

dr inż. Lech SZUGAJEW\*  
kpt. mgr inż. Zbigniew LEWANDOWSKI\*  
mgr inż. Jerzy MIŁOSZ\*\*  
mgr inż. Tomasz RUTKOWSKI\*\*  
płk dypl. Krzysztof WIELEBA\*\*\*  
płk dr inż. Tomasz JAKUSZ\*\*\*  
\* Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia  
\*\* Przemysłowy Instytut Telekomunikacji  
\*\*\* Szefostwo Wojsk OPL

## MODERNIZACJA PRZECIWLOTNICZEGO ZESTAWU RAKIETOWEGO KUB

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono projekt modernizacji przeciwlotniczego zestawu raketowego KUB mający na celu, w oparciu o radar z anteną bezinercyjną, zmianę sposobu realizacji procedur i metod wykrywania celu oraz określania parametrów startowych rakiety i sposobu naprowadzania rakiety na cel.

## SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM “SA-6” MODERNIZATION

**Abstract:** In this article presents guidelines of surface-to-air missile system “SA-6” modernization based on electronically steered antenna (ESA) radar utilisation. The paper describes modernization improvements connected with targets acquisition and tracking, missile guidance/homing and benefits deal with system association.

### 1. Wstęp

W wyniku prac prowadzonych przez krajowy przemysł radiolokacyjny zaprojektowano i wykonano szereg radarów, których zasada pracy opiera się o elektroniczne sterowanie położeniem przestrzennym wiązki sondującej względem apertury anteny. Możliwość takiego elastycznego wykorzystania potencjału radaru rodzi wiele możliwości, między innymi wykorzystania jego właściwości jako wielofunkcyjnego sensora i radaru kierowania w zestawie przeciwlotniczym. Jako bazę dla modernizacji wybrano zestaw przeciwlotniczy 2K12 „KUB” ze względu uwarunkowania związane z eksploatacją ww. zestawu, a w szczególności zużywanie się resursów elementów zestawu, trudnościami naprawczymi, dostępnością części zamiennych itp. Przedstawiony projekt modernizacji w sposób kompleksowy eliminuje newralgiczne słabe punkty oryginalnego zestawu, a jednocześnie w znaczący sposób polepsza parametry zestawu i umożliwia elastyczne ich wykorzystanie. Osiągany w radarach z elektronicznym skanowaniem przestrzeni stopień precyzji wypracowania współrzędnych pozwala na zastosowanie takiego radaru jako stacji wstępnego wykrywania i stacji naprowadzania rakiet bojowych, co w połączeniu ze skrytością działania urządzeń z bezinercyjną anteną i krótkim czasem odświeżania informacji, ma ogromne znaczenie, np. ze względu na możliwość wyeliminowania promieniowania mocy przez stacje

wstępnego wykrywania i podświetlania celu stosowane przez oryginalne elementy zestawu „KUB”.

## 2. Ogólna charakterystyka PZR KUB

W oryginalnym rozwiązaniu Przeciwlotniczy Zestaw Raketowy 2K12 „KUB” składa się z następujących elementów:

- Samobieżnej Stacji Wykrywania i Naprowadzania 1S91;
- Samobieżnej Wyrzutni 2P25;
- Raket typu 3M9M (3M9M3).

Sposób naprowadzania rakiety na cel w zestawie opiera się o metodę półaktywną, ze źródłem promieniowania elektromagnetycznego znajdującym się na ziemi. Moc promieniowana musi być na tyle duża, aby ilość energii odbitej od celu i docierającej do przedniej anteny głowicy RGS naprowadzanej rakiety wystarczyła do detekcji celu. Jest to wymaganie krytyczne, ponieważ z uwagi na gabaryty rakiety nie można zastosować anten o dużych rozmiarach. Dla raket typu 3M9M ich start jest niemożliwy, dopóki głowica RGS nie zdetekuje sygnału odbitego od celu. Dla raket typu 3M9M3 ich start, w warunkach braku przechwyty, wiąże się z dużym zmniejszeniem prawdopodobieństwa skutecznego rażenia celu. Dla osiągnięcia odpowiedniej czułości układu odbiorczego RGS-a wymagana jest duża moc nadajnika SNR. Jednocześnie budowa układów naprowadzania rakiety umożliwia sterowanie procesem naprowadzania układów rakiety na sygnał celu tylko do momentu znajdowania się rakiety na wyrzutni. Sterowanie to odbywa się w zakresie kierowania lustra anteny przedniej RGS na linię, gdzie znajduje się cel oraz sterowania filtrem częstotliwościowym zależnie od radialnej prędkości celu. Ponieważ, szczególnie dla oddalonych celów oraz celów o małej skutecznej powierzchni odbicia, sygnały docierające do RGS są słabe, to start rakiety związany z wystąpieniem zaburzeń mechaniczno-kinematycznych może doprowadzić do przerwania śledzenia. Ponadto metoda półaktywna stosowana w PZR „KUB” posiada szereg wad, a mianowicie:

- łatwość zakłócenia Przeciwlotniczego Zestawu Raketowego (PZR) uniemożliwiająca ostrzelanie celu;
- brak możliwości wpływu na zachowanie się rakiety po starcie z wyrzutni;
- możliwość rażenia tylko jednego celu przez baterię raket;
- konieczność oświetlania celu energią o dużej gęstości mocy – szczególnie w chwili, kiedy raketa znajduje się jeszcze na wyrzutni;
- łatwość detekcji opromieniowania przez samolotowe pokładowe układy ostrzegania;
- wrażliwość na niestałość parametrów sygnału (szczególnie w chwili startu);
- stosunkowo duże prawdopodobieństwo przerwania ciągłości śledzenia celu przez raketę w trakcie lotu rakiety do celu.

Z drugiej strony metoda półaktywna stwarza dobre warunki skutecznego rażenia celu, ponieważ błędy sterowania zmniejszają się wraz ze zmniejszaniem się odległości rakiet-cel. Rażenie to może oczywiście nastąpić przy założeniu, że raketa śledzi cel i układy naprowadzania mogą wypracować komendy korygujące tor jej lotu. Wśród zalet metody półaktywnej należy wymienić:

- precyzyjne rażenie celu;
- brak potrzeby stosowania urządzeń odzewowych na pokładzie rakiety.

### 3. Założenia modernizacji PZR KUB

Podstawowy celem modernizacji zestawu PZR „KUB” jest między innymi przystosowanie rakiet do sterowania komendowego, umożliwiającego zdalne wprowadzenie rakiety w obszar znajdowania się celu. Taka zmiana sposobu kierowania lotem rakiety charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- trudność zakłócenia radiolinku „rakieta-SN” (SN-stacja naprowadzania) – układ „SN-rakieta” posiada o wiele korzystniejszy układ geometryczny anten zapewniający przewagę energetyczną;
- możliwość stosowania zaawansowanych metod kodowania sygnału sterującego, co zapewni zwiększenie odporności zestawu na zakłócenia oraz umożliwi zwielokrotnienie kanałów kierowania;
- łatwość implementacji w PZR różnych metod kierowania lotem rakiety, ponieważ lot rakiety na odcinku sterowanym komendowo odbywa się zgodnie z łatwo wymiennym algorytmem kierowania implementowanym w naziemnych elementach PZR;
- możliwością wpływu na zachowanie się rakiety po starcie z wyrzutni w zakresie:
  - zdalnego uzbrojenia, które może nastąpić w bezpośredniej styczności z celem, co znacząco zmniejszy prawdopodobieństwo eksplozji od, np. przedmiotów terenowych;
  - samozniszczenia – łatwej implementacji procedur HOLD FIRE;
  - zdalnego sterowania układami pokładowymi rakiety – w przypadku rakiety KUB możliwość zdalnego naprowadzania w kątach i częstotliwości, włączania układów przeciwwzakłóceńowych, sterowania autopilotem i radiozapalnikiem;
- możliwością kierowania wielu rakiet do różnych celów;
- brakiem konieczności oświetlania celu energią o dużej gęstości mocy – do naprowadzania rakiety wystarczy opromieniowanie celu energią radaru wielofunkcyjnego;
- trudnością detekcji i klasyfikacji opromieniowania przez samolotowe pokładowe układy ostrzegania – cel opromieniowany jest tak, jak przez zwykły radar wstępnego przeszukiwania;
- praktycznie całkowitą możliwością sterowania parametrami i lotem rakiety niezależnie od parametrów sygnału i zachowania się celu.

Do wad metody komend kierowania należy zaliczyć:

- mniej precyzyjne rażenie celu – błąd sterowania zwiększa się wraz ze wzrostem odległości „rakieta-stacja naprowadzania”;
- konieczność jednoczesnego śledzenia rakiety i celu przez elementy PZR.

Połączenie obydwu metod naprowadzania rakiety na cel proponowane w przedstawionym projekcie modernizacji posiada wszystkie zalety obydwu wyżej wymienionych metod oraz praktycznie eliminuje wady obydwu metod.

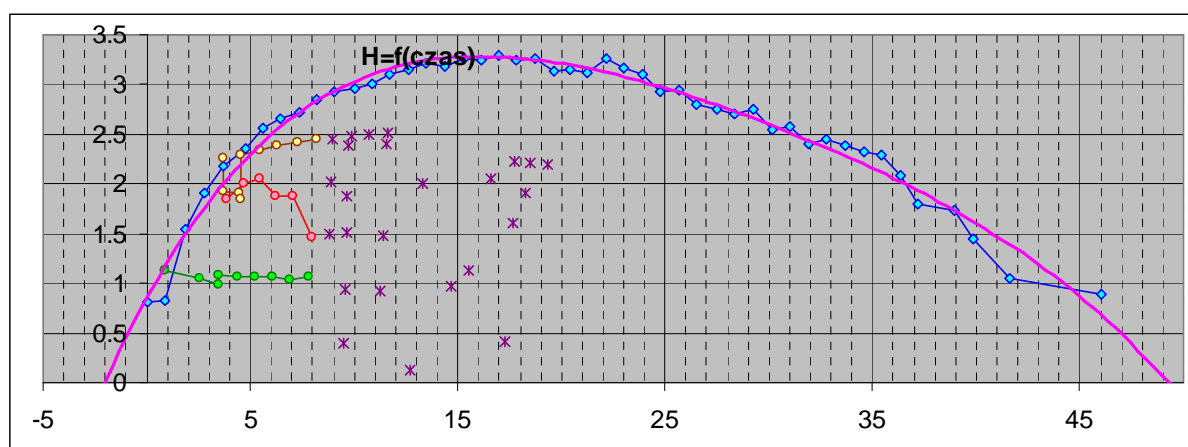
#### 3.1 Radar wielofunkcyjny

Zastosowanie wielofunkcyjnego RADARU z ESPW pozwoli na:

- jednoczesne wykrywanie i śledzenie celów;
- śledzenie celu i rakiety oraz wypracowanie korekt – naprowadzanie rakiety na cel;
- wypracowanie komend związanych z pracą rakiety w czasie przygotowania do startu i w trakcie lotu do celu;
- jednoczesne kierowanie kilku rakiet do kilku celów;

- zwiększenie liczby wyrzutni w baterii – liczba wyrzutni = liczba kanałów celowania;
- natychmiastową ocenę rezultatów wykonania zadania;
- łatwą implementację procedur związanych z kierowaniem ogniem ze stanowisk nadrzędnych;
- łatwe przystosowanie do sterowania dowolnego typu wyrzutni i rakiet;
- skrytość działania;
- utrudniona detekcja i klasyfikacja promieniowania.

Na rys. 1 przedstawiono przykładowy obraz profilu wysokościowego lotu rakiety typu 3M9M3E uzyskany przez radar z ESPW TRC-20 „BRDA”. Jak widać informacja radarowa pozwala na śledzenie rakiety, naprowadzanie jej na cel, a nawet dokonanie oceny poprawności pracy rakiety (kolor zielony – zrzut dyszy silnika startowego).



**Rys. 1 Profil wysokościowy lotu rakiety typu 3M9M3E uzyskany przez radar z ESPW TRC-20 „BRDA”**

W celu przystosowania radaru wielofunkcyjnego do spełnienia warunków pracy jako radar PZR należy wykonać niezbędne prace przystosowawcze w zakresie oprogramowania oraz wykonać interfejs transmisyjny umożliwiający współpracę radaru z wyrzutnią.

### 3.2 Wyrzutnia rakiet

Ponieważ w proponowanym rozwiązaniu całość zadań związanych z obliczeniem żądanej trajektorii lotu rakiety względem celu została przerzucona na radar wielofunkcyjny, to rola wyrzutni sprowadza się do traktowania jej jako elementu wykonawczego realizującego procedurę startową rakiety oraz elementu radiolinii transmitującego wypracowane przez radar komendy sterujące na pokład rakiety. Wykonanie prac modernizacyjnych w zakresie:

- zabudowy układu orientacji;
- interfejsu współpracy z radarem (link dwukierunkowy);
- eliminacji układów oryginalnego przelicznika;
- wymiany oryginalnego bloku współpracy z rakieta;
- zastosowania nadajnika podświetlania/linku do rakiety na elemencie obrotowo-wahliwym,

pozwoli na realizację założonej w projekcie metody kierowania rakiety, a dodatkowo zwiększy niezawodność oraz ułatwi późniejsze dostosowanie wyrzutni do innego typu rakiet.

### 3.3 Rakiety 3M9ME i 3M9M3E

Modernizacja rakiety polega na wykonaniu i montażu do rakiety układu dekodera radiokomend zintegrowanego z układem żyroskopowym oraz sterowania automatyki rakiety i RGS. Rakieta wyposażona w układ dekodera realizowałaby wszystkie funkcje oryginalnej rakiety „KUB” (możliwość wykorzystania w oryginalnym PZR KUB), a dodatkowo umożliwiłaby:

- realizację dowolnej metody naprowadzania;
- start rakiety bez „widoczności celu” przez rakieta;
- zdalne uzbrojenie RZ w dowolnym momencie lotu rakiety;
- zdalną detonację ładunku bojowego;
- zdalne naprowadzenie anteny RGS w kątach;
- zdalne naprowadzenie RGS w częstotliwości;
- zdalne włączenie trybu pracy w zakłóceniach;
- realizację oryginalnej metody naprowadzania tylko w końcowej fazie lotu, kiedy przechwyty sygnału celu jest możliwy przy małej mocy nadajnika podświetlającego;
- praktyczną eliminację możliwości ostrzelania przypadkowego celu;
- zapewnienie skrytości działania.

### 4. Praca bojowa w zmodernizowanym PZR KUB

W zmodernizowanym PZR „KUB” zadania realizowane przez poszczególne jego elementy byłyby następujące:

- Radar:
  - rozwinięcie + orientacja z wyrzutnią;
  - obserwacja przestrzeni powietrznej z interwałem czasowym, np. 10s;
  - współpraca ze stanowiskiem nadrzędnym;
  - wykrycie obiektu – przejście w tryb śledzenia z interwałem, np. 0.5s (lub rozpoczęcie śledzenia obiektu wskazanego przez obiekt nadrzędny);
  - obliczenie przewidywanej trajektorii lotu celu / wysłanie komend przygotowania wyrzutni i rakiet;
  - obliczenie punktu wyprzedzonego spotkania rakiety z celem – przesłanie nastaw azymut/elewacja do wyrzutni;
  - przygotowanie radaru do śledzenia rakiety;
  - komendy startu rakiety + włączenie nadajnika radiokomend/podświetlania;
  - w czasie lotu rakiety do celu bieżące obliczanie trajektorii lotu celu i wyliczanie punktu spotkania, wypracowanie komend kierowania lotem rakiety zgodnie z wybraną metodą naprowadzenia, sterowanie azymut/elewacja położeniem nadajnika radiokomend;
  - bieżące obliczanie i przesyłanie komend sterujących pracą RGS (kąty anteny, częstotliwość zbliżania);
  - przesłanie komend uzbrojenia RZ, włączenia nadajnika radiokomend w tryb podświetlania celu, przejścia na naprowadzanie autonomiczne rakiety;
  - ocena wykonania zadania zniszczenia celu;
  - zarządzanie raketami w baterii.
- Wyrzutnia rakiet:
  - rozwinięcie + orientacja z radarem;

- zasilanie rakiet;
- orientacja rakiety do startu ( na podstawie komend z radaru skorygowanych przez pokładowy system nawigacji);
- realizacja procedury startowej rakiety;
- orientacja nadajnika radiokomend/podświetlania ( na podstawie komend z radaru skorygowanych przez pokładowy system nawigacji);
- transmisja radiokomend;
- realizacja podświetlania celu w ostatniej fazie lotu rakiety do celu.

## 5. Modernizacja rakiety 3M9M(3)E KUB

Zastosowanie układu dekodera radiokomend umożliwi sterowanie automatyką zarówno radiolokacyjnej głowicy samonaprowadzania w zakresie akwizycji sygnału celu, jak również sterowanie układami wykonawczymi rakiety – autopilotem i radiozapalnikiem.

Do autopilota wydawane będą następujące sygnały:

- RKN – poziom sygnału w kanale N;
- RKA – poziom sygnału w kanale A;
- STREFA – zmiana wzmocnienia kanałów N i A;
- RAP, RKR – odblokowanie autopilota, odblokowanie skrzydeł.

Sygnały te oczywiście mogą być oryginalnymi z RGS lub z układu dekodera radiokomend – zależnie od stanu pracy RGS i układu radiosterowania.

Do radiozapalnika wydawane będą następujące komendy:

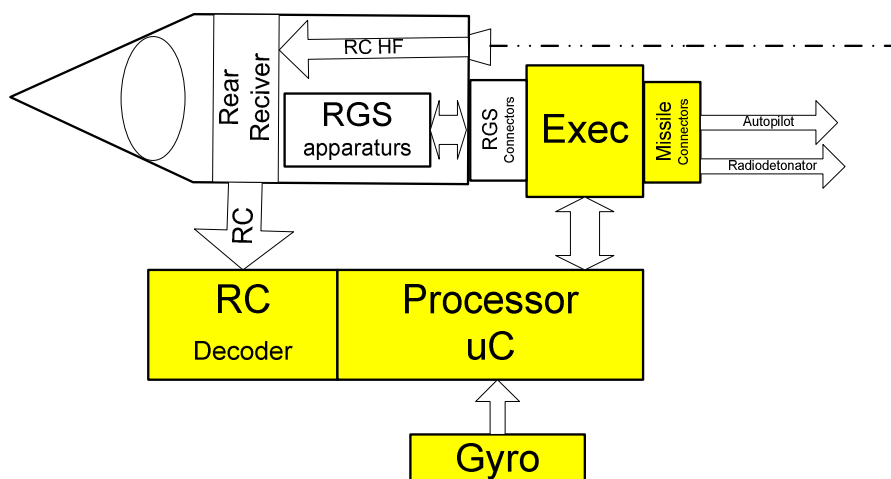
- ZNRW – informacja o śledzeniu celu przez RGS;
- PA – zmiana opóźnienia zadziałania ładunku bojowego;
- DW – zdalne uzbrojenie (oryginalnie wydawane przez RGS po 0.6 drogi do planowanego punktu wyprzedzonego);
- RR – zwiększenie czułości radiozapalnika.

Podobnie jak w przypadku autopilota, komendy te oczywiście mogą być oryginalnymi z RGS lub z układu dekodera radiokomend – zależnie od stanu RGS i radiosterowania.

W kierunku RGS układ dekodera pozwoli na przesłanie następujących komend i sygnałów:

- SBS – informacja o zrzucie dyszy – początek odcinka kierowanego lotu rakiety;
- START - informacja o starcie rakiety z wyrzutni;
- ZZ – zakaz przechwyty;
- Napięcie prędkości – proporcjonalne do prędkości wzajemnego zbliżania się rakiety i celu;
- kąty naprowadzenia anteny RGS – dane do skierowania osi elektrycznej anteny przedniej RGS w kierunku celu;
- włączenia układów przeciwzakłóceń.

Zakłada się, że w przypadku braku zakodowanej informacji w sygnale, układ dekodera będzie „przezroczysty” i zmodernizowana rakietka będzie ekwiwalentna do rakiety oryginalnej. Na rys. 2 schematycznie przedstawiono elementy i miejsce montażu układu radiokomend.



Rys. 2 Elementy układu dekodera radiokomend

## 6. Podsumowanie

Proponowana modernizacja zestawu 2K12 „KUB” wg założeń niniejszego projektu, to w dużej mierze stworzenie nowego zestawu raketowego krótkiego zasięgu z nowoczesnym wielofunkcyjnym radarem produkcji krajowej, pracującym w zautomatyzowanym, rozproszonym systemie kierowania i dowodzenia. Modernizacja, a w szczególności adaptacja radaru z ESPW do funkcji kierowania ogniem zestawu PZR pozwoli w dalszej przyszłości na łatwe i szybkie przystosowanie zestawu do każdej komendowo sterowanej rakiety - nie trzeba będzie kupować całych, bardzo drogich zestawów raketowych, wystarczy zakup elementów wyrzutnia-rakieta lub sama rakietka. W tabeli nr 1 przedstawiono zestawienie korzyści, zmiany parametrów PZR przed i po modernizacji.

Tabela nr 1

Parametr	Przed modernizacją	Po modernizacji
Odporność na zakłócenia /przeciwdziałanie	Mała	Bardzo duża
Start bez widoczności celu M/M3	Brak/Ograniczona	Jest
Metoda naprowadzania	Nawigacji proporcjonalnej	Dowolna
Liczba kanałów celowania	1	Konfigurowalna
Sterowanie automatyką rakiety po starcie	Brak	Jest
Zdalne uzbrojenie / detonacja	0.6 / brak	Przed celem / jest
Możliwość pracy w środowisku sieciowym	Brak	Jest

W wyniku modernizacji będzie możliwe uzyskanie polskiego zestawu raketowego z szerokimi możliwościami modernizacji i eksportu.