

dr hab. inż. Zbigniew LECIEJEWSKI*
ppłk dr inż. Zbigniew SURMA*
dr inż. Wiesław STĘPNIAK**
mgr inż. Marian PIĄTEK***
*Wojskowa Akademia Techniczna
**Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
***Zakłady Metalowe MESKO S.A.

BADANIA PRĘDKOŚCI POCISKU NA POTRZEBY OPRACOWANIA MODELU OBLICZENIOWEGO BALISTYKI OKRESU PRZEJŚCIOWEGO

Streszczenie: Przyszłościowy przelicznik balistyczny systemu kierowania ogniem artylerii naziemnej powinien działać w oparciu o zintegrowany program symulacyjny umożliwiający obliczenia parametrów ruchu pocisku zarówno w lufie, w okresie powylotowym oraz podczas dalszego lotu poza obszarem oddziaływania gazów prochowych, nie odwołując się bezpośrednio (jak w przypadku tabel strzelniczych) do prędkości początkowej pocisku. Zjawiska z zakresu balistyki wewnętrznej i zewnętrznej są dobrze zbadane i opisane w literaturze. Odczuwalny jest natomiast brak opisu matematycznego zjawisk okresu powylotowego, w którym pocisk jest już poza lufą, ale jednocześnie jest napędzany wypływającymi z lufy gazami prochowymi. W Instytucie Techniki Uzbrojenia WAT rozpoczęto prace mające na celu opracowanie modelu matematycznego ruchu pocisku w tym okresie. W niniejszym artykule skoncentrowano się na badaniach prędkości pocisku w okresie powylotowym.

PROJECTILE VELOCITY INVESTIGATIONS NEEDFUL TO CREATION OF INTERMEDIATE BALLISTICS MODEL

Abstract: The future ballistic computer of an artillery fire control system should use an integrated software for calculation of projectile's motion both inside and out of a barrel (including of intermediate period) of a gun propellant system. The computer calculation model should not use directly to shooting table muzzle velocity in this fire control system. Up to now internal and external ballistic effects are very good investigated and described in many papers and books whereas mathematical model of projectile's motion in intermediate ballistic period is still the weak point of this phenomena description. Because of this, the intermediate period is a subject of research programme in Institute of Armament Technology (Military University of Technology, Warsaw). In this paper we are concentrating on projectile velocity investigation during projectile's motion in intermediate ballistic period.

1. Wstęp

Aktualnie, podczas wyznaczania nastaw w trakcie strzelania pociskami artyleryjskimi, wpływ różnych czynników - zarówno środowiskowych jak i związanych z układem miotającym - na donośność pocisku uwzględniany jest w rachunku poprawkowym. Dla konkretnego działa z tabel strzelniczych odczytywana jest odpowiednia poprawka w donośności wynikająca ze zmiany prędkości początkowej pocisku, związana np.

z określoną temperaturą początkową ładunku miotającego, odstępstwem od nominalnej masy pocisku, czy stopniem zużycia komory naboju lufy.

Współczesną tendencją, w dobie powszechnej komputeryzacji jest dążenie do opracowywania zautomatyzowanych systemów kierowania ogniem (ZSKO), w których odpowiednie wartości różnych poprawek mogą być wyznaczone w wyniku numerycznego rozwiązania tzw. problemu głównego balistyki wewnętrznej (PGBW) układów miotających i problemu głównego balistyki zewnętrznej (PGBZ).

Na potrzeby przyszłościowego przelicznika balistycznego systemów kierowania ogniem artylerii naziemnej koniecznym jest opracowanie zintegrowanego programu symulacyjnego pozwalającego wyznaczać parametry ruchu pocisku zarówno w lufie, bezpośrednio po wylocie z lufy jak i poza obszarem powylotowego działania gazów prochowych na pocisk, nie odwołując się bezpośrednio (jak w przypadku tabel strzelniczych) do prędkości początkowej pocisku. Program taki powinien realizować obliczenia parametrów ruchu pocisku od chwili zadziałania zapłonika do chwili uderzenia pocisku w cel, umożliwiając uwzględnienie: odchyłki masy pocisku, wydłużenie komory naboju lufy, rzeczywistych wartości charakterystyk energetyczno-balistycznych ładunku miotającego oraz warunków atmosferycznych. Na potrzebę opracowania takiego programu wskazano m.in. w [1].

W publikacjach [2, 3, 4] rozpatrujących okres przejściowy, okres ten jest analizowany głównie pod kątem oceny możliwości osłabienia intensywności fali podmuchowej oraz błysku towarzyszącego wypływowi gazów prochowych z lufy. Brak jest w nich natomiast informacji z zakresu modelowania matematycznego zjawisk tego okresu. W Instytucie Techniki Uzbrojenia WAT rozpoczęto prace mające na celu opracowanie modelu matematycznego ruchu pocisku w tym okresie. Dotychczasowe, wstępne analizy teoretyczne [5, 6] okresu przejściowego są wspomagane badaniami doświadczalnymi. W artykule zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych, których celem było wyznaczenie prędkości ruchu pocisku. Badania te dostarczyły m.in. informacje o przyroście prędkości pocisku w okresie przejściowym. Wyniki tych badań stanowią materiał do weryfikacji modelu i programu obliczeniowego balistyki przejściowej.

2. Analiza zjawisk w okresie przejściowym

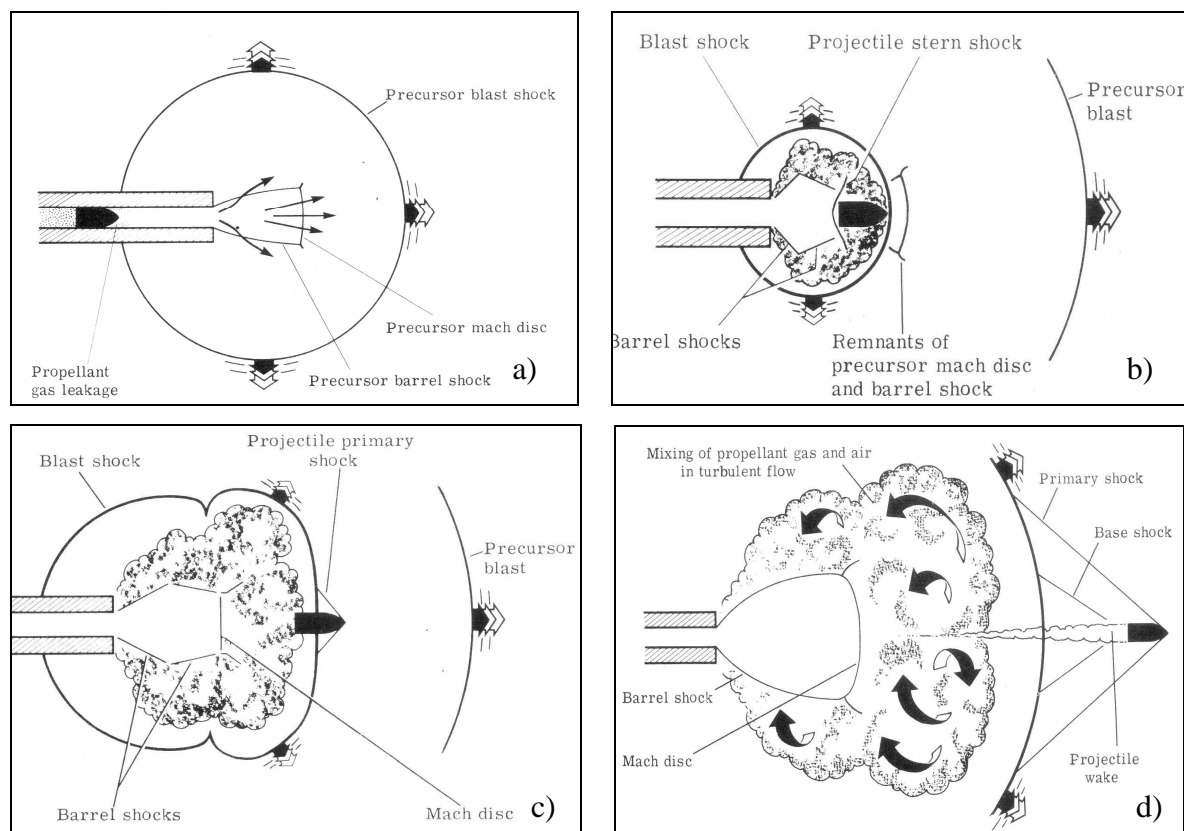
Wylotowi pocisku towarzyszy powstanie złożonego przepływu gazodynamicznego wokół wylotu lufy. Proces wypływu gazów z lufy podczas strzału z broni palnej można w skrócie podzielić umownie na kilka charakterystycznych okresów [7].

Proces ten ma swój początek jeszcze w przewodzie lufy, gdy poruszający się w niej pocisk pcha przed sobą słup powietrza w przestrzeni ograniczonej ściankami lufy. Przyspieszający pocisk wytwarza w powietrzu falę sprężania. Fala sprężania przekształca się w falę uderzeniową (prekursor fali podmuchowej), która wyprzedza pocisk i docierając do wylotu lufy powoduje wypływ sprężonego powietrza na zewnątrz. Gdy fala ta opuszcza lufę, formuje się prawie sferyczna fala podmuchu, która propaguje się w powietrzu (rys. 1a).

W chwili wylotu pocisku z lufy gazy prochu rozprężają się, generując falę uderzeniową, która propaguje się wewnątrz prekursora przepływu. Wypływające gazy natrafiają na dno pocisku, które hamuje ich ruch. W rezultacie, za dnem pocisku powstaje wsteczna fala uderzeniowa. Po przejściu przez tę falę, gazy rozprężają się w obszar obniżonego ciśnienia w prekursorze przepływu i ulegają przyspieszeniu w postaci strumieni, które omywają pocisk. Uproszczony schemat przepływu, który tworzy się w pobliżu wylotu lufy przedstawia rys. 1b.

W momencie, kiedy pocisk zakończy przebijać się przez front fali uderzeniowej wywołanej ruchem strumienia gazów prochowych (rys. 1c) zaczyna się faza końcowa okresu balistyki przejściowej, która trwa do chwili gdy pocisk opuszcza zaburzony obszar przepływu

(rys. 1d). Dalszy etap ruchu pocisku (bez oddziaływania wypływających z lufy gazów prochowych) jest domeną balistyki zewnętrznej.



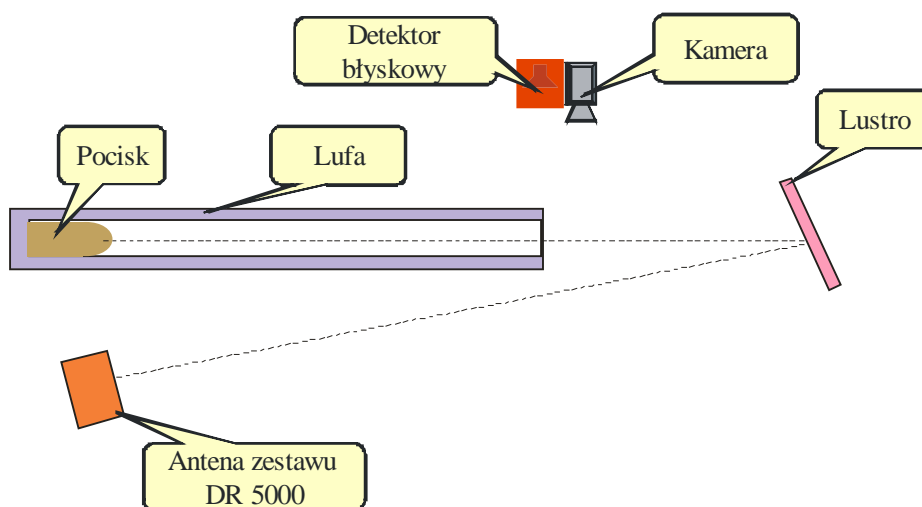
Rys. 1. Charakterystyczne okresy związane z ruchem pocisku i gazów podczas strzału [7]

3. Stanowisko badawcze

W badaniach doświadczalnych zastosowano następujące stanowiska pomiarowe:

- a) dla układów miotających o kalibrze $d \geq 23$ mm:
 - układ pomiaru prędkości pocisku w lufie i w okresie powylotowym (z możliwością określenia chwili wylotu pocisku z lufy), w którym wykorzystano radarowy system DR-5000;
 - urządzenie do rejestracji wypływu gazów i ruchu pocisku w okresie powylotowym (kamera do zdjęć szybkich Phantom v12);
 - układ do pomiaru i rejestracji ciśnienia gazów prochowych w lufie, wyposażony w piezoelektryczne czujniki ciśnienia;
- b) dla układów miotających o kalibrze poniżej 23 mm:
 - urządzenie do rejestracji wypływu gazów i ruchu pocisku w okresie powylotowym (kamera do zdjęć szybkich Phantom v12);
 - układ do pomiaru i rejestracji ciśnienia gazów prochowych w lufie, wyposażony w piezoelektryczne czujniki ciśnienia;
 - układ do pomiaru i rejestracji ciśnienia gazów prochowych w okresie powylotowym z wykorzystaniem czujników ciśnienia fal podmuchowych.

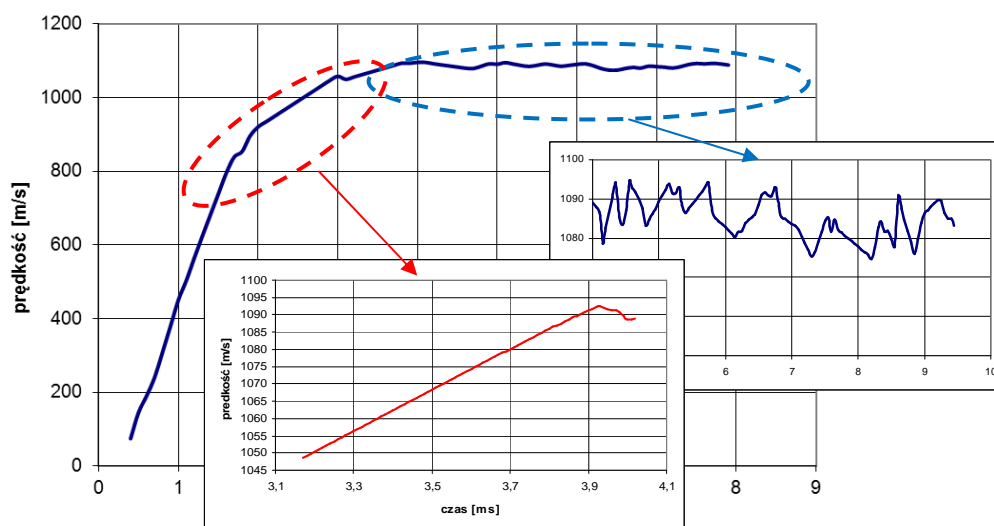
W dalszej części artykułu zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości pocisków na stanowisku badawczym (rys. 2) przystosowanym do badań układów miotających o kalibrze $d \geq 23$ mm. Przedmiotem badań były 30x173 mm pociski TP-T wyrzeliwane z 30 mm lufy badawczej. Badania przeprowadzono na poligonie badawczym Zakładów Metalowych MESKO S.A. w Skarżysku-Kamiennej.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczo-pomiarowego

4. Wyniki badań doświadczalnych

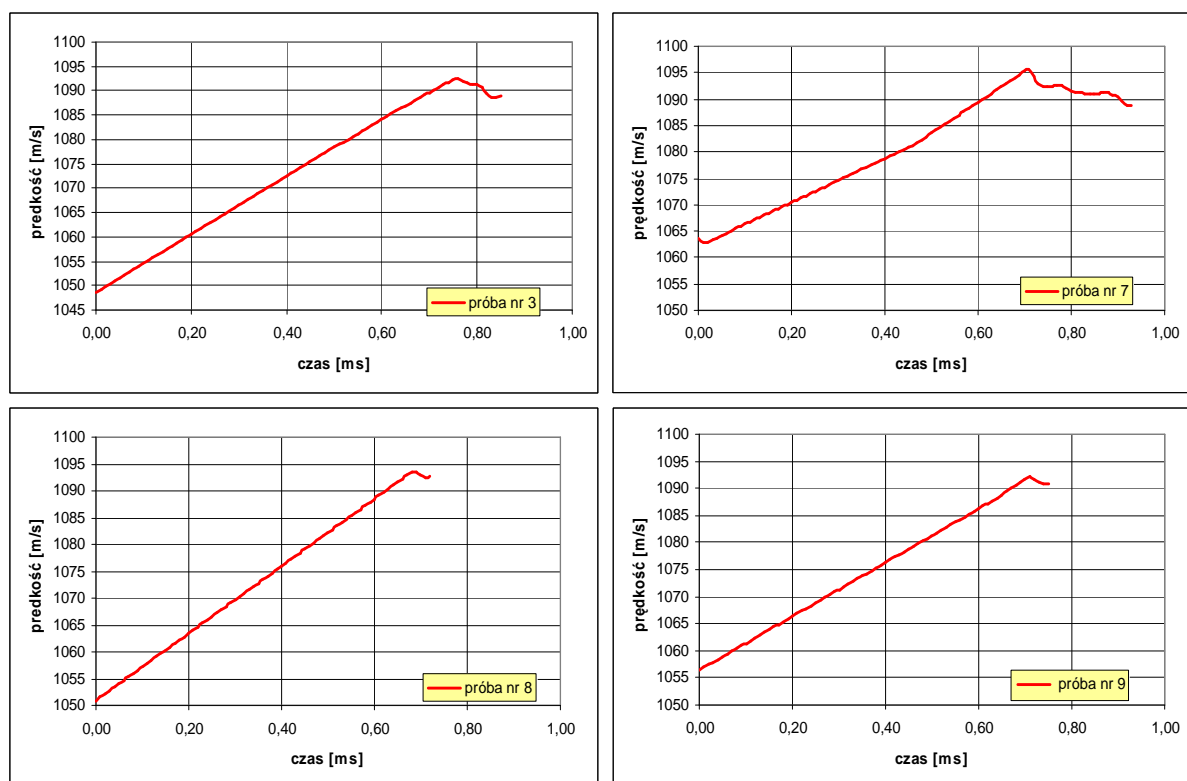
Przykładowy, otrzymany z systemu radarowego DR-5000, wykres prędkości pocisku w lufie i po wylocie przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wykresy prędkości pocisku w lufie i w okresie powylotowym

Na rysunku tym można zauważyć obszar wzrostu prędkości pocisku charakterystyczny dla ruchu pocisku w lufie (największe nachylenie krzywej prędkości) i bezpośrednio poza lufą (obszar zakreślony linią czerwoną przerywaną) oraz obszar oscylacji prędkości pocisku po osiągnięciu przez pocisk prędkości maksymalnej (obszar zakreślony linią przerywaną niebieską).

Po określeniu (wykorzystując sygnał wygenerowany przez detektor błyskowy systemu radarowego DR-5000) chwili wylotu pocisku z lufy, opracowano wykresy prędkości pocisku w okresie powylotowym (rys. 4). Na wykresach tych początek układu współrzędnych (czas = 0 ms) odpowiada chwili wylotu pocisku z lufy.



Rys. 4. Wykresy prędkości pocisku w okresie powylotowym

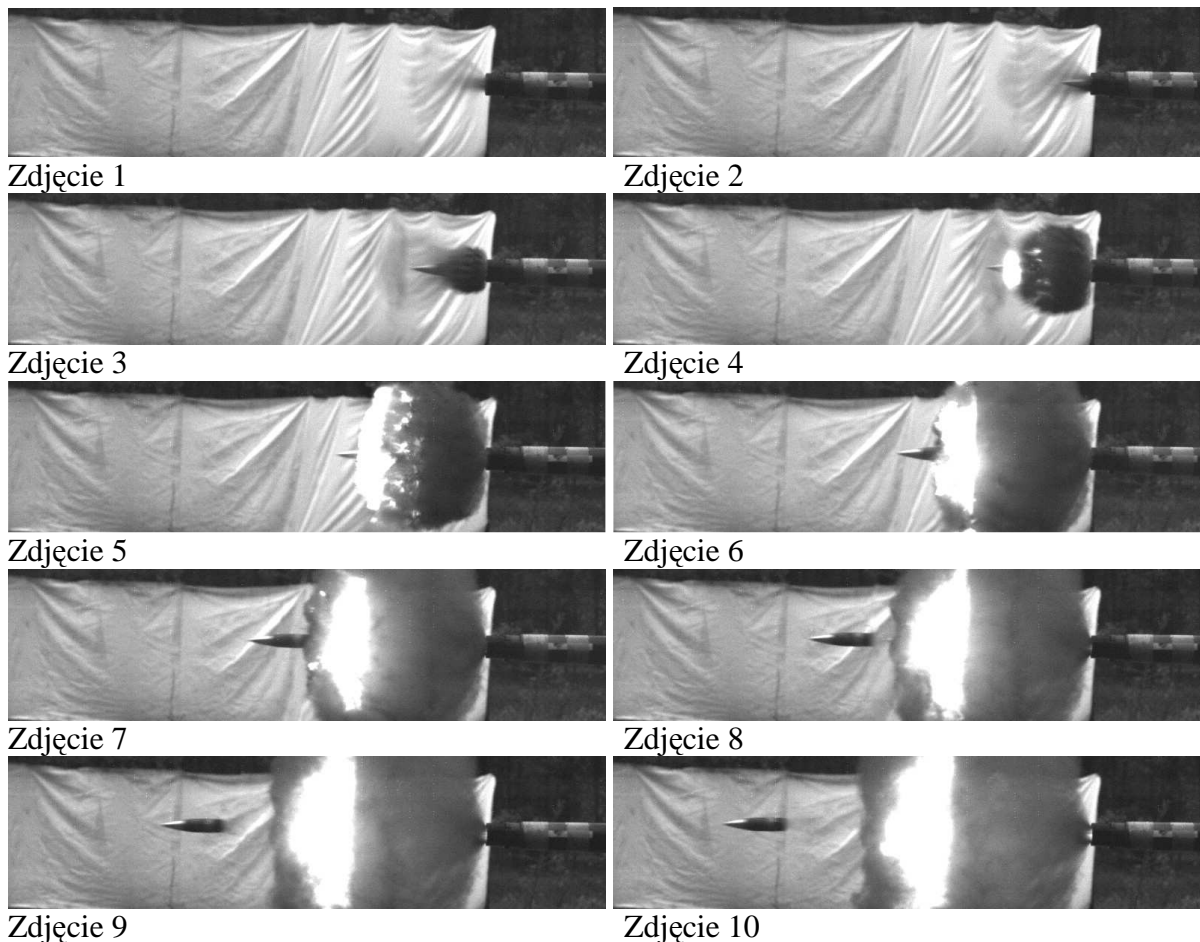
Wartości zarejestrowanych prędkości wylotowych V_w i maksymalnych V_m 30 mm pocisku TP-T, procentowy przyrost prędkości $\Delta V = (V_m/V_w - 1) \cdot 100\%$ pocisku oraz obliczoną odległość l_{Vm} (od płasku wylotowego lufy) uzyskania przez pocisk prędkości maksymalnej zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badań doświadczalnych

Nr próby	V_w [m/s]	V_m [m/s]	$\Delta V\%$	l_{Vm} [m]
1	1048,6	1092,4	4,2	0,81
2	1063,0	1093,2	2,8	0,79
3	1059,3	1093,8	3,3	0,63
4	1063,6	1095,5	3,0	0,76
5	1050,9	1093,5	4,0	0,74
6	1056,4	1092,2	3,4	0,76
7	1066,4	1095,3	2,7	0,79
8	1068,7	1096,4	2,6	0,83
9	1059,8	1090,5	2,9	0,83
10	1062,0	1094,5	3,1	0,80
średnia	1059,9	1093,7	3,2	0,77

Z przedstawionych rezultatów badań wynika, że średni przyrost prędkości ΔV w okresie przejściowym wynosi 3,2 %, a średnia odległość l_{Vm} od płasku wylotowego lufy, w której pocisk osiąga prędkość maksymalną, wynosi 0,77 m, co mieści się w przedziale 20-40 kalibrów (0,46-0,92 m) wzmiankowanych w danych literaturowych.

Wybrane zdjęcia z rejestracji kamerą Phantom v12 ruchu pocisku i wypływających z lufy gazów w okresie przejściowym przedstawiono na zdjęciach 1-10. Rejestrację realizowano z odstępem czasowym 22,71 μ s (44025 zdjęć na sekundę).



Zdjęcia 1-10. Wybrane kadry z rejestracji kamerą Phantom v12

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań prędkości 30x173 mm pocisków w okresie przejściowym (z wykorzystaniem systemu radarowego DR-5000) wynika, że otrzymane przyrosty prędkości pocisku oraz odległości od płasku wylotowego lufy, dla których osiągnięta jest prędkość maksymalna pocisku, mieszczą się w przedziale podawanym w literaturze przedmiotu, jednakże w dalszych badaniach należy zweryfikować określenie czasu rozpoczęcia okresu powylotowego.

Zarejestrowane kamerą Phantom v12 (równoległe z rejestracją systemem DR-5000) zdjęcia wypływu gazów prochowych wskazują na możliwość wyzwolenia sygnału detektora błysku płomienia w chwili nie odpowiadającej chwili wylotu pocisku z lufy (minięcia przez dno pocisku płasku wylotowego lufy).

W związku z tym dalsze badania zostaną ukierunkowane na jednoznaczne określenie chwili wylotu pocisku z lufy poprzez równoległą weryfikację czasu tworzenia sygnału

wygenerowanego przez detektor błyskowy systemu DR-5000.

Praca została zrealizowana jako część projektu badawczego nr O N501 0533 37 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009-2012.

Literatura

- [1] L. Baranowski, Z. Leciejewski, Z. Surma, *Analiza numeryczna wpływu temperatury początkowej prochowego ładunku miotającego na zasięg pocisków artylerii polowej*, Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej AMUNICJA'2009, Kołobrzeg, 23-24 kwietnia 2009 r., str. 135-147, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.
- [2] E. M. Schmidt, *Muzzle Flow Gasdynamics*, pp. 161-182, Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 109, Washington, DC, 1988.
- [3] G. Klingenberg, *Experimental Diagnostics in Reacting Muzzle Flows*, pp. 183-259, Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 109, Washington, DC, 1988.
- [4] Klingenberg G., Heimerl J. M., *Gun Muzzle Blast and Flash*, 139. AIAA, *Progress in astronautics and aeronautics*, vol. 139, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1992.
- [5] A. Papliński, *Analiza procesów kształtujących pole zaburzeń i ruch pocisku na etapie balistyki przejściowej. Cz. I. Analiza parametrów fal uderzeniowych wytwarzanych w lufie ruchem pocisku*, Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa, Nr 2(2), 2010, str. 65-72, Warszawa 2010.
- [6] R. Czyżewska, R. Trębiński, *Warunki graniczne problemu głównego balistyki przejściowej*, Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa, Nr 1(3), 2011, str. 79-90, Warszawa 2011.
- [7] G. M. Moss, D. W. Leeming, C. I. Farrar, *Land Warfare: Brassey's new Battlefield Weapons and Technology Series into the 21st Century, Vol. 1, Military Ballistics*, Brasseys (UK) Ltd., 1995.