

Jacek PIONTEK*
Sławomir KRZYŻANOWSKI

URZĄDZENIA DO POMIARU PRĘDKOŚCI POCISKÓW ARTYLERYJSKICH

W artykule przybliżono treści związane z historią powstawania urządzeń do pomiaru prędkości początkowej pocisków artyleryjskich, ich budowę i zasady działania. Podjęto także próbę charakterystyki kierunków rozwoju tych urządzeń w kontekście pomiaru parametrów wybranych zjawisk fizycznych towarzyszących strzelaniu. Ponadto scharakteryzowano wybrane stacje balistyczne stosowane obecnie w naszej armii i armiach innych państw pod kątem dokładności pomiarów i zakresu działania.

Słowa kluczowe: urządzenia pomiarowe, pociski artyleryjskie, prędkość początkowa, stacje balistyczne, strzelanie

WSTĘP

Współczesne działania charakteryzują się dużą dynamiką i zmiennością sytuacji. Walczące wojska zmuszone są do prowadzenia walki niezależnie od panujących w danym momencie warunków atmosferycznych, o każdej porze doby oraz w różnych środowiskach walki. Istotny wpływ na przebieg walki ma wsparcie ogniowe, w tym szczególnie wsparcie artyleryjskie. Podstawowym sposobem określania nastaw w pododdziałach artylerii, jaki powinien być wykorzystywany w trakcie działań bojowych jest, określanie nastaw na podstawie pełnych danych o warunkach strzelania. Określanie nastaw tym sposobem zapewnia maskowanie własnego ugrupowania bojowego do momentu otwarcia ognia i pełne zaskoczenie przeciwnika, co z kolei ma decydujący wpływ na skuteczność rażenia ogniowego. Zastosowanie tego sposobu określania nastaw uzależnione jest od spełnienia wymogów związanych z przygotowaniem strzelania i kierowania ogniem, szczególnie z przygotowaniem meteorologicznym (posiadanie ważnego komunikatu „meteośredniego”) oraz przygotowaniem balistycznym (znane sumaryczne odchyłki prędkości początkowej dla

* kpt. mgr inż. Jacek PIONTEK, mjr mgr inż. Sławomir KRZYŻANOWSKI – Instytut Dowodzenia Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych

każdej partii prochu)¹. Określanie sumarycznej odchyłki prędkości początkowej stanowi najważniejsze przedsięwzięcie przygotowania balistycznego. Nieuwzględnienie sumarycznej odchyłki prędkości początkowej w procesie określania nastaw, prowadzi może do znacznych uchyień pocisków od celu sięgających nawet 200 – 400 m, co w konsekwencji może prowadzić do niewykonania zadania ogniowego². Aby określić wartość odchyłki prędkości początkowej, należy w trakcie strzelania porównać rzeczywistą prędkość pocisku w momencie wylotu z przewodu lufy z tabelaryczną prędkością początkową pocisku, określoną w trakcie projektowania pocisku, która zawarta jest w tabelach strzelniczych. Metody pomiaru prędkości pocisków, w których rezultacie określano wartość odchyłki prędkości początkowej były przedmiotem zainteresowania artylerzystów od momentu rozpoczęcia określania nastaw na podstawie pomiarów i obliczeń. Próby określenia prędkości pocisków w momencie wystrzału zaowocowały wieloma ciekawymi rozwiązaniami przyrządów, które wykorzystując powszechnie znane zjawiska fizyczne, stały się wyznacznikiem kierunków rozwoju tych urządzeń. Celem artykułu jest charakterystyka urządzeń do pomiaru prędkości pocisków stosowanych w przeszłości w kontekście ogólnej budowy i zasady działania oraz zjawisk fizycznych wykorzystywanych w obliczeniach. Ponadto, podjęto próbę przedstawienia na wybranych przykładach kierunku rozwoju współcześnie stosowanych stacji balistycznych w naszej armii i armiach innych państw w oparciu o dokładność i zakres działania tych urządzeń. Obecnie podstawowym sposobem określenia sumarycznej odchyłki prędkości początkowej jest odstrzał danej partii prochu **z wykorzystaniem stacji balistycznej**, która mierzy prędkość pocisków w momencie wylotu z przewodu lufy działa.

Aby przybliżyć obszar tematyki zawarty w artykule, należy najpierw sklasyfikować metody pomiarowe prędkości pocisków. Wszystkie znane metody pomiaru prędkości są metodami pomiarowymi pośrednimi. W zależności od rodzaju wykorzystywanych do pomiaru zjawisk fizycznych metody pomiaru można podzielić na:

- mechaniczne;
- elektryczne;
- optyczne;
- interferometryczne;
- radiolokacyjne;
- kombinowane.

Bardzo często bywa tak, że w metodzie pomiarowej wykorzystuje się kilka zjawisk fizycznych jednocześnie, mówimy wtedy o metodzie kombinowanej, np. elektromechanicznej³.

¹ *Instrukcja strzelania i kierowania ogniem pododdziałów artylerii naziemnej, cz. I.*, Sygn. Szt. Gen., Warszawa 1993, pkt. 1, s. 8.

² Strzelając ze 122 mm haubicy 2-S1, ładunkiem pełnym na odległość $D_r^c = 10000m$, przy założeniu, że $\Delta V_{\alpha_{sum}} = -4\%V_o$, poprawka donośności na odchyłkę prędkości początkowej wyniesie $\Delta D_{v_0} = +416m$.

³ I. Dobiech, *Balistyka doświadczalna, cz. III*, WAT, Warszawa 1989, s. 119.

Metody pomiaru prędkości w zależności od rodzaju mierzonej prędkości dzielimy na:

- metody pomiaru prędkości ciała, bryły (np. pocisku, rakiety);
- metody pomiaru prędkości cząstek (np. gazowych, proszków, ziaren prochowych) - prędkości masowej;
- metody pomiaru prędkości rozchodzenia się zaburzeń małej wartości prędkości dźwięku;
- metody pomiaru prędkości rozchodzenia się zaburzeń dużej wartości prędkości czoła fali uderzeniowej lub detonacyjnej.

Przyjmując za kryterium podziału wartość prędkości, metody pomiaru dzieli się na:

- metody pomiaru prędkości poddźwiękowych;
- metody pomiaru prędkości okołodźwiękowych;
- metody pomiaru prędkości dźwięku;
- metody pomiaru prędkości naddźwiękowych;
- metody pomiaru prędkości hiperdźwiękowych.

Żadne z zastosowanych kryteriów nie ma uniwersalnego charakteru, dlatego też biorąc pod uwagę to, iż zajęto się pomiarem prędkości pocisków, metody pomiaru prędkości podzielić można na:

- metody określania prędkości średniej;
- metody określania prędkości chwilowej;
- metody ciągłego pomiaru prędkości⁴.

Metody określania średniej prędkości na pewnym odcinku toru lotu ciała są metodami stosunkowo prostymi. Stopień ich skomplikowania zależy od wymaganej dokładności pomiaru, długości odcinka pomiarowego oraz intensywności zmian prędkości. Metody te są najczęściej wykorzystywane w badaniach poligonowych i laboratoryjnych. W sposobie pomiaru przy ustalonej bazie najczęściej wykorzystywane są metody kombinowane (np. elektromechaniczne, elektromagnetyczne, fotooptyczne), natomiast w drugim sposobie, przy ustalonym czasie, metody fotografowania klatkowego i smugowego.

Do metod umożliwiających pomiar prędkości chwilowej i zmiennej w czasie, wykorzystuje się najczęściej metody radiolokacyjne oraz fotograficzne. Metody radiolokacyjne wykorzystujące zjawisko Dopplera, stosowane są do pomiaru prędkości pocisku po jego wylocie z przewodu lufy i w znacznych od niego odległościach⁵. Metody fotograficzne dzielą się na klatkowe i smugowe. Metoda fotografii klatkowej, w zależności od częstotliwości wykonywania zdjęć, może dostarczyć informacji o prędkości średniej lub chwilowej. Polega ona na krótkotrwałym otwarciu przysłony urządzenia fotografującego. W fotografii smugowej fotografowanie pocisku odbywa się przez szczelinę równoległą do toru lotu. Dane o prędkości pocisku określa się na

⁴ Tamże, s. 12.

⁵ Tamże, s. 16.

podstawie kąta nachylenia smugi obrazującej ruch pocisku. Metoda klatkowa, ze względu na niezawodność i prostotę pomiaru, jest bardziej praktyczna podczas wykonywania pomiarów w badaniach balistycznych.

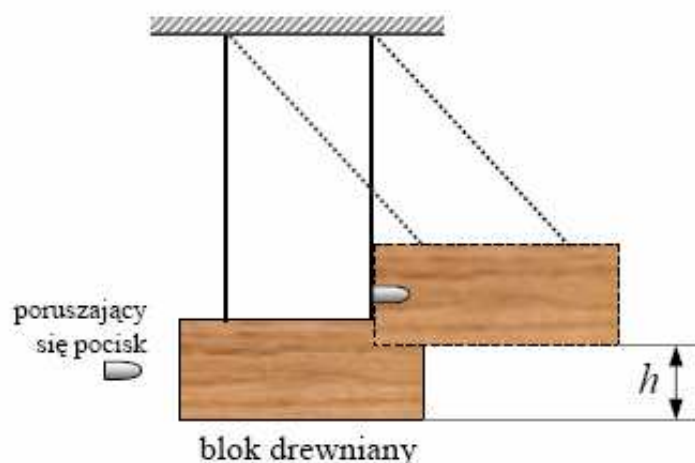
1. URZĄDZENIA DO POMIARU PRĘDKOŚCI POCZĄTKOWEJ POCISKÓW STOSOWANE W PRZESZŁOŚCI

Poniżej przedstawiono w chronologicznej kolejności urządzenia do pomiaru prędkości początkowej pocisków wraz z krótką charakterystyką istoty działania i przedstawieniem ogólnych zasad wykonania pomiaru. Do tych urządzeń zaliczamy:

- wahadło balistyczne;
- chronometr de Boulangerera;
- chronograf de Boulangerera;
- chronograf indukcyjny;
- chronoskop – milisekundomierz Szyrskiego;
- czasomierz iskrowy;
- urządzenia solenoidowe.

1.1. Wahadło balistyczne

W 1730 roku Benjamin Robins, angielski matematyk, jako członek Royal Society, rozpoczął badania w dziedzinie balistyki. W 1742 roku opublikował wynalazek wahadła balistycznego, pierwszego naukowego urządzenia do pomiaru prędkości pocisku. Wahadło balistyczne było prostym przyrządem składającym się z płaskiej płyty połączonej z podstawą za pomocą linek lub ruchomego ramienia. Istota działania wahadła balistycznego polegała na pomiarze kąta wychylenia się wahadła na skutek uderzenia pocisku. Znając masę pocisku oraz parametry wahadła, na podstawie obliczeń matematycznych Robins określił prędkość pocisku. To odkrycie zapoczątkowało rozwój urządzeń do pomiaru prędkości początkowej pocisków. Utworzył się nowy kierunek rozwoju tych urządzeń.



Rys. 1. Istota działania wahadła balistycznego

Źródło: Opracowanie własne

1.2. Chronometr de Boulangera

Odkrycie Johanna Christiana Dopplera dotyczące zmiany częstotliwości fali wywołanej zmianą wzajemnego położenia źródła fali i odbiornika, zostało wykorzystane w artylerii po raz pierwszy przez de Boulangera. Wahadło balistyczne skonstruowane przez Robinsa i wykorzystywane aż do końca XIX wieku, zastąpiono chronometrem de Boulangera⁶. Prototyp takiego chronometru zbudowany został w 1892 r. i był elektromagnetycznym urządzeniem do pomiaru krótkich przedziałów czasowych⁷.

Prędkość początkową pocisków mierzono przez strzelanie do ram pomiarowych połączonych z chronometrem de Boulangera. Był to przyrząd dokładny, ale ze względu na swą masywność niezdatny do przewożenia i bywał najczęściej montowany na stałe w laboratoriach balistycznych poligonów naukowo-badawczych. W warunkach polowych stosowano chronometry o lżejszej konstrukcji, zmontowane na samochodach ciężarowych.

Chronometr de Boulangera był na owe czasy niezawodnym urządzeniem mierzącym bezwzględną wartość przedziału czasowego, ponieważ nie wymagał skalowania ani sprawdzeń, jednak ze względu na duże gabaryty nie można go było transportować, co wykluczało jego użycie na polu walki.

1.3. Chronograf de Boulangera

Chronograf de Boulangera składał się z żeliwnej kolumnienki umieszczonej na podstawie, na której umocowane były dwa elektromagnesy. Do rdzeni elektromagnesów podwieszano pręty, jeden dłuższy, zwany chronometrem i drugi krótszy, zwany opadnikiem. Określenie prędkości początkowej za pomocą chronografu strzelaniem przez ramy pomiarowe sprowadzało się do tego, że w pobliżu działa, którego lufa była ustawiona poziomo, w odległości bezpiecznej od działania gazów opuszczających przewód lufy (przeważnie 15-50m, zależnie od kalibru działa), ustawiano ramę pomiarową. Ramę wykonywano z drewna, a między jej poziomymi brzegami naciągano cienki miedziany, dwukrotnie cynowany drut, włączony w obwód elektromagnesu przyrządu. Ramę wykonywano w ten sposób, aby pocisk nie mógł przejść przez nią, nie przerywając któregoś z drucików, umieszczonych w odstępach od $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{2}$ kalibru badanego działa. Przechodząc przez ramę, pocisk przerywał drut, a przez to obwód elektryczny. Silny elektromagnes chronografu w tym momencie tracił swoje własności magnetyczne, a podtrzymywany dotąd pręty długi, pusty w środku drążek, zwany chronometrem, zaczynał spadać. Za pierwszą ramą w ściśle określonej odległości ustawiona była druga taka sama rama, spełniająca dokładnie te same zadanie. Prędkość określana była na podstawie różnicy czasowej w opadaniu elektromagnesów. W celu uzyskania większej dokładności oddawano nie jeden, a 7-10 strzałów, prędkość określano, jako średnią arytmetyczną wszystkich pomiarów. Prędkość obliczona w ten sposób odnosiła się do punktu leżącego mniej więcej w środku pomiędzy ramami. Chronograf de Boulangera był prosty w użyciu i umożliwiał dużą dokładność pomiaru z błędem rzędu 0,1%⁸.

⁶ I. Dobiech, *Balistyka doświadczalna, Metody i układy pomiarowe, cz. III*, WAT, Warszawa 1989, s. 65.

⁷ Tamże, s. 65.

⁸ Tamże, s. 65.

1.4. Chronograf indukcyjny

Budowa chronografu indukcyjnego i zasada wykonywania pomiaru jest następująca: ramy w postaci cewek mocowano na stojaku. Wymiary cewek i stojaka ustalano w zależności od kalibru pocisku i odległości ich od działa. Cewka składała się z jednego lub dwóch zwojów, których końce połączone były z urządzeniem rejestrującym. Istota pomiaru za pomocą chronografu polegała na tym, że w momencie przelotu pocisku przez ramę zmieniał się strumień magnetyczny w polu cewki. Na światłoczułym papierze rejestrowały się drgania widełek stroikowych dla ustalenia skali czasu, a jednocześnie zmiany strumienia magnetycznego w polu cewki. W momencie przelotu pocisku przez ramę wielkość strumienia magnetycznego gwałtownie wzrastała, a moment zostawał utrwalony na oscylogramie tak zwanym „wyskokiem”⁹. Dwie ramy-cewki ustawione na drodze pocisku na określonej odległości od siebie, powodowały dwa wyskoki zapisu na oscylogramie. Przed badaniami mierzono dokładnie odległość między ramami. Z przebiegu drgań widełek stroikowych na oscylogramie określano czas, w jakim pocisk przeszedł drogę między ramami na podstawie czego określano prędkość pocisku.

Zasadniczą wadą chronografu indukcyjnego była konieczność bardzo dokładnego pomiaru stosunkowo dużej odległości pomiędzy cewkami oraz konieczność skalowania według chronografu de Boulangerera, który również był obciążony błędem pomiarowym. Zastosowanie cewek indukcyjnych, które posiadają pewną bezwładność działania, spowodowanej kształtem impulsu napięciowego cewki, przyczyniało się do niestabilności układu pomiarowego, a tym samym zwiększenia błędu pomiaru.

1.5. Chronoskop - milisekundomierz Szyskiego

Przed II wojną światową w ZSRR czynione były próby zastosowania chronoskopu milisekundomierza Szyskiego. Przy określaniu prędkości początkowej pocisku za pomocą tego aparatu rozstawienie ram było identyczne jak przy pomiarze chronografem de Boulangerera. Chronoskop, podobnie jak chronograf, posiadał dwa elektromagnesy, z których jeden uruchamiał wskazówkę przyrządu, drugi zaś powodował jej zatrzymanie. Każdy z elektromagnesów włączony był do obwodu odpowiedniej ramy tak samo, jak podczas pracy chronografu de Boulangerera. Gdy pocisk przerwał drucik pierwszej ramy, wskazówka wychylała się, a gdy przeleciał przez drugą ramę - zatrzymywała się. Czas odczytywano bezpośrednio ze skali przyrządu. Poprawkę przyrządu ustalano tak, jak w chronografie, przez jednoczesne przerwanie obu obwodów prądu. Ramy musiały być również rozstawione tak, aby przelot pocisku między nimi trwał 0,1 - 0,15 sek¹⁰. Ze wskazań chronoskopu wyliczano średnią arytmetyczną prędkość pocisku, zakładając, że jest to jego prędkość w punkcie położonym w środku odcinka ograniczonego ramami.

Chronoskop - milisekundomierz Szyskiego pomimo bardzo niewielkich wymiarów, co znacznie zwiększyło możliwości zastosowania w trudno dostępnym terenie, nadal charakteryzował się błędem pomiarowym wynikającym z bezwładności cewek elektromagnetycznych, oraz podobnie jak w chronografie, cechował się błędem bazy pomiarowej.

⁹ Tamże, s. 62.

¹⁰ S. Torecki, *Balistyka wewnętrzna*, WAT, Warszawa 1980, s. 78.

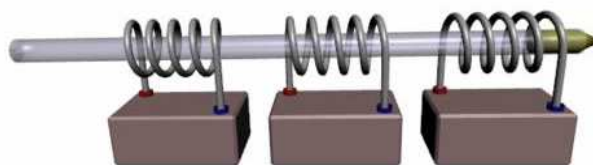
1.6. Czasomierz iskrowy

Rozwój myśli technicznej przyczynił się do wynalezienia czasomierza iskrowego - przyrządu, którego nie trzeba było skalować według innych urządzeń i który nie posiadał takich wad, jak chronograf de Boulanger'a. Podstawowy element czasomierza iskrowego stanowił bęben, który za pomocą odpowiedniego silnika był wprawiany w ruch. Ilość obrotów określano tachometrem. Przerwywacze ramowe włączone były w obwody pierwotne induktorów, natomiast obwody wtórne induktorów z jednej strony połączone były z masą bębna, z drugiej zaś z ostrzami, umieszczonymi w odległości około 1 mm od powierzchni bębna. Przy przerwaniu przepływu prądu we wtórnym obwodzie indukował się prąd i przy ostrzu przeskakiwała iskra znacząca ślad na zakopconej powierzchni bębna. Umożliwiało to określenie przedziału czasu między przerwaniem obwodów czasomierza.

Wadą czasomierza iskrowego była mała dokładność określenia ilości obrotów bębna (błąd rzędu 1%) i mała stateczność układu elektrycznego¹¹. Natomiast istotną zaletę stanowił brak występowania błędów skalowania i bezwładności elementów pomiarowych.

1.7. Urządzenia solenoidowe

W ostatnich czasach szerokie zastosowanie znalazły urządzenia typu solenoidowego, w których przerwywacze ramowe zastąpione były dwiema – trzema cewkami indukcyjnymi, ustawionymi jedna od drugiej w odległości rzędu 5 - 10 m¹².



Rys. 2. Istota działania urządzeń solenoidowych

Źródło: Opracowanie własne

Przy przechodzeniu pocisku przez cewki indukuje się prąd indukcyjny, który po odpowiednim wzmocnieniu zostaje przekazany do oscylografu. Rejestracja przejścia pocisku przez cewkę dokonywana była na papierze światłoczułym, nawiniętym na bębnie wykonującym ruch obrotowy. Na tym samym bębnie rejestrowana była również skala czasu, otrzymywana dzięki zastosowaniu urządzenia kamertonowego lub lampy neonowej.

Podstawową zaletą tego rodzaju czasomierzy była stosunkowo mała baza pomiarowa, dzięki czemu ułatwione były pomiary prędkości przy dowolnym kącie podniesienia lufy działa. Urządzenie tego typu nie wymagało również ponownego nawijania przerwywaczy po każdym strzale, tak jak to miało miejsce w przypadku

¹¹ Tamże, s. 95.

¹² *Balistyka zewnętrzna*, podręcznik MON, Warszawa 1989, s. 214.

stosowania przerywaczy ramowych. Te względy pozwalały na łatwe łączenie strzelań pod różnymi kątami rzutu z równoczesnymi pomiarami prędkości początkowej¹³.

Przegląd wszystkich sposobów określania prędkości pocisków ukazuje, jak dużą uwagę zwracano w przeszłości zagadnieniom jej pomiaru. Rozwój myśli technicznej i jej wykorzystywanie w różnorodnych rozwiązaniach konstrukcyjnych urządzeń do pomiaru prędkości pocisków potwierdza znaczenie tego problemu, w zapewnieniu uzyskania dokładności strzelań artylerii.

2. WSPÓŁCZESNE STACJE BALISTYCZNE

Wraz z rozwojem technologicznym po II wojnie światowej powstawały coraz bardziej nowoczesne urządzenia wykorzystujące najnowsze osiągnięcia do pomiaru prędkości początkowej. Szerokie spektrum możliwości dało odkrycie zjawiska Dopplera. Współczesne metody pomiarowe z wykorzystaniem tego zjawiska, spełniają warunki precyzyjnego pomiaru prędkości na dowolnym odcinku toru lotu pocisku. W zależności od potrzeb uzyskania określonej dokładności wyników pomiarowych oraz wybranego odcinka toru lotu pocisku, istnieje możliwość doboru odpowiedniej metody pomiarowej. Wytyczyło to nowe możliwości zastosowania metod pomiaru prędkości początkowej pocisków artyleryjskich opartych na zasadzie pomiaru częstotliwości dopplerowskiej. W wyniku rozwoju tych technologii na wyposażeniu armii wielu państw pojawiły się różnorodne modele stacji balistycznych mierzących prędkość początkową pocisków o różnych kalibrach i pocisków o bardzo dużych prędkościach początkowych.

Obecnie w naszej armii na wyposażeniu pododdziałów artylerii znajdują się polowe stacje balistyczne (PSB) RUBIN. Charakteryzują się one błędem środkowym pomiaru do 0,05 %Vo w zakresie od 30 do 3000 m/s. Istota działania stacji polega na uruchomieniu procesu pomiaru poprzez błysk powstały przy wystrzale. Następnie na odcinku toru lotu pocisków w odległości nie większej niż 3000 kalibrów od działa dokonywanych jest około 18 wcięć pocisku, wykorzystując zjawisko odbicia fali.

Przygotowanie PSB do pracy polega na podłączeniu wszystkich elementów zestawu oraz rozstawienie bloku antenowego obok działa kontrolnego w odległości około 3m od osi lufy na wysokości czopa działa. Po rozstawieniu należy wprowadzić do pamięci urządzenia pomiarowego niezbędne parametry tabelaryczne pocisku, stanowiące bazę wyjściową, względem której obliczane będą różnice. Do tych parametrów zaliczamy między innymi ciężar pocisku nominalnego, rodzaj działa, prędkość tabelaryczną pocisku, długość lufy działa, odległość bazową (odległość pomiędzy osią przewodu lufy a osią elektryczną anteny PSB z dokładnością do 0,1 m), numer ładunku oraz temperaturę ładunku. Ponadto bezpośrednio przed pomiarem należy wykonać test pomiarów¹⁴. Wszystkie czynności związane z określeniem sumarycznej odchyłki prędkości początkowej z wykorzystaniem stacji RUBIN są złożone i zabierają dużo czasu. Długi czas rozwijania i testowania poprawności pracy

¹³ I. Dobiech, *Badania nad możliwościami użycia czujników solenoidalnych do pomiaru prędkości wylotowej pocisku w bojowych urządzeniach miotających*, [w:] „Problemy Techniki Uzbrojenia i radiolokacji”, Zeszyt 26, Warszawa 1980.

¹⁴ *Instrukcja eksploatacji, opis techniczny polowej radiolokacyjnej stacji balistycznej PRSB-1*, Zakład urządzeń radiolokacyjnych, ZURAD, s. 8.

oraz przygotowania poszczególnych elementów wchodzących w skład stacji balistycznej, czyni to urządzenie niepraktycznym na polu walki.

Stacje balistyczne będące na wyposażeniu armii innych państw przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Urządzenia do pomiaru prędkości początkowych pocisków stosowane w artylerii różnych państw

L.p.	Nazwa stacji	Producent	Miejsce montażu	Metoda wykorzystywana do pomiaru prędkości początkowej	Błąd pomiaru	Zdjęcie
1.	Polowa stacja balistyczna RUBIN 1M	Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia - Polska	Na statywie	Zjawisko Dopplera	Błąd średniokowy pomiaru do 0,05 % V_0 w zakresie od 30 do 3000 m/s.	
2.	MVR (Muzzle Velocity Radar)	Francja	Korpus działa.	Zjawisko Dopplera	Błąd pomiaru 0,1% w zakresie od 50 do 2000m/s	
3.	AFAMVR (Advanced Field Artillery Muzzle Velocity Radar). Na wyposażeniu armii USA pod nazwą M94	Izrael	Korpus działa.	Zjawisko Dopplera – technika DSP	Błąd pomiaru 0,05% w zakresie od 150 do 2000 m/s.	
4.	MV 201 (Muzzle Velocity)	Republika Południowej Afryki	Korpus działa.	Zjawisko Dopplera	Błąd pomiaru 1 m/s w zakresie od 300 do 1400 m/s.	
5.	EDH-2305	USA	Korpus działa lub na statywie	Zjawisko Dopplera - analiza widmowa za pomocą FFT	Brak danych	

URZĄDZENIA DO POMIARU PRĘDKOŚCI POCISKÓW ARTYLERYJSKICH

L.p.	Nazwa stacji	Producent	Miejsce montażu	Metoda wykorzystywana do pomiaru prędkości początkowej	Błąd pomiaru	Zdjęcie
6.	MVRS (Muzzle Velocity Radar System)	Turcja	Brak danych	Zjawisko Dopplera	Brak danych	
7.	DR 5000 (Velocity Analyser)	Dania		Zjawisko Dopplera	Brak danych	-
8.	MVSR-700 (Muzzle Velocity System Radar)	USA	Korpus działa lub na statywie	Zjawisko Dopplera - analiza widmowa za pomocą FFT.	Brak danych	
9.	TIUS-I	Ukraina	Brak danych	Zjawisko Dopplera - synchronizacja fazowa sygnału dopplerowskiego w petli PLL (tzw. metoda zliczeniowa)	Błąd pomiaru wynosi 0,05% w zakresie od 100 do 1125 m/s.	
10.	BS MVBS (MILIMETER WAVE BALISTIC STATION)	Ukraina	Brak danych		Błąd pomiaru wynosi 0,03% w zakresie od 40 do 2400 m/s.	
11.	MVS-470 (Muzzle Velocity System)	Australia	Korpus działa	Zjawisko Dopplera	Brak danych	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: M. Bodjański, Przegląd aktualnie stosowanych rozwiązań w dziedzinie radiolokacji dopplerowskiej

Analizując dane zawarte w tabeli 1, można zauważyć tendencję konstruowania stacji balistycznych z możliwością ich instalowania bezpośrednio na korpusie dział.

We wszystkich przedstawionych stacjach balistycznych wykorzystuje się zjawisko Dopplera. Jedyną różnicę stanowią zastosowane odpowiednie metody pomiarowe.

PODSUMOWANIE

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że rozwój urządzeń do pomiaru prędkości początkowej pocisków na przestrzeni kilkudziesięciu lat jest coraz bardziej intensywny. Większość urządzeń do pomiaru prędkości początkowej była ściśle związana z wykorzystaniem elektroniki, co w głównej mierze wytyczyło kierunek poszukiwań przyszłych rozwiązań w dziedzinie elektroniki cyfrowej. Idealny pomiar prędkości początkowej jest praktycznie niewykonalny, ponieważ niemożliwe jest dokładne określenie punktu, w którym kończy się oddziaływanie gazów prochowych na pocisk. W celu uproszczenia obliczeń w praktyce korzysta się z pojęcia prędkości początkowej, zakładając, że jest to umowna prędkość ruchu postępowego pocisku artyleryjskiego. W celu określenia V_0 prędkość zmierzona poza strefą powylotowego działania gazów sprowadza się do wylotu lufy za pomocą wzorów balistyki zewnętrznej.

Pomimo że nie są jeszcze znane wszystkie możliwości wykorzystania elektroniki cyfrowej w wykonywaniu precyzyjnych pomiarów prędkości początkowej, to dotychczas poznane możliwości tej dziedziny pozwalają stwierdzić, że przewyższają pod wieloma względami przestarzałe oraz mało efektywne urządzenia stanowiące jedynie eksponaty historii rozwoju urządzeń do pomiaru prędkości początkowej pocisków. Stosowane stacje balistyczne typu PSB RUBIN wykorzystywane w WP do pomiaru prędkości początkowej wymagają zamiany na bardziej nowoczesne. Obecnie w Polsce zakończono próby haubicy samobieżnej *Krab*. Haubicę wyposażono w dopplerowski radarowy miernik prędkości wylotowej pocisku *MVRS-700*, taki sam, jaki znajduje się na wyposażeniu w działach *PzH 2000*. Połączenie tego układu z komputerem balistycznym pozwala na bieżące korygowanie danych wejściowych o prędkości wylotowej pocisku, co ma istotne znaczenie dla podniesienia dokładności strzelania¹⁵.

Wprowadzanie zautomatyzowanych systemów kierowania ogniem powinno następować równocześnie z wprowadzaniem na wyposażenie pododdziałów artylerii urządzeń umożliwiających realizację przedsięwzięć przygotowania balistycznego z wymaganą dokładnością, a przykład haubicy samobieżnej *Krab* i wyposażenie jej w nowoczesną stację balistyczną jednoznacznie świadczy o przyjętym właściwym kierunku rozwoju naszej artylerii. Wyposażenie wszystkich dział w moduły pomiaru prędkości początkowej stanowi, w dobie intensywnej integracji technologii cyfrowej, cel priorytetowy, w poszukiwaniu coraz lepszych rozwiązań oraz wymierza płaszczyznę standardów nowoczesnej armii.

LITERATURA

1. *Balistyka zewnętrzna*, MON, Warszawa 1989.
2. Bodjański M., *Przegląd aktualnie stosowanych rozwiązań w dziedzinie radiolokacji dopplerowskiej*, WITU.

¹⁵ T. Rubaj, *Organizacja, uzbrojenie, możliwości bojowe i kierunki rozwoju artylerii wojsk lądowych*, AON, Warszawa 2009, s. 56.

3. *Instrukcja strzelania i kierowania ogniem pododdziałów artylerii naziemnej, dywizjon, bateria, pluton, działo, cz. I*, SG WP, Art.813/93, Warszawa 1993.
4. Dobiech I., *Balistyka doświadczalna, cz. III*, WAT, Warszawa 1989.
5. Dobiech I., *Metody i układy pomiarowe*, WAT, 1840/98, Warszawa 1989.
6. Dobiech I., *Badania nad możliwościami użycia czujników solenoidalnych do pomiaru prędkości wylotowej pocisku w bojowych urządzeniach miotających*, [w:] „Problemy Techniki Uzbrojenia i radiolokacji”, Zeszyt 26, Warszawa 1980.
7. *Instrukcja eksploatacji, opis techniczny polowej radiolokacyjnej stacji balistycznej PRSB-1*, Zakład urządzeń radiolokacyjnych, ZURAD.
8. *Podręcznik Strzelanie i kierowanie ogniem artylerii naziemnej*, Wydawnictwo MON, Warszawa 1987.
9. Rubaj T., *Organizacja, uzbrojenie, możliwości bojowe i kierunki rozwoju artylerii wojsk lądowych*, AON, Warszawa 2009.
10. Torecki S., *Balistyka wewnętrzna*, WAT, Warszawa 1980.

DEVICES FOR MEASURING VELOCITY OF ARTILLERY PROJECTILES

Summary

The article presents the history of developing the devices for measuring the muzzle velocity of artillery projectiles, their construction and rules of operating. The authors also attempt to describe the development trends of these devices in the context of measuring selected physical phenomena related to firing. Furthermore, some ballistic stations currently used in armed forces are described from the point of view of their accuracy and reliability.

Key words: *measuring devices, artillery projectiles, muzzle velocity, ballistic stations, firing*

Artykuł recenzował: prof. dr hab. Czesław JARECKI