

METODY BADANIA ZJAWISKA RYKOSZETOWANIA AMUNICJI NA PRZYKŁADZIE BADAŃ AMUNICJI O OGRANICZONYM RYKOSZETOWANIU

Streszczenie: Poniższy artykuł opisuje wybrane metody badań zjawiska rykoszetu pocisku amunicji strzeleckiej. Przedstawiony sposób prowadzenia badań został wykorzystany do badania amunicji o ograniczonym rykoszetowaniu. Do badań tych została wykorzystana kamera 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 synchronizacji powyższych technik pomiarowych, celem uzyskania rzeczywistych charakterystyk badanego obiektu i pełnej oceny zjawiska rykoszetu nowej amunicji, w porównaniu z amunicją bojową znajdującą się aktualnie w eksploatacji.

TEST METHODS OF SMALL ARMS AMMUNITION RICOCHET PHENOMENON ON THE EXAMPLE OF ANTI-RICOCHET AMMUNITION TESTING

Abstract: This article describes selected methods of testing and analysing small arms ammunition ricochet. Described test method has been used to assay anti-ricochet ammunition. 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.

1. Wstęp

Zjawisko odbicia (rykoszetowania) obiektu poruszającego się od obiektu nieruchomego jest znane od bardzo dawna. 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”), czy w grach bilardowych gdzie bez pełnej wiedzy na temat zachowania się bil niemożliwa byłaby dokładna gra, ani wykonywanie trików.

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

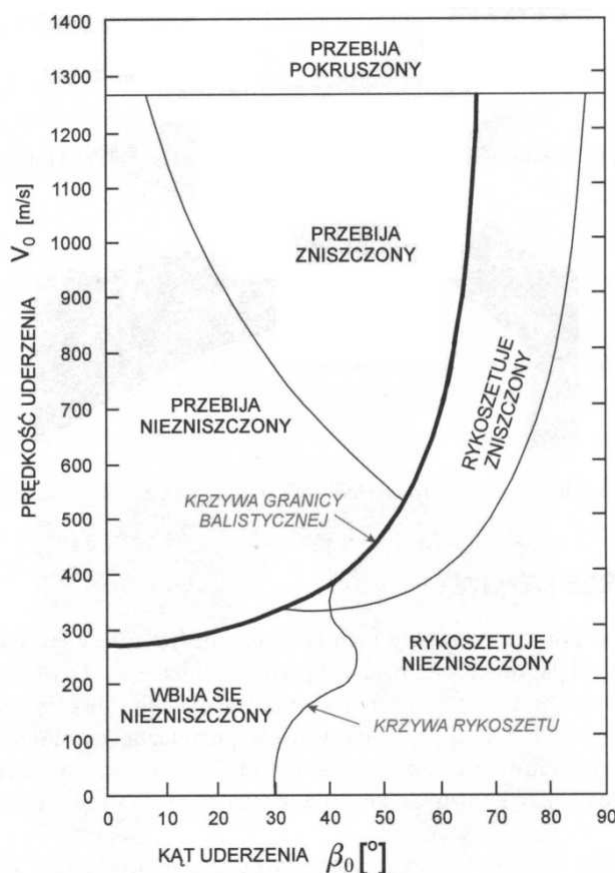
W zagadnieniach techniki wojskowej, a dokładniej w technice strzelań problem rykoszetu jest pożądanym lub nie. W strzelaniach z broni artyleryjskiej jednym ze sposobów

przewodzenia ognia uwzględnionych w tabelach strzelniczych jest tak zwane strzelanie odbitkowe, czyli strzelanie z wykorzystaniem odbicia od gruntu przed celem.

Z drugiej strony 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 mierzony jest pomiędzy torem lotu pocisku a prostą 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 (Wyk. 1).



Wyk.1. Wykres fazowy dla ostrołukowego pocisku kalibru 6,35 mm uderzającego w tarczę ze stopu aluminium 2024T3 o grubości 6,35 mm [Włodarczyk E., „Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej”, WAT, Warszawa, 2006].

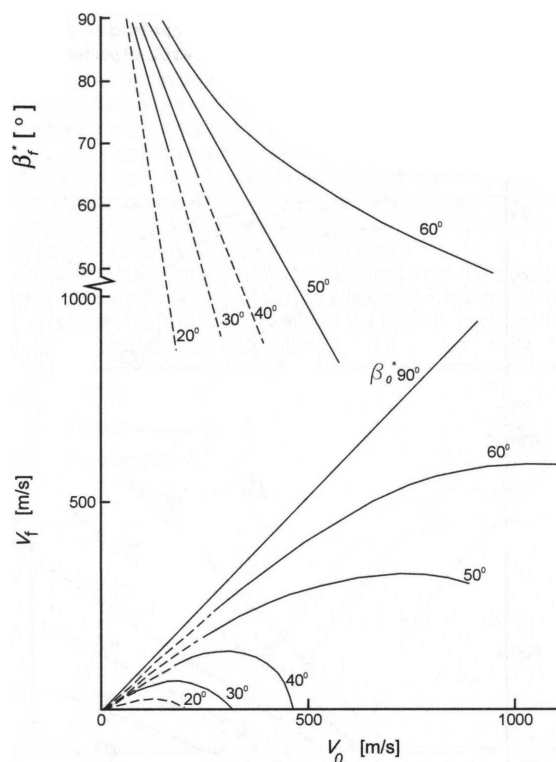
W zależności od prędkości i kąta uderzenia możliwe jest następujące zachowanie się pocisku:

- 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 (Wyk.2.). Takie samo niebezpieczeństwo stwarzają pociski, które po uderzeniu w cel rozpadają się, a ich fragmenty rykoszetują w różnych kierunkach.



Wyk.2. Wykres prędkości i kąta odbicia (V_r , β_r) rykoszetu w funkcji prędkości początkowej V_0 i kąta uderzenia β_0 dla pocisku 12,7x99 mm M2 uderzającego w tarczę z RHA [Włodarczyk E., „Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej”, WAT, Warszawa, 2006].

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.

Najstarszą 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 kształt i tor 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 zaimplementowaniu do prac badawczych 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 jak wiadomo prędkość jest obok masy podstawowym

parametrem niezbędnym do obliczenia energii kinetycznej poruszającego się obiektu.



Fot.1. Dopplerowski zestaw balistyczny DR-5000 z anteną ED-6200 ustawiony na obiekcie strzelnicy garnizonowej, celem rejestracji rykoszetu pocisków.

Ze względu na swoje duże gabaryty 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.

Z kolei radary dopplerowskie (Fot.1) mierzące prędkość radialną obiektu ograniczone są ze względu na sposób pomiaru. Z obliczeń dokonanych w systemie komputerowym radaru dopplerowskiego można odczytać jedynie prędkość pocisku w osi pomiaru, co może powodować przekłamanie 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. Niemożliwy jest również pomiar prędkości odłamków powstałych przy uderzeniu prostopadłym 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 (Fot.2) wraz ze specjalnym oprogramowaniem do obróbki filmów. Kamery do zdjęć szybkich zależnie od konfiguracji mogą filmować z prędkością do 1200000 klatek na sekundę. Dzięki tak dużej rozdzielczości rejestracji w czasie, obszar poddawanego 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 co za tym idzie sposobu w jaki się odkształca bądź wnika w przeszkodę. Metoda ta posiada również wady. Pierwsza z nich to problemy 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 płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej kamery. Jest to problem zbliżony do tego, który występuje w radarach dopplerowskich.



Fot 2. Kamera do zdjęć szybkich Phantom v7.3, na stanowisku badawczym podczas rejestracji zjawiska rykoszetowania pocisków.

Jeśli jednak zastosujemy dwie sprzężone kamery do zdjęć szybkich, to 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.

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 jest niemożliwy, ponieważ jeśli odłamek zostanie wychwycony zaraz po uderzeniu w przeszkodę, nie będzie możliwości zbadania trajektorii jego lotu, z drugiej strony jeśli pozwolimy odłamekowi na swobodny lot jest niewielkie prawdopodobieństwo odnalezienia tego samego odłamka.

3. Badania amunicji OR

W WITU wykonano badania amunicji OR produkcji ZM MESKO o następujących kalibrach: 9x18 mm; 9x19 mm; 5,56x45 mm; 7,62x39 mm; 7,62x54R oraz 7,62x51 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.

Schematu badań składał się z następujących testów:

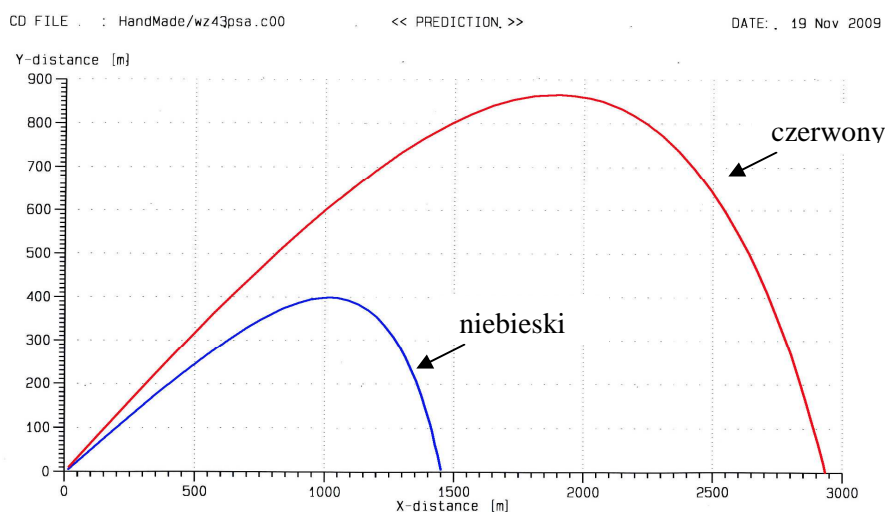
- pomiar maksymalnej donośności badanej amunicji (badanie poligonowe),
- pomiar masy i kształtu odłamków powstałych po trafieniach w cele różnego typu (badanie laboratoryjne),
- pomiar prędkości i kąta odbicia pocisku od celu (badanie laboratoryjne),
- pomiar prędkości i kąta odbicia pocisku na elementach infrastruktury strzelnicy (badanie poligonowe).

Powyższy schemat badań był realizowany 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 rolę pomocniczą. Do badań strzelaniem wytypowane zostały jednostki broni najczęściej używane w polskich służbach mundurowych w danym kalibrze, a więc odpowiednio: 9x18 mm pistolet P-83; 9x19 mm pistolet P-99; 5,56x45 mm kbk Beryl; 7,62x39 kbk AKM; 7,62x54R kw SWD oraz 7,62x51 mm kw SAKO TRG-22. Dodatkowo w przypadkach, gdy niezbędne było oddanie bardzo dokładnego strzału, wykorzystywane były lufy balistyczne skupieniowe danego kalibru.

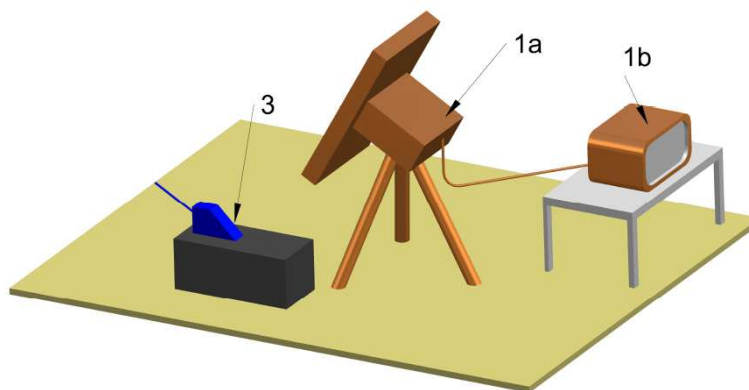
Ze względu na specyfikę zjawiska uznano, iż wystarczające będzie przebadanie rykoszetowania przy kątach uderzenia 0° , 20° , 45° i 75° . Jako materiały ostrzeliwane zastosowane zostały materiały wykorzystywane do budowy strzelnic garnizonowych w Wojsku Polskim, a więc: płyty betonowe, blachy ze stali miękkiej o grubości 10 mm, bale drewniane składane z kilku warstw belek sosnowych o grubości 1 cala. Dodatkowo przebadane zostało zachowanie się pocisków przy użyciu blachy 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. 1) 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 przy kącie maksymalnej donośności dla danej jednostki broni. W ten sposób możliwe było porównanie prędkości początkowych i zasięgu amunicji STD i OR.



Rys. 1. Tory lotów pocisków naboju 7,62x39 mm wz.43 przy kątach maksymalnego zasięgu; kolor czerwony – pocisk zwykły PS (kąt 33°), kolor niebieski – pocisk OR (kąt 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, przy pomocy której obserwowane było zachowanie pocisku w momencie opuszczania lufy. Schemat stanowiska badawczego przedstawiony został na rysunku 2.



Rys 2 Schemat stanowiska do pomiaru maksymalnego zasięgu, 1a – antena radarowa, 1b – komputer balistyczny DR-5000, 3 - stanowisko strzeleckie

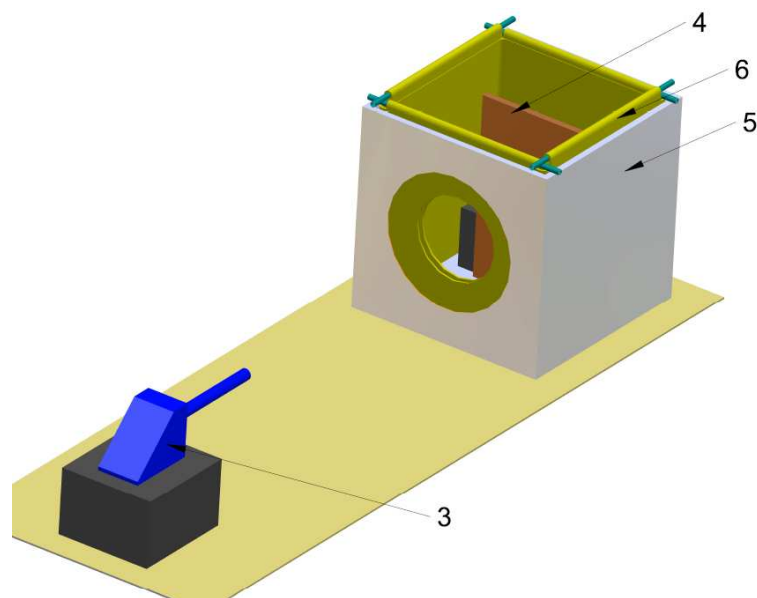
W etapie drugim wykonywany był pomiar masy odłamków powstałych z pocisku po trafieniu w cel. Do wychwytywania odłamków wykorzystana została komora o wymiarach 1000 x 1000 x 1000 mm wyłożona wewnątrz 20 warstwami aramid (Rys.3). W komorze wycięto okrągły otwór o średnicy 400 mm, aby nie powodować deformacji pocisku przed uderzeniem w cel. Wyłożenie ścian i dachu komory luźnymi płachtami aramid umożliwiło wychwycenie powstałych odłamków bez ich wtórnej deformacji. Próbkę w komorze 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 (Fot.3, Fot.4), celem 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.



Fot 3. Pocisk 9x19 mm OR po uderzeniu w płytę stalową o grubości 10mm ($\Theta=75^\circ$) ($\Theta=45^\circ$)

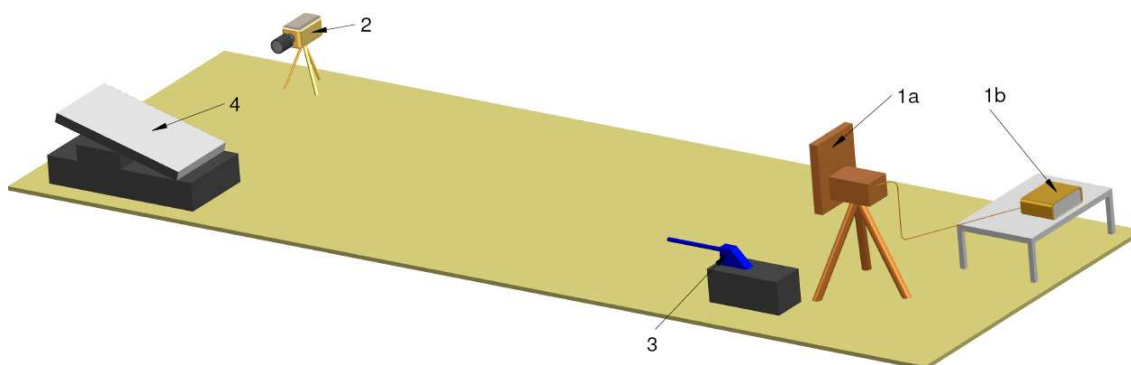


Fot 4. Pocisk 5,56x45 mm OR po uderzeniu w płytę betonową



Rys.3. Schemat stanowiska do wychwytywania odłamków (bez pokrywy wierzchniej) 3 – stanowisko strzeleckie, 4 – badana próbka, 5 – komora, 6 – kurtyna aramidowa.

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.4).

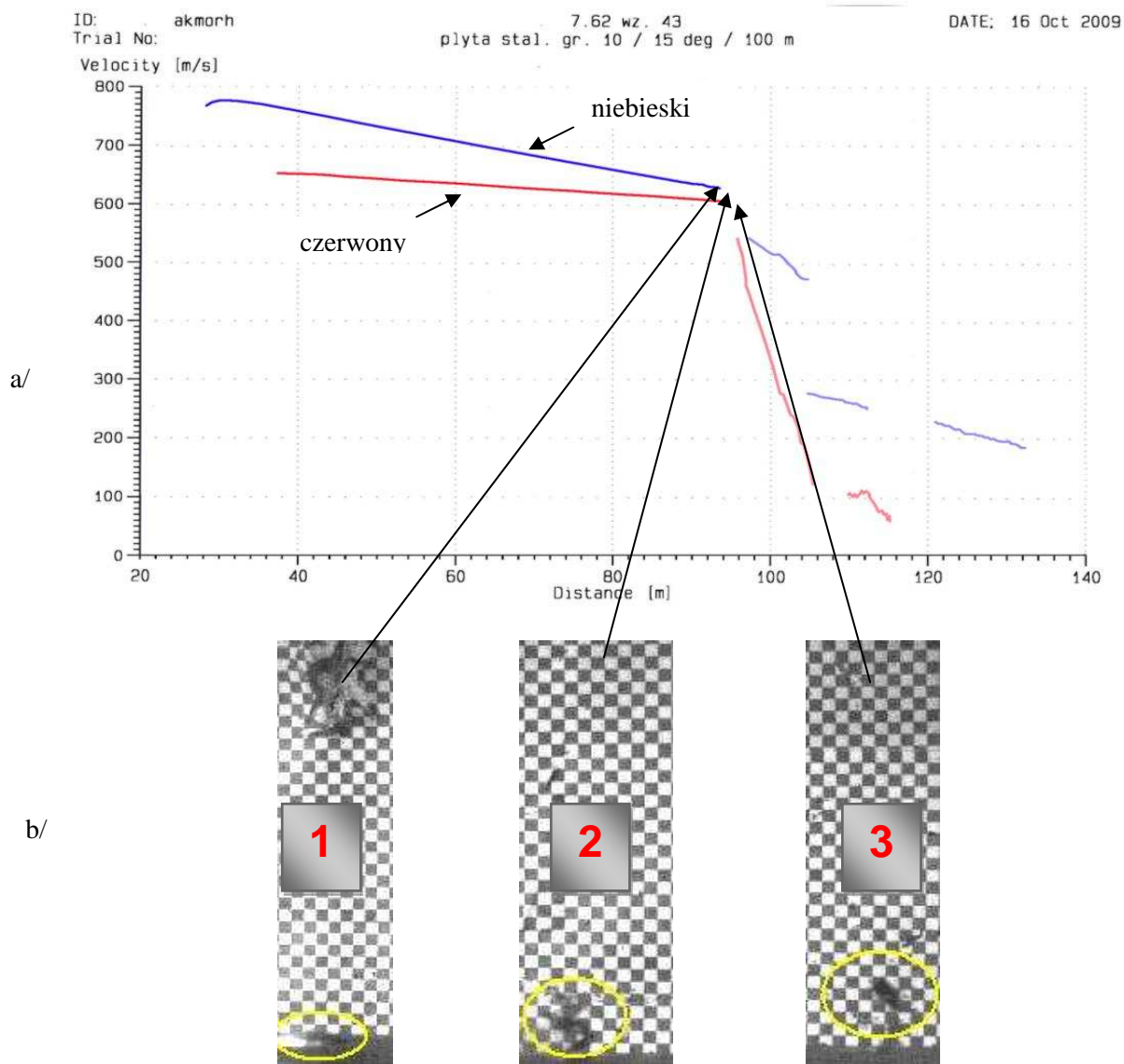


Rys.4 Stanowisko do badania zachowania się pocisku podczas uderzenia w cel, 1a,b – dopplerowski zestaw balistyczny, 2 – kamera do zdjęć szybkich, 3 – stanowisko strzeleckie, 4 – próbka badana

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.

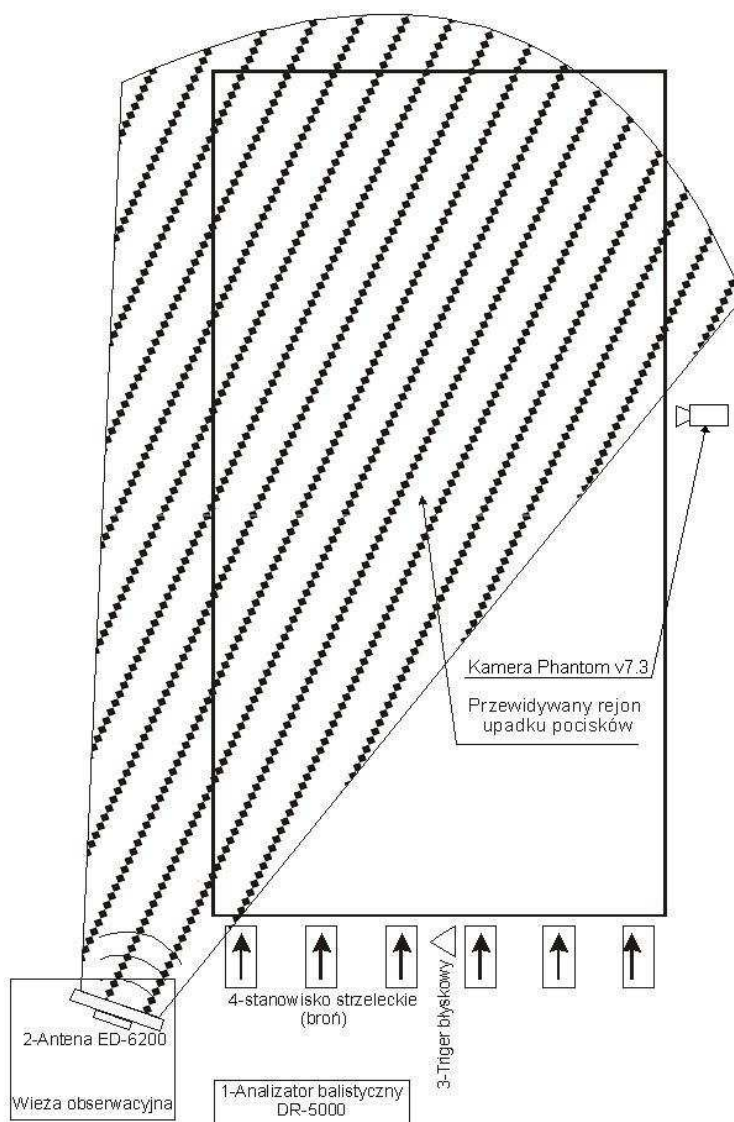
Kamera do zdjęć szybkich okazała się również niezbędna w przypadkach „zgubienia” śledzonego obiektu przez radar balistyczny. Zsynchronizowanie pomiarów z kamery do zdjęć szybkich i radaru dopplerowskiego oraz użycie charakterystyk masowych rykoszetów otrzymanych w etapie drugim, umożliwiły określenie 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 przy pomocy 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 5a, 5b przedstawione zostały wizualizacje zjawiska rykoszetowania amunicji 7,62 wz.43 od płyty stalowej grubości 10 mm. Rys. 5b/1 przedstawia moment uderzenia pocisku w przeszkodę. Na rysunku 5b/2 przedstawiono pocisk 0,2 ms po trafieniu w przeszkodę. Rys.5b/3 przedstawia rykoszetujący, zniekształcony pocisk po 0,56 ms od trafienia w przeszkodę. Rysunek 5b przedstawia wizualizacje zachowania się rykoszetującej amunicji w trzech punktach toru lotu, odniesione do przebiegu prędkości uzyskanej za pomocą dopplerowskiego zestawu balistycznego rys 5a.



Rys. 5 a/ Prędkość w funkcji drogi pocisków naboju 7,62x39 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
b/ Wizualizacja zjawiska rykoszetu amunicji 7,62x39 mm zarejestrowana 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.

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 6. Najczęściej popełnianym na strzelnicach błędem jest oddawanie strzałów w krawędzie okna pierwszej przesłony. Ponieważ wykonana jest ona z belek drewnianych i płyt stalowych, istnieje realne ryzyko powstania rykoszetów mogących wydostać się za obwałowania obiektu.



Rys. 6 Schemat stanowiska badawczego podczas badań na strzelnicy garnizonowej

Przebadane zostało również zachowanie się pocisków podczas strzelania „odbitkowego” od gruntu, co powoduje również niebezpieczeństwo wydostania się niemal niezniekształconego rykoszetu poza infrastrukturę strzelnicy. Niezbędne okazało się również przebadanie zachowania się pocisków przy trafieniu w koronę wałów pośrednich. Wały te ochraniają 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. Strzelania w etapie czwartym rejestrowane były przy pomocy radaru balistycznego oraz kamery do zdjęć szybkich. Do badań wykorzystywane były te same jednostki broni co w badaniach laboratoryjnych. Ze względu na trudne warunki pogodowe i problemy z rejestracją przy pomocy 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. Docelowo wykonywano pomiary aż do uzyskania trzech do pięciu zaliczonych wyników dla amunicji OR oraz jednego dla amunicji standardowej.

4. Wnioski

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, co było podstawą do wyznaczenia stref ochronnych wokół obiektów strzelnic. Podczas badań zaobserwowano następujące zjawiska wynikające z zastosowania tych metod pomiarowych.

1. W przypadku, gdy kamera ustawiona jest prostopadle do linii strzału, zarejestrowane filmy lub odczyty z radaru, rozpatrywane samodzielnie i po zsynchronizowaniu, nie dają wyników na tyle jednoznacznych, aby dokładnie określić kąt odbicia rykoszetu w kierunku, a jedynie w elewacji. Wynika to z jednowymiarowości pomiarów wykonywanych przy pomocy kamery i sposobu rejestracji parametrów w zestawie balistycznym. W przypadku prowadzonych w WITU badań, dokładność pomiarów wykonywanych przez powyższe urządzenia była wystarczająca.
2. Jeśli niezbędne byłoby uzyskanie pomiarów obarczonych mniejszym błędem, konieczne staje się użycie dwóch kamer do zdjęć szybkich w połączeniu z dopplerowskim zestawem balistycznym. Zastosowanie dwóch zsynchronizowanych kamer odpowiednio ustawionych względem siebie, umożliwiłoby uzyskanie trójwymiarowego obrazu, a co za tym idzie pomiaru kąta odbicia w każdej z płaszczyzn.
3. Zastosowana podczas badań komora balistyczna do wychwytywania odłamków spełniła dobrze swoje zadanie. Nie stwierdzono uszkodzeń odłamków spowodowanych przez wtórne odbicie od ścian komory. Jednakże podczas ostrzału 10 mm płyty stalowej pod kątem $\Theta=75^\circ$ przy pomocy amunicji karabinowej nastąpiło wydostanie się kilku rykoszetów z komory. Było to wynikiem dużej energii kinetycznej rykoszetów i przebicia kurtyny aramidowej oraz ścianki komory. Z doświadczeń uzyskanych podczas badań wynika, że zastosowanie komory balistycznej jest dobrym rozwiązaniem, jednak w przyszłych zastosowaniach należy rozważyć użycie innego materiału wychwytyjącego odłamki (polietylen, żelatyna balistyczna) lub większej liczby warstw kurtyny aramidowej.

Przedstawione metody badań amunicji o ograniczonym rykoszetowaniu mogą być, po niewielkich udoskonaleniach, stosowane w badaniach balistyki końcowej amunicji strzeleckiej.

Literatura

- a. STĘPNIAK W., OLEJNICZAK E., WOJCIECHOWSKI W.: Nowe możliwości badań balistycznych w WITU z wykorzystaniem radaru Dopplerowskiego. - PROBL.TECH.UZBR.I RADIOL. 1995 nr 56 s.53-58

- b. STĘPNIAK W., GACEK J., GĄSIOROWSKI M.: Wyznaczanie współczynnika oporu czołowego pocisku na podstawie wyników pomiaru radarem. - PROBL.TECH.UZBR.I RADIOL. 1998 nr 65 s.119-134
- c. GACEK J., TITONI J., WOŹNIAK R., - „Badania odporności niektórych materiałów elementów konstrukcyjnych strzelnic na przebicie pociskami strzeleckimi” – materiały z V Międzynarodowej Konwencji Uzbrojenia
Włodarczyk E., „Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej”, WAT, Warszawa, 2006