



KAMERA DO ZDJĘĆ SZYBKICH JAKO URZĄDZENIE ZASTĘPCZE DO POMIARU PRĘDKOŚCI POCISKU

Tomasz MERDA
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

Streszczenie: W artykule przedstawiono metodę szybkiego określania prędkości początkowej pocisku za pomocą kamery do zdjęć szybkich. Sugerowana jest ona jako metoda pomocnicza, w sytuacji, w której zawiedzie podstawowe urządzenie pomiarowe a konieczne jest uzyskanie wyniku badania. Jednocześnie jest to metoda łatwa do zastosowania oraz nie wymaga specjalnego przygotowania kamery oraz zaawansowanej obróbki danych jak w wypadku klasycznych metod analizy obrazu. Podstawową i najważniejszą jej zaletą jest możliwość uzyskania pomiaru po badaniu wykorzystując do tego celu wyłącznie zarejestrowany film i znane wyniki pomiarów. Metodykę pomiaru pokazano na przykładzie przeprowadzonego strzelania z rzeczywistymi wynikami, w którym wystąpił problem braku pomiaru w trakcie badań. Przedstawiono przykładowe obliczenia i określono wielkości błędów tej metody dla podanego przykładu. Określono też czynniki, które wpływają na dokładność tej metody.

Słowa kluczowe: pomiar prędkości, kamera do zdjęć szybkich, badania poligonowe

HIGH SPEED CAMERA AS A REPLACING DEVICE TO MEASURE PROJECTILE VELOCITY

Tomasz MERDA
Military Institute of Armament Technology

Abstract: In the article a method of measuring the projectile velocity with the use of high speed camera in case when a primary measuring device (radar etc.) fails to work properly has been described. The method is simple, fast and doesn't need special camera placement or special software (only calculator). The method has been presented on the basis of a real example when radar fails to measure velocity of one shot. For estimation of the accuracy of the method the calculated velocities are compared with ones obtained from the radar.

Keywords: velocity measurement, high speed camera, proving ground tests

1. Wstęp

Podczas badań strzelaniem amunicji artyleryjskiej praktycznie zawsze przeprowadza się pomiar prędkości początkowej pocisku. W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia (WITU) stosowane są do tego radarowe stanowiska pomiarowe w postaci radarów Dopplera. Dodatkowo początkowy odcinek toru lotu pocisku jest najczęściej filmowany kamerą do

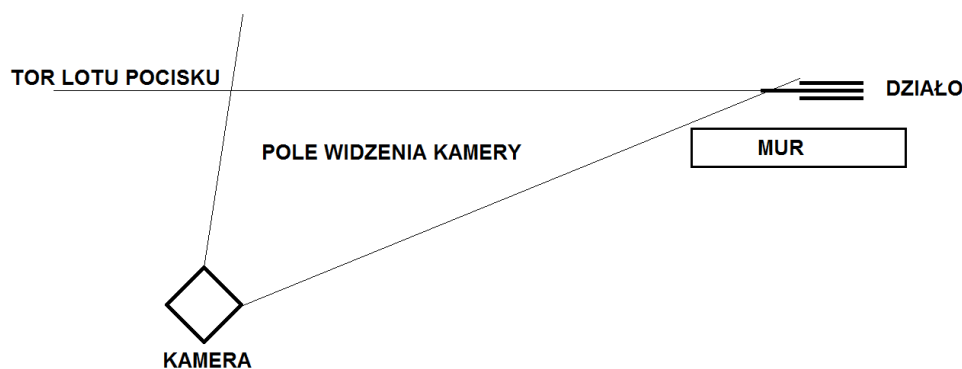
zdjęć szybkich, w celu określenia prawidłowości funkcjonowania naboju. Kamery do zdjęć szybkich mogą być wykorzystywane do pomiaru prędkości pocisków. Jednakże, żeby pomiar był dokładny, należy w skomplikowany i precyzyjny sposób ustawić i przygotować kamerę. Dodatkowo później film należy opracować za pomocą specjalistycznego oprogramowania, co zajmuje dużo czasu. Często w warunkach poligonowych nie ma miejsca i czasu na wykonanie tych czynności i kamera do zdjęć szybkich nagrywa filmy, z których nie można potem wyznaczyć prawidłowo prędkości standardowymi metodami.

Mimo zachowania należytej staranności i sumienności obsługi zdarza się, że nie otrzymuje się wyniku pomiaru prędkości z radaru. Jest to szczególnie niekorzystne podczas badań balistyki wewnętrznej, gdzie obok ciśnienia jest to główny parametr określający zachowanie ładunku prochowego. Nie musi to jednak oznaczać, że nie uzyskamy wyniku. W dalszej części artykułu przedstawiona jest zastępcza, uproszczona metoda pomiaru prędkości z wykorzystaniem kamery do zdjęć szybkich. Metoda ta służy, do pomiaru prędkości pocisku w przypadku, gdy nie otrzyma się pomiaru z głównego urządzenia pomiarowego (radaru). Jednocześnie nie wymaga ona szczególnego ustawienia i przygotowania kamery i może być stosowana doraźnie w większości przypadków.

2. Opis badania

Metodę pomiarową przedstawiono w oparciu o przeprowadzone badania balistyki wewnętrznej 120 mm moździerza RAK. W czasie badań strzelano makietami pocisków HE do kulochwyty. Badano ładunki pierwszy i pełny. W trakcie strzelań zmieniano wielkości ładunku prochowego, co powodowało znaczne zmiany prędkości pomiędzy poszczególnymi strzałami. Prędkość mierzono radarem Dopplera. Kamera do zdjęć szybkich służyła do określenia prawidłowości zachowania pocisku.

W czasie badań kamera była ustawiona tak, żeby mogła mieć dobrą widoczność początkowego odcinka toru lotu. Ustawienie infrastruktury stanowiska ogniowego „0” (w WITU w Ośrodku Badań Dynamicznych) wymusiło ustawienie przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Ustawienie kamery względem działka i toru lotu pocisku w czasie badań

Ustawienie kamery względem obserwowanego toru lotu pocisku było nieznane i uniemożliwiało zastosowania oprogramowania do pomiaru prędkości z materiału filmowego. W czasie strzelania spodziewano się prędkości pocisków oscylujących około 200 m/s i 500 m/s, dlatego częstotliwość robienia zdjęć kamery była ustawiona odpowiednio 3000 klatek/s i 5000/klatek/s. Były to częstotliwości wielokrotnie niższe niż możliwości kamery. Ograniczenie częstotliwości było spowodowane tym, że filmy nagrywane z dużą częstotliwością mają dużą objętość co utrudnia zapis i archiwizację. Natomiast podane częstotliwości zapewniają możliwość dokładnej analizy funkcjonowania pocisku w czasie lotu. Strzał nr 7 przy prędkości pocisku 464,5 m/s został nagrany z częstotliwością 3000 klatek/s. Podczas strzału nr 13 nastą-

piło samowolne wyzwolenie radaru przed strzałem i nie dokonano pomiaru prędkości. Niniejsza metoda została wykorzystana do określenia prędkości pocisku dla strzału nr 13.

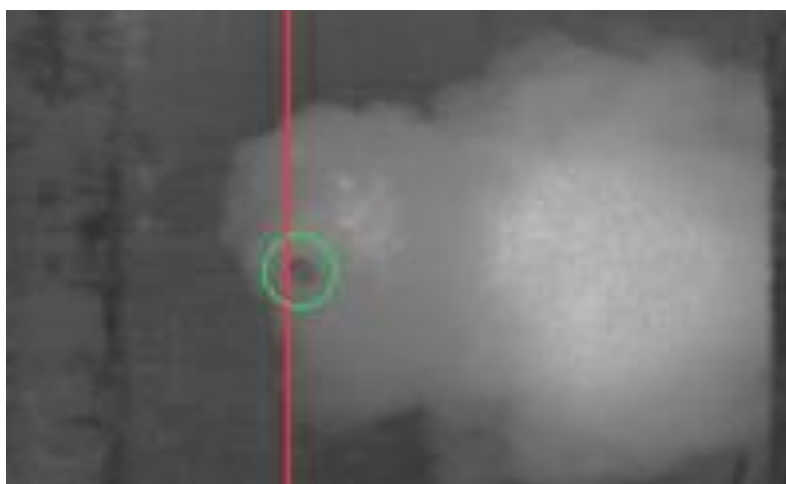
3. Metoda pomiaru

Metoda opiera się na porównawczym średniocinkowym pomiarze prędkości. Jednakże w tym wypadku droga pocisku jest nieznana, dlatego jako wartość odniesienia przyjmuje się zmierzoną prędkość pocisku dla innego strzału nagrałego w tym samym ustawieniu kamery.

Aby przeprowadzić pomiar należy wybrać w kadrze obrazu dwie możliwie daleko oddalone od siebie linie obrazu jako bramki optyczne. Dla tego badania były to 1150 kolumna obrazu (zaznaczona czerwoną kreską na fot. 1) jako bramka startowa oraz lewa krawędź obrazu jako bramka końcowa.



Fot. 1. Wybór linii obrazu. Czerwoną linią oznaczono 1150 kolumnę obrazu będącą bramką startową dla pomiaru prędkości



Fot. 2. Pocisk mijający bramkę startową (kolor czerwony). Pocisk oznaczony zielonym okręgiem



Fot. 3. Pocisk mijający lewą krawędź obrazu

Pomiar rozpoczyna się kiedy pocisk mija bramkę startową (fot. 2) i kończy się kiedy mija lewą krawędź obrazu (fot. 3).

Prędkość średnią wyznacza się z równania:

$$V = \frac{S}{t}$$

gdzie: V - prędkość, S - droga, t - czas

Prędkość szukaną wyznaczamy ze wzoru:

$$V_n = \frac{t_z}{t_n} V_z$$

gdzie: V_n - szukana prędkość, t_n - czas przelotu dla szukanej prędkości, V_z - znana prędkość innego strzału, t_z - czas przelotu znanego strzału

Ponieważ kamera do zdjęć szybkich robi zdjęcia z zadanymi częstotliwościami, równanie można przekształcić do formy praktycznej:

$$V_n = \frac{k_z}{k_n} V_z a$$

gdzie: k_z , k_n - ilość klatek filmu pomiędzy przejściami bramek, a - stosunek częstotliwości nagrywania strzału znanego do strzału nieznanego

4. Wyniki pomiarów

Wyniki dla konkretnego strzału otrzymuje się wykorzystując inny strzał. Po strzelaniu zostały zarejestrowane wszystkie strzały i ich wartości prędkości pomierzone radarem poza strzałem nr 13. W celu określenia dokładności metody wyznaczono prędkości pocisków dla strzałów o znanych prędkościach, aby móc porównać te wyniki z wynikami pomiarów. Jednocześnie wyznaczono tą metodą prędkości wykorzystując jako strzały odniesienia wszystkie pozostałe strzały ze znanymi prędkościami wylotowymi. Dlatego dla każdego strzału otrzymano trzynaście wartości prędkości do porównania ich z wynikiem pomiaru. Wyniki obliczeń i wartości pomierzone radarem przedstawiono w tabeli 1, w której prędkości obliczone dla konkretnych strzałów przedstawiane są w kolejnych wierszach, a w ostatniej kolumnie podane są, do porównania, wartości pomierzone radarem.

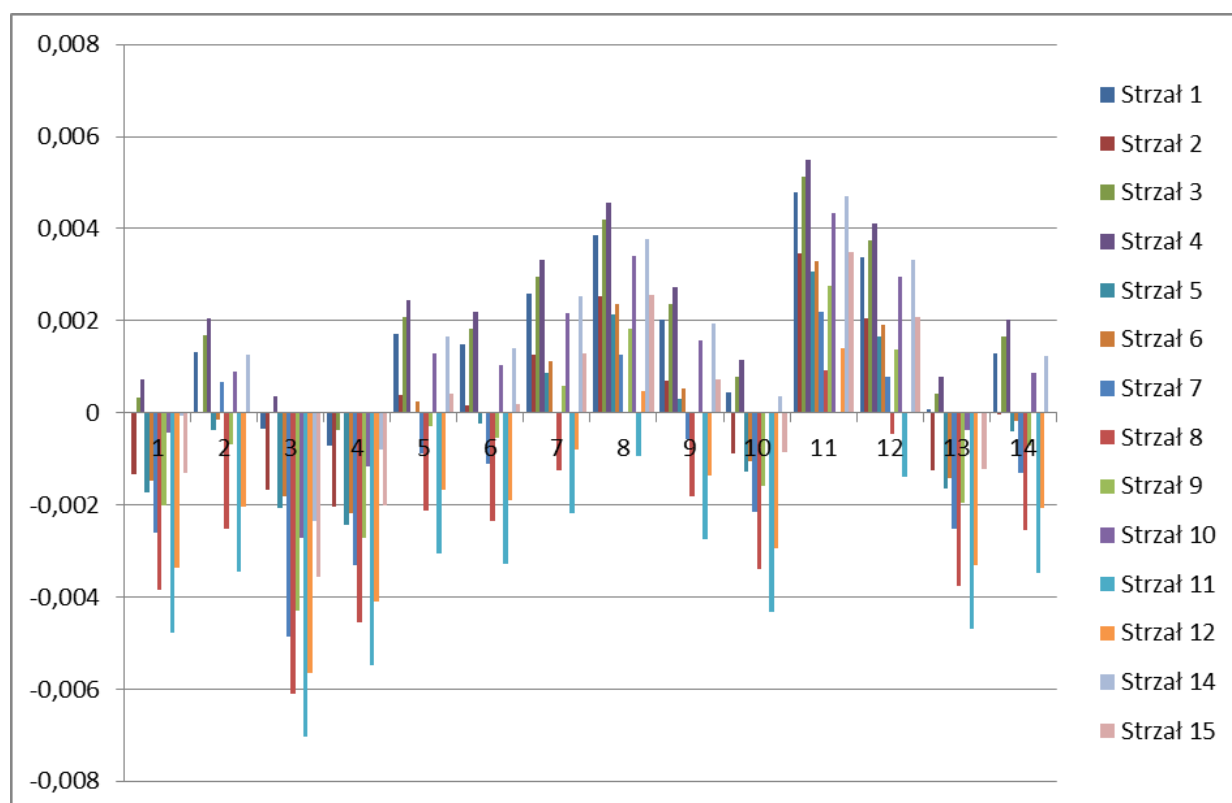
Na podstawie powyższych wyników sporządzono wykres błędów względnych każdej obliczonej prędkości dla konkretnego strzału, względem prędkości pomierzonej radarem - rysunek 2.

Ponieważ wykres pokazuje błędy względne dla każdej pary strzałów (strzał mierzony i strzał odniesienia) można uśrednić otrzymane wyniki błędów względnych. Wartości uśrednione błędów względnych dla każdego strzału przedstawiono w tabeli 2. Zrezygnowano z analizy statystycznej wyników, gdyż pomiar nie był przeprowadzony dokładnie (stosunkowo mała częstotliwość nagrywania filmu) i jednocześnie jest to metoda pomocnicza, stosowana w sytuacjach awaryjnych. Mimo to, przedstawione wyniki wskazują względnie dobrą dokładność tej metody pomiarowej. Po uśrednieniu wartości wyliczanych, największy błąd dla średniej wynosił 0,36% wartości pomierzonej. Duży wpływ na dokładność metody ma częstotliwość nagrywania filmu, gdyż dla podanego przykładu pociski pokonywały odległość pomiędzy bramkami optycznymi w około 100 klatek. Dlatego pomyłka o jedną klatkę zmieni obliczany wynik o około 1%. Jest to ważne, gdyż pocisk mija bramki w inter-

wale pomiędzy klatkami filmu i od operatora zależy kiedy określa moment przekroczenia bramki, gdyż nie zawsze jest to w pełni widoczne (np. fot. 3).

Tabela 1. Wyniki obliczeń prędkości za pomocą metody pomiarowej dla każdego strzału

		Strzały odniesienia														Wartości zmierzone radarem
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	
Strzały wyznaczone	1		195,3	194,9	194,9	195,3	195,3	195,5	195,8	195,4	195,1	195,9	195,7	195	195,3	195,0
	2	206,9		206,9	206,8	207,3	207,2	207,5	207,7	207,3	207	207,9	207,6	206,9	207,2	207,2
	3	207,7	207,9		207,5	208	208	208,2	208,5	208,1	207,8	208,7	208,4	207,7	207,9	207,6
	4	205,4	205,7	205,4		205,8	205,8	206	206,2	205,9	205,5	206,4	206,1	205,5	205,7	205,3
	5	195,7	195,9	195,6	195,5		196	196,2	196,4	196,1	195,8	196,6	196,3	195,7	195,9	196,0
	6	463,9	464,5	463,8	463,6	464,7		465,1	465,7	464,8	464,1	466,1	465,5	463,9	464,5	464,6
	7	510	511,6	508,8	509,6	510,9	510,7		511,9	511	510,2	512,4	511,7	510	510,6	511,3
	8	458,7	459,3	457,7	458,4	459,5	459,4	459,9		459,7	458,9	460,9	460,3	458,8	459,3	460,5
	9	494,2	494,9	493,1	493,8	495,1	494,9	495,5	496,1		494,4	496,6	495,9	494,2	494,8	495,2
	10	507,3	508	506,1	506,9	508,1	508	508,6	509,2	508,3		509,7	509	507,3	507,9	507,5
	11	489,2	489,8	488	488,8	490	489,9	490,4	491	490,1	489,4		490,8	489,2	489,8	491,5
	12	518,2	518,9	517,1	517,9	519,1	519	519,6	520,2	519,3	518,5	520,7		518,3	518,9	520,0
	14	502	502,6	500,8	501,6	502,8	502,7	503,3	503,9	503	502,2	504,4	503,7		502,6	502,0
	15	499,3	500	498,2	499	500,2	500,1	500,6	501,3	500,4	499,6	501,7	501	499,4		500,0



Rys. 2. Wartości błędów względnych dla wyliczeń prędkości dla każdej pary strzałów

Tabela 2. Wartości uśrednione błędów względnych dla każdego strzału

Strzał	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
Wartość zmierzona	195	207,2	207,6	205,3	196	464,6	511,3	460,5	495,2	507,5	491,5	520	502	500
Średnia wartość wyliczona	195,33	207,25	208,03	205,8	195,97	464,64	510,73	459,3	494,89	508,04	489,73	518,91	502,73	500,07
Średni błąd względny	-0,0017	-0,0003	-0,0021	-0,0025	0,0002	-9E-05	0,0011	0,0026	0,0006	-0,0011	0,0036	0,0021	-0,0015	-0,0001

Przy większej częstotliwości nagrywania filmu pocisk pokonuje mniejsze odległości pomiędzy poszczególnymi klatkami filmu, a liczba klatek jaką potrzebuje na pokonanie drogi pomiędzy bramkami się zwiększa. Dlatego błędy powstałe w wyniku niedokładnego określenia położenia pocisku względem bramek optycznych będą małe. Należy zwrócić uwagę również na to, że metoda ta jest „odporna” na błąd paralaksy, gdyż będzie on stały jeśli będziemy wykorzystywać te same bramki optyczne. Jednocześnie należy mieć na uwadze, że pomiar radarem także obarczony jest błędem, tak więc wartości odniesienia nie są rzeczywiste i to też wpływa na dokładność metody.

5. Wnioski

Opisana powyżej metoda może służyć do określenia prędkości pocisku, gdy zawiedzie podstawowe urządzenie pomiarowe. W przedstawionym przykładzie dokładność tej metody jest wystarczająca np. dla badania wypośrodkowania ładunków miotających. Ponadto jej dokładność może być wyższa niż w podanym przykładzie. Najlepsze wyniki otrzymamy przy możliwie dużej ilości strzałów odniesienia i dużej częstotliwości nagrywania. Prostota i szybkość dokonania pomiaru (wykorzystując tylko kalkulator) pozwala na łatwe stosowanie tej metody w warunkach poligonowych. Dużą jej zaletą jest dowolne ustawienie kamery, gdyż jedynym wymaganie jest obserwacja dostatecznej długości toru lotu. Choć przy obserwacji zbyt krótkiego odcinka można zastosować pokrewną metodę polegającą na zliczaniu pikseli, która nie została opisana w tym artykule. Największą zaletą opisanej metody jest to, że można jej użyć po strzale w przypadku braku pomiaru z głównego urządzenia pomiarowego, wykorzystując nagrywane niezależnie filmy, a więc w sytuacji awaryjnej bez specjalnego przygotowywania się na tą okoliczność. Oznacza to, że przedstawiona powyżej metoda może być stosowana tylko doraźnie, bez wydłużania czasu prowadzenia badań, w przypadku prawidłowego funkcjonowania urządzeń pomiarowych.

