

dr hab. inż. Waldemar ŚWIDERSKI, prof. WITU  
dr inż. Józef KACZMARZYK  
mgr inż. Adrian SZKLARSKI  
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

## WYBRANE ZAGADNIENIA PROJEKTOWANIA KIEROWANEGO IMITATORA CELU POWIETRZNEGO ICP 12S6

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z modernizacją balistycznego imitatora celu powietrznego ICP. Celem modernizacji jest zbudowanie kierowanego imitatora umożliwiającego poprawę wyszkolenia wojsk przeciwlotniczych.

Słowa kluczowe: imitator celu powietrznego, stabilizacja, geometria.

## SELECTED PROBLEMS OF DESIGNING GUIDED AERIAL TARGET IMITATOR ICP 12S6

**Abstract:** Basic problems of modernization of existing ballistic aerial target imitators ICP are presented in the paper. The aim of the modernization is to develop a new design of the guided imitator to improve training of anti-aircraft military units.

Keywords: aerial target imitator, stabilization, geometry.

### 1. Wstęp

Mechanika lotu, dynamika lotu, balistyka zewnętrzna czy wewnętrzna to dziedziny, które zajmują się badaniem lotu obiektów latających w ziemskim polu grawitacyjnym. Do tych obiektów należą kierowane i niekierowane pociski raketowe o różnym przeznaczeniu. Pociski raketowe definiuje się jako obiekty osiowosymetryczne posiadające powierzchnie nośne, stabilizatory, organy sterowania z układami wykonawczymi (dotyczy raket kierowanych) oraz silnik. Od rodzaju misji, do jakiej pocisk jest przeznaczony, zależy konstrukcja części głowicowej. Inną głowicę będzie posiadać np. rakiet bojowa, a inną meteorologiczna.

Podczas projektowania lub modyfikacji już istniejącego pocisku szuka się odpowiedzi na pytania związane z trajektorią lotu, zasięgiem, prędkością, siłami działającymi na obiekt. Poszukuje się równowagi, stateczności, ciągu, czasu lotu, czyli tych wszystkich parametrów, które pozwalają stworzyć taką raketę, która będzie realizowała jak najlepiej zadanie do jakiego jest przeznaczona.

Część wyżej wspomnianych parametrów wynika z warunków technicznych i opisu misji, do jakiej ma być przeznaczony obiekt. Część ich można określić na drodze analitycznej lub numerycznej. Zakres zagadnień związanych z projektowaniem jest bardzo duży: od mechaniki, wytrzymałości konstrukcji i drgań po programowanie, elektronikę czy optykę. W artykule są przedstawione zagadnienia, od jakich zależy zaprojektowanie nowoczesnego pocisku na przykładzie kierowanego imitatora celu ICP 12S6.

## 2. Geometria imitatora celu powietrznego

Projektując cel powietrzny najpierw należy przeprowadzić analizę konstrukcji w kategorii, do której można zaliczyć opracowywany obiekt. Szczególnie należy zastanowić się nad częściami składowymi danej konstrukcji. Ma to istotne znaczenie w określeniu podstawowych sił działających w locie. Przykładem takiej siły jest siła ciężkości, której położenie względem środka parcia aerodynamicznego wpływa na stabilność lotu. Położenie środka parcia zależne jest od umiejscowienia stabilizatorów na korpusie rakiety, od ich wielkości oraz sztywności. Ważnym aspektem jest przyjęcie układu sterowania, gdyż od przyjętego rozwiązania zależą parametry konstrukcyjne. Przykładowo inne jest położenie stabilizatorów dla układu sterowania typu „kaczka”, a inne dla układu klasycznego.

Wszystkie zmiany w konstrukcji związane zarówno ze średnicami korpusu, płatkami i innymi elementami mają znaczenie dla mechaniki i aerodynamiki. Poniżej przedstawiono geometrię balistycznego niekierowanego imitatora celu ICP 89S5 obecnie używanego do badań poligonowych oraz modernizowanego kierowanego imitatora celu ICP 12S6.



**Rys. 1. Imitator celu powietrznego ICP 89S5**

Planowana modernizacja dotyczy:

- długości imitatora,
- zmiany stabilizatorów,
- wprowadzenia układu sterowania.

W wyniku modernizacji zakłada się otrzymanie kierowanego imitatora w układzie typu „kaczka”. Nowa konstrukcja jest wybrana z kilku innych numerycznych modeli zaproponowanych jako rozwiązania alternatywne.

Z praktyki wiadomo, że cel powietrzny składa się z głowicy, silnika, przedziału sterowania i przedziału bojowego. Wyjściowy „model” (rys.1) jest rakieta balistyczną, która po wyłączeniu silnika startowego porusza się torem balistycznym dzięki energii kinetycznej zgromadzonej podczas startu.

Ponieważ nowy imitator (rys. 2) ma być celem kierowanym, konieczne jest dodanie do jego konstrukcji przedziału sterowania. Wymusza to zmianę długości całego obiektu oraz dołożenie nowych elementów w postaci maszynki sterowej i sterów. W celu uzyskania jak najkorzystniejszego, pod względem stateczności, położenia środka parcia, zmieniono kształt stabilizatorów.



**Rys. 2. Imitator celu powietrzego ICP 12S6**

Wyżej opisane elementy konstrukcyjne, zwłaszcza stabilizatory i stery, projektuje się stosując analizę konstrukcyjną uwzględniającą właściwości aerodynamiczne danych elementów.

W projektowaniu stabilizatorów podstawowymi parametrami są stopień stabilizacji, który mówi o stateczności pocisku w trakcie lotu [1]:

$$K_{stab} = \frac{x_{sp} - x_{sc}}{L} \cdot 100\% \quad (1)$$

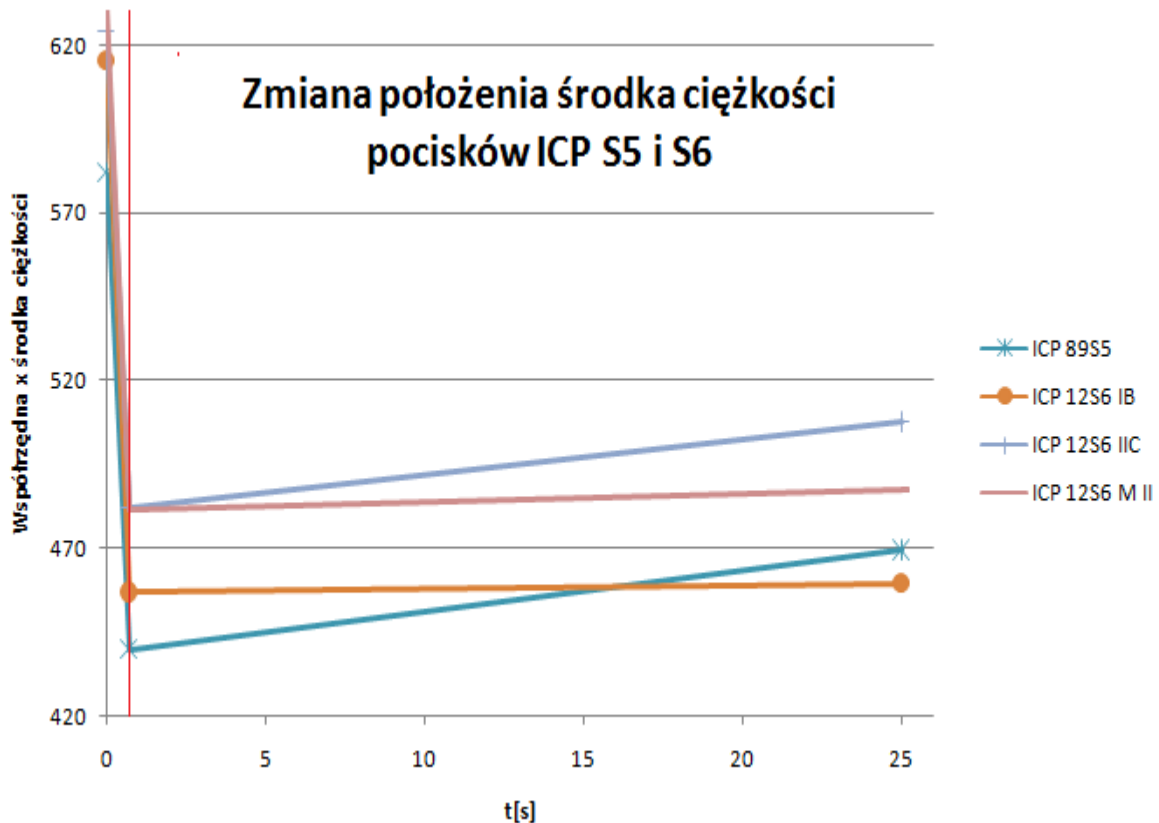
gdzie:  $x_{sp}$  – współrzędna środka parcia  
 $x_{sc}$  – współrzędna środka ciężkości  
 $L$  – długość pocisku

oraz matematyczna zależność pozwalająca powiązać geometrię stabilizatora ze współczynnikiem aerodynamicznym [1]:

$$c_y = c_y^\alpha \cdot \alpha \quad (2)$$

Przykładowo dla takiej konstrukcji na podstawie Kurowa [1] dla prędkości  $M < 1$ , można przyjąć, że położenie środka parcia leży w połowie długości imitatora, zaś położenie środka ciężkości zmienia się z czasem na skutek wypalania się, podczas lotu, materiału pędnego silnika oraz materiału pirotechnicznego smugaczy. Położenie to można określić wstępnie, rysując cel powietrzny z elementów już znanych oraz elementów, które zostaną zaprojektowane. Do elementów znanych zalicza się te, o których posiadamy pełną informację

o ich geometrii i masie. Są to w tym przypadku elementy korpusu, dla których określenie środka ciężkości jest proste. Do elementów nieznanymi zaliczamy te, na temat których nie posiadamy wystarczających informacji, a które uzyskamy na drodze dalszej analizy. Na tym etapie można wstawić na ich miejsce proste bloki geometryczne lub pozostawić je puste i uzupełnić później. Mając powyższe na względzie szacuje się wstępne położenie środka ciężkości. Dla celów powietrznych zmianę położenia środka ciężkości pokazano na rozpatrywanych wariantach (rys 3.), z których wynika, że najlepszym modelem jest ICP 12S6 IB, ponieważ środek ciężkości praktycznie pozostaje w niezmiennym położeniu (w locie bez napędu).



**Rys. 3. Zmiana położenia środka ciężkości w czasie dla różnych proponowanych ICP**

Współczynnik stabilizacji powinien mieścić się w zakresie 5-15%, dla rozważanego przypadku wartość współczynnika wynosi 11% [3].

Drugim ważnym aspektem w projektowaniu geometrii jest określenie kształtu i wymiarów sterów. Stery zmieniają charakter opływu powietrza wokół imitatora w trakcie jego lotu w ten sposób, aby wypadkowa siła aerodynamiczna powodowała żadaną zmianę kierunku lotu. Dlatego przy doborze powierzchni sterów konieczna jest znajomość sił aerodynamicznych działających na pocisk.

### 3. Charakterystyka aerodynamiczna

Siły aerodynamiczne powstają podczas ruchu obiektu w atmosferze w wyniku tarcia między korpusem rakiety, a ośrodkiem w którym się porusza. Tarcie jest wynikiem lepkości gazu, który omywając korpus wprowadza siły styczne na powierzchni. Siły te są skierowane

przeciwnie do kierunku ruchu. Opór tarcia zależy od stanu warstwy przyściennej, która może być laminarna albo turbulentna. Przejście z jednej warstwy do drugiej następuje po przekroczeniu krytycznego współczynnika Reynoldsa. Opór ciśnienia powstaje na skutek nierównomiernego rozkładu ciśnienia [1]. Jeżeli obiekt porusza się z prędkością poddźwiękową to opór zależy od tylnej części imitatora i jest oporem wirowym. Dzieje się tak dlatego, że za przekrojem dennym powstaje obszar obniżonego ciśnienia. Dla prędkości naddźwiękowych opór ten składa się nie tylko z oporu wirowego, ale także falowego. Zależny jest on od kształtu przedniej części, gdzie występuje czoło fali uderzeniowej. Wyżej opisane zjawiska działają na całą raketę, jednak należy brać pod uwagę, że charakterystyki aerodynamiczne zależą od: geometrii, liczby Macha, liczby Reynoldsa i parametrów lotu: kąta natarcia  $\alpha$  i kąta ślizgu  $\beta$ , składowych prędkości kątowej  $\omega$ , pochodnej kąta natarcia i ślizgu względem czasu oraz pochodnych składowych prędkości kątowej względem czasu [3]. W związku z tym obiekty latające powinny posiadać konstrukcje stawiające jak najmniejszy opór podczas lotu.

Rakietom nadaje się kształty w postaci walca zapoczątkowanego różnego rodzaju ostrołukami. Wynika to z faktu, że kształty takie stawiają małe opory. Ponadto należy dążyć do laminarnych opływów. Oznacza to, że maksymalna grubość powinna znajdować się w odległości 40÷60% długości kadłuba. Wtedy punkt przejścia warstwy przyściennej w turbulentną znajduje się w odległości 70÷80% całkowitej długości kadłuba, czyli większa część kadłuba omywana jest przez powietrze laminarnie, a przez to stawia mniejszy opór [2].

Wypadkowa siła aerodynamiczna  $P$  jest przyłożona w środku parcia rakiety i najczęściej przedstawia się ją w stycznym układzie współrzędnych. Względem środka ciężkości tworzy ona moment aerodynamiczny  $M$ .

Na wektor sił  $P$  składają się siły: podłużna, normalna i poprzeczna, natomiast na wektor momentów  $M$  składają się momenty: przechylający, odchylający i pochylający [4]. Ogólnie zależności na  $P$  i  $M$  można przedstawić następująco:

$$\begin{aligned}\bar{P} &= q_d \cdot S \cdot c_l \\ \bar{M} &= q_d \cdot S \cdot L \cdot c_m\end{aligned}\quad (3)$$

- $c_l$  – współczynnik siły aerodynamicznej
- $q_d$  – ciśnienie dynamiczne
- $S$  – pole przekroju poprzecznego (lub innego przekroju charakterystycznego)
- $c_m$  – współczynnik momentu aerodynamicznego
- $L$  – liniowy wymiar charakterystyczny pocisku (rozpiętość stateczników, średnia cięciwa aerodynamiczna).

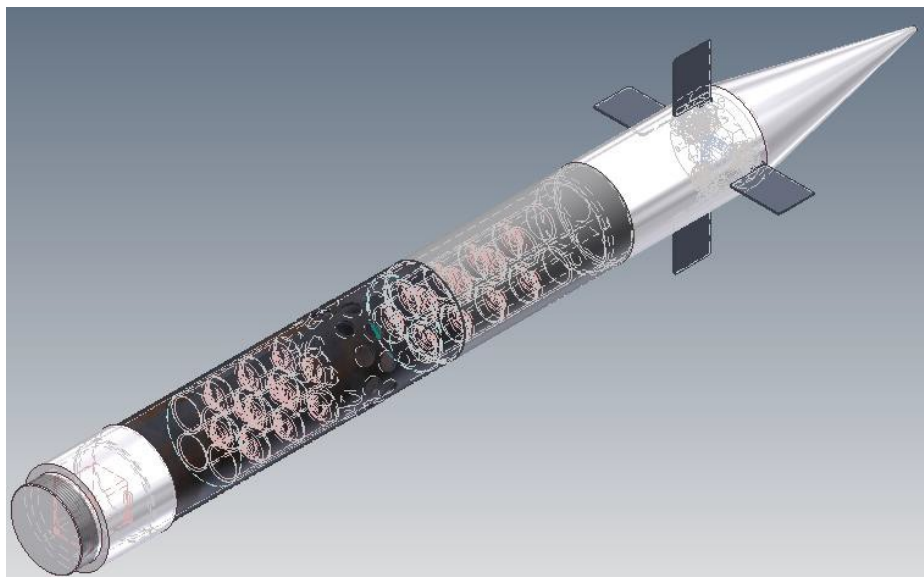
Określenie współczynników aerodynamicznych jest zadaniem dość trudnym. Można je wykonać następującymi metodami: wyznaczyć doświadczalnie, numerycznie lub próbować oszacować posilując się zależnościami matematycznymi oraz wykresami. Praca przy nowym imitatorze celu obejmuje w pierwszym przybliżeniu tylko symulacje numeryczne, które zostaną użyte do określania balistyki imitatora. Jeżeli wyniki prac dadzą pozytywny efekt, to zostaną przeprowadzone balistyczne badania porównawcze. Obecnie można oczekiwać interesujących wyników z racji zaburzeń opływu korpusu imitatora produktami spalania smugaczy. Ponadto interesującym zagadnieniem jest kierowanie wypadkową siłą aerodynamiczną za pomocą dwóch płatów sterujących.

### 3. Sterowanie imitatorem celu powietrznego

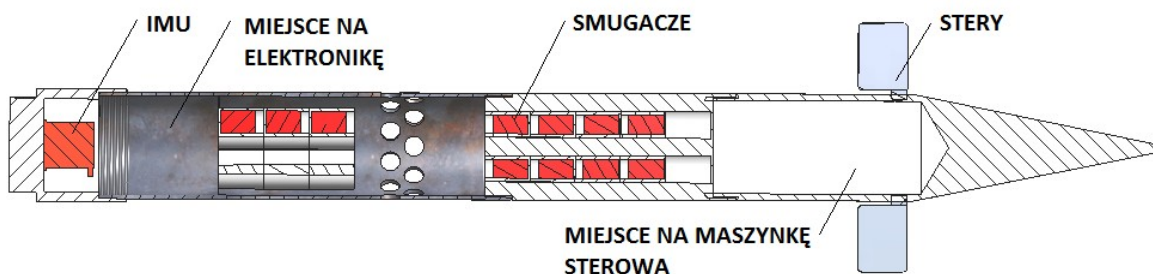
Projektowany imitator celu powietrznego jest pociskiem użytkowym, kierowanym, bliskiego zasięgu o kalibrze 54 mm i jest to stały parametr niepodlegający modernizacji. Cel będzie sterowany dwoma sterami aerodynamicznymi. Układ sterowania składać się będzie z następujących podstawowych zespołów:

- 1) stery,
- 2) maszynka sterowa,
- 3) autopilot,
- 4) blok elektroniki formujący sygnały,
- 5) układ zasilania,
- 6) gniazdo (pozwalające na podłączenie z zewnątrz komputera kontrolnego).

W wyjściowym modelu imitatora znajduje się przestrzeń, którą można wykorzystać do montażu układu sterowania, ale ze względu na zbyt małą jej objętość ICP 12S6 został wstępnie wydłużony o 0,1 m (rys.6). Wydłużenie to ma zapewnić miejsce na montaż układów sterowania (rys.5), jednak w przypadku gdyby ta przestrzeń okazała się za duża lub za mała to długość pocisku zostanie odpowiednio skorygowana (rys.4).



**Rys. 4. Część głowicowa ICP 12S6**



**Rys. 5. Schemat rozmieszczenia nowych elementów w głowicy ICP 12S6**

Jednak odpowiedź na to, o jakich właściwościach i gabarytach zostaną zastosowane elementy układu sterowania, uzyskana zostanie w planowanym dalszym etapie pracy.

## 4. Podsumowanie

Powyższy artykuł przedstawia, proces projektowania (lub modernizacji) imitatora. W każdym takim zadaniu należy przeprowadzić analizę rakiet danej klasy. Informacje, zdobyte na tym etapie, pozwolą znacznie skrócić czas projektowania. Przy modernizacji imitatora zagadnienie to jest o tyle łatwiejsze, że istnieje gotowa konstrukcja. Zmiany dotyczą głównie układu sterowania, który może być wzorowany na układach sterowania stosowanych w takich pociskach jak 9M32 STRZAŁA czy GROM.

Kolejnym krokiem jest wstępne określenie konstrukcji i jej własności mechanicznych. W przypadku ICP podstawowe elementy konstrukcyjne pozostają niezmiennione. Zmienione są brzechwy, długość pocisku, miejsce usytuowania smugaczy oraz zostaje dołożona maszynka sterowa. Dobrze zaprojektowana konstrukcja pozwala określić wstępnie miejsce położenia środka ciężkości oraz środka parcia. Na tym etapie badana jest stateczność pocisku. Jeżeli w konstrukcji istnieją elementy nieznanne tj. blok elektroniki czy maszynka sterowa, które dopiero będą projektowane, należy takie elementy w konstrukcji zamodelować. Istotne jest również wstępne rozmieszczenie tych elementów w korpusie pocisku.



**Rys. 6. Wydłużony korpus imitatora ICP 12S6**

Tak przygotowany obiekt badany jest pod kątem stateczności, działających na niego sił aerodynamicznych, ciężkości i ciągu (musimy posiadać informacje na temat napędu).

Każde takie obliczenie pozwala odpowiedzieć na pytanie, czy prawidłowo i optymalnie zaprojektowana została dana konstrukcja. Jeżeli tak, wtedy następnym krokiem jest przygotowanie układu sterowania, jeżeli nie, to wówczas należy ponownie przeanalizować konstrukcję z innymi parametrami.

Projektowanie jest procesem iteracyjnym, w którym dąży się do uzyskania jak najlepszego obiektu latającego. Proces iteracyjny w projektowaniu musi być zachowany, ponieważ nie da się projektować od razu całego obiektu bez założeń. Wynika to stąd, że zawsze przyjmując jakiś parametr, będzie on funkcją innego brakującego parametru, którego nie obliczymy bez znajomości zadanego. W związku z tym wartość drugiego parametru należy założyć, obliczyć pierwszy, wyciągnąć wnioski i poprawić. Przykładowo określenie środka ciężkości ICP jest związane z określoną długością pocisku, która jest dostosowana do nieznanymi jeszcze elementów układu sterowania. W momencie, gdy podczas projektowania elementy te zostaną dobrane, wtedy będzie potrzeba zweryfikowania długości imitatora, jego środka ciężkości, a to z kolei prowadzi do sprawdzenia czy dobrane elementy układu sterowania spełniają nowe warunki. Postępujemy tak, aż w kolejnym procesie projektowania osiągniemy zadowalający wynik.

## Literatura

- [1] Kurow W, Dołęgański J.: *Zasady projektowania pocisków rakietowych na paliwo stałe*, Wydawnictwo MON, Warszawa 1964
- [2] Węgrzyn B.: *Amatorskie rakiety doświadczalne*, Wydawnictwo MON, Warszawa 1967
- [3] Dziopa Z.: *Mechanika lotu*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2007.
- [4] Lebediew A, Strażewa I, Sacharow G.: *Aeromechanika samolotu*, Wydawnictwo MON, Warszawa 1958.