

Zbigniew Dziopa
Politechnika Świętokrzyska

Józef Małecki
Akademia Marynarki Wojennej

**WPLYW HYBRYDOWEGO UKŁADU
WIBROIZOLACJI WIEŻY WYRZUTNI
NA RUCH RAKIET WZDŁUŻ PROWADNIC
MOBILNEGO SYSTEMU OBRONY NADBRZEŻNEJ**

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiony jest model matematyczny samobieźnego przeciwlotniczego zestawu raketowego, który można wykorzystać do obrony nadbrzeżnej. Niekorzystny wpływ zakłóceń generowanych w trakcie ruchu zestawu w terenie ma wpływ na zachowanie się rakiet podczas ich wystrzeliwania do manewrującego celu. Początkowe parametry lotu rakiety mogą mieć decydujący wpływ na trafienie w lecący obiekt. Celem pracy jest zastosowanie hybrydowego układu wibroizolacji wieży wyrzutni zestawu w celu poprawy warunków początkowych dla startujących z prowadnic rakiet. Aktywny układ redukcji powstających zaburzeń umożliwia kontrolowane sterowanie drganiami wieży wyrzutni w trakcie wystrzeliwania rakiet oraz pokonywania przez pojazd-nosiciel nierówności terenu.

Słowa kluczowe:

hybrydowa wibroizolacja sterowana, wyrzutnia rakiet, pojazd-nosiciel, dynamika.

WSTĘP

Obiektem badań jest model samobieźnego przeciwlotniczego zestawu raketowego (SPZR). Na niewielkim pojeździe terenowym zamontowana jest wyrzutnia samonaprowadzających się na cel raketowych pocisków bliskiego zasięgu. Taki mobilny system przeciwlotniczy można wykorzystać w ramach systemu obrony wybrzeża. Ze względu na jego własności ruchowe można sprawnie, szybko i skrycie zmieniać

jego aktualne położenie. W zależności od stopnia zagrożenia i występujących potrzeb pojazd lub grupa pojazdów pozwala na zabezpieczenie stref uznanych w danej chwili jako priorytetowe do ochrony. Pojazdy w dowolnym czasie i miejscu mogą ubezpieczać okręty bazujące w miejscu bazowania w przypadku bezpośredniego zagrożenia ze strony przeciwnika.

Od początkowych parametrów lotu rakiety zależy trajektoria, jaką będzie ona realizowała w trakcie lotu do celu. Wartości zaburzeń generowanych przez wyrzutnie mają niekorzystny wpływ na parametry lotu wypracowane przez SPZR i w efekcie mogą spowodować, że wystrzelony pocisk raketowy nie zdoła przechwycić i zniszczyć wybranego celu [2, 3, 6]. W przypadku pocisków raketowych bliskiego zasięgu niewielka nawet zmiana parametrów lotu nabiera szczególnego znaczenia, ze względu na bardzo krótki czas niezbędny do naprowadzenia pocisku na cel. Także ograniczenia techniczne i warunki bezpieczeństwa związane z lotem pocisku raketowego powodują, że nie każdą trajektorię lotu może on zrealizować. W związku z tym odchylenie parametrów od wartości pożądaných może spowodować, że rakieta nie osiągnie zakładanego celu. Zastosowanie proponowanego hybrydowego układu wibroizolacji wieży wyrzutni przyczyni się do poprawienia warunków dla startujących z zestawu raket [4, 8]. Celem pracy jest przedstawienie badań symulacyjnych w zakresie określenia skuteczności działania aktywnego układu redukcji drgań wieży w trakcie wystrzeliwania raket i pokonywania przez samochód nierówności drogi.

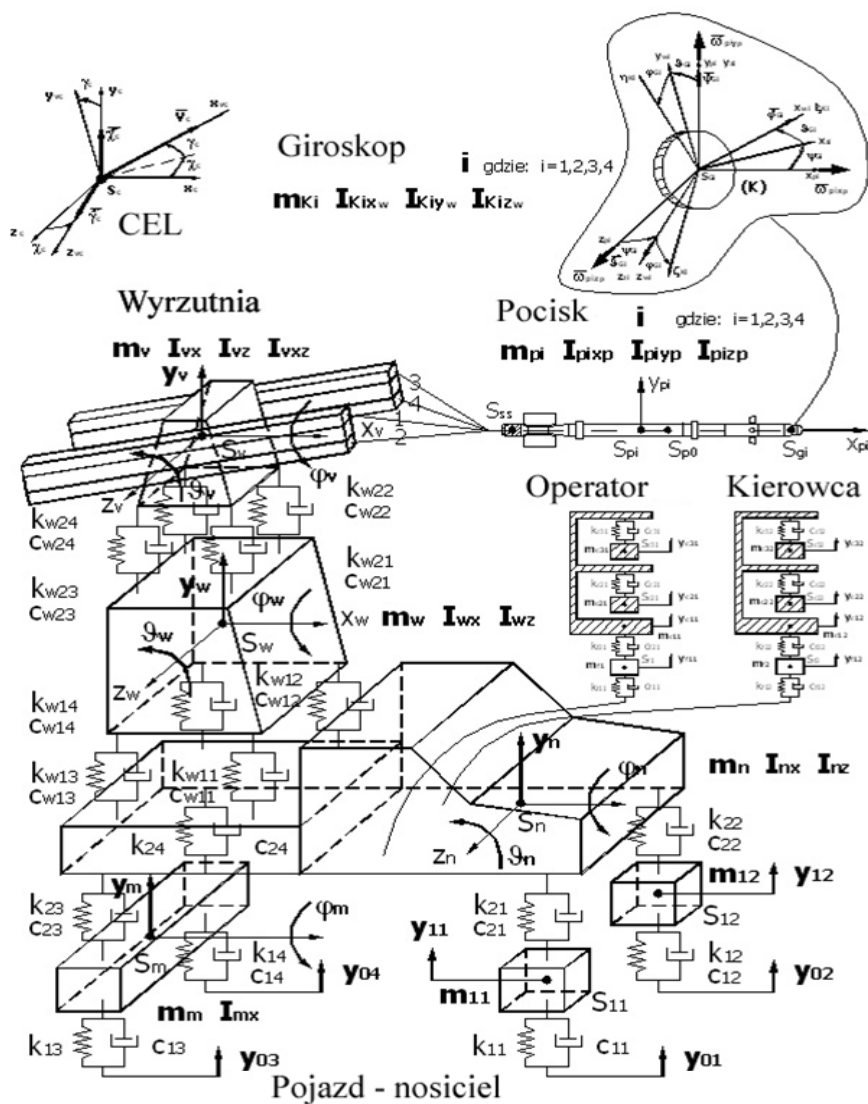
MODEL SAMOBIEŻNEGO PRZECIWLOTNICZEGO ZESTAWU RAKIETOWEGO

Opracowany model fizyczny SPZR składa się z następujących podstawowych obiektów:

- pojazdu nosiciela;
- operatora i kierowcy siedzących na fotelach;
- wyrzutni składającej się z cokołu, wieży (którą stanowi platforma wraz z układem czterech prowadnic), hybrydowego układu wibroizolacji wieży;
- czterech pocisków raketowych wraz z giroskopowymi układami śledzącymi;
- celu.

Na rysunku 1. przedstawiony został model fizyczny składający się z dziesięciu punktów materialnych, czterech brył sztywnych, czterech obiektów zmiennych w czasie, jednego punktu matematycznego, szesnastu elementów nieinercyjnych, czterech układów sterowania realizujących proces śledzenia celu oraz pasywnego układu

wibroizolacji wieży wyrzutni. Uwzględniając wyłącznie drgania wynikające z działania zestawu przeciwlotniczego, liczba stopni swobody opracowanego modelu w ogólnym przypadku wynosi czterdzieści jeden.



Rys. 1. Model fizyczny samobieżnego przeciwlotniczego zestawu raketowego

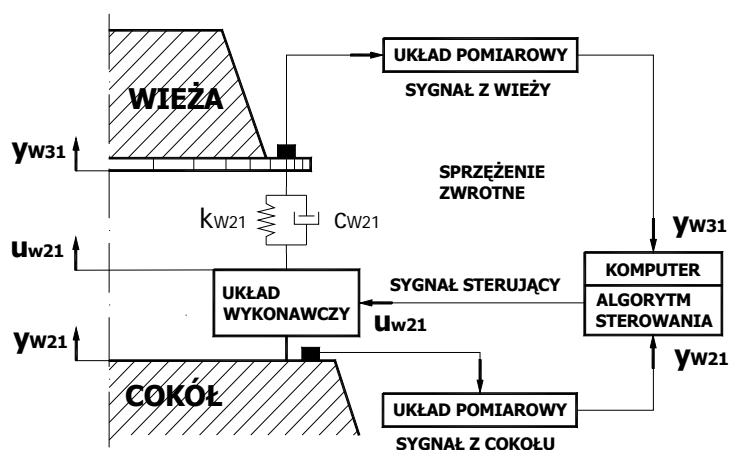
Na podstawie przyjętego modelu fizycznego opracowany został model matematyczny SPZR [3]. Model ten określony jest równaniami różniczkowymi o pochodnych zwyczajnych. Zależności analityczne, które opisują model zestawu w ogólnym

przypadku, składają się z równań ruchu układu opartych na czterdziestu jeden niezależnych współrzędnych uogólnionych, członów sterujących, zależności kinematycznych, równań ruchu celu, parametrów opisanych funkcjami oraz dwudziestu jeden równań równowagi statycznej. Generalnie jest to model nieliniowy, zdeterminowany, zmienny w czasie, dyssypatywny i nieswobodny. Ruch zestawu rozpatrywany jest w trójwymiarowej przestrzeni Euklidesa [2, 6].

HYBRYDOWA WIBROIZOLACJA STEROWANA

W celu poprawienia warunków startu pocisków rakietowych wprowadzony został układ stabilizujący wieżę wyrzutni. Brano pod uwagę stabilizację wieży przy wymuszeniach pochodzących w głównej mierze z ruchu kół pojazdu-nosiela po nierównościach nawierzchni drogi oraz zaburzeń wynikających z procesu wystrzelania samych pocisków rakietowych. Do redukcji drgań zastosowano cztery urządzenia sterujące włączone szeregowo w zawieszenie platformy wieży wyrzutni. Wszystkie cztery układy sterowania działają niezależnie od siebie. Każdy z nich stabilizuje tylko jeden punkt zamocowania zawieszenia platformy [2, 4, 7].

Proces regulacji automatycznej zaprezentowany w pracy odbywa się w typowym układzie zamkniętym. Struktura opracowanego i przyjętego do rozważań układu sterowania przedstawiona jest na rysunku 2. na przykładzie urządzenia Uw21



Rys. 2. Układ hybrydowej wibroizolacji sterowanej

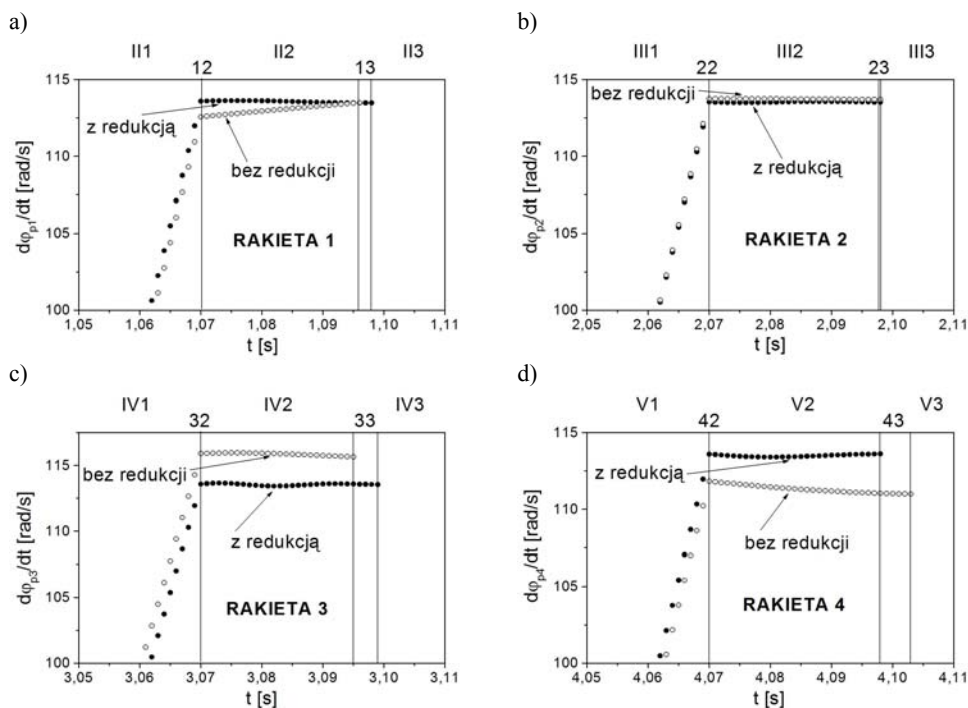
Pętlę sterowania tworzy zawieszenie pasywne w postaci modelu Voigta-Kelvina wraz ze sterowanym układem wykonawczym, gdzie został użyty model siłownika elektrohydraulicznego, dwóch czujników przyspieszeń zamontowanych na platformie

wieży i na cokole oraz komputera sterującego. Układ pomiarowy korzystając z podwójnego integratora, przekazuje sygnał realizowany z wieży i sygnał wymuszający z cokołu do komputera, który na ich podstawie wyznacza właściwy sygnał sterujący. Formułowanie sygnału przez komputer sterujący przebiega zgodnie z przyjętym algorytmem sterowania. Cztery analogiczne układy sterownia zapewniają zarówno liniową, jak i kątową stabilizację wieży wyrzutni [1, 5, 7].

SYMULACJA NUMERYCZNA

Przedstawione zostaną przykładowe wyniki przeprowadzonej symulacji komputerowej dla przypadku pasywnego i aktywnego zawieszenia wieży wyrzutni. W punktach 12, 22, 32 i 42 kończy pracę silnik startowy rakiet numer 1, 2, 3 i 4, a w punktach 13, 23, 33 i 43 rakiety numer 1, 2, 3 i 4 opuszczają prowadnicę wyrzutni.

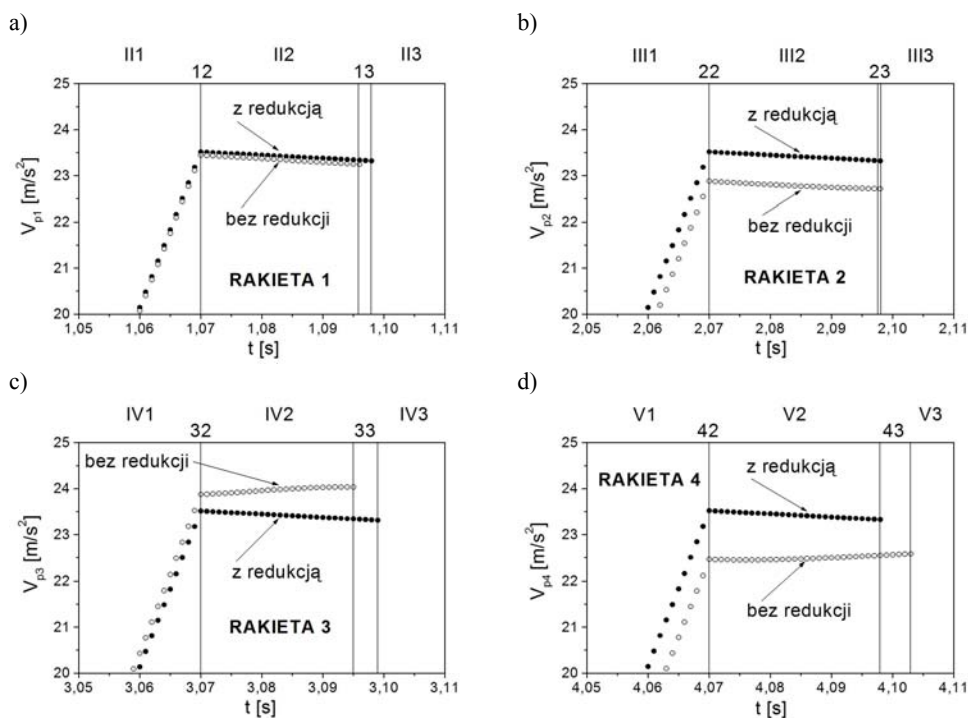
Przebieg zmienności prędkości kątowej przechylania rakiet numer 1, 2, 3 i 4 w przypadku stabilizacji wieży jest w odpowiadających sobie fazach II1, II2; III1, III2; IV1, IV2; V1, V2 zbliżony do siebie (rys. 3.).



Rys. 3. Porównanie prędkości kątowej przechylania: a) rakiety 1; b) rakiety 2; c) rakiety 3; d) rakiety 4, w przypadku aktywnego i pasywnego zawieszenia wieży wyrzutni

Rakiety opuszczają wyrzutnię z podobną prędkością kątową przechylenia. Brak redukcji drgań wieży sprzyja nieprzewidywalnej zmianie tej prędkości kątowej [5, 6].

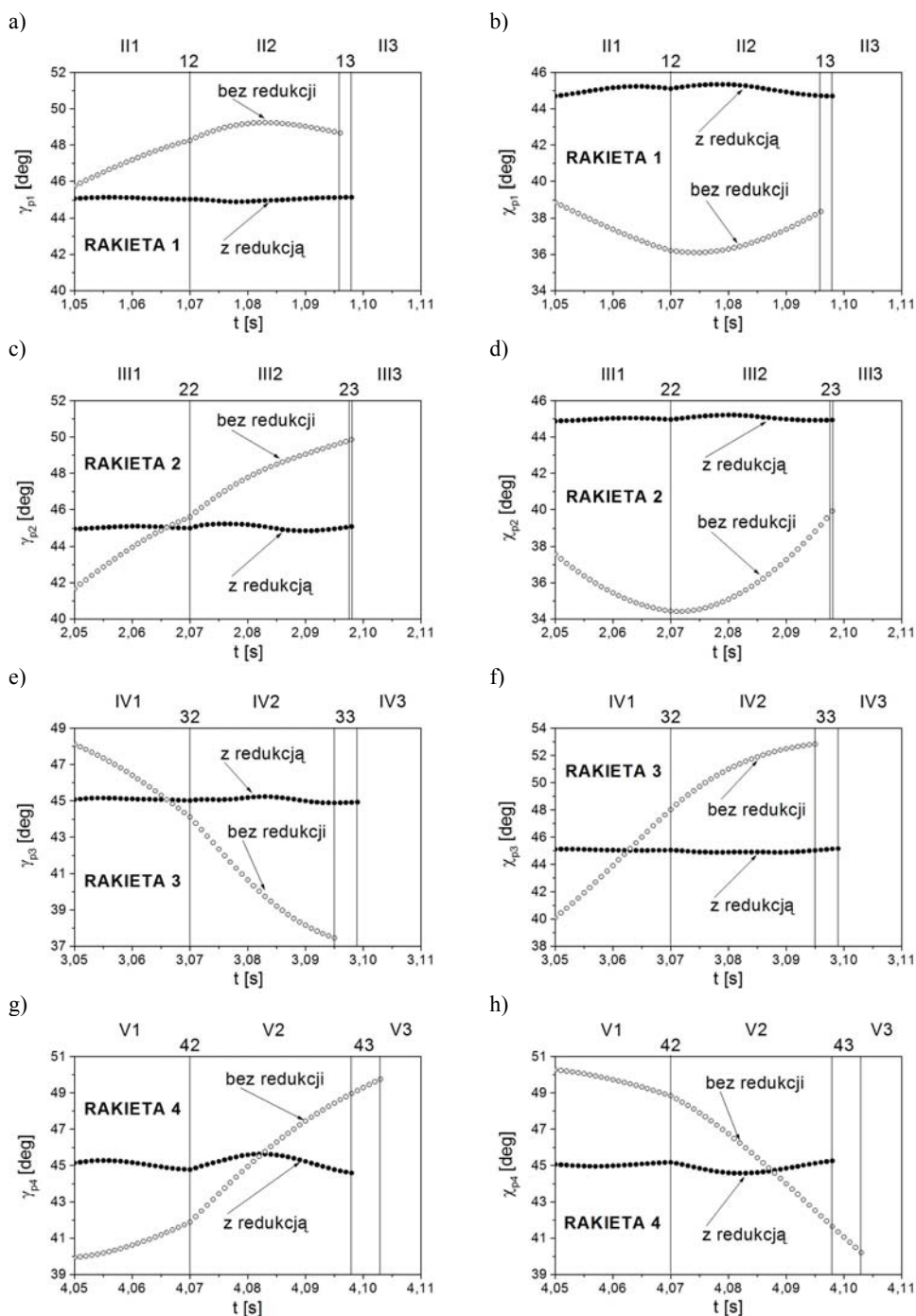
Przebieg zmienności prędkości liniowej rakiet numer 1, 2, 3 i 4 w przypadku aktywnego zawieszenia wieży jest w odpowiadających sobie fazach II1, II2; III1, III2; IV1, IV2; V1, V2 zbliżony do siebie (rys. 4.).



Rys. 4. Porównanie prędkości liniowej: a) rakiety 1, b) rakiety 2, c) rakiety 3, d) rakiety 4, w przypadku aktywnego i pasywnego zawieszenia wieży wyrzutni

Rakiety opuszczają wyrzutnię z podobną prędkością liniową. Brak redukcji drgań wieży sprzyja nieprzewidywalnej zmianie tej prędkości liniowej. Interpretacja wyników jest analogiczna jak w przypadku prędkości kątowej przechylenia rakiet [5, 6].

Przebieg zmienności kątów kierunkowych wektora prędkości liniowej rakiet numer 1, 2, 3 i 4 w przypadku aktywnego zawieszenia wieży jest w odpowiadających sobie fazach II1, II2; III1, III2; IV1, IV2; V1, V2 zbliżony do siebie (rys. 5.).



Rys. 5. Porównanie kątów kierunkowych wektora prędkości liniowej: a), b) rakiety 1; c), d) rakiety 2; e), f) rakiety 3; g), h) rakiety 4, w przypadku aktywnego i pasywnego zawieszenia wieży wyrzutni

Rakiety opuszczają wyrzutnię z podobnymi kątami kierunkowymi wektora prędkości liniowej. Brak redukcji drgań wieży sprzyja nieprzewidywalnej zmianie tych kątów kierunkowych [6].

WNIOSKI

Z analizy przebiegu zmienności wielkości kinematycznych charakteryzujących ruch raket na wyrzutni wynika, że zawieszenie aktywne korzystnie kształtuje ich funkcje w czasie. Wektor prędkości liniowej dla każdej z czterech startujących raket jest podobnie określony w przestrzeni. Natomiast w przypadku zawieszenia pasywnego rozrzut orientacji przestrzennej tego wektora jest dużo większy. Również przebieg zmienności prędkości kątowej przechylania raket w przypadku stabilizacji wieży jest podobny dla każdej z nich. Z kolei brak redukcji drgań wieży sprzyja nieprzewidywalnej zmianie tej prędkości kątowej.

W przypadku stabilizacji wieży czas ruchu każdej z czterech raket wzdłuż prowadnicy wyrzutni jest do siebie bardzo zbliżony, a tym samym przewidywalny. Natomiast zastosowanie zawieszenia pasywnego sprawia, że czas startu każdej rakety jest nieprzewidywalny.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dziopa Z., *Dynamika układu prowadnic stanowiących element wyrzutni zainstalowanej na pojeździe samochodowym*, „Zeszyty Naukowe” AMW, 2007, nr 169K/1, s. 121–128.
- [2] Dziopa Z., Stańczyk T. L., *Redukcja drgań platformy stabilizującej w układzie: wyrzutnia raket — samochód*, IV Szkoła: *Metody aktywne redukcji drgań i hałasu*, Gutenberg, Kraków — Krynica 1999, s. 35–40.
- [3] Dziopa Z., *Vibration Reduction of a Close Range Missile Launcher*, „Mechanika”, 2003, z. 3, t. 22, AGH, s. 255–262.
- [4] Inman D. J., *Vibration with Control*, John Wiley & Sons, England, 2006, p. 376.
- [5] Kowal J., *Sterowanie drganiami*, Gutenberg, Kraków 1996, s. 180.
- [6] Osiecki J., Dziopa Z., Stępiński B., *Stabilizacja poziomego położenia platformy przy dużych zakłóceniach kątowych*, II Szkoła: *Metody aktywne redukcji drgań i hałasu*, Kraków — Zakopane 1995, s. 117–121.

- [7] *Podstawy teorii sterowania*, red. T. Kaczorek, Wydawnictwo NT, Warszawa 2006, s. 497.
- [8] Silva C. V., de, *Vibration Fundamental and Practice*, Taylor & Francis Group, London — New York 2007, p. 1036.

INFLUENCE OF THE HYBRID VIBRATION ISOLATION SYSTEM ON MOTION OF MISSILE ALONG GUIDES OF THE COASTAL DEFENSE MOBILE SYSTEM

ABSTRACT

The article presents a mathematical model of self-propelled anti-aircraft missile set which can be used for coastal defense. Disturbances generated by movement of the mobile set of self-propelled anti-aircraft missile have some influence on the behavior of missiles as they are fired at a maneuvering target. The initial rocket flight parameters may be decisive for hitting the flying object. The aim of the work is to use a hybrid vibration isolation system of the launcher tower to improve the initial conditions for missiles to take off from the guide. Active reduction system of disturbances makes it possible to control vibrations of the launch tower when the missile is launched, and the vehicle-carrier moves in cross-country terrain.

Keywords:

hybrid vibration isolation controlled, rocket launcher, a vehicle-carrier, dynamics.

Recenzent prof. dr hab. inż. Józef Gacek