



## Układ pomiaru prędkości pocisków i programowania zapalnika amunicji do przeciwlotniczych zestawów artyleryjskich kalibru 35 mm\*

Radomir JĘDRZEJEWSKI, Tomasz LINKIEWICZ,  
Artur POKRAŚNIEWICZ

*Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej RADWAR S.A.  
ul. Poligonowa 30, 04-035 Warszawa*

**Streszczenie.** W artykule omówiono stan zaawansowania prac nad opracowaniem demonstratora technologii systemu programowania pocisku 35x228 mm do przeciwlotniczych zestawów artyleryjskich. Przedstawiono koncepcję, budowę systemu i zasadę działania. Ukazano drogę do wyboru optymalnego rozwiązania. Pokazano przewidywane trudności w realizacji projektu i propozycję ich rozwiązania. W trakcie realizacji projektu rozwojowego pt. „Opracowanie programowalnego naboju kalibru 35x228 do przeciwlotniczego zestawu artyleryjskiego LOARA” nr O R00 0019 08, realizowanego przez Konsorcjum w składzie: PW IMiP, CNPEP RADWAR SA, ZM MESKO SA oraz BUMAR Sp. z o.o., na podstawie umowy z MNiSW, wykonany zostanie demonstrator technologii systemu pomiaru prędkości wylotowej pocisku i programowania zapalnika, który będzie poddany badaniom strzelaniem.

**Słowa kluczowe:** przeciwlotniczy zestaw artyleryjski, amunicja ABM, system przeciwlotniczy, zapalnik

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

## 1. WSTĘP

Współczesne pole walki stawia bardzo wysokie wymagania pod względem czasu od wykrycia do zwalczania nieprzyjacielskiego obiektu. Przy czym za nieprzyjacielski obiekt do zwalczania przez przeciwlotnicze zestawy artyleryjskie uważamy już nie tylko samoloty i helikoptery, ale również rakiety powietrze-ziemia (ASM) i antyradiolokacyjne (ARM), bezzałogowe statki latające, a nawet pociski artyleryjskie i moździerzowe. Cele te mają znacząco mniejszą powierzchnię skuteczną (przednią), w wyniku czego prawdopodobieństwo trafienia, zniszczenia lub tylko unieszkodliwienia ich za pomocą pocisków pełnokalibrowych lub podkalibrowych jest bardzo małe, wręcz niewystarczające do ich zwalczania. W celu zwiększenia tego prawdopodobieństwa podjęto się zadania stworzenia systemu amunicji programowalnej do przeciwlotniczych zestawów artyleryjskich kalibru 35 mm.

Dzięki rozcalanej amunicji można wirtualnie zwiększyć powierzchnię skuteczną (przednią) wspomnianych zagrożeń. Dzięki temu przykładowo prawdopodobieństwo trafienia rakiety antyradiolokacyjnej zwiększa się przy serii zawierającej 35 pocisków z 0,5% dla amunicji podkalibrowej do 40% dla amunicji rozcalającej, z programowanym czasem detonacji.

Taka właśnie amunicja wykazuje się wysoką skutecznością w zwalczaniu celów z tzw. inteligencją, czyli zawierających elementy elektroniczne. Bowiern trafienie już jedną lotką szrapnelową może w takim przypadku skutecznie zwalczyć cel. Dodatkowym atutem takiej amunicji jest możliwość wykorzystania jej do „oślepienia” wozów bojowych i czołgów nieprzyjacielskich poprzez zniszczenie ich przyrządów celowniczych.

Jednocześnie amunicja ta nie traci swoich możliwości zwalczania samolotów bojowych i helikopterów.

Aby umożliwić zaprogramowanie amunicji należy w systemie przeciwlotniczym zastosować układ pomiaru prędkości wylotowej pocisków i programowania zapalnika. Pracę taką rozpoczęto w ramach projektu rozwojowego pt. „Opracowanie programowalnego naboju kalibru 35x228 do przeciwlotniczego zestawu artyleryjskiego LOARA”, realizowanego przez Konsorcjum w składzie: PW IMiP, CNPEP RADWAR SA, ZM MESKO SA oraz BUMAR Sp. z o.o., na podstawie umowy z MNiSW, w której opracowywany jest system pomiaru prędkości i programowania zapalnika.

## 2. ZAŁOŻENIA

Podstawowym założeniem przy realizacji tego projektu koncepcyjnego jest nie pogorszenie zdolności bojowych już istniejących przeciwlotniczych zestawów artyleryjskich 35 mm, a zwłaszcza zestawu PZA LOARA, co nie jest takie oczywiste mając w pamięci realizację innych podobnych projektów.

Wystarczy wspomnieć, że istniały takie opracowania dla omawianych armat KDA, dla których przy zmianie rodzaju amunicji z pełnokalibrowej na podkalibrową, ze względu na rozlot sabotów, należało zmienić hamulec wylotowy z układem pomiaru prędkości pocisku.

Celem jest natomiast stworzenie systemu amunicji z programowanym jej rozcaleniem. Z racji istnienia już systemu pomiaru rzeczywistej prędkości wylotowej pocisków naturalne jest, że systemy te należy zintegrować. Do funkcji programowania pocisku chwilą rozcalenia, otrzymywaną z systemu kierowania ogniem, można dołożyć funkcjonalność korekty tej chwili ze względu na rozrzut prędkości początkowej pocisku. Chwila rozcalenia przekazywana z systemu kierowania ogniem jest czasem obliczonym z predykcji i wyznaczenia punktu spotkania dla pewnej założonej prędkości. W przypadku pierwszych strzałów jest to prędkość nominalna, dla kolejnych średnia prędkość 5 ostatnio wystrzelonych pocisków. Z pomiarów wiadomo, że prędkość początkowa kolejnych pocisków różni się nawet o kilka, a nawet kilkanaście metrów na sekundę. Stąd założenie korekty czasu wyliczonego dla innej prędkości niż rzeczywista wydaje się ze wszech miar słuszne.

Z poprzedniego założenia wynika fakt podjęcia realizacji programowania pocisku w chwili opuszczania przez niego lufy bądź tuż za nią. Dzięki temu spełnione jest również założenie jak najmniejszej ingerencji w konstrukcję samej armaty. Istnieją bowiem na świecie rozwiązania, w których pocisk programowany jest na drodze dosyłania go do komory naboju.

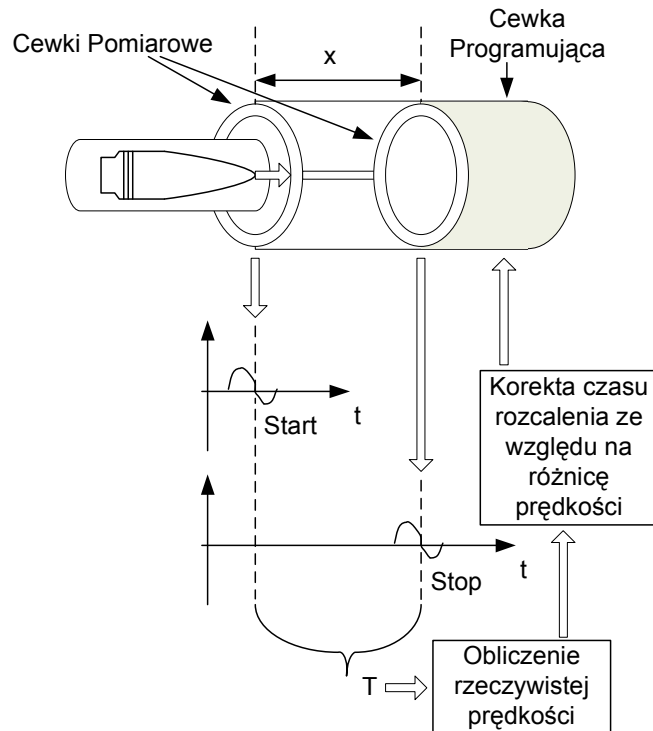
Założono, iż większość inteligencji systemu będzie związana z armatą i systemem kierowania ogniem, a część wykonawcza zamknięta w pocisku ma być możliwie prosta. W przypadku wdrożenia do produkcji tego typu naboju liczba wyprodukowanej amunicji będzie znacznie większa niż zespołów armaty czy SKO. Obniży to znacznie koszty eksploatacji systemów wykorzystujących ten typ amunicji.

### **3. KONCEPCJA**

Na podstawie przyjętych założeń, a także przeprowadzonych analiz oraz porównań istniejących w świecie rozwiązań przyjęto wstępnie do realizacji koncepcję pomiaru prędkości wylotowej pocisku z zastosowaniem cewek indukcyjnych. Rozważana jest również możliwość pomiaru z wykorzystaniem czujników ciśnieniowych.

Jako sposób programowania pocisku przyjęto również koncepcję programowania za pomocą cewki indukcyjnej umieszczonej na końcu lufy. Pocisk poprzez swoją cewkę odbiorczą będzie programowany w trakcie przelatywania przez odpowiednio długą cewkę programującą.

Koncepcja pomiaru prędkości jest identyczna z zaimplementowaną w PZA LOARA, czyli polegać będzie na pomiarze czasu przelotu pomiędzy cewkami START i STOP. Znając tę odległość, od razu możemy wyliczyć prędkość pocisku.



Rys. 1. Koncepcja układu programowania pocisku

Fig. 1. Idea of Air Burst Muniton programming system

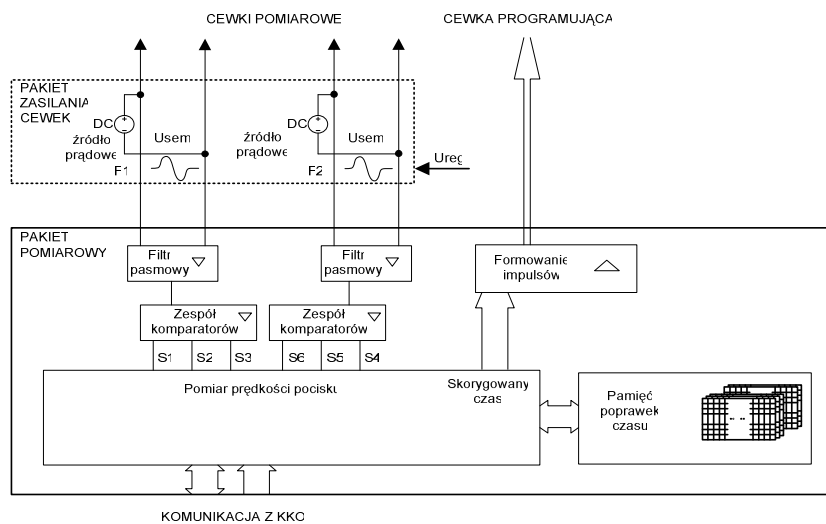
Z doświadczeń uzyskanych przy opracowywaniu systemu pomiaru prędkości pocisku już zrealizowanego w zestawie PZA LOARA wynikła decyzja o rozdzieleniu w przestrzeni funkcjonalnie UWA (Urządzenia Wylotowego Armaty) na hamulec i na część pomiarowo-programującą. W istniejącym rozwiązaniu obszary te przenikają się. Cewki pomiarowe zintegrowane są z hamulcem wylotowym. W nowym rozwiązaniu cewki pomiarowe START, STOP i cewka programująca umieszczone będą za hamulcem. Dzięki temu wpływ naprężeń powstających w czasie wystrzału na cewki będzie zminimalizowany. Negatywnym skutkiem przyjęcia takiego rozwiązania jest niestety powiększenie średnicy wewnętrznej cewek ze względu na ich większą odległość od wylotu lufy i funkcję promienia rozlotu sabotów pocisków podkalibrowych. To niekorzystne zjawisko kompensowane będzie poprzez zwiększenie prądu zasilającego cewki pomiarowe.

Cewka programująca umieszczona zostanie na końcu lufy praktycznie tuż za cewką STOP. W wyniku tego niewielkiej zmianie będzie musiał ulec algorytm pomiaru prędkości wylotowej pocisku. Zmiana dotyczyć będzie jedynie weryfikacji czasów trwania dodatniej i ujemnej części przebiegów z cewek pomiarowych. W przypadku cewki STOP weryfikowany będzie jedynie czas trwania dodatniej części sygnału.

Zmiana dotyczyć będzie nie samego pomiaru czasu przelotu pomiędzy cewkami, a jedynie części odpowiedzialnej za weryfikację, czy mierzony impuls jest rzeczywiście impulsem od pocisku czy niepożądanym zakłóceniem.

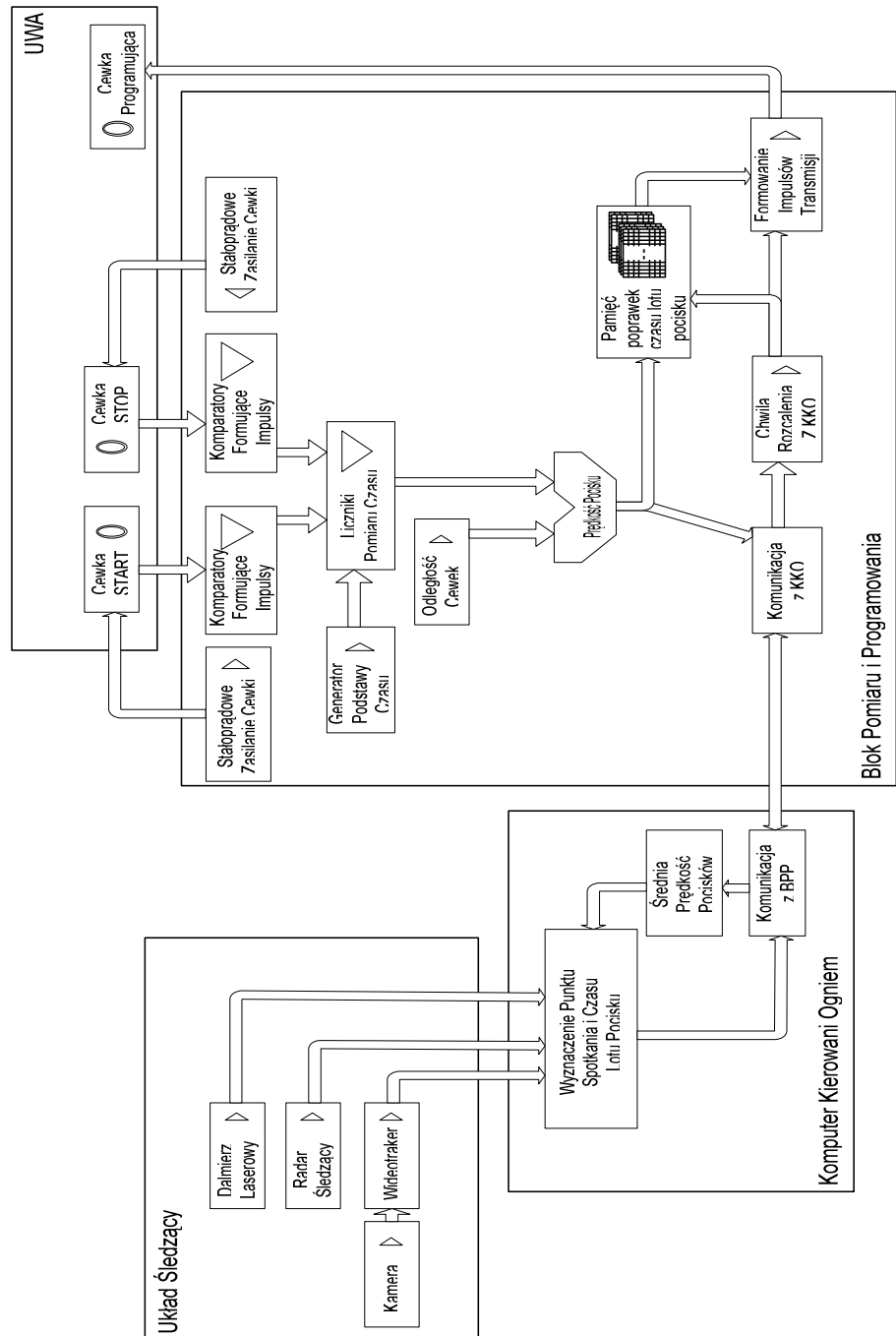
Do programowania pocisku przyjęto koncepcję programowania chwilą rozcalenia wyliczoną przez KKO (Komputer Kierowania Ogniem). Taki wybór, a nie np. zliczanie obrotów pocisku ułatwia zarówno konstrukcję części systemu zawartej w pocisku, jak i obliczenia po stronie KKO.

Ze względu na krótki czas wypracowania poprawki do programowanej chwili rozcalenia nie będzie ona wyliczana, a wyczytywana z tablicy. Odpowiednia komórka z tak tabelaryzowanej poprawki adresowana będzie chwilą rozcalenia przesłaną z KKO i różnicą między zmierzoną prędkością i tą przyjętą do obliczeń w KKO. Wartości wypełniające tablicę wypracowane zostaną w momencie opracowywania tabel strzelniczych nowej amunicji. W pierwszym przybliżeniu poprawka czasu detonacji pocisku polegać będzie na takim jego wydłużeniu bądź skróceniu, aby rozcalenie nastąpiło na takiej samej odległości. Taki sposób kompensacji rozrzutu prędkości sprawdza się jedynie przy strzelaniu do celów wolno lecących bądź stacjonarnych.



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiaru prędkości pocisku

Fig. 2. Block diagram of Air Burst Muniton programming system



Rys. 3. Schemat funkcjonalny systemu programowania pocisku

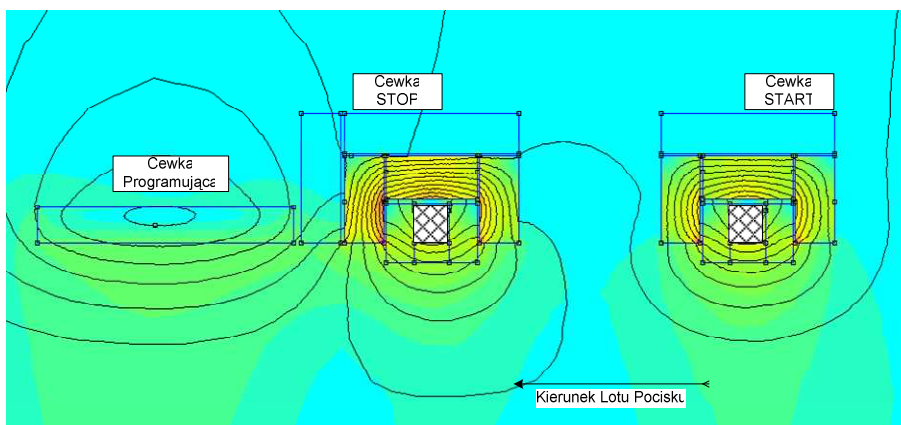
Fig. 3. Functional diagram of Air Burst Muniton programming system

Dla celów szybkich należy opracować inny algorytm korekty chwili rozcalenia. Z analiz różnicy czasów dolotu na zadaną odległość w funkcji rozrzutu prędkości początkowej podobnego typu amunicji wynika, że korekta czasu może być rzędu kilkudziesięciu milisekund, co przy celach szybkich skutkuje tym, że w chwili detonacji będzie on w zupełnie innym miejscu niż przewidywaliśmy.

Schemat blokowy i funkcjonalny systemu pomiaru prędkości wylotowej pocisków i programowania zapalnika przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

#### 4. ZASADA DZIAŁANIA

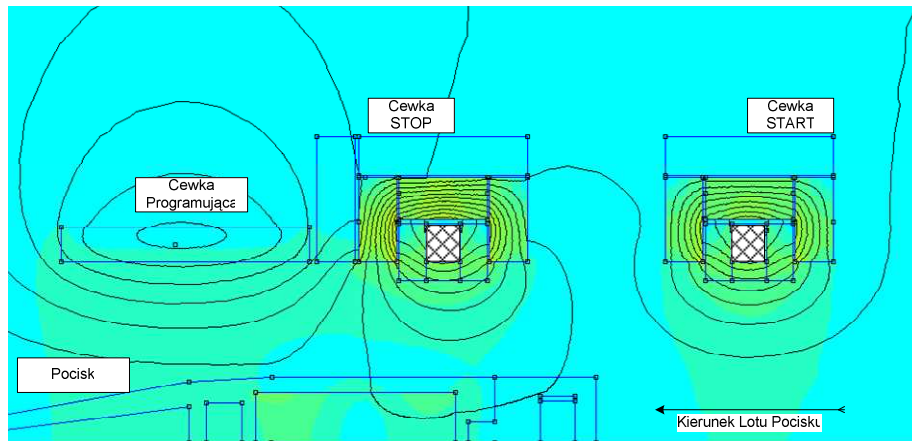
Zasada pomiaru prędkości wylotowej pocisku opiera się na pomiarze pośrednim. Mierzony jest bowiem czas, w jakim pocisk przebędzie odległość pomiędzy cewkami START i STOP. Cewki pomiarowe zasilane są ze stabilizowanego źródła prądowego, przez co wytwarzają pole magnetyczne. Rozkłady tych pól wokół cewek przedstawiają rysunki 3 i 4.



Rys. 4. Rozkład pola wokół cewek pomiarowych

Fig. 4. Field distribution near measuring and programming coils

Przejście ferromagnetycznego pocisku przez pole tak zasilonej cewki powoduje wygenerowanie zakłócenia na napięciu zasilającym cewki. Zakłócenie to ma charakter symetryczny względem wartości stałej napięcia zasilania. Do pomiaru czasu przelotu pocisku pomiędzy cewkami wykorzystuje się przejście sygnału zmiennego przez zero. Wcześniej mierzony jest czas dodatniej części zakłócenia w celu zweryfikowania, czy na pewno jest ono spowodowane wystrzeleniem pocisku.



Rys. 5. Rozkład pola wokół cewek w obecności pocisku

Fig. 5. Field distribution near coils with presence of projectile

W dotychczasowym systemie pomiaru prędkości pocisku, działającym w PZA LOARA dodatkowo jest mierzona szerokość ujemnej części zakłócenia i dopiero na tej podstawie zdarzenie klasyfikowane jest jako wystrzelenie pocisku. W projektowanym systemie z racji umiejscowienia cewki programującej bezpośrednio za cewką STOP trzeba zrezygnować z weryfikowania długości ujemnej części zakłócenia na rzecz obliczenia skorygowanego czasu rozcalenia i rozpoczęcia transmisji do pocisku. Czekaanie na dodatkowy pomiar spowodowałoby dalsze wydłużenie urządzenia wylotowego armaty i zwiększenie jego masy, co negatywnie wpłynęłoby na celność armaty.

Na rysunku 6 widoczne są wszystkie analizowane do tej pory formowane impulsy i ich czasy. Z przedstawionych odcinków czasów wynika, że należy zrezygnować z pomiaru impulsu na linii S5. A czasem naszego przelotu pocisku pomiędzy cewkami jest czas oznaczony Td.

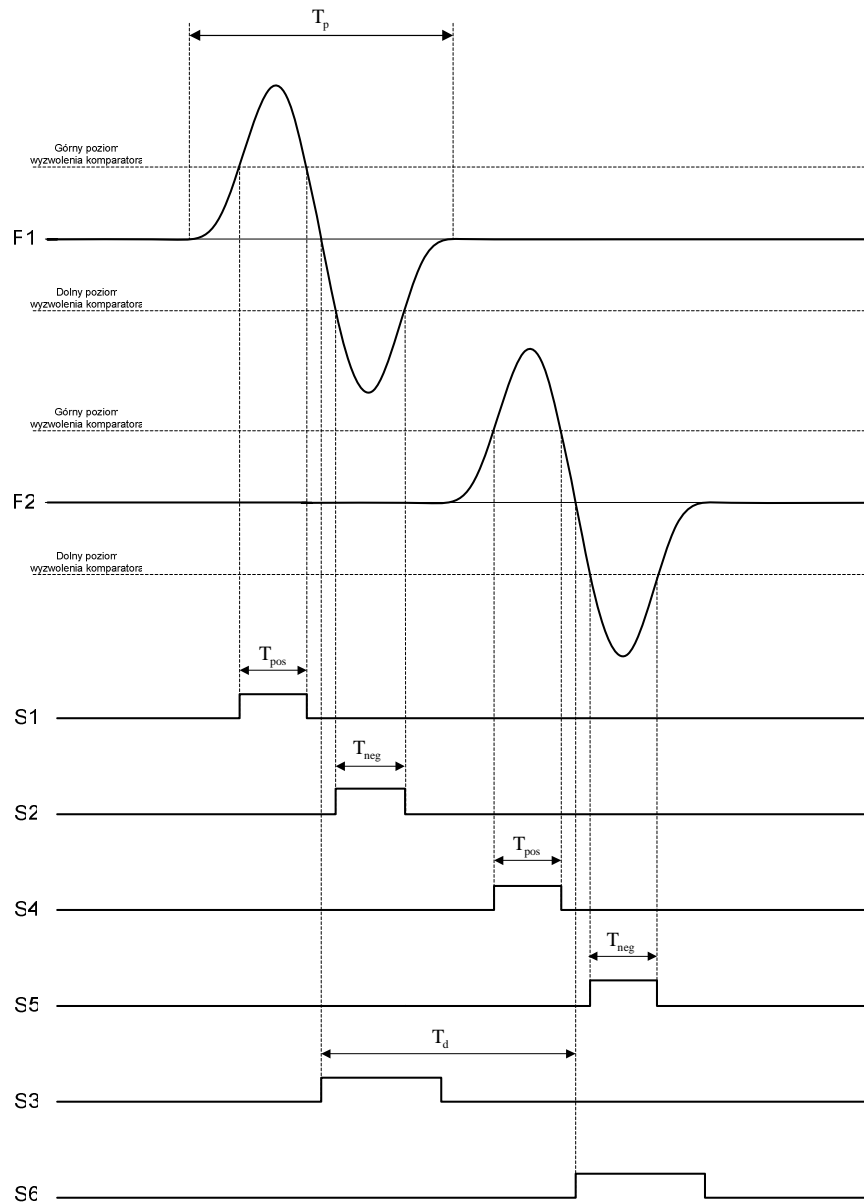
Na dokładność określenia mierzonej prędkości mają wpływ takie czynniki, jak:

- odległość między cewkami
- wielkość wygenerowanego sygnału na zasilaniu cewek
- odstępie tegoż sygnału od szumów.

Oczywiste jest, że im większa odległość cewek, tym dokładniejszy można uzyskać pomiar prędkości. Niemniej nadmierne wydłużanie bazy zmusza do zwiększania średnicy cewek, co znowu skutkuje pogorszeniem się drugiego punktu, czyli poziomu sygnału użytecznego dla takiego samego prądu zasilania cewek.



Odstęp sygnału użytkowego od szumu ma kolosalne znaczenie dla dokładności zdetekowania przejścia sygnału przez zero. Konieczne będzie jak najlepsze ekranowanie przewodów i odfiltrowanie zakłóceń.



Rys. 6. Przebiegi sygnałów z cewek i wygenerowane na ich podstawie impulsy pomiarowe

Fig. 6. Measured signals from coils and pulses generated from them

## 5. PODSUMOWANIE

Dotychczasowy przebieg prac konstrukcyjnych i doświadczenia zdobyte przy opracowywaniu poprzedniego systemu pomiaru prędkości wylotowej pocisku dają podstawę do oczekiwania zakończenia omawianego projektu rozwojowego sukcesem.

O możliwości późniejszego wykorzystania opracowanego systemu do broni innego kalibru decydować będą przede wszystkim wymiary fizyczne odbiornika z zapalnikiem umieszczone w pocisku. I tak jak w większych kalibrach nie będzie z tym problemu tak przy próbie przejścia do mniejszych będzie być może wymagać niewielkich modyfikacji.

Zastosowanie opracowanego systemu amunicji programowalnej i przez to poszerzenie spektrum zwalczania ŚNP o takie zagrożenia, jak samoloty bezzałogowe czy rakiety powietrze-ziemia w znaczący sposób podnosi zdolności bojowe wojsk Obrony Przeciw Lotniczej.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2011  
jako projekt rozwojowy.*

## **System of Measuring Projectile's Velocity and Setting Fuse in 35 mm Antiaircraft Ammunition**

Radomir JĘDRZEJEWSKI, Tomasz LINKIEWICZ,  
Artur POKRAŚNIEWICZ

**Abstract.** The concept of measuring projectile's velocity and setting time of detonation in Air Bursting Ammunition. Experience in previous works over similar system. Expected difficulties in realization and suggested ways of dealing with them.

**Keywords:** ABM – Air Burst Muniton, fuse, projectile, time programming, antiaircraft