

prof. WAT Jan PIETRASIENSKI
kpt. mgr inż. Jacek WARCHULSKI
kpt. mgr inż. Marcin WARCHULSKI
mjr dr inż. Dariusz RODZIK
Wojskowa Akademia Techniczna

BADANIA POLIGONOWE NOWEJ METODY NAPROWADZANIA DLA PRZECIWLOTNICZEGO ZESTAWU RAKIETOWEGO NEWA SC

Streszczenie: W Wydziale Mechatroniki WAT prowadzone są badania teoretyczne nowych metod naprowadzania rakiet przeciwlotniczych. Wyniki rozważań stały się podstawą opracowania nowej metody naprowadzania, ukierunkowanej na zwiększenie efektywności energetycznej procesu naprowadzania oraz zwiększenie skuteczności zwalczania celów silnie manewrujących. Rezultaty analityczne zaadoptowane zostały do potrzeb przeciwlotniczego zestawu rakietowego Newa SC i przebadane metodami symulacyjnymi. Następnym etapem badań była praktyczna realizacja nowej metody naprowadzania, polegająca na implementacji w przeliczniku stacji naprowadzania modułu programowego realizującego nowy algorytm wyliczania komend sterowania rakieta. W pracy przedstawiono przykładowe wyniki badań poligonowych nowej metody naprowadzania dla przeciwlotniczego zestawu rakietowego Newa SC.

FIRE-FIELD INVESTIGATIONSO F NEW GUIDANCE METHOD OF NEWA SC ANTI-MISSILE SYSTEM

Abstract: Theoretical studies of the new methods of missile guidance systems are carried out in the Faculty of Mechatronics of Military University of Technology in Warsaw. The results of considerations were the basis to develop a new method of guidance aimed at increasing of the energy efficiency of the process guidance and the effectiveness of highly maneuvering combat objectives. Analytical results were applied in the Newa SC anti-missile system and were tested by a simulation methods. The next stage of investigations was the practical implementation in the converter station guidance of a new algorithm to calculate missile control commands of the guidance method. Some results of firing field tests of the new guidance method for Newa SC anti-missile system are presented in the paper.

1. Wprowadzenie

Nadrzędnym wymaganiem przy wyborze metody naprowadzania jest, aby rakiet została naprowadzona w rejon celu z błędem nie większym od promienia skutecznego działania głowicy bojowej. Dla tak sformułowanego warunku nie istnieje jednoznaczne rozwiązanie tego zadania, i trajektorii, które spełniają powyższe wymaganie, jest nieskończenie wiele. Dlatego też niezbędne jest sprecyzowanie dodatkowych ograniczeń i kryteriów umożliwiających ilościowe porównywanie własności przyjętych sposobów naprowadzania. Przy ich formułowaniu należy uwzględnić czynniki takie jak: możliwości manewrowe rakiet w odniesieniu do zdolności manewrowych współczesnych środków

napadu powietrznego, możliwości i jakość pomiaru parametrów ruchu celu i rakiety (wymaganych przez metodę), wpływ zakłóceń na proces sterowania rakieta, własności dynamiczne obwodu naprowadzania oraz promień skutecznego działania głowicy bojowej. Z drugiej strony ich uwzględnienie powoduje, że wyznaczenie metody naprowadzania staje się zadaniem bardzo złożonym, a uzyskane formalne rozwiązania wymagają zastosowania skomplikowanej funkcjonalnie i technicznie aparatury. Wynika to z faktu, że metoda naprowadzania w znacznym stopniu determinuje strukturę funkcjonalną zestawu raketowego, w szczególności układów określania współrzędnych ruchu celu i raket (na ogół radiolokacyjnych) oraz układów wyliczania komend.

Z tych powodów, dotychczas stosowane w zestawach raketowych metody naprowadzania wywodzą się z modeli idealizujących zjawiska towarzyszące naprowadzaniu rakiety na cel przy jednoczesnym zawężeniu kryteriów jakości naprowadzania. Charakterystycznym tego przykładem jest synteza metod naprowadzania przy traktowaniu obwodu naprowadzania w kategoriach kinematycznych. Dorobek teorii naprowadzania raket prowadzi do konkluzji, że możliwości dalszego doskonalenia kinematycznych metod naprowadzania zostały wyczerpane. Wyznaczone z przesłanek kinematycznych metody naprowadzania zapewniają wysoką skuteczność naprowadzania raket w rejon celu, ale okupione jest to znacznymi stratami energetycznymi wynikającymi z gwałtownych manewrów rakiety na znacznym odcinku jej lotu, również przy dużych odległościach od celu. Konsekwencją silnych manewrów jest znaczący spadek prędkości, a tym samym zdolności manewrowych rakiety, uwarunkowanych spadkiem oddziaływań aerodynamicznych, i w konsekwencji ograniczenie zasięgu lotu rakiety. Z powyższych powodów podjęcie badań w zakresie nowych metod naprowadzania ma znaczenie nie tylko dla rozwoju teorii naprowadzania raket, ale również uwarunkowane jest możliwościami i potrzebami praktycznymi. Dorobek ogólnej teorii sterowania obiektami i ich obserwacji w warunkach silnego oddziaływania zakłóceń oraz dostępność wysokowydajnych środków obliczeniowych, pozwalających na realizację złożonych obliczeń w czasie rzeczywistym, uzasadniają teoretyczny i praktyczny sens podjęcia badań w zakresie poszukiwania nowych metod naprowadzania raket na cel.

Duże znaczenie na arenie międzynarodowej mają doświadczenia zdobyte przy modernizacji zestawu Nawa przez naukowców z Wojskowej Akademii Technicznej oraz zakłady, które wdrożyły je na uzbrojenie tj. WZE Zielonka. Zdaniem specjalistów strona polska poszła najdalej w modernizacji zestawu, w którym znacznie ograniczono liczbę urządzeń i skład osobowy oraz wprowadzono zaawansowane cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Uwarunkowania czasowe, ekonomiczne i technologiczne wykluczyły ingerencję w aparaturę pokładową raket. Natomiast przyczyną pozostawienia w niezmięnionej postaci metod naprowadzania było słabe zaawansowanie badań teoretycznych nad nowymi algorytmami naprowadzania raket oraz zupełny brak doświadczeń poligonowych.

Bogate doświadczenia zebrane podczas modernizacji zestawów raketowych oraz wyniki rejestrowanych strzelań bojowych na poligonie w Uście pozwoliły na pogłębienie prac teoretycznych w zakresie cyfrowej filtracji parametrów ruchu celu i raket oraz wyliczania komend sterowania. Poszukiwano nowe oraz optymalizowano istniejące metody naprowadzania [4]. Badano konsekwencje zwiększenia zasięgu raket na rozwiązania i funkcjonowanie toru transmisji komend kierowania [2,5].

Prowadzone w Wydziale Mechatroniki WAT badania teoretyczne nad nowymi metodami naprowadzania raket, ukierunkowane są na zwiększenie efektywności energetycznej procesu naprowadzania oraz zwiększenie skuteczności zwalczania celów silnie manewrujących. Uogólnioną miarą jakości metody naprowadzania jest funkcjonalność:

$$I = \frac{1}{2} \left[h^T(t_k) G h(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} U^T(t) K U(t) dt \right]$$

gdzie:

- h - wektor błędu naprowadzenia;
- U - wektor sterowania;
- t₀ - czas rozpoczęcia naprowadzania;
- t_k - czas zakończenia naprowadzania;
- G, K - macierze współczynników wagowych.

Wyniki rozważań stały się podstawą opracowania nowej metody naprowadzania, pozwalającej znacząco zminimalizować straty związane z ruchem rakiety w atmosferze. Przeprowadzone analizy i badania symulacyjne wskazują, że zastosowanie w zestawie Newa SC nowej metody naprowadzania spowoduje wzrost zasięgu rakiet o około 20% oraz prawie półtorakrotne zwiększenie strefy ognia zestawu. Drugi cel prowadzonych badań nad nowymi metodami naprowadzania, tj. zwiększenie skuteczności zwalczania celów silnie manewrujących, osiągnięto poprzez optymalizację sterowania rakieta w warunkach oddziaływania na obwód naprowadzania wymuszeń kinematycznych, wynikających z silnych manewrów celu.

2. Przedmiot, cel i zakres badań

Przedmiotem badań była nowa metoda naprowadzania rakiet dla przeciwlotniczego zestawu raketowego Newa SC. Celem strzałów bojowych doświadczalnych była praktyczna weryfikacja wyników badań teoretycznych nowych metod naprowadzania rakiet, zaadoptowanych w przeciwlotniczym zestawie raketowym Newa SC oraz sprawdzenie stabilności i jakości obwodu naprowadzania zestawu. W stacji naprowadzania rakiet zainstalowano nowo opracowany moduł programowy, realizujący algorytm naprowadzania rakiet według nowej metody. Przewidziano odpalenie 3 rakiet do celów imitowanych. Parametry procesu naprowadzania, w szczególności współrzędne ruchu rakiety, rejestrowano przez standardową aparaturę rejestracyjną zestawu. Analizie poddano nową postać przelicznika zestawu Newa SC ze względu na jakość dynamiki obwodu naprowadzania.

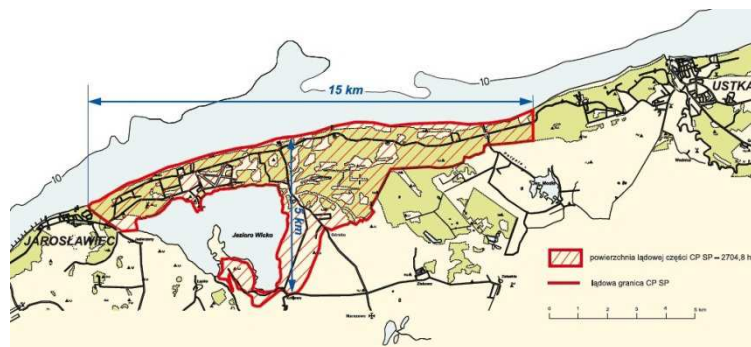
Badania nowej metody naprowadzania polegały na pomiarach i analizie następujących parametrów procesu naprowadzania: manewrów rakiety w kolejnych fazach jej lotu, krzywizny trajektorii, profilu prędkości rakiety, czasu dolotu do punktu spotkania rakiety z celem, błędu naprowadzania, własności dynamicznych obwodu naprowadzania.

Ocena nowej metody naprowadzania polegała na ilościowym porównaniu wyników zarejestrowanych pomiarów z dotychczas zarejestrowanymi parametrami procesów naprowadzania podczas strzałów poligonowych.

3. Centralny Poligon Sił Powietrznych

Centralny Poligon Sił Powietrznych (CP SP) podlega Dowódcy Sił Powietrznych i jest jednostką wojskową i organem spełniającym funkcje organizacyjno – usługowe w zakresie stwarzania ćwiczącym wojskom dogodnych warunków szkoleniowych [1]. Poligon stanowi wydzielony i odpowiednio przygotowany teren z obiektami szkoleniowymi oraz zapleczem socjalno-bytowym i przeznaczony jest do zabezpieczenia szkolenia pododdziałów wojsk obrony przeciwlotniczej, wykonywania strzałów bojowych do celów nawodnych, naziemnych i powietrznych, prowadzenia obiektywnej kontroli i oceny strzałów bojowych realizowanych na poligonie. Poligon obejmuje pas wybrzeża Morza Bałtyckiego wraz z przyległymi strefami

morskimi wykorzystywanymi do ćwiczeń i strzelań bojowych wojsk z użyciem środków bojowych.



Rys. 1. Lokalizacja części lądowej Centralnego Poligonu Sił Powietrznych

Na poligonie możliwe jest szkolenie wojsk w zakresie:

- strzelań bojowych środków ogniowych wojsk obrony przeciwlotniczej (artyleryjskich i raketowych) do celów powietrznych, nawodnych i naziemnych,
- strzelań bojowych pokładowych środków ogniowych obrony przeciwlotniczej Marynarki Wojennej do celów powietrznych i nawodnych,
- strzelania symulowanego sposobem rozwarcia kąтового do statków powietrznych symulujących cele powietrzne,
- doskonalenia pododdziałów radiotechnicznych oraz obsługi stanowisk dowodzenia Wojsk Obrony Przeciwlotniczej (WOPL),
- strzelań bojowych pododdziałów wojsk lądowych do celów nawodnych,
- wykonywania ograniczonych działań desantowych wojsk z morza,
- ćwiczeń w obronie wybrzeża morskiego,
- wykonywania zadań przez wszystkie typy statków powietrznych z wykorzystaniem różnych rodzajów manewrów i uzbrojenia (bombardowanie, strzelanie z uzbrojenia artyleryjskiego i raketowego) od lotu koszącego do dużych wysokości.

Na poligonie w ramach prac badawczych przy pomocy specjalnie wydzielonych sił i środków można prowadzić badania:

- nowej problematyki taktycznej i organizacyjnej wojsk oraz zasad wykorzystania nowo wprowadzanych i modernizowanych systemów uzbrojenia i sprzętu wojskowego,
- uzbrojenia, sprzętu wojskowego, amunicji i materiałów wybuchowych oraz innych środków rażenia, a także nowych imitatorów celów powietrznych.

Na poligonie mogą być wykonywane tylko zadania ogniowe przewidziane w programach strzelań lub na podstawie zatwierdzonej dokumentacji prac badawczych.

4. Program badań nowej metody naprowadzania

Program strzelań jest podstawowym dokumentem regulującym prowadzenie strzelań raketowych Wojsk Obrony Przeciwlotniczej [3].

Program strzelań określa zasady: dopuszczania wojsk do strzelań bojowych, przygotowania oraz prowadzenia strzelań bojowych i szkolnych, bezpieczeństwa oraz wykaz stałych czynności wykonywanych podczas strzelań bojowych, oceny strzelań szkolnych i bojowych.

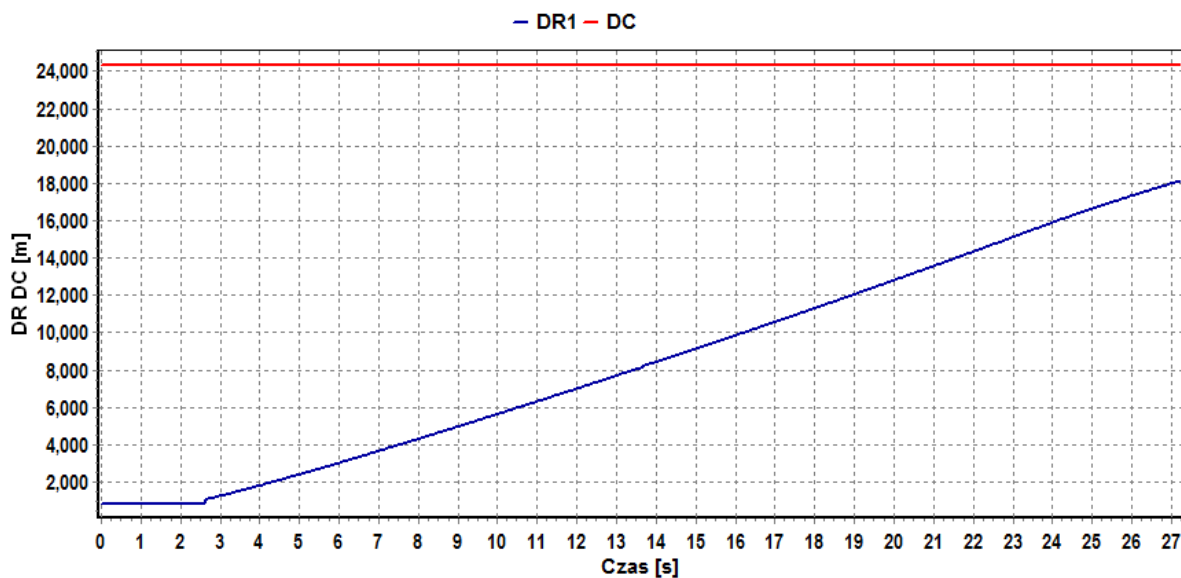
Strzelania bojowe, wykonywane wg zadań nieopisanych w programie strzelań wojsk obrony przeciwlotniczej, traktowane są jako strzelania bojowe doświadczalne lub badawcze. Strzelania doświadczalne lub badawcze prowadzone są w ramach wdrażania nowego sprzętu

naprowadzania oraz konieczność zachowania bezpieczeństwa strzelań wszystkie naprowadzania przeprowadzono z wykorzystaniem celów imitowanych. Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki pierwszego eksperymentu.

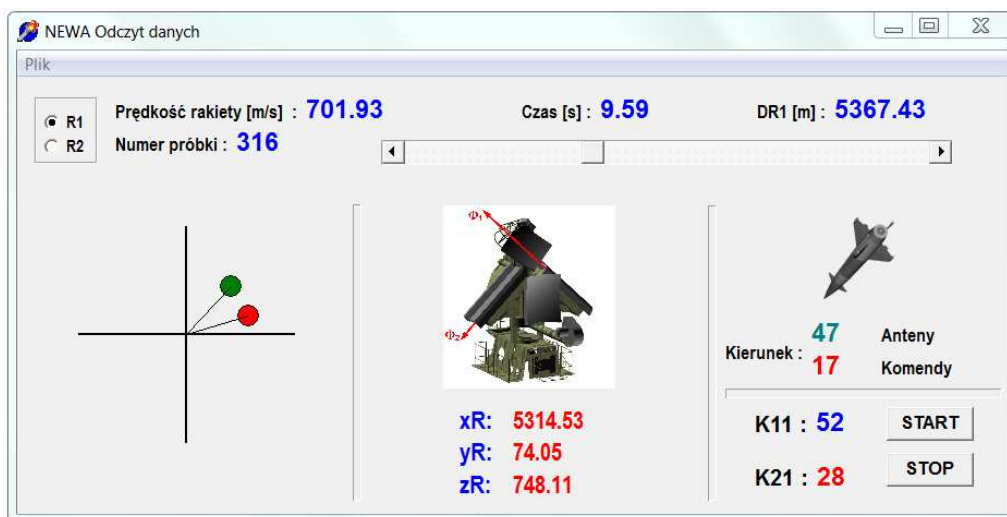


Rys. 3. Start rakiety ze stanowiska ogniowego

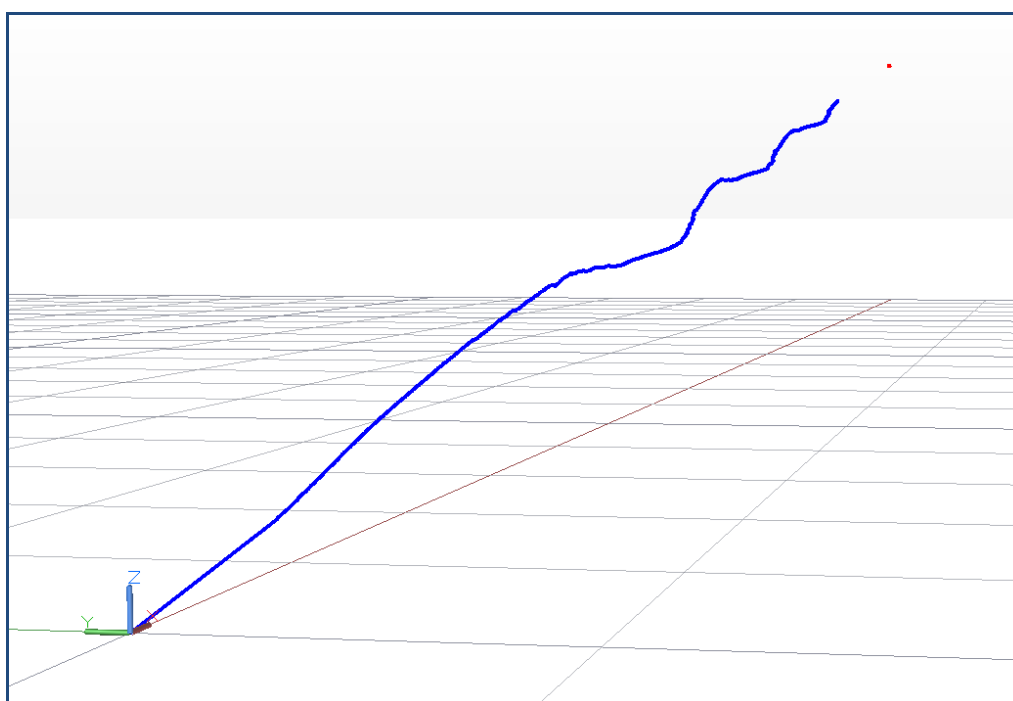
Start rakiety nastąpił o godzinie 10.10. Przechwyt rakiety nastąpił na odległości 1 076 m, po 2,64 s od startu rakiety. Do 9,59 s lotu rakieta przebywała w strefie ograniczania strat energetycznych sterowania. W tym czasie pokonała dystans 5 367 m, i osiągnęła prędkość 702 m/s.



Rys. 4. Zmiana odległość do rakiety i celu



Rys. 5. Charakterystyki procesu naprowadzania



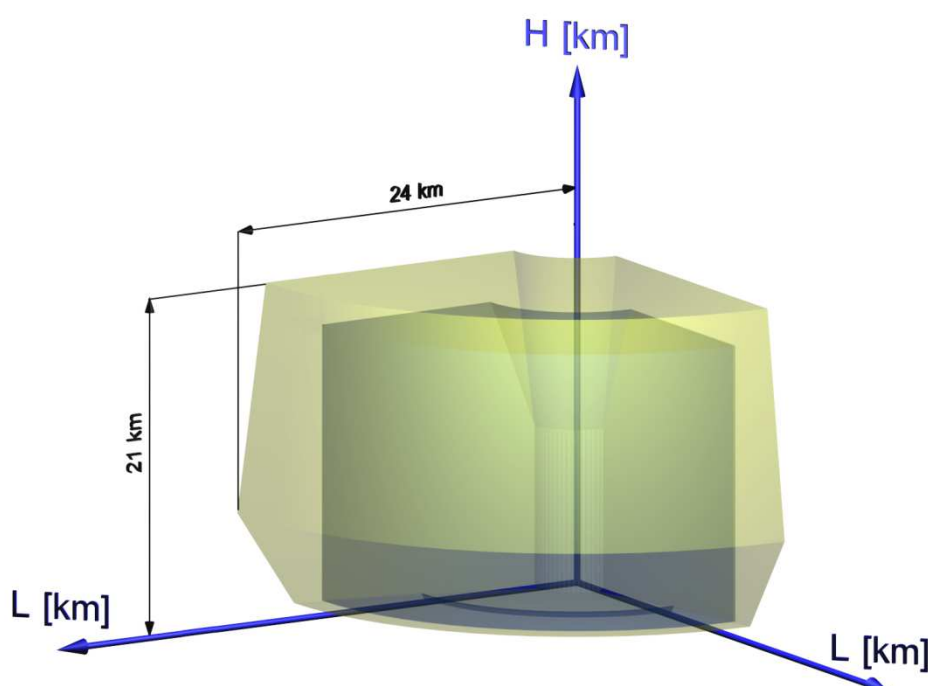
Rys. 6. Trajektoria lotu rakiety (widok izometryczny)

6. Podsumowanie

Przeprowadzenie badań poligonowych było możliwe dzięki merytorycznemu, organizacyjnemu i technicznemu wsparciu Szefostwa OPL MON, Szefostwa Wojsk OPL SP, Komendy Centralnego Poligonu Sił Powietrznych w Ustce oraz licznej grupy specjalistów z wojsk raketowych. Wykonane strzelania bojowe doświadczalne były pierwszą, eksperymentalną próbą nowej metody naprowadzania. Uzyskane wyniki przeprowadzonych eksperymentów są użyteczne oraz spełniają zakładane oczekiwania weryfikacyjne rozważań teoretycznych.

Ze względu na zasięg rakiety i jej możliwości manewrowe kluczowym parametrem kinematycznym jest prędkość rakiety. Nowa metoda naprowadzania, ukierunkowana na redukcję strat energetycznych sterowania rakieta, zapewnia znaczący przyrost prędkości rakiety. W przeprowadzonych strzelaniach bojowych doświadczalnych uzyskiwane przez rakiety prędkości były znacząco większe, w szczególności odnosi się to do prędkości chwilowych na granicy strefy ograniczania strat energetycznych sterowania. Dla pierwszych dwóch rakiet granice te wynosiły około 5.5 km, a uzyskane prędkości wyniosły ponad 700 m/s. Pomimo silnych manewrów pierwszej rakiety, ograniczających jej prędkość, średnia prędkość rakiety wyraźnie wzrosła. Spowodowało to dwukilometrowe przekroczenie odległości zadziałania mechanizmu likwidacji rakiety.

Uzyskane wyniki strzelań poligonowych stały się podstawą do uściślenia istoty i matematycznej formuły nowej metody naprowadzania, ukierunkowanej na wzrost prędkości rakiety, oraz sprecyzowania warunków regulacji funkcji przenoszenia obwodu naprowadzania w miarę zbliżania się rakiety do celu, zapewniającej minimalizację błędów naprowadzania.



Rys. 7. Strefa ognia zestawu dla nowej metody naprowadzania

Zastosowanie nowej metody naprowadzania w zestawie Newa SC przyczyni się do:

- wzrostu zdolności manewrowych rakiety,
- zmniejszenia błędów naprowadzania,
- 20% wydłużenia zasięgu rakiety,
- znaczącego zwiększenia strefy ognia zestawu.

Przeprowadzone realne strzelania są bardzo cennym doświadczeniem, bowiem pozwoliły na weryfikację założeń i rozważań teoretycznych oraz opracowanych modeli symulacyjnych.

Literatura

1. Instrukcja działalności Centralnego Poligonu Sił Powietrznych, Warszawa, Dowództwo Sił Powietrznych 2008.

2. Podciechowski M., Rodzik D., Sienicki K., Żygadło S., Modernizacja toru odbiorczego SNR-125SC pod kątem zwiększenia zasięgu PZR NEWA SC. VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Waplewo 2006.
3. Program strzelań wojsk obrony przeciwlotniczej. T. 1, Strzelania raketowe, Warszawa, MON 2008.
4. Żygadło S., Rodzik D., Warchulski J., Warchulski M., Analiza możliwości zwiększenia zasięgu rakiet PZR NEWA SC. Biuletyn WAT, Vol. LVI, Numer specjalny (1), Warszawa 2007.
5. Żygadło S., Rodzik D., Warchulski J., Warchulski M., Wpływ wybranych parametrów toru obserwacji na zasięg śledzenia PZR NEWA SC. Biuletyn WAT, Vol. LVI, Numer specjalny (1), Warszawa 2007.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010 – 2011 jako projekt
badawczy nr O N501 164738*