

# **OCENA DOKŁADNOŚCI STRZELANIA ZESTAWU PRZECIWLOTNICZEGO WYPOSAŻONEGO W SYSTEM KIEROWANIA OGNIEM PRZY POMOCY MOBILNEGO OPTOELEKTRONICZNEGO ZESTAWU TRAJEKTOGRAFICZNEGO**

*Artykuł przedstawia problematykę dokonywania oceny dokładności i skuteczności działania zestawów przeciwlotniczych wyposażonych w System Kierowania Ogniem przy pomocy będącego na wyposażeniu Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia Mobilnego Systemu Trajektograficznego. Przedstawiono, zasadę działania systemu trajektograficznego, jego możliwości techniczne oraz metody badań zestawów przeciwlotniczych wyposażonych w System Kierowania ogniem w warunkach poligonowych.*

## **1. Wstęp**

Wiele eksploatowanych lub wdrażanych w Siłach Zbrojnych systemów uzbrojenia, dla których skuteczność i szybkość działania zależna jest od uwzględnienia w trakcie prowadzenia strzelania wielu parametrów początkowych, a także uwzględniania na bieżąco ruchu celu, wyposażanych jest w system kierowania ogniem (SKO). Urządzenia SKO montowane są również w raketowych i artyleryjskich zestawach przeciwlotniczych. Podstawowym zadaniem SKO w zestawach przeciwlotniczych jest wypracowanie, na podstawie danych otrzymanych z wielu źródeł, odpowiednich danych do strzelania w celu uzyskania maksymalnego prawdopodobieństwa trafienia.

Ocena właściwego działania SKO, a przede wszystkim poprawność wypracowywania przez system danych do strzelania, powinna być realizowana w fazie prac badawczo-rozwojowych podczas badań prototypu zestawu przeciwlotniczego, jak również na etapie realizacji jego partii próbnej i partii seryjnej.

Narzędziem do badań prawidłowości działania SKO w zestawach przeciwlotniczych są systemy trajektograficzne, które umożliwiają w trakcie prowadzenia badań w dynamice (badań strzelaniem) rejestrację z bardzo dużą dokładnością położenia lecącego celu i naprowadzanej na cel rakiety lub lecącego do celu pocisku. W wyniku procesu obróbki wyników otrzymujemy niezbędne parametry z trajektorii lotu celu oraz rakiety lub pocisku, które umożliwiają ocenę poprawności działania SKO oraz całego zestawu przeciwlotniczego.

Rozwój systemów trajektograficznych rozpoczął się w latach 1949 –1950, kiedy rozpoczął się rozwój lotnictwa i uzbrojenia lotniczego, uzbrojenia raketowego i artyleryjskiego. Potrzeba ich powstania wynikała z konieczności dokonania oceny poprawności działania obiektu latającego w rzeczywistych warunkach, w warunkach dynamicznych (w czasie lotu) na etapie opracowywania prototypu lub prowadzenia ekspertyz, a także podczas badań zdawczo-odbiorczych. Podstawą do dokonania tej oceny jest znajomość parametrów trajektorii lotu badanych obiektów.

Wraz z rozwojem techniki i technologii systemy trajektograficzne ulegały i ulegają do dziś modyfikacjom i udoskonaleniom.

## 2. Ogólna charakterystyka systemów trajektograficznych

System trajektograficzny jest zestawem urządzeń służących do rejestrowania danych o położeniu obiektu latającego, które to dane są danymi wejściowymi do obliczania parametrów trajektorii lotu obiektu.

Tak, więc zasadniczym zadaniem systemu trajektograficznego jest śledzenie za obiektem i rejestrowanie (pomiar) jego położenia w trakcie lotu. Proces ten jest realizowany przy pomocy stacji śledzącej. Dane o położeniu obiektu otrzymane ze stacji śledzącej są następnie poddawane komputerowej obróbce matematycznej, w wyniku, której otrzymujemy interesujące nas parametry trajektorii lotu.

Istnieją różnego typu systemy trajektograficzne. Podział na typy wynika z rodzaju stosowanych na stacjach śledzących urządzeń do rejestrowania położenia obiektu w locie. Rozróżniamy systemy:

- a) **optyczne**, w których obraz obiektu śledzonego jest rejestrowany poprzez lunety optyczne na taśmie filmowej kamer zamontowanych na stacjach śledzących. W czasie śledzenia, na taśmie filmowej rejestrowane są również dane o położeniu obiektu;
- b) **optoelektroniczne**, w których obraz śledzonego obiektu i dane o położeniu obiektu rejestrowane są poprzez zamontowane na stacjach śledzących kamery telewizyjne (typu CCD, CMOS) lub kamery podczerwieni (IR) na taśmie wideorejestatorów lub na nośnikach pamięci komputerowej. W trakcie śledzenia rejestrowane są również dane o położeniu obiektu;
- c) **radarowe**, w których położenie obiektu określone jest na podstawie danych rejestrowanych z głowicy radiolokatora i zapisywanych w urządzeniach rejestrujących;
- d) **GPS-owe**, które do określania współrzędnych trajektorii lotu wykorzystują dane z Globalnego Systemu Pozycjonowania, którego urządzenia odbiorcze zamontowane są na pokładzie obiektu. Dane o położeniu zapisywane są w urządzeniach rejestrujących na pokładzie obiektu lub w naziemnych urządzeniach odbiorczych.

Poszczególne typy systemów trajektograficznych mają swoje zalety i wady. Zaznaczyć jednak należy, że cechy pozytywne systemów optycznych i optoelektronicznych zdecydowały o ich najszerszym i uniwersalnym zastosowaniu podczas badań dynamicznych obiektów latających techniki wojskowej i cywilnej. Zdecydowały o tym takie cechy jak:

- możliwość badań każdego obiektu latającego bez ingerencji w jego budowę
- możliwość rejestracji obrazu śledzonego obiektu;
- duża dokładność określania współrzędnych (5 cm na odległości 5 km);
- największa rozróżnialność kątowna w stosunku do innych systemów (do 0.0002 stopnia), umożliwiająca ocenę odległości pomiędzy dwoma obiektami z decymetrową dokładnością.

Systemy trajektograficzne optyczne i optoelektroniczne są wręcz niezastąpione podczas określania parametrów lotu rakiet kierowanych przeciwlotniczych i przeciwpancernych, które cechują się dużą manewrowością. Duża rozdzielczość kątowna systemów optycznych i optoelektronicznych oraz stosunkowo duża częstotliwość pomiarów położenia, umożliwia wierne oddanie charakteru trajektorii lotu badanego obiektu.

Ponadto systemy te na podstawie analizy zarejestrowanego obrazu śledzonego obiektu dają nam możliwość oceny poprawności pracy układu napędowego, działania głowicy bojowej, itd., a przede wszystkim możliwość pomiaru współrzędnych konkretnego punktu na

obiekcie. Na przykład współrzędnych głowicy bojowej naprowadzanej rakiety oraz współrzędnych źródła promieniowania na celu. Daje to możliwość obliczenia minimalnej odległości przejścia (tzw. uchybu) głowicy bojowej rakiety (pocisku) od źródła (punktu na celu), na który naprowadzała się badana rakietka .

Decymetrowa dokładność pomiarowa systemu trajektograficznego jest bardzo istotna przy pomiarze uchybu dla rakiet samonaprowadzających małego zasięgu, gdzie wymagany minimalny uchyb nie może być większy od 100 cm.

### 3. Mobilny system trajektograficzny

Mobilny system trajektograficzny powstał w wyniku wspólnej pracy Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia i Centrum Naukowo-Produkcyjnego Elektroniki Profesjonalnej „RADWAR SA”, której celem było:

- przystosowanie dwóch stacjonarnych stacji kinofototeodolitów EOTS-F oraz centralnej stacji sterującej do mobilności;
- wprowadzeniu automatyzacji procesu śledzenia stacji kinofototeodolitu za badanym obiektem;
- wprowadzenie w centralnej stacji sterowania możliwości obliczeń i edycji podstawowych parametrów lotu obiektu w czasie rzeczywistym;
- automatyzacji procesu digitalizacji obrazu z kamer filmowych i deszyfracji obrazu wideo po próbie;
- wykonanie oprogramowania do procesu obliczeń, analizy i edycji parametrów trajektorii lotu śledzonych obiektów.

Zasadniczymi częściami składowymi powstałego mobilnego systemu trajektograficznego są:

- dwie mobilne stacje śledzące i rejestrujące położenie obiektu (rys. 1);
- mobilna stacja centralna synchronizująca i sterująca pracą stacji śledzącej (rys. 2);
- stacja digitalizacji obrazu filmowego, deszyfracji obrazu wideo, przetwarzania danych i edycji parametrów.

Powstały w wyniku modernizacji mobilny system trajektograficzny należy do grupy systemów optoelektronicznych z automatycznym sterowaniem i pracą w czasie rzeczywistym. Na stacji śledzącej część optyczna z kamerą filmową jest zintegrowana z częścią optoelektroniczną wyposażoną w kamerę podczerwieni (rys. 3). W systemie wprowadzono automatyzację procesu śledzenia za obiektem przez stację kinofototeodolitu poprzez zastosowanie wideotrakera współpracującego z kamerą podczerwieni.



Rys. 1. Mobilna stacja śledząca



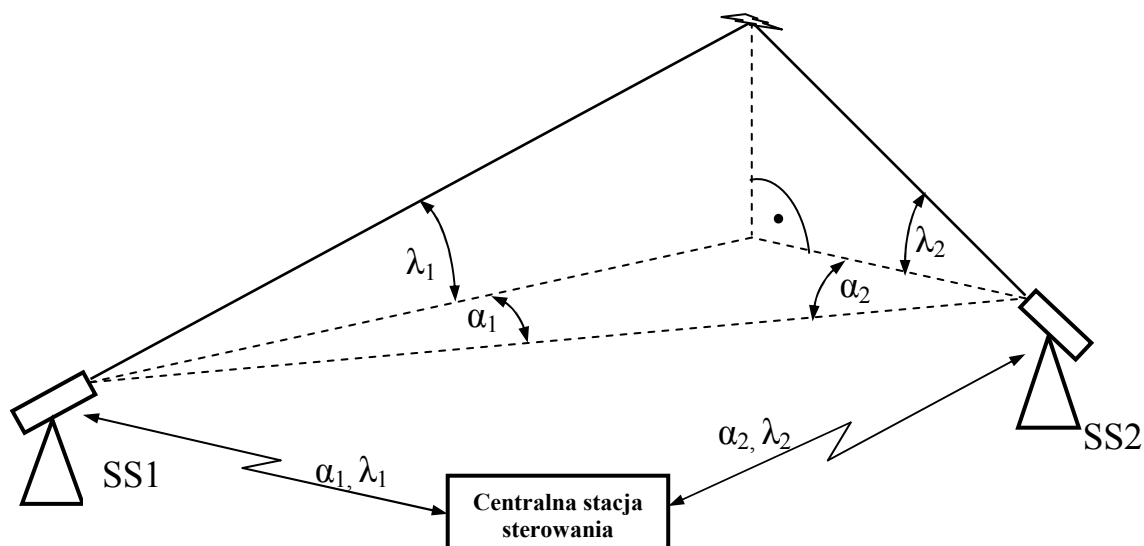
**Rys. 2. Mobilny kontener centralnej stacji sterowania**



**Rys. 3. Stacja śledząca (kinofototeodolit EOTS-F) z kamerą podczerwieni firmy SAGEM typu IRIS**

Edycję podstawowych parametrów trajektorii lotu w czasie rzeczywistym uzyskano w wyniku przekazywania w czasie rzeczywistym danych rejestrowanych na stacjach śledzących o położeniu obiektu do centralnej stacji sterowania i ich przetwarzania w czasie rzeczywistym. Sterowanie pracą stacji śledzących i przekazywanie danych ze stacji o położeniu kątowym obiektu odbywa się drogą radiową.

Omawiany system trajektograficzny należy do układu pomiarowego typu 2D, to znaczy, że stacje śledzące umożliwiają pomiar zmian w czasie tylko położenia kąowego obiektu (kąt azymutu  $\alpha$  i elewacji  $\lambda$ ). W praktyce, więc do określenia współrzędnych ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) trajektorii śledzonego pojedynczego obiektu konieczne są dwie stacje śledzące (rys. 4).



**Rys. 4. Schemat pomiarowy do określania parametrów lotu obiektu w czasie rzeczywistym dla systemu trajektograficznego optycznego i optoelektronicznego typu 2D**

Na podstawie wartości, pomierzonych kątów i znanej lokalizacji stacji pomiarowych obliczane są z wykorzystaniem algorytmów triangulacyjnych parametry położenia obiektu. W czasie rzeczywistym otrzymujemy na stacji centralnej: położenie  $(X, Y, Z)$ , prędkości  $(V_x, V_y, V_z, V)$ , (przyspieszenia  $A_x, A_y, A_z, A$ ).

Docelowa, dokładna obróbka danych odbywa się po próbie z wykorzystaniem stacji do digitalizacji filmów, deszyfracji obrazu wideo, przetwarzania danych i edycji wyników badań.

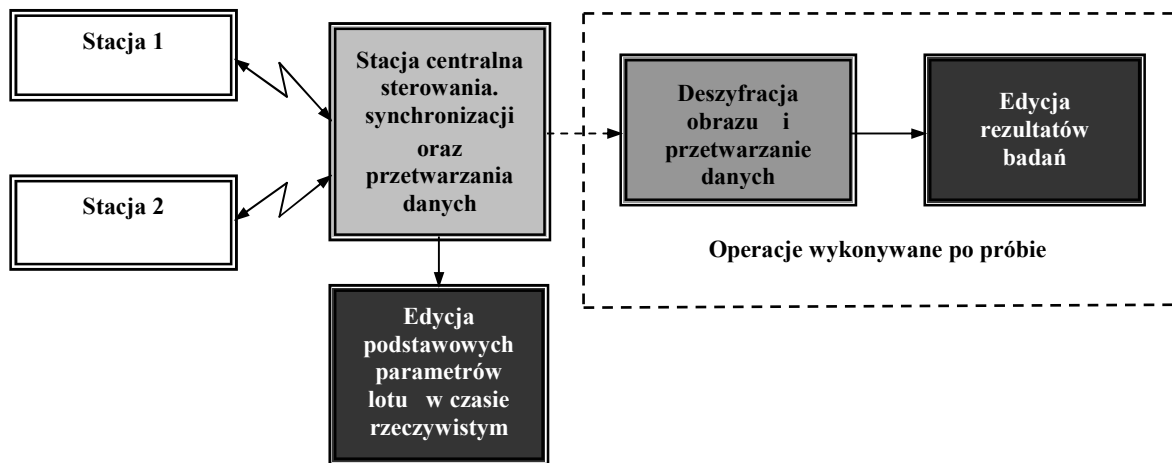
Schemat funkcjonalny mobilnego systemu trajektograficznego pokazano na rys. 5. Mobilny system trajektograficzny samodzielnie może być stosowany do oceny parametrów lotu pojedynczego obiektu (np. samolot, rakiet balistyczna, rakiet przeciwpancerna, pocisk artyleryjski) oraz do określenia odległości minięcia celu przez pocisk (raketę) w rejonie ich spotkania. W takiej konfiguracji może być również stosowany do oceny dokładności strzelania artyleryjskich zestawów przeciwlotniczych wyposażonych w SKO.

Dla pełnej oceny zestawów przeciwlotniczych z raketami samonaprowadzającymi na cel konieczne jest zastosowanie minimum dwóch stacji do śledzenia rakiety oraz dwóch stacji do śledzenia celu.

Taką konfigurację systemu trajektograficznego stosuje się podczas badań zestawów przeciwlotniczych w Ośrodku Badań Dynamicznych WITU na poligonie Drawsko Pomorskie, gdzie mobilny system trajektograficzny może współpracować z czterema stacjonarnymi stacjami śledzącymi.

Mobilny system trajektograficzny posiada następujące podstawowe cechy i parametry:

- możliwość rejestracji położenia i obrazu obiektu kamerą filmową (ogniskowa kamery 1500 lub 3000 mm) z częstotliwością do 30 klatek na sekundę;
- możliwość rejestracji położenia i obrazu wideo przy pomocy kamery podczerwieni typu IRIS w paśmie 8 – 12  $\mu\text{m}$  z częstotliwością 50 klatek na sekundę;
- rozdzielczość kątową systemu pomiarowego 0.0002<sup>0</sup>;
- prędkość kątową śledzenia stacji min. 30<sup>0</sup>/s, przyspieszenie kątowe śledzenia min. 60<sup>0</sup>/s<sup>2</sup>;
- dokładność określania współrzędnych przy odległości do obiektu 5 km przy obliczeniach w czasie rzeczywistym wynosi średnio 60 cm, a po dokładnej deszyfracji danych po próbie wynosi średnio 10 cm.



Rys. 5. Schemat funkcjonalny mobilnego systemu trajektograficznego

#### 4. Zastosowanie mobilnego systemu trajektograficznego do oceny zestawu przeciwlotniczego z systemem kierowania ogniem

Zadaniem SKO w zestawach przeciwlotniczych jest wypracowywanie w czasie rzeczywistym optymalnych danych do otwarcia ognia do celu na podstawie danych otrzymanych z urządzeń pomiarowych zewnętrznych i urządzeń pomiarowych zintegrowanych z zestawem, jak również danych balistycznych dla stosowanych w zestawie pocisków.

W przypadku artyleryjskich systemów przeciwlotniczych będzie to przede wszystkim wyliczenie nastaw dla armat (kątowny wyprzedzenia), strefy otwarcia ognia, nastaw dla zapalników pocisków.

Dla zestawów przeciwlotniczych rakiet kierowanych, będzie to przede wszystkim obliczanie optymalnej (w zależności od parametrów lotu celu) strefy startu rakiet. Dla niektórych typów zestawów przeciwlotniczych będą również obliczane kątowny wyprzedzenia dla wyrzutni rakiet. Wypracowywanie danych przez SKO dla zestawów rakiet kierowanych kończy się w momencie startu rakiety. Od fazy startu, naprowadzaniem rakiet samonaprowadzających na cel zajmuje się pokładowy system naprowadzania, w przypadku rakiet sterowanych komendami rolę tę przejmują naziemny system naprowadzania. Skuteczność trafienia rakiety w cel jest zależna przede wszystkim od precyzji działania systemu naprowadzania rakiety.

Inaczej jest w wypadku artyleryjskich zestawów przeciwlotniczych z SKO. Dla nich prawdopodobieństwo trafienia w cel jest całkowicie zależne od danych wypracowanych do otwarcia ognia przez SKO, a przede wszystkim od nastawy poprawnych kątowny wyprzedzenia dla armat i właściwego momentu otwarcia ognia.

W skład artyleryjskiego zestawu przeciwlotniczego z systemem SKO wchodzi następujące zasadnicze urządzenia:

- aktywne (radar) lub pasywne (kamera podczerwieni, kamera TV) do wyszukiwania celów;
- aktywne (radar, dalmierz laserowy) lub pasywne (kamera podczerwieni, kamera TV) do śledzenia i pomiaru położenia celu;
- inercyjny system nawigacji do pomiaru pozycji zestawu;
- GPS – owy system pomiaru pozycji zestawu;
- wieża armat z układem napędowym;

- System Kierowania Ogniem;
- pulpit strzelca - operatora;
- stacja meteorologiczna (opcjonalnie).

SKO jest mikrokomputerowym urządzeniem zbierającym dane wejściowe z urządzeń zestawu przeciwlotniczego oraz przetwarzającym i wypracowującym dane do strzelania.

Poprawność wypracowania danych do strzelania przez SKO, a tym samym prawdopodobieństwo trafienia, zależy przede wszystkim od:

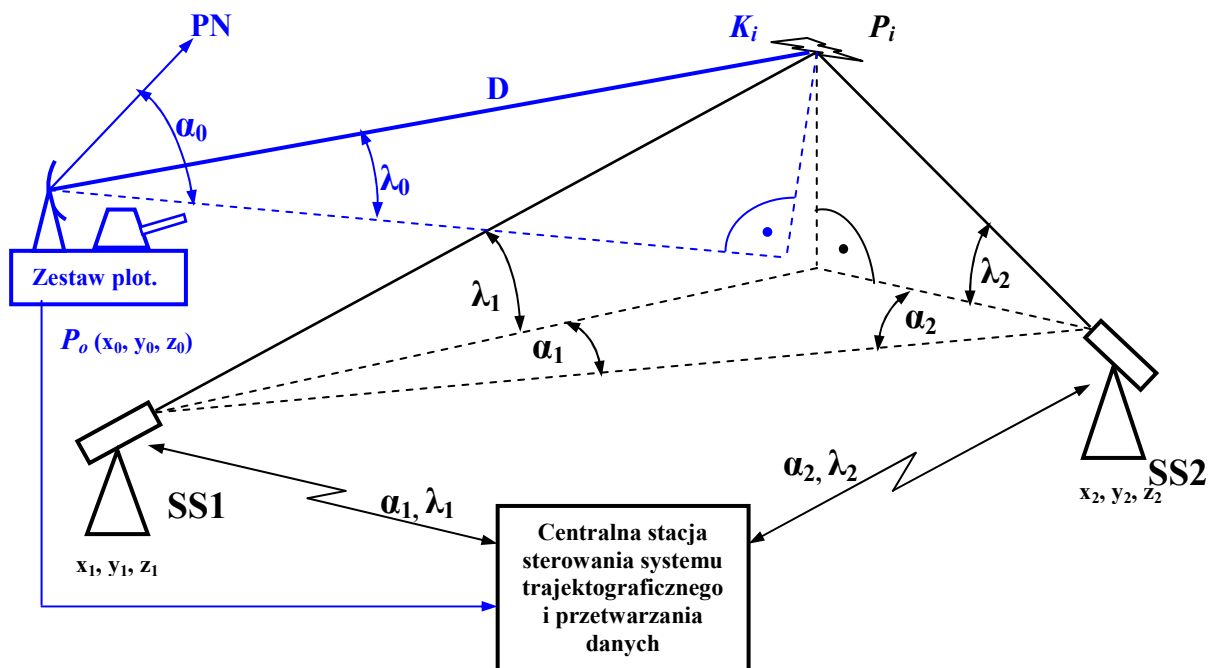
- dokładności określenia współrzędnych celu przez radarową stację śledzącą;
- dokładności określenia współrzędnych celu przez urządzenia śledzące z wideotrakerem wykorzystującym kamerę TV lub IR i laserowy pomiar odległości;
- dokładność pomiaru pozycji zestawu;
- poprawności określenia danych meteorologicznych;
- dokładności tabel balistycznych dla stosowanego typu pocisku.
- dokładność algorytmów obliczeń.

Najistotniejszy wpływ na właściwe wypracowywanie nastaw kątów wyprzedzenia dla armat ma dokładność określenia położenia celu i dokładność algorytmów obliczeń, w tym prognozowania manewru celu. Uwzględnianie manewru celu jest istotną sprawą, że względu na fakt, że czas lotu pocisku do celu od chwili wystrzału wynosić może nawet kilkanaście sekund.

Stosuje się dwie metody oceny zestawu przeciwlotniczego z SKO przy pomocy mobilnego zestawu trajektograficznego:

- metodę ze strzelaniem do imitatora celu powietrznego;
- metodę oblotami ze strzelaniem „na sucho” do rzeczywistego samolotu.

Schemat realizacji pomiarów przez system trajektograficzny ze stacjami śledzącymi SS1 i S i pomiarów wykonywanych przez badany zestaw przeciwlotniczy jest identyczny dla obu metod (rys. 6).



Rys. 6. Schemat pomiarowy do oceny działania zestawu przeciwlotniczego

W obu metodach dokonuje się analizy porównawczej danych pomierzonych przez system trajektograficzny i danych pomierzonych przez urządzenia zestawu przeciwlotniczego. Przy analizie uwzględnia się fakt, że podczas pomiarów mamy do czynienia z dwoma niezależnymi systemami pomiarowymi, które wykonują pomiary w dwóch różnych układach współrzędnych. Konieczne jest, więc odpowiednie dopasowanie (transformacja) tych układów współrzędnych. Najogólniej realizuje się to w sposób opisany poniżej.

Współrzędne punktów w układzie systemu trajektograficznego (poligonowym) oznaczają będziemy przez  $P_i$ , a odpowiadające współrzędne w układzie SKO przez  $K_i$ .

Związek pomiędzy tymi współrzędnymi jest postaci:

$$K_i = A \times (P_i - P_o) \quad [1]$$

gdzie:

$P_o$  – współrzędne początku układu współrzędnych zestawu przeciwlotniczego (SKO);

$A$  - ortogonalna macierz transformacji.

Macierz  $A$  można określić na podstawie kilku pomiarów kątów azymutu i elewacji dla ustalonych punktów w terenie  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , wykonanych przy pomocy urządzeń pomiarowych zestawu przeciwlotniczego. Dokładne natomiast położenie tych punktów określa się przy pomocy systemu trajektograficznego. Jeśli mamy dokładne położenie punktów  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , to znamy również odległości pomiędzy tymi punktami i stanowiskiem SKO o współrzędnych  $P_o$ .

Na podstawie dokładnych pomiarów i znanych odległości możemy określić przybliżone położenie tych punktów w układzie SKO. Oznaczmy to położenie przez  $K_1, K_2, \dots, K_n$ .

Wartości te należy wyrównywać metodą najmniejszych kwadratów, tak by spełnione były wszystkie zależności dotyczące odległości pomiędzy punktami:

$$|K'_i - K'_j| = |P_i - P_j|, \quad [2]$$

dla:

$i, j = 0, 1, \dots, n$ . gdzie:  $K'_i, K'_j$  są to „wyrównane” punkty  $K_i, K_j$ .

Przy spełnionym warunku [2] rozwiązanie układu równań liniowych

$$A \times (P_i - P_o) = K'_i, \quad [3]$$

da nam poszukiwaną macierz ortogonalną  $A$ , która umożliwia nam dokonanie transformacji układu współrzędnych stanowiska SKO do układu systemu trajektograficznego. Dzięki temu mamy możliwość dokonania porównania współrzędnych trajektorii pomierzonej urządzeniami pomiarowymi SKO z współrzędnymi trajektorii pomierzonymi systemem trajektograficznym.

Dysponując dodatkowo dwoma trajektoriami tego samego obiektu śledzonego niezależnymi systemami: trajektograficznym i SKO, to macierz  $A$  możemy obliczyć bardziej precyzyjnie.

#### 4.1. Metoda oceny zestawu oblotami ze strzelaniem na „na sucho” do rzeczywistego celu - samolotu

Podczas badań tą metodą w trakcie strzelania „na sucho” do samolotu rejestrowane są przy pomocy systemu trajektograficznego w funkcji czasu dane o położeniu samolotu, a także rejestrowane dane z zestawu przeciwlotniczego (ze stacji śledzących i z SKO).

Są to przede wszystkim, pomierzone w funkcji czasu stacją radarową lub urządzeniami optoelektronicznymi, wartości:



- położenia kąтового celu;
- odległości do celu;

oraz zarejestrowane w momencie strzału:

- nastawy kątów wyprzedzenia celu dla armat;
- czas otwarcia ognia.

Badania przeprowadza się dla różnych typów samolotów, przy różnych parametrach ich lotu oraz przy stosowaniu przez samoloty manewrów bojowych (lot nurkujący, lot zmięką, górka).

Na podstawie danych uzyskanych z systemu trajektograficznego i z zestawu przeciwlotniczego wykonuje się po badaniach:

- analizę porównawczą przebiegu w czasie wartości współrzędnych trajektorii lotu celu określonych przez SKO, ze współrzędnymi trajektorii lotu celu określonymi przez system trajektograficzny. Wymaga to wykonania opisanej wyżej transformacji układów współrzędnych;
- obliczenie uchybów hipotetycznych (odległości minięcia celu  $\Delta d$ ) na podstawie danych z SKO i systemu trajektograficznego. Uchyby hipotetyczne pocisków są obliczane dla każdego „strzału na sucho” z wykorzystaniem tabel balistycznych dla pocisków strzelanych w warunkach meteorologicznych odpowiednich do warunków występujących podczas badań.

Uchyb ( $\Delta d$ ) dla poszczególnych strzałów i jego współrzędne ( $\Delta y$  i  $\Delta z$ ) określane są w płaszczyźnie przechodzącej przez cel i prostopadłej do hipotetycznego toru lotu pocisku. Dla oceny trafień wielkość tej płaszczyzny jest ograniczona do prostokąta o rozmiarach 3 x 5 m, co stanowi ekwiwalent realnego samolotu. Osie symetrii prostokąta (pionowa i pozioma) stanowią osie układu współrzędnych  $y$ ,  $z$ . Zero układu współrzędnych jest w miejscu przecięcia się osi symetrii i pokrywa się z wytypowanym punktem na celu. Dopuszczalne współrzędne minięcia wynoszą więc:  $\Delta y = \pm 2,5$  m i  $\Delta z = \pm 1,5$  m. Uzyskane trafienia w ww. płaszczyznę są podstawą do obliczenia prawdopodobieństwa trafienia celu serią pocisków.

Metoda badań ze strzelaniem na sucho ma tę zaletę, że umożliwia dokonywanie oceny skuteczności strzelania zestawu przeciwlotniczego z wykorzystaniem realnego celu, przy różnych jego parametrach lotu i wykonywaniu analogicznych manewrów jak w działaniach bojowych. Wymaga również mniejszych nakładów finansowych w procesie badań. Zasadniczą wadą tej metody jest brak strzelania pociskami bojowymi. Dane balistyczne tabelaryczne i rejestrowane parametry początkowe strzału nie w pełni oddają rzeczywiste warunki strzelania.

#### **4.2. Metoda oceny zestawu ze strzelaniem do imitatora celu powietrznego**

Jest to badanie ze strzelaniem do imitatora celu powietrznego z użyciem amunicji bojowej i wykonuje się je w warunkach poligonowych. Celem mogą być stosowane w wojsku imitatory celu powietrznego ICP-89, ICP-M14, ICP-G, cele holowane za samolotem, bezzałogowe samoloty zdalnie sterowane. Biorąc pod uwagę parametry toru lotu poszczególnych imitatorów i konieczność zapewnienia śledzenia przez stację RSWW i RSS, a także przy pomocy urządzeń śledzących optoelektronicznych, najodpowiedniejszy do tego jest rakiety imitator ICP-G charakteryzujący się stałą prędkością lotu (ok. 275 m/s).

Stacje śledzące w trakcie strzelania do celu rejestrują obraz i kąty położenia celu, a w rejonie spotkania z celem rejestrują również obraz pocisków „wpadających” w pole widzenia (w klatkę) kamery IR lub kamery filmowej. Po próbie, po deszyfracji z obrazu wideo stacji śledzących danych o położeniu celu i pocisku, obliczane są odległości minięcia celu ( $\Delta d$ ) dla poszczególnych pocisków z serii. Współrzędne uchybu ( $\Delta y$  i  $\Delta z$ ) określane są w płaszczyźnie przechodzącej przez cel i prostopadłej do wektora prędkości pocisku. Dla oceny trafień przyjmuje się płaszczyznę będącą ekwiwalentem samolotu, analogiczną jak w metodzie

opisanej powyżej. Zero układu współrzędnych tej płaszczyzny jest w miejscu przecięcia się osi symetrii i pokrywa się z określonym punktem na imitatorze celu. Uzyskane trafienia w ww. płaszczyznę są podstawą do obliczenia prawdopodobieństwa trafienia celu serią pocisków.

W przypadku uzyskania negatywnych wyników strzelania, konieczne jest wykonanie analizy ich przyczyn. W tym celu oprócz rejestrowania w trakcie strzelania danych ze stacji systemu trajektograficznego, rejestruje się również dane ze stacji śledzących zestawu przeciwlotniczego i z SKO. Rejestruje się te same dane, jak w wypadku metody ze strzelaniem „na sucho”.

Na podstawie danych uzyskanych z systemu trajektograficznego i z zestawu przeciwlotniczego wykonuje się:

- analizę porównawczą przebiegu w czasie współrzędnych trajektorii lotu celu określonych przez SKO, ze współzrędnymi trajektorii lotu celu określonymi przez system trajektograficzny w celu określenia poprawności pomiaru położenia i wykonywania obliczeń przez urządzenia zestawu przeciwlotniczego;
- porównanie rzeczywistych uchybów otrzymanych z systemu trajektograficznego z uchybami hipotetycznymi obliczonymi z danych SKO.

## 5. Podsumowanie

Problematyka wykorzystania mobilnego systemu trajektograficznego do oceny zestawów przeciwlotniczych wyposażonych w SKO w przedstawionym artykule została omówiona w sposób skrótowy. W rzeczywistości biorąc pod uwagę stosowane w trakcie badań specjalistyczne urządzenia, oprogramowanie oraz poligonowe warunki badań jest to problem bardziej złożony.

Należy jednak zaznaczyć, że przedstawione wyżej metody badań są pomyślnie wdrożone i wykorzystywane przez Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia podczas badań poligonowych przeciwlotniczych zestawów raketowych i artyleryjskich. Metody te były stosowane między innymi podczas badań artyleryjskiego zestawu przeciwlotniczego LOARA.

Posiadane przez Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia mobilny system trajektograficzny i stacjonarny służą również do określania parametrów lotu podczas badań różnego typu obiektów latających techniki wojskowej i cywilnej. Mobilny system trajektograficzny może być stosowany do badań na dowolnym poligonie.

## Literatura

- [1] Ejsmund J., Leśniczak J.: „Metodyka opracowywania wyników z badań dynamicznych”, WITU, 2001 r.
- [2] Leśniczak J.: „Ocena działania zestawów przeciwlotniczych przy pomocy optycznych i opto-elektronicznych systemów trajektograficznych” – Materiały z V Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „CRASS 2003”.
- [3] Leśniczak J.: „Systemy trajektograficzne jako narzędzie oceny parametrów lotu obiektów latających techniki wojskowej i cywilnej”, Problemy Techniki Uzbrojenia, Nr 4, 2006 r.
- [4] Praca zbiorowa: „Instrukcja eksploatacji Mobilnego Systemu Trajektograficznego”, WITU, 2005 r.
- [5] Dokumentacja techniczna systemu trajektograficznego EOTS-F – firmy CONTRAVES.