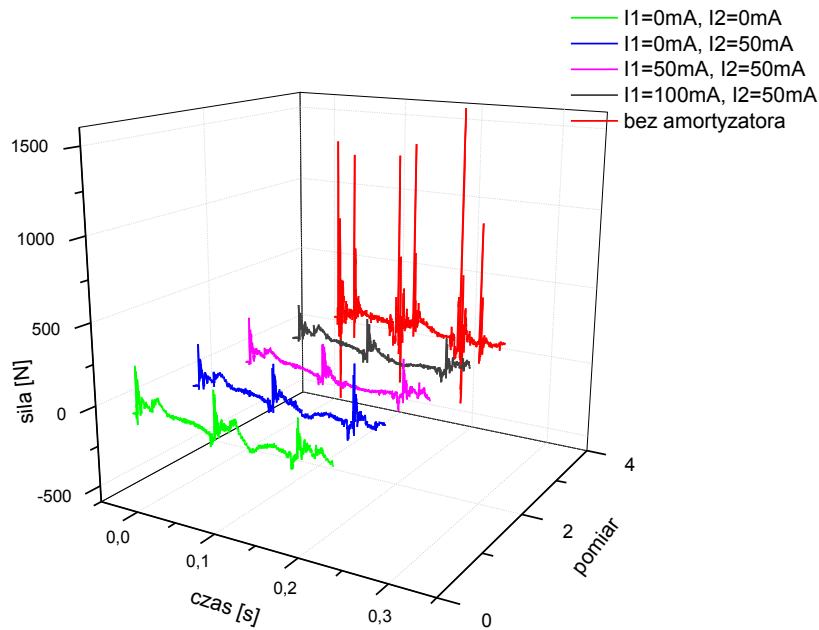
Rys. 4. Model reologiczny badanego układu z dwoma tłumikami magnetoreologicznymi
 Fig. 4. Rheological model of the system with two magnetorheological dampers

Prawidłowo skonstruowany modelu układu nadaje się do analizy ruchu elementów badanego urządzenia wyposażonego w tłumik MR i określenia równań ruchu, co jest wykorzystywane do realizacji dodatkowych zajęć dydaktycznych w ramach przedmiotów podejmujących problematykę opisu mechaniki i konstrukcji broni dla studentów ze specjalizacji „uzbrojenie”.

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki pomiarów siły pchnięcia w funkcji czasu dla strzałów pojedynczych (rys. 5) oraz dla serii 3 strzałów (rys. 6) przy strzelaniu nabojami bojowymi.

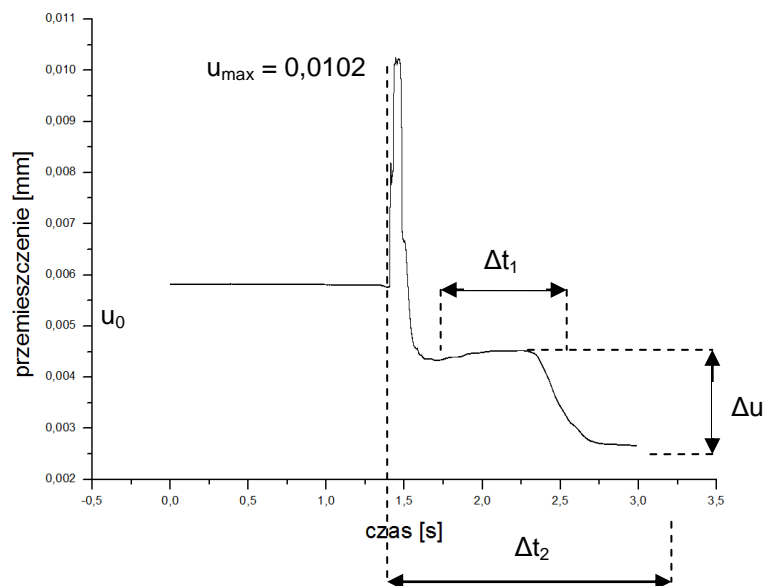


Rys. 5. Porównanie sił występujących w układzie karabin–strzelec bez tłumików MR i z tłumikami przy prądach sterowania tłumika suwadła $I_1 = 0 \text{ mA}$ i tłumika kolby $I_2 = 50 \text{ mA}$; nabój bojowy
 Fig. 5. Forces acting in the rifle-shooter system for single shot mode, without dampers and with dampers for current $I_1 = 0 \text{ mA}$ for slide damper and $I_2 = 50 \text{ mA}$ for stock damper; combat bullet



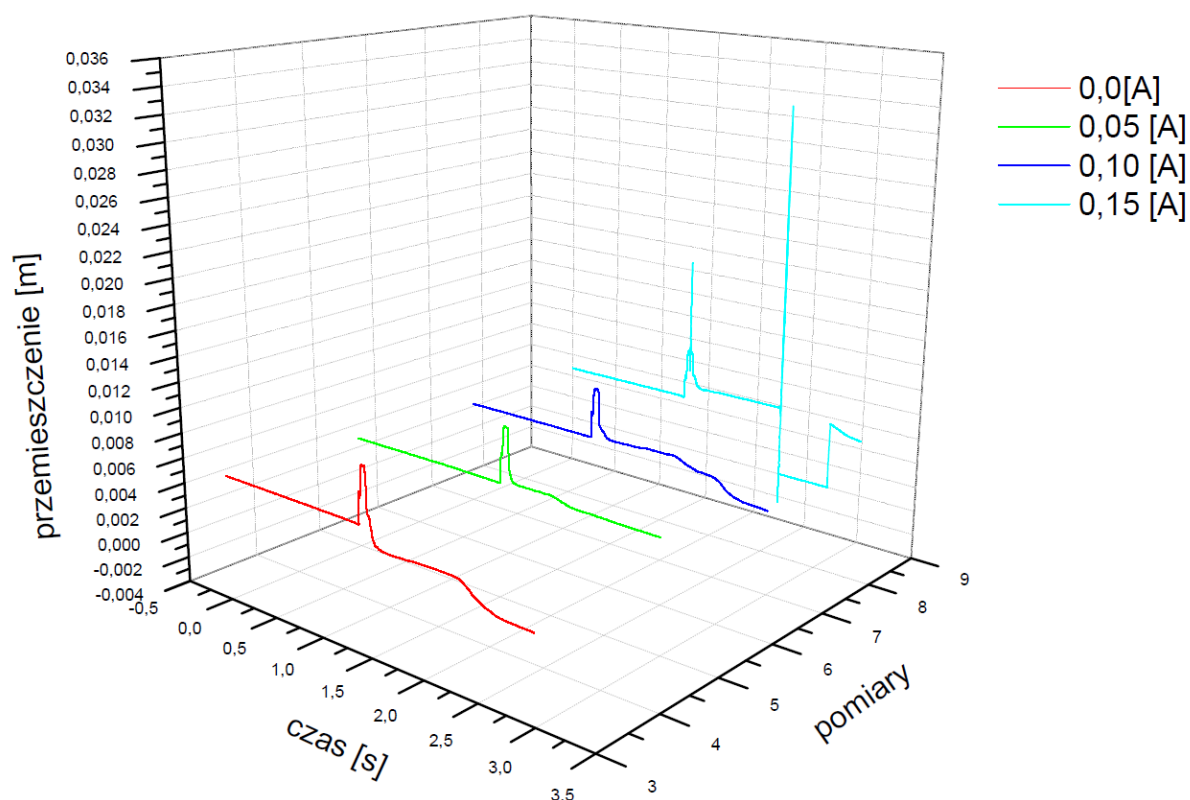
Rys. 6. Porównanie sił występujących w układzie karabin–strzelec podczas serii 3 strzałów bez tłumika i z tłumikiem przy różnych prądach sterowania amortyzatora suwadła $I_1=0$ mA i amortyzatora kolby $I_2=50$ mA; nabój bojowy

Fig. 6. Forces acting in the rifle-shooter system for 3-round burst mode, without dampers and with dampers for current $I_1=0$ mA for slide damper and $I_2=50$ mA for stock damper; combat bullet



Rys. 7. Przemieszczenie tłoczyska dla natężenia 0 A prądu cewki tłumika z oznaczeniem przedziałów odpowiadających poszczególnym okresom cyklogramu działania broni samoczynno-samopowtarzalnej; pojedyncze strzały

Fig. 7. Displacement of the piston's rod for 0 A of coil current, typical stages of cyclogram for operation of semi-automatic rifle were marked; single shot mode



Rys. 8. Przeszyczenie w funkcji czasu dla r33nych wartořci prądu; pojedyncze strzaly
 Fig. 8. Displacement for different vales of coil current; single shot mode

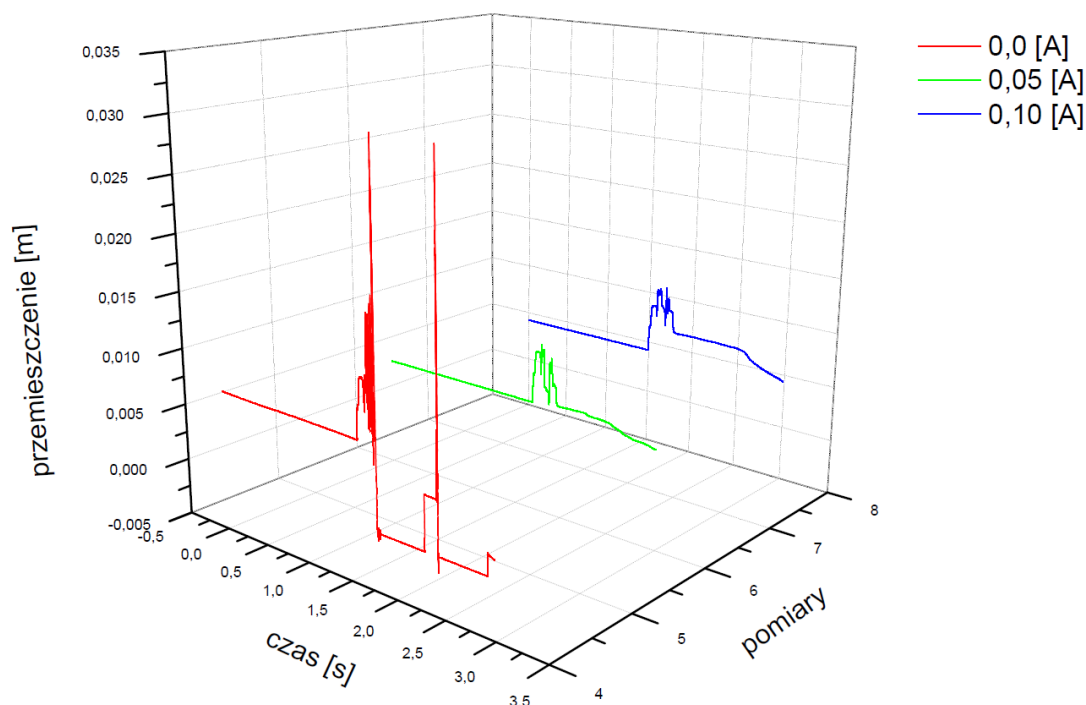
Podczas pomiaru przy wartořci prądu 0,15 A układ pomiarowy uległ uszkodzeniu. Ze względu specyfikę wymuszenia wysokoenergetycznego zacinanie broni oraz jego wpływ na pomiary występują z częstotliwością 1 na 30 strzaly. Wszelkie niestandardowe zachowania układu r33wnież sę poddawane analizie jako specyficzna forma wymuszenia.

Tabela 1

Zestawienie charakterystycznych wartořci pomiarowych dla r33nych wartořci natęzenia prądu dla strzaly pojedynczych

Pomiar	Prąd [A]	u_0 [m]	u_{max} [m]	$\Delta u_{max}=u_{max}-U_0$ [m]	Δt_2 [s]	ΔU [m]	Δt_1 [s]
1	0	0,0057	0,0102	0,0045	1,45	0,0019	0,7
2	0,05	0,0052	0,0097	0,0045	1,55	0,0006	0,35
3	0,10	0,0047	0,0088	0,0041	1,40	0,0025	1,35
4	0,15	Zacięcie broni					

Wykres przedstawiający wyniki pomiar33 przeszczeń w funkcji czasu dla serii 3 strzaly został zaprezentowany na rys. 9.



Rys. 9. Przemieszczenie w funkcji czasu dla różnych wartości prądu; 3 strzały w serii
 Fig. 9. Displacement for different values of coil current; 3-round burst mode

Tabela 2

Zestawienie charakterystycznych wartości pomiarowych dla różnych wartości natężenia prądu dla 3 strzałów w serii

Pomiar	Prąd [A]	u_1 [m]	Δt_{21} [s]	Δu_2 [m]	Δt_{22} [s]	u_3 [m]	Δt_{23} [s]
1	0	Zacięcie broni					
2	0,05	0,0097	1,55	0,0104	1,65	0,0093	1,85
3	0,10	0,0088	1,55	0,0105	1,65	0,0109	1,75

Analiza przebiegów czasowych siły pchnięcia oraz przemieszczeń tłoczyska tłumika MR podpierającego korpus, a także zarejestrowanych przebiegów siły pchnięcia bez użycia tłumików MR uprawnia do stwierdzenia, że istnieje wyraźna zależność między wartością prądu sterującego a wielkością siły pchnięcia od 267 N dla wartości prądu 0 A do 704 N przy 0,5 A, a nawet 1700 N dla kolby bez tłumika. Dowodzi to, iż zastosowanie tłumika magnetoreologicznego pozwala zmniejszyć wartość siły pchnięcia.

W każdym z przypadków strzałów pojedynczych maksimum siły pchnięcia (rys. 5) i maksymalne wartości przemieszczenia tłoczyska występują po zarejestrowanej chwili wyjścia pocisku, a więc wówczas, gdy pocisk opuścił przewód lufy. W przypadku ognia seryjnego taką sytuację obserwowano jedynie dla pierwszego strzału w serii, podczas badania bowiem tylko pierwszy pocisk wyzwała bramkę chwili wyjścia. Minimalizacja siły pchnięcia nie ma istotnego wpływu na celność w przypadku strzelania ogniem pojedynczym i dla pierwszego strzału w serii, natomiast niewątpliwie wpływa ona na komfort pracy strzelca, szczególnie w przypadku długotrwałego prowadzenia ognia w warunkach bojowych.

3. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane rezultaty badań uzyskane na stanowisku laboratoryjnym przeznaczonym do badania wpływu tłumika magnetoreologicznego na siłę pchnięcia broni ramiennej jednoznacznie pokazują, iż zastosowanie w układzie kolby karabinka AKMS kalibru 7,62 mm sterowanego tłumika MR może w istotny sposób wpływać na zmniejszenie wartości siły pchnięcia oddziaływającej na strzelca oraz pozwala ograniczyć przemieszczenie ruchomego elementu kolby. Wniosek ten dotyczy zarówno przypadku oddawania pojedynczych strzałów, jak i strzelania ogniem ciągłym.

Możliwe jest sformułowanie i rozwiązywanie zadań optymalizacyjnych, które doprowadzają do wyznaczenia takich przebiegów prądu sterującego, które zapewnią najkorzystniejszy przebieg siły pchnięcia przy jednocześnie najmniejszym skróceniu kolby broni oraz powrót tłoczyska tłumika do położenia pierwotnego w najkrótszym możliwym czasie. Zaprezentowane stanowisko pozwala ponadto rejestrować nietypowe zachowania broni, takie jak wspomniane zacięcia, klinowania oraz wady amunicji. Wyniki uzyskane w trakcie badań w warunkach laboratoryjnych będą stanowić podstawę do dalszych prac mających na celu opracowanie nowych konstrukcji tłumików sterowalnych i konstrukcji je wykorzystujących, przeznaczonych do zastosowań w obiektach specjalnych ramiennych.

Praca finansowana ze środków NCN, grant badawczy NN501 231139.

Bibliografia

1. Błagonrawow A.A.: Osnowanija projektowanija awtomaticzeskogo oruzija. GIOP, 1940.
2. Kochański S.: Odrzut hamowany ramiennej broni strzeleckiej. PW IBSM, Warszawa 1979.
3. MINISTERE DE LA GUERRE: Instruction pour les unites de mitrailleuse d'infanterie. Berger-Levrault Edition, 1933.
4. Stetkiewicz W.: Podstawy teoretyczne konstrukcji broni palnej. GIM, Warszawa 1951.
5. Wilniewicz P.: Właściwości i rozwój broni samoczynnych. PWN, Warszawa 1958.
6. Krzysztofik I.: Analiza oddziaływania broni i strzelca: lekkich rakiet lotniczych i broni strzeleckiej. P. Ś. Kielce, 2004.
7. Aihara T., Kim J.K., Okuyama K., Lasek A.: Controllability of Convective Heat Transfer of Magnetic Fluid in a Circular Tube. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 122, 1993, p. 297-300.
8. Bajkowski J., Sofonea M.: Modélisation, description mathématique et les recherches de l'influence de la grandeur de la fissure de transfert du liquide sur les propriétés de la dissipation d'énergie du amortisseur magnétorheologique. Mat. De XIV Coll. Vibrations, Chocs et Bruit., Lyon 2004.
9. Dogruoz M.B.: Fail-Safe, Semi-Active Controllable Magneto-Rheological Fluid (MRF) Shock Absorbers for Automotive Suspension Systems. Master's Thesis, University of Nevada, Nevada 2000.
10. Ginder J.M., Davis L.C.: Shear Stresses in Magnetorheological Fluids: Role of Magnetic Saturation. Appl. Phys. Lett. 65(26), 1994, p. 3410-3412.
11. Grzesikiewicz W., Bajkowski J., Osiński Z.: Chocs d'un systeme d'enrainement avec frottement structurel, Mat. X Coll. Vibrations, Chocs et Bruit, Lyon 1994, p. 162-163.

12. Spencer B.F. jr, Dyke S.J., Sain M.K., Carlson J.D.: Phenomenological Model of a Magnetorheological Damper. *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 1996.
13. Spencer B.F. jr, Dyke S.J., Sain M.K., Carlson J.D.: Phenomenological Model of a Magnetorheological Damper. *J. Eng. Mech.* 123, 1997, p. 230-238.
14. Tylikowski A.: Intelligence Structures, *Proceedings of International Conference Mechatronics*. Warsaw University of Technology, Vol. 1, 2000, p. 19-25.
15. Wang X., Bossis G., Volkova O., Bashtovo V., Krakov M.: Active Control of Rod Vibrations Using Magnetic Fluids. *Universite de Nice Magnetorheological Suspensions and Associated Technology*, Sheffield 2003, p. 395-403.