



Zjawisko rykoszetowania amunicji strzeleckiej Metody badań*

Wiesław STĘPNIAK, Przemysław SIDELNIK, Bartosz KOZERA

*Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia,
ul. Prymasa Stefana Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka*

Streszczenie. W artykule opisano wybrane metody badań zjawiska rykoszetu pocisku amunicji strzeleckiej. Przedstawiony sposób prowadzenia badań został wykorzystany do badania amunicji strzeleckiej kalibrów 5,56 mm, 7,62 mm i 9 mm z pociskami o ograniczonym rykoszetowaniu. Do badań tych wykorzystano kamerę do zdjęć szybkich Phantom v7.3 oraz dopplerowski zestaw balistyczny DR-5000. W artykule przedstawiono charakterystykę obu metod badawczych oraz wybrane elementy pomiarów uzyskane po ich synchronizacji, w celu uzyskania rzeczywistych charakterystyk badanego obiektu i pełnej oceny zjawiska rykoszetu nowej amunicji, w porównaniu z amunicją bojową znajdującą się aktualnie w eksploatacji.

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka, rykoszet, badania

1. WSTĘP

Zjawisko odbicia (rykoszetowania) obiektu poruszającego się od obiektu nieruchomego jest znane od setek lat. Wzajemne odbijanie się obiektów od siebie jest obszarem zainteresowania zarówno sportowców, jak i inżynierów.

W sporcie znajomość tego zjawiska jest niezbędna w grach takich jak curling, pétanque, squash (jedna z odmian nazywa się „ricochet”), ale także w grach bilardowych, gdzie bez pełnej wiedzy na temat zachowania się bil niemożliwa byłaby dokładna gra, ani wykonywanie trików.

* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

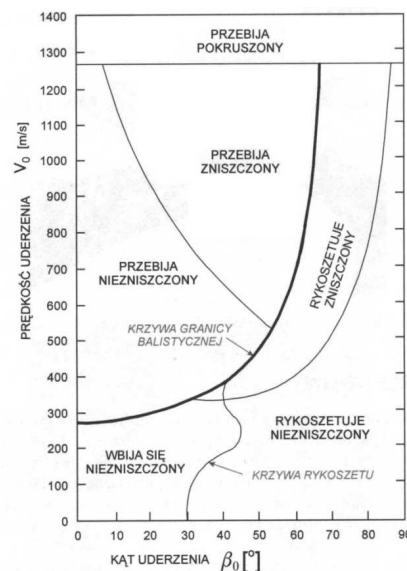
Z kolei inżynierowie zapoznają się z problemem odbicia pod kątem bezpieczeństwa. Doskonałym przykładem jest badanie potrażeń pieszych przez samochody i ich projektowanie w sposób minimalizujący prawdopodobieństwo powstania uszkodzeń ciała u potraconego.

W zagadnieniach techniki wojskowej, a dokładniej w strzelaniu, problem rykoszetu jest pożądanym lub nie. W strzelaniach z broni artyleryjskiej jednym ze sposobów prowadzenia ognia uwzględnionych w tabelach strzelniczych jest tak zwane strzelanie odbitkowe, czyli strzelanie z wykorzystaniem odbicia od gruntu przed celem.

Z kolei podczas prowadzenia ognia z broni strzeleckiej zjawisko rykoszetowania pocisku od przeszkód terenowych i infrastruktury może być niebezpieczne zarówno dla prowadzącego ogień, jak i dla osób postronnych.

W balistyce końcowej uznaje się, że zachowanie pocisku po zderzeniu z obiektem zależy od czterech podstawowych zmiennych: budowy pocisku, materiału, z którego wykonany jest cel, prędkości uderzenia oraz kąta uderzenia pocisku w obiekt. Kąt uderzenia (oznaczany jako θ lub β_0) mierzony jest pomiędzy torem lotu pocisku a normalną do płaszczyzny obiektu w punkcie trafienia.

W zależności od prędkości oraz kąta uderzenia, dla danej pary pocisk i materiał ostrzeliwany można na podstawie badań doświadczalnych wykreślić wykres fazowy zachowania się pocisku po uderzeniu w cel (rys. 1).



Rys. 1. Wykres fazowy dla ostrołukowego pocisku kalibru 6,35 mm uderzającego w tarczę ze stopu aluminium 2024T3 o grubości 6,35 mm [4]

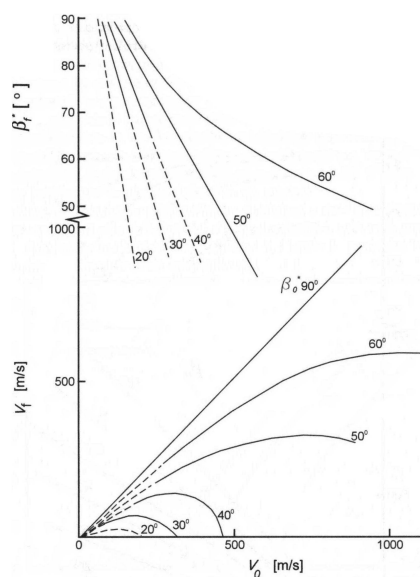
Fig. 1. Phase diagram for 6.35 mm caliber bullet (ogive shape) striking the shield made of aluminum alloy (2024T3 grade, thickness of 6.35 mm) [4]

W zależności od prędkości i kąta uderzenia możliwe jest następujące zachowanie się pocisku:

1. pocisk ulega zniszczeniu bez wnikania w tarczę;
2. pocisk wnika w tarczę i pozostaje w niej niezniszczony;
3. pocisk perforuje tarczę i ulega zniszczeniu;
4. pocisk perforuje tarczę i nie ulega zniszczeniu;
5. pocisk odbija się od tarczy i ulega zniszczeniu;
6. pocisk odbija się od tarczy i nie ulega zniszczeniu.

Ostatnie dwa zjawiska są szczególnie niebezpieczne. Zachodzą one najczęściej przy bardzo dużych kątach uderzenia pocisku $\theta > 60^\circ$.

Jeśli rykoszetujący pocisk po uderzeniu w cel odbije się od niego w całości, może znacznie zmienić prędkość i kierunek lotu (rys. 2). Takie same niebezpieczeństwo stwarzają pociski, które po uderzeniu w cel rozpadają się, a ich fragmenty rykoszetują w różnych kierunkach.



Rys. 2. Wykres prędkości i kąta odbicia (V_f , β_f) rykoszetu w funkcji prędkości początkowej V_0 i kąta uderzenia β_0 dla pocisku $12,7 \times 99$ mm M2 uderzającego w tarczę ze stali RHA [4]

Fig. 2. Chart for speed and angle of reflection (V_f , β_f) of ricochet as a function of muzzle velocity V_0 and angle of impact β_0 for .50 BMG M2 bullet striking the shield made of RHA steel [4]

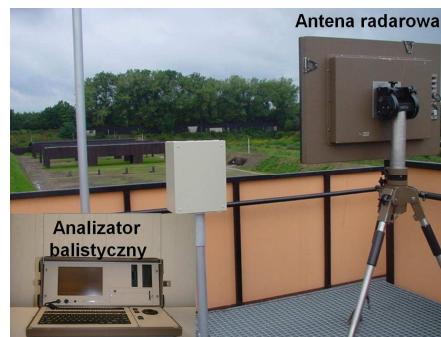
2. METODY BADAŃ

Ze względu na niebezpieczeństwo stwarzane przez rykoszetujące pociski broni strzeleckiej prowadzi się badania, które określają poziom zagrożenia stwarzanego przez poszczególne rodzaje amunicji.

Pierwszą i najprostszą metodą badania zjawiska rykoszetu jest użycie kilku przesłon wykonanych z kartonu, ustawionych za celem, w osi strzału i odsuniętych od siebie o określoną odległość. Pocisk, po odbiciu od celu, pozostawiał w kolejnych przesłonach kartonowych ślad umożliwiający określenie w przybliżeniu kształtu i toru lotu rykoszetu. Dzięki temu możliwa była jakościowa ocena zachowania się rykoszetującego na przeszkodzie pocisku. Podstawową wadą tej metody, poza brakiem pomiaru prędkości rykoszetu, jest utrudnienie badań, gdy odbicie następuje w stronę strzelającego, ponieważ ustawienie ekranów pomiędzy strzelcem a celem uniemożliwia dokładne oddanie strzału.

Ilościowe podejście do problemu możliwe było dopiero po zastosowaniu do prac badawczych drugiej metody pomiarów – radarów balistycznych, jednak nie bez pewnych niedogodności. Radar balistyczny zależnie od sposobu pomiaru, mierzy prędkość radialną bądź trajektorię lotu obiektu (a więc i prędkość), a prędkość jest obok masy podstawowym parametrem niezbędnym do obliczenia energii kinetycznej poruszającego się obiektu.

Ze względu na swoje duże wymiary oraz niezbędny minimalny przekrój poprzeczny śledzonego obiektu, radary śledzące nie mogą być wykorzystywane do badań rykoszetowania pocisków amunicji strzeleckiej. Zbyt mały przekrój poprzeczny obiektu śledzonego może dawać odbicie wiązki radarowej na poziomie nieodróżnialnym od szumów tła lub wymagające dużego wzmocnienia. W obydwu przypadkach wyniki takiego pomiaru nie mogą być uznane za wiarygodne.



Rys. 3. Dopplerowski zestaw balistyczny DR-5000 z anteną ED-6200 ustawiony na obiekcie strzelnicy garnizonowej, w celu rejestracji rykoszetu pocisków

Fig. 3. Ballistic radar DR-5000 with ED-6200 antenna positioned at garrison firing range to register bullet ricochet

Z kolei radary dopplerowskie (rys. 3) mierzące prędkość radialną obiektu ograniczone są ze względu na sposób pomiaru. Z obliczeń dokonanych w analizatorze balistycznym radaru dopplerowskiego można odczytać jedynie prędkość pocisku w osi pomiaru, co niestety może powodować przekłamania odczytu, jeśli pocisk nie zrykoszetował w osi strzału. Dodatkowym problemem jest również śledzenie obiektów o małym przekroju poprzecznym i dużej prędkości oraz obiektów nie dających odbicia wiązki radaru ze względu na swoją budowę. Utrudniony jest również pomiar prędkości odłamków powstałych podczas uderzenia prostopadłego w przeszkodę, ponieważ w tym wypadku elementy pocisku rozpraszają się promieniście od punktu trafienia w tej samej płaszczyźnie co trafiony obiekt, więc prędkość liniowa zarejestrowana przez radar jest niemal równa zero. Jednak niewątpliwą zaletą zastosowania systemów radarowych do badań rykoszetowania jest możliwość pomiaru spadku prędkości rykoszetu w funkcji drogi na torze lotu, co umożliwia aproksymowanie zasięgu odłamka lub całego pocisku.

Trzecią i zarazem najnowszą metodą jest wykorzystanie kamer do zdjęć szybkich (rys. 4) wraz ze specjalnym oprogramowaniem do obróbki filmów. Kamery do zdjęć szybkich zależnie od konfiguracji mogą filmować z prędkością do 1 200 000 klatek na sekundę. Dzięki tak dużej rozdzielczości rejestracji w czasie obszar poddawany badaniom celu i uderzającego pocisku można obserwować dokładnie nawet na kilkudziesięciu klatkach. Jeśli dodatkowo zastosowany zostanie raster służący do skalowania obrazu, możliwe jest wyliczenie prędkości oraz kąta odbicia rykoszetu od celu. Dodatkową zaletą zastosowania kamery jest możliwość obserwowania pocisku w momencie uderzenia w cel, a więc również sposobu, w jaki się odkształca bądź wnika w przeszkodę. Oczywiście, jak każda metoda, ta również ma wady. Pierwsza to problematyczność z zachowaniem ostrości podczas obserwowania obiektu, gdyż pocisk poruszający się w innej płaszczyźnie niż prostopadła do osi optycznej kamery jest niemal niewykorzystywany do pomiaru. Wynika to ze zmiennego przekroju obiektu widzianego przez kamerę (obiekt „kurczy się” przy oddalaniu od kamery). Drugą wadą to możliwość dokładnego pomiaru prędkości i kąta odbicia tylko w jednej płaszczyźnie, czyli w wymienionej płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej kamery. Jest to problem zbliżony do tego, który występuje w radarach dopplerowskich.



Rys. 4. Kamera do zdjęć szybkich Phantom v7.3 na stanowisku badawczym podczas rejestracji zjawiska rykoszetowania pocisków

Fig. 4. High speed camera Phantom v7.3 during ricochet phenomenon testing

Jeśli jednak zastosujemy dwie sprzężone kamery do zdjęć szybkich, otrzymamy system bardzo zbliżony do radaru śledzącego. Sprzężone kamery do zdjęć szybkich wraz z oprogramowaniem i odpowiednimi punktami odniesienia w terenie umożliwiają obserwowanie rykoszetu w trzech wymiarach, dzięki czemu dokładnie można określić kąt odbicia względem dowolnej płaszczyzny oraz składowe prędkości odłamka we wszystkich kierunkach. Podstawową wadą takiej metody jest brak możliwości śledzenia badanego obiektu na dużych odległościach.

Wszystkie powyższe metody umożliwiają pomiar prędkości i kątów odbicia rykoszetu z większą lub mniejszą dokładnością. Jednak na podstawie powyższych pomiarów nie jest możliwe określenie energii kinetycznej powstałego odłamka. Do obliczenia tej wartości niezbędna jest masa odłamka. Do wychwytywania odłamków można zastosować żelatynę balistyczną, miękką glinę, kurtyny aramidowe bądź poliuretanowe. Wszystkie te metody nie powodują wtórnego zniekształcenia wychwyconego rykoszetu. Niestety, jednoczesny pomiar trajektorii rykoszetu oraz jego wychwycenie, bez powodowania jego dalszych uszkodzeń są niemożliwe, ponieważ jeśli odłamek zostanie wychwycony zaraz po uderzeniu w przeszkodę, nie będziemy w stanie badać trajektorii jego lotu, z drugiej strony, jeśli pozwolimy odłamkowi na swobodny lot, jest niewielkie prawdopodobieństwo odnalezienia tego samego odłamka.

3. BADANIA AMUNICJI OR

W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia przebadana została amunicja OR produkcji ZM MESKO w następujących kalibrach: 9×18 mm; 9×19 mm; $5,56 \times 45$ mm; $7,62 \times 39$ mm; $7,62 \times 54R$ mm oraz $7,62 \times 51$ mm.

Amunicja ta w założeniu charakteryzuje się ograniczonym, w stosunku do amunicji standardowej, zasięgiem oraz mniejszą podatnością na rykoszetowanie.

Ze względu na brak norm krajowych oraz wzorców zagranicznych na badanie tego typu amunicji niezbędne było opracowanie ogólnego schematu badań podatności amunicji na rykoszetowanie.

Podczas badań mierzone były:

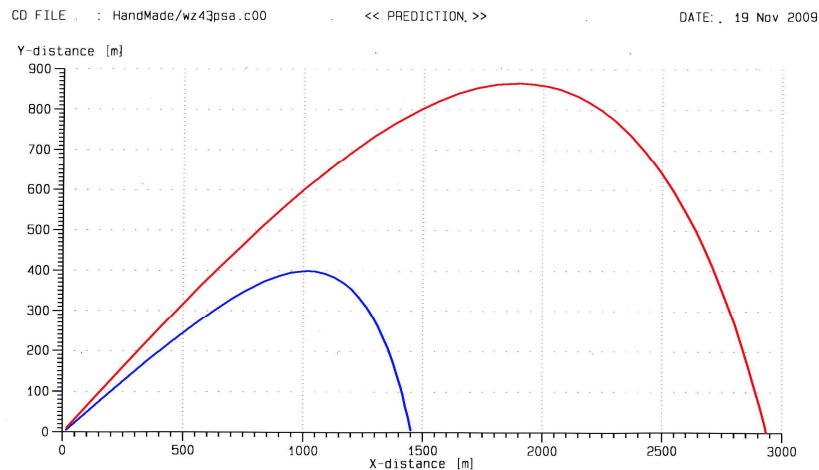
- maksymalna donośność badanej amunicji (badanie poligonowe);
- masa i kształt odłamków powstałych po trafieniach w cele różnego typu (badanie laboratoryjne);
- prędkość i kąt odbicia pocisku od celu (badanie laboratoryjne);
- prędkość i kąt odbicia pocisku na elementach infrastruktury strzelnicy (badanie poligonowe).

Powyższe pomiary były powtarzane dla każdego kalibru amunicji.

Ze względu na występujące pomiędzy poszczególnymi etatowymi jednostkami broni i lufami balistycznymi znaczne różnice w bruzdowaniu uznano, że podstawową bronią badawczą będą pistolety i karabinki, a lufy balistyczne spełnią jedynie funkcję pomocniczą. Do badań strzelaniem wytypowane zostały jednostki broni najczęściej używane w polskich służbach mundurowych w danym kalibrze, a więc odpowiednio: 9 × 18 mm pistolet P-83; 9 × 19 mm pistolet P-99; 5,56 × 45 mm kbk Beryl; 7,62 × 39 kbk AKM; 7,62 × 54R kw SWD oraz 7,62 × 51 mm kw SAKO TRG-22. Dodatkowo w przypadkach, gdy niezbędne było oddanie bardzo dokładnego strzału, wykorzystywane były lufy balistyczne skupieniowe danego kalibru.

Ze względu na specyfikę zjawiska uznano, iż wystarczające będzie przebadanie rykoszetowania przy kącie uderzenia θ równym 0°, 20°, 45° i 75°. Z kolei jako materiały ostrzeliwane zastosowane zostały materiały wykorzystywane do budowy strzelnic garnizonowych Wojska Polskiego, a więc: płyty betonowe, blachy ze stali miękkiej o grubości 10 mm, bale drewniane składane z kilku warstw belek sosnowych o grubości 1 cala. Dodatkowo przebadane zostało zachowanie pocisków na blasze wykonanej ze stali miękkiej o grubości 0,7 mm, z której na strzelnicach wykonuje się tarcze kontaktowe oraz „odbitki” od gruntu.

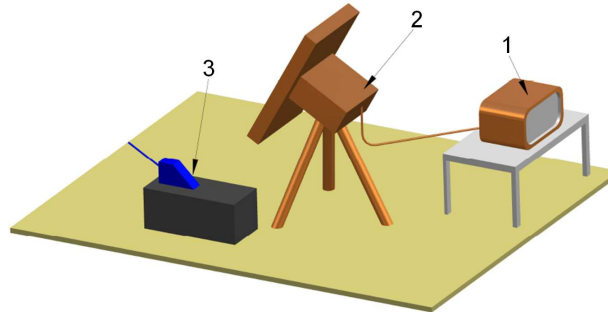
Celem pierwszego etapu badań było porównanie maksymalnego zasięgu (rys. 5) nowej amunicji z amunicją standardową (oznaczenie w tekście STD) wykorzystywaną w służbach mundurowych. Badanie polegało na oddaniu po 7 zaliczonych strzałów amunicją STD i OR z jednostki broni danego kalibru przy jednoczesnym pomiarze prędkości pocisków na torze lotu. Strzały były oddawane na kącie maksymalnej donośności dla danej jednostki broni. W ten sposób możliwe było porównanie prędkości początkowych i zasięgu amunicji STD i OR.



Rys. 5. Tory lotów pocisków naboju $7,62 \times 39$ mm wz.43 na kątach maksymalnego zasięgu; kolor czerwony – pocisk zwykły PS (kąt 33°), kolor niebieski – pocisk OR (kąt 27°)

Fig. 5. $7,62 \times 39$ mm bullet tracks during firing at maximum range angle, red line – standard bullet PS (angle of 33°), blue line – OR bullet (angle of 27°)

Podstawowym urządzeniem pomiarowym w tym etapie był dopplerowski zestaw balistyczny DR-5000 firmy TERMA Elektronik A.S. Dodatkowo zastosowana została kamera do zdjęć szybkich Vision Research Phantom v7.3, za pomocą której obserwowane było zachowanie pocisku w momencie opuszczania lufy. Schemat stanowiska badawczego przedstawiony został na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat stanowiska do pomiaru maksymalnego zasięgu, 1 – analizator balistyczny DR-5000, 2 – antena radarowa, 3 – stanowisko strzeleckie

Fig. 6. Schematic drawing of laboratory stand for bullet maximum range measurement, 1 – ballistic analyzer DR-5000, 2 – radar antenna, 3 – firing stand

W etapie drugim wykonywany był pomiar masy odłamków powstałych z pocisku po trafieniu w cel. Do wychwytywania odłamków wykorzystana została komora o wymiarach $1000 \times 1000 \times 1000$ mm wyłożona wewnątrz 20 warstwami aramid (rys. 9). Aby nie powodować deformacji pocisku przed uderzeniem w cel, w komorze wycięto okrągły otwór o średnicy 400 mm. Z kolei wyłożenie ścian i dachu komory luźnymi płachtami aramid umożliwiło wychwycenie powstałych odłamków bez ich wtórnej deformacji. W komorze próbka ustawiana była pod kątem imitującym odpowiedni kąt ostrzału. Do każdej próbki materiału, pod każdym z badanych kątów oddano 5 strzałów amunicją OR i dla porównania 1 strzał amunicją STD. Po każdym ze strzałów odłamki powstałe z pocisku wydobywane były z aramid (rys. 7 i 8), w celu przeprowadzenia pomiarów gabarytowo masowych. Następnie wykonywano pomiar masy największych odłamków z każdej piątki i obliczano średnią masę największego odłamka powstałego przy uderzeniu pod danym kątem w przeszkodę określonego typu.



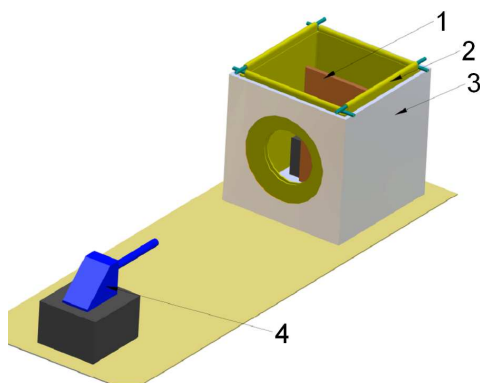
Rys. 7. Pocisk 9×19 mm OR po uderzeniu w płytę stalową o grubości 10 mm ($\theta = 75^\circ$)

Fig. 7. 9×19 mm OR bullet after striking at 10 mm thickness steel plate ($\theta = 75^\circ$)



Rys. 8. Pocisk $5,56 \times 45$ mm OR po uderzeniu w płytę betonową ($\theta = 45^\circ$)

Fig. 8. $5,56 \times 45$ mm OR bullet after striking at concrete slab ($\theta = 45^\circ$)

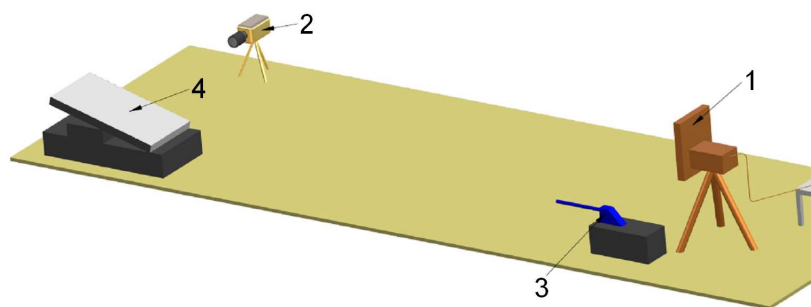


Rys. 9. Schemat stanowiska do wychwytywania odłamków (bez pokrywy wierzchniej)

1 – badana próbka, 2 – kurtyna aramidowa, 3 – komora balistyczna, 4 – stanowisko strzeleckie

Fig. 9. Schematic drawing of laboratory stand for capturing bullet fragments (without top cover), 1 – tested specimen, 2 – aramid curtain, 3 – ballistic chamber, 4 – firing stand

Ze względu na wymagania stawiane amunicji, czyli ograniczenie zasięgu rykoszetów powstałych po uderzeniu w przeszkodę, w etapie trzecim zdecydowano o wykorzystaniu do pomiaru parametrów odłamków zestawu radar + kamera do zdjęć szybkich (rys. 10).

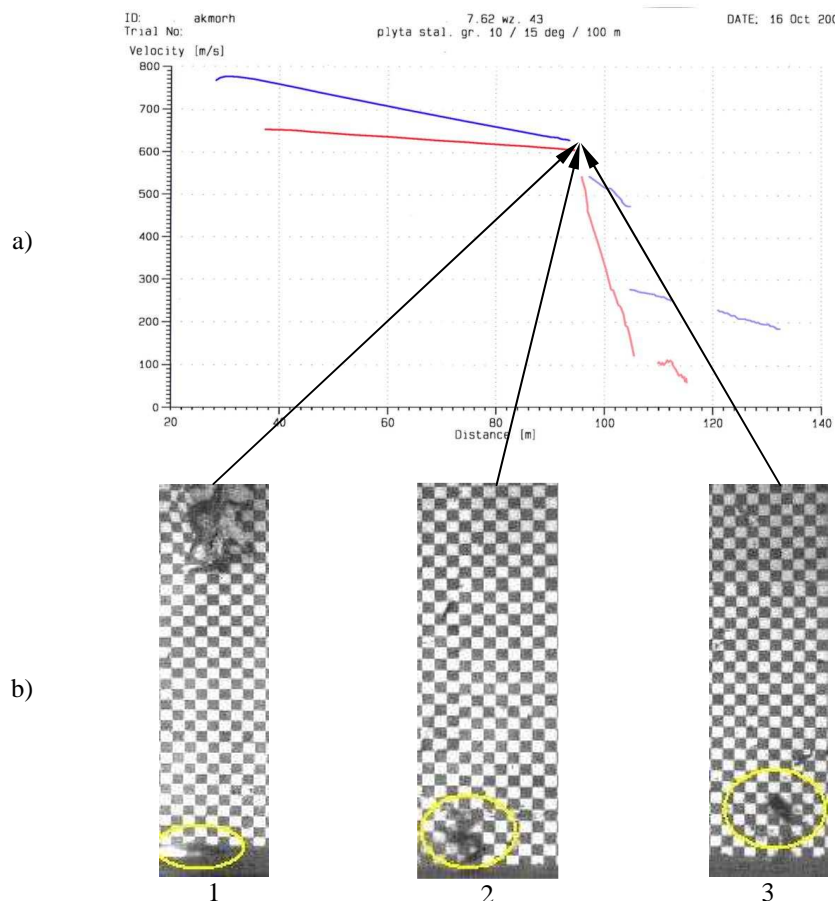


Rys. 10. Stanowisko do badania zachowania się pocisku podczas uderzenia w cel, 1 – antena radarowa, 2 – kamera do zdjęć szybkich, 3 – stanowisko strzeleckie, 4 – próbka badana

Fig. 10. Laboratory stand for registration the bullet behaviour during target impact, 1 – radar antenna, 2 – high speed camera, 3 – firing stand, 4 – tested specimen

Zestaw radarowy mierzył prędkość wylotową pocisku, spadek prędkości na przeszkodzie oraz przybliżony zasięg rykoszetu. Kamera do zdjęć szybkich wykorzystana została do obserwacji zachowania się pocisku w momencie tworzenia rykoszetu, określenia przybliżonego kąta odbicia od celu oraz w przypadku niejednoznacznych odczytów do identyfikacji zjawiska zarejestrowanego przez radar.

Kamera do zdjęć szybkich okazała się również niezbędna w przypadkach „zgubienia” śledzonego obiektu przez radar balistyczny. Zsynchronizowanie pomiarów z kamery do zdjęć szybkich i radaru dopplerowskiego oraz użycie charakterystyk masowych rykoszetów otrzymanych w etapie drugim umożliwiły określenie energetyczności, zagrożeń powodowanych przez rykoszet pocisku oraz ich maksymalnego zasięgu. Podobnie jak w etapie drugim, kąt uderzenia pocisku w cel uzyskiwany był poprzez odpowiednie pochylenie badanej próbki. Również liczba strzałów oddanych za pomocą poszczególnych rodzajów amunicji była taka jak w etapie drugim, a więc 5 strzałów z amunicji OR i 1 strzał porównawczy z amunicji STD. Na rysunkach 11a i 11b przedstawione zostały wizualizacje zjawiska rykoszetowania amunicji 7,62 mm wz.43 od płyty stalowej grubości 10 mm. Rysunek 11b/1 przedstawia moment uderzenia pocisku w przeszkodę. Na rysunku 11b/2 przedstawiono pocisk 0,2 ms po trafieniu w przeszkodę. Rysunek 11b/3 przedstawia rykoszetujący, zniekształcony pocisk po 0,56 ms od trafienia w przeszkodę.

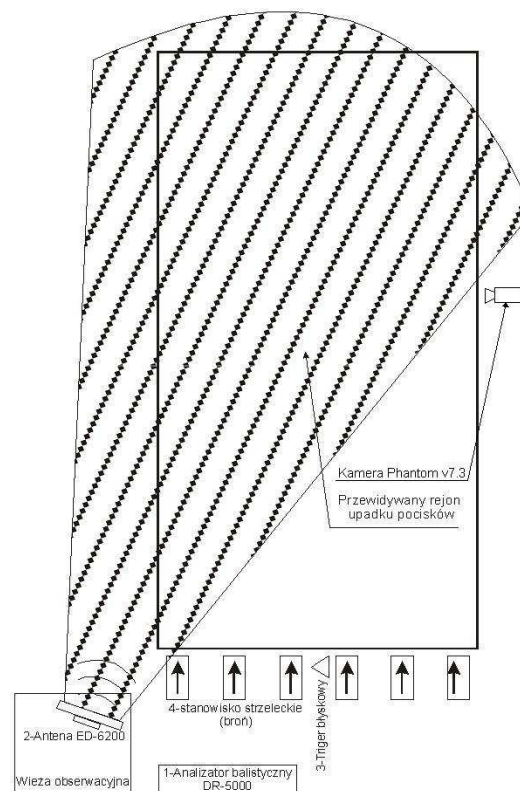


Rys. 11. Część „a” rysunku wizualizuje prędkość w funkcji drogi pocisków naboju $7,62 \times 39$ mm przy uderzeniu w cel, w postaci płyty stalowej zwykłej jakości o grubości 10 mm; kąt uderzenia 75° , odległość do celu 98 m, kolor czerwony – pocisk zwykły PS, kolor niebieski – pocisk OR. Część „b” rysunku przedstawia zjawiska rykoszetu amunicji $7,62 \times 39$ mm zarejestrowane przez kamerę do zdjęć szybkich. Uderzenie w cel w postaci płyty stalowej zwykłej jakości 10 mm; kąt uderzenia 75° , kąt odbicia 5° ; zaobserwowano znaczną destabilizację pocisku po uderzeniu oraz wyraźną zmianę kształtu

Fig. 11. Part „a” of figure visualizes $7,62 \times 39$ mm bullet velocity as a function of distance during impact at 10 mm thickness steel plate (normal grade) at 75° angle of incidence at a distance of 98 m, red line – bullet OR, blue line – standard PS bullet; part „b” of figure visualizes $7,62 \times 39$ mm PS bullet ricochet phenomenon captured by high speed camera. Figures show bullet impact at 10 mm thickness normal grade steel plate, with bullet incidence angle of 75° and ricochet angle of 5° . Significant destabilization and change in shape after impact can be observed

Rysunek 11b przedstawia wizualizację zachowania się rykoszetującej amunicji w trzech punktach toru lotu, odniesione do przebiegu prędkości uzyskanej za pomocą dopplerowskiego zestawu balistycznego (rys. 11a).

Etap czwarty przeprowadzony na terenie strzelnicy garnizonowej w Wesołej miał na celu zweryfikowanie wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych w etapie trzecim. Dzięki prowadzeniu ognia z rzeczywistych stanowisk strzeleckich możliwe było skontrolowanie zachowania się pocisków w warunkach rzeczywistych. Schemat stanowiska pomiarowego podczas badań na strzelnicy garnizonowej przedstawiono na rysunku 12. Najczęściej popełnianym na strzelnicach błędem jest oddawanie strzałów w krawędzie okna pierwszej przestony. Ponieważ wykonana jest ona z belek drewnianych i płyt stalowych, istnieje realne ryzyko powstania rykoszetów mogących wydostać się za obwałowania obiektu.



Rys. 12. Schemat stanowiska badawczego podczas badań na strzelnicy garnizonowej

Fig. 12. Schematic drawing of ricochet ammunition testing at garrison shooting range

Przebadane zostało również zachowanie się pocisków podczas strzelania „odbitkowego” od gruntu, co powoduje również niebezpieczeństwo wydostania się takiego, niemal niezniekształconego, rykoszetu poza infrastrukturę strzelnicy. Niezbędne okazało się również przebadanie zachowania się pocisków przy trafieniu w koronę wałów pośrednich.

Wały te chronią systemy elektromechaniczne tarcz kontaktowych przed zniszczeniem podczas strzelań, jednak ze względu na sposób prowadzenia ognia są bardzo narażone na erozję spowodowaną trafieniami pocisków. Za niezbędne uznano również przebadanie zachowania się pocisku po przejściu przez tarczę kontaktową zamontowaną na uruchomionym mechanizmie podniesieniowym. Wszystkie strzelania w etapie czwartym rejestrowane były za pomocą radaru balistycznego oraz kamery do zdjęć szybkich, a do badań wykorzystywane były te same jednostki broni co w badaniach laboratoryjnych. Ze względu na trudne warunki pogodowe, a co za tym idzie problemy z rejestracją za pomocą kamery do zdjęć szybkich, niezbędne było wielokrotne powtarzanie strzałów. Wynikało to z konieczności jednoczesnego uzyskania miarodajnego przebiegu na radarze balistycznym i wyraźnego filmu z kamery do zdjęć szybkich. Jednak docelowo wykonywano pomiary aż do uzyskania trzech do pięciu zaliczonych wyników dla amunicji OR oraz jednego dla amunicji standardowej.

4. WNIOSKI

Po przeprowadzeniu badań oraz analizie otrzymanych wyników wyciągnięte zostały następujące wnioski:

- 1) Dzięki jednoczesnemu zastosowaniu dopplerowskiego zestawu balistycznego, kamery do zdjęć szybkich i komory balistycznej podczas badań amunicji o ograniczonym rykoszetowaniu, możliwe było określenie zasadniczych charakterystyk pocisków i ich rykoszetów.
- 2) Z największą dokładnością (0,3%) określono maksymalną donośność pocisków amunicji o ograniczonym rykoszetowaniu, co było podstawą do wyznaczenia stref ochronnych wokół obiektów strzelnic. Pomiar ten został wykonany za pomocą dopplerowskiego zestawu balistycznego TERMA DR5000.
- 3) Dokładność wyznaczenia zasięgu pocisków rykoszetujących oceniono na ok. 5%. Zwiększenie dokładności będzie możliwe poprzez:
 - zastosowanie kamery do zdjęć szybkich o większej prędkości nagrywania i większej rozdzielczości;
 - zastosowanie dwóch kamer do zdjęć szybkich, co umożliwi określenie toru lotu rykoszetu w trzech wymiarach;
 - zastosowanie radaru śledzącego lub anteny radarowej o szerokiej wiązce;

- zastosowanie materiału, z którego wykonane są przesłony w komorze balistycznej, który umożliwi określenie kątów odbicia rykoszetów od przeszkody.

LITERATURA

- [1] Stępnia W., Olejniczak E., Wojciechowski W., Nowe możliwości badań balistycznych w WITU z wykorzystaniem radaru dopplerowskiego, *Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji*, nr 56, s. 53-58, 1995.
- [2] Stępnia W., Gacek J., Gąsiorowski M., Wyznaczanie współczynnika oporu czołowego pocisku na podstawie wyników pomiaru radarem, *Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji*, nr 65, s. 119-134, 1998.
- [3] Gacek J., Titoni J., Woźniak R., Badania odporności niektórych materiałów elementów konstrukcyjnych strzelnic na przebiecie pociskami strzeleckimi, *V Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia nt. „Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia”*, Waplewo, 6-8 października 2004 r.
- [4] Włodarczyk E., *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej*, WAT, Warszawa, 2006.

Small Arms Ammunition Ricochet Phenomenon Testing Methods

Wiesław STĘPNIAK, Przemysław SIDELNIK, Bartosz KOZERA

Abstract. This article describes selected methods of testing and analyzing small arms ammunition ricochet. Described test method has been used to assay anti-ricochet ammunition in 5,56 mm, 7,62 mm and 9 mm caliber. Doppler radar system DR-5000 and high-speed camera Phantom v7.3 was used during tests. The article presents the characteristics of both measuring methods and selected results of the measurements acquired after synchronization of these techniques, in order to obtain the actual characteristics of the tested object and a full assessment of the new ammunition ricochet phenomenon compared with ammunition that is currently in use.

Keywords: mechanics, ballistics, ricochet, test