



Adiustacja lokatora akustycznego w warunkach przeciwlotniczych strzelań poligonowych

Dariusz RODZIK*, Jan PIETRASIENSKI, Stanisław GRZYWIŃSKI,
Jan SZCZURKO, Jakub MIERNIK

*Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Katedra Mechatroniki*

ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska
** autor korespondencyjny, e-mail: dariusz.rodzik@wat.edu.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 10.04.2017 r.

Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 22.06.2017 r.

DOI 10.5604/01.3001.0010.4117

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób adiustacji lokatora akustycznego w warunkach strzelań poligonowych. Jako wzorzec odległości posłużył wysokiej rozdzielczości obraz z głowicy optycznej o znanych parametrach technicznych, zarejestrowany podczas statycznych strzelań amunicją kalibru 23 mm.

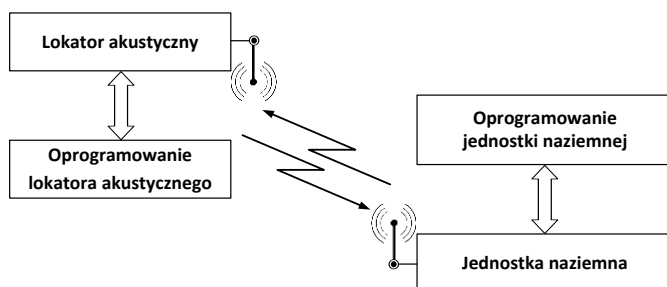
Słowa kluczowe: metrologia, lokator akustyczny, adiustacja lokatora akustycznego

1. WSTĘP

W 2016 r. w Katedrze Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej zakończono projekt rozwojowy realizowany na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa pt. *Opracowanie systemu oceny strzelań do celów*

powietrznych. Istotą projektu było opracowanie tzw. ruchomej „tarczy powietrznej” (systemu TP) zdolnej do określania współrzędnych przelatujących pocisków wokół ostrzeliwanego imitatora celu powietrznego (ICP) [1, 2].

Głównymi układami „tarczy powietrznej” są (rys. 1): lokator montowany do skrzydła ICP oraz jednostka naziemna (JN). Lokator, metodą akustyczną, wykrywa lecące w bliskim otoczeniu ICP pociski oraz mierzy parametry generowanej przez nie fali akustycznej, których wartość przekazuje poprzez radiolinie do komputera JN. Następnie przy użyciu opracowanego oprogramowania, na ekranie komputera JN zobrażowane zostaje, w postaci przestrzelin, położenie pocisków względem ICP. Ponadto oprogramowanie JN automatycznie zapisuje dane z każdego strzelania i umożliwia przygotowanie danych statystycznych do wystawienia oceny strzelającymemu.



Rys. 1. Schemat blokowy działania układów systemu TP w czasie oceny strzelania

Fig. 1. Operation block diagram of the anti-aircraft gun fire assessment system

W warunkach szkolenia bojowego przeciwlotniczych pododdziałów artyleryjskich, zadaniem opracowanego systemu TP jest ocena strzelań poligonowych do ICP z wykorzystaniem amunicji artyleryjskiej kalibru 14,5-57 mm przy intensywności ostrzału do 600 pocisków/min. System TP wykrywa i lokalizuje położenia pocisków względem ICP, w strefie o promieniu $15 \pm 1,5$ [m], na odległości do 5 km.

Poprawność działania prototypu systemu TP sprawdzona została w warunkach operacyjnych podczas strzelań bojowych na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych w Ustce. Powyższe badania zostały poprzedzone serią strzałów kontrolnych, które posłużyły do adiustacji lokatora systemu TP za pomocą optycznej głowicy obserwacyjnej [3].

Celem artykułu jest zaprezentowanie procedury adiustacji lokatora akustycznego w warunkach strzelań poligonowych.

2. ISTOTA ADIUSTACJI LOKATORA AKUSTYCZNEGO

Głównym zadaniem systemu TP, wyposażonego w lokator akustyczny, jest określanie odległości przelotu pocisku względem ICP.

Przyjęto zatem, że wielkością mierzoną przez system TP jest odległość R_{pom} prostopadła do trajektorii lotu pocisku pomiędzy lokatorem zamontowanym na ICP a punktem źródłowym fali akustycznej od pocisku. Jako wielkość odniesienia (wzorcową) przyjęto odległość R_o , którą można wyznaczyć na podstawie analizy obrazu głowicy obserwacyjnej o znanych parametrach.

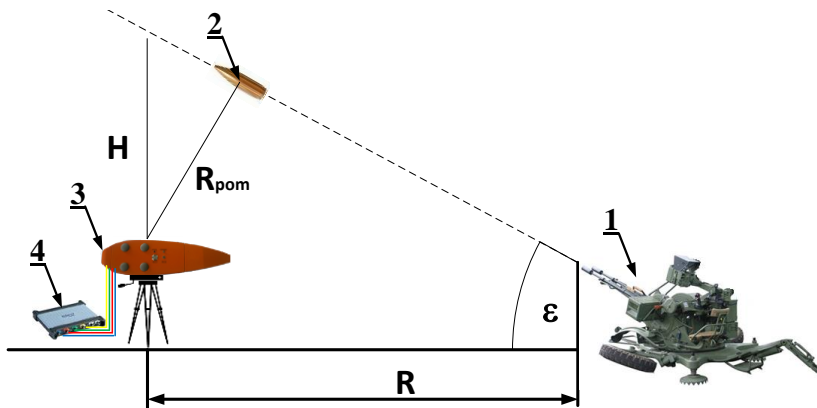
Dla powyższych założeń proces adiustacji zdefiniowany jest jako zbiór procedur, których celem jest doprowadzenie systemu TP do stanu działania odpowiadającego jego przeznaczeniu, gdzie:

$$|R_o - R_{pom}| \rightarrow 0 \quad (1)$$

Do przeprowadzenia procedury adiustacji systemu TP w warunkach strzelań poligonowych użyty został zbudowany tzw. zestaw obserwacji strzelań (ZOS), którego głównym elementem pomiarowym jest głowica optyczna [3]. W szczególności ZOS jest przeznaczony do:

- rejestracji obrazów ICP;
- wyznaczenia trajektorii ICP;
- rejestracji obrazów smugowych pocisków artyleryjskich;
- określania uchybów ostrzeliwania ICP.

Za stan prawidłowego działania przyjęto, że system TP powinien wykrywać i określać odległość przelotu pocisków w czasie serii strzałów kontrolnych, oddanych amunicją kalibru 23 mm, z ustalonej odległości R od lokatora akustycznego (LA) umieszczonego na nieruchomym statywie (rys. 2).



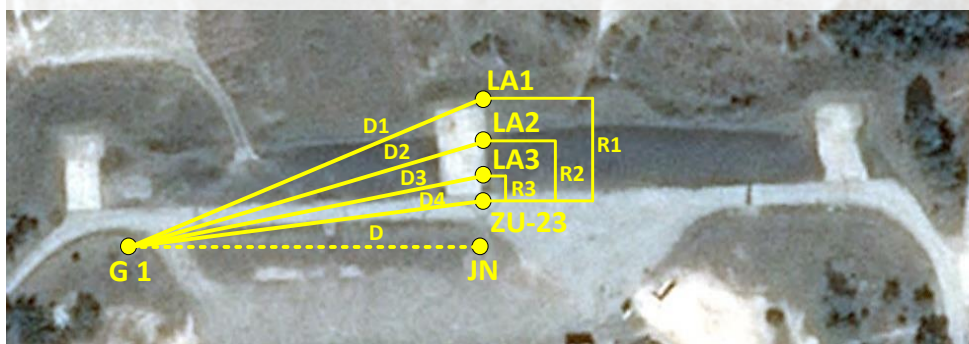
Rys. 2. Szkic sytuacyjny stanowiska badawczego:
1 – armata ZU-23; 2 – pocisk; 3 – lokator akustyczny; 4 – rejestrator sygnałów

Fig. 2. Scheme of a stand for the firing tests:
1 – ZU-23 gun; 2 – projectile; 3 – acoustic locator; 4 – signal recorder

3. WARUNKI I PRZEBIEG PROCESU ADIUSTACJI

Na rys. 3 przedstawiono schemat rozstawienia armaty ZU-23, głowicy obserwacyjnej G1 zestawu ZOS, a także elementów systemu TP (JN i trzy położenia LA) wraz z pomierzonymi wartościami odległości aparatury badawczej.

Oznaczenie	D	D4	D3	D2	D1	R3	R2	R1
Odległość [m]	75	78	79	80	85	6	12	21,5



Rys. 3. Schemat rozstawienia aparatury systemu TP i zestawu ZOS

Fig. 3. Diagram of tests apparatus deployment:

LA – acoustic locator, JN – ground unit, Zu-23 gun, G1 – optical head

W tabeli 1 zestawiono pomierzone współrzędne GPS rozlokowania armaty ZU-23, lokatora akustycznego LA oraz głowicy G1 zestawu ZOS.

Tabela 1. Współrzędne GPS rozlokowania aparatury badawczej

Table 1. GPS position coordinates of tests apparatus

Obiekt	Szerokość geograficzna (Latitude)	Długość geograficzna (Longitude)
G 1	54° 33' 54.3310"	16° 39' 58.8482"
LA 1	54° 33' 55.6633"	16° 40' 3.1405"
LA 2	54° 33' 55.2155"	16° 40' 3.2706"
LA 3	54° 33' 55.0364"	16° 40' 3.2900"
ZU-23	54° 33' 54.9355"	16° 40' 3.3433"

Głowicę obserwacyjną G1 ustawiono na stanowisku ogniowym w punkcie o współrzędnych GPS (Lat, Lon) podanych w tabeli 1. Takie usytuowanie pozwoliło zapewnić odległości $D = 75$ m od JN oraz $D1 = 85$ m od położenia lokatora LA1.

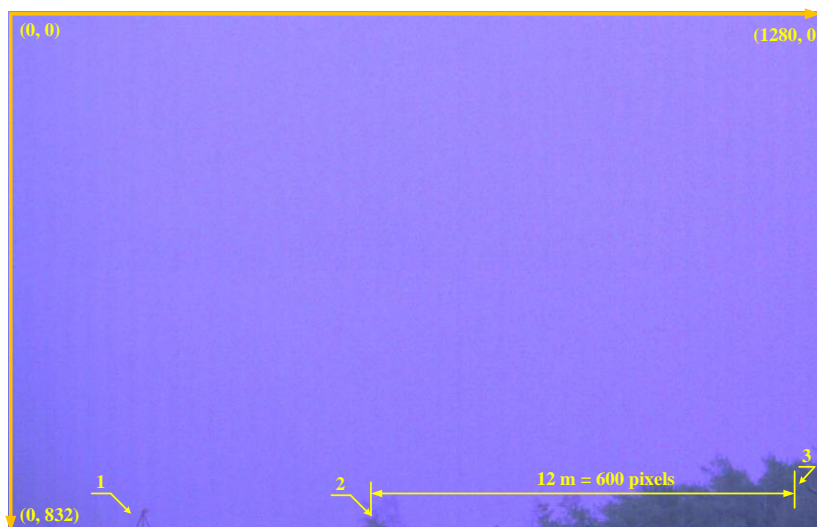
Głowicę G1 skierowano w kierunku na punkt referencyjny tak, aby widok lokatora LA znajdował się w dolnej części rejestrowanego obrazu, a lufa armaty ZU-23 była w prawym dolnym jego rogu. Ustawiono ogniskową obiektywu głowicy G1 na wartość równą $f = 80$ mm, a prędkość rejestracji obrazu na wartość 200 FPS. Następnie na podstawie rejestrowanego obrazu określono odległość punktu referencyjnego względem końca lufy armaty ZU-23. Pozwoliło to na wyskalowanie współrzędnych obrazu o rozdzielczości 1280×832 w jednostkach odległości (tab. 2).

Tabela 2. Przelicznik piksel-odległość dla ogniskowej obiektywu 80 mm

Table 2. Pixel-distance conversion for 80 mm focal length

Piksel	600	300	150	75	50	25	10	5	1
Odległość [m]	12	6	3	1,5	1	0,5	0,2	0,1	0,02

Na rysunku 4 przedstawiono schemat rozlokowania elementów badania na obrazie z głowicy G1.



Rys. 4. Obraz z głowicy G1 o rozdzielczości 1280×832 :

1 – lokator akustyczny LA; 2 – punkt referencyjny; 3 – wylot lufy armaty ZU-23

Fig. 4. Image from the optical head with 1280×832 resolution:

1 – acoustic locator; 2 – reference point; 3 – end of ZU-23 gun barrel

Na stanowisku ogniowym rozstawiono i przygotowano do pracy JN oraz ustawiono także zamocowany na statywie lokator LA z rejestratorem sygnałów w zmiennej odległości R_i od lufy armaty ZU 23 zgodnie z rys. 3.

Lufy armaty ZU 23 wycelowano w kierunku lokatora LA, a następnie zablokowano jej napędy w płaszczyźnie poziomej, po czym podniesiono lufy armaty o kąt $\varepsilon = 32^\circ$ i zablokowano napędy w płaszczyźnie pionowej.

Przed każdym oddaniem strzału badawczego inicjowano rozpoczęcie zapisu głowicy G1 zestawu ZOS poprzez naciśnięcie przycisku TRIGGER, a po oddaniu strzału i ponownym wciśnięciu przycisku TRIGGER zatrzymywano rejestrowanie obrazów.

Oddano po 3 strzały dla ustawienia lokatora LA na trzech różnych odległościach względem wylotu luf armaty ZU23. Po wykonaniu każdego strzału zapisywano w bazie danych oprogramowania JN dane telemetryczne, które drogą radiową transmitował do JN lokator LA.

4. WYNIKI BADAŃ

Poszczególne strzały badawcze rejestrowano w następujących kanałach pomiarowych:

1. optycznie za pomocą głowicy G1 zestawu ZOS;
2. akustycznie poprzez LA;
3. elektrycznie za pomocą rejestratora sygnałów.

Z uwagi na trudne warunki oświetleniowe panujące na poligonie nie udało się zarejestrować obrazów pocisków w czasie 3 strzałów. Również nieudane były dwie rejestracje w kanale pomiarowym rejestratora sygnałów. W tabeli 3 zestawiono przypadki udanych i nieudanych rejestracji wyników strzelań w poszczególnych kanałach pomiarowych.

Tabela 3. Rozkład skutecznych pomiarów w poszczególnych kanałach pomiarowych

Table 3. Distribution of measurements in used measurement channels

Nr strzału	R_i [m]	Rodzaj pomiaru		
		głowicą G1	lokatorem LA	rejestratorem sygnałów
1	21,5	BRAK	JEST	JEST
2	21,5	JEST	JEST	JEST
3	21,5	BRAK	JEST	JEST
4	12	JEST	JEST	JEST
5	12	JEST	JEST	BRAK
6	12	JEST	JEST	BRAK
7	6	JEST	JEST	JEST
8	6	JEST	JEST	JEST
9	6	BRAK	JEST	JEST

4.1. Rejestracje głowicą G1 zestawu ZOS

Analizując pojedyncze kadry filmów na zarejestrowanych obrazach, wyznaczono współrzędne końca lufy armaty ZU-23 oraz lokatora LA. Zarejestrowane przez głowicę G1 zestawu ZOS filmy poddano analizie i filtracji. Zastosowanie zaawansowanych algorytmów przetwarzania obrazu z przelatującymi pociskami umożliwiło wyznaczenie ich trajektorii oraz estymację położenia pocisków względem lokatora LA. Do analizy wybierano kadry filmów, na których znajdowały się obrazy pocisków i momenty wystrzałów. Obliczane współrzędne pocisków z przetworzonych klatek filmów zostały wykorzystane do wyznaczenia trajektorii pocisków i odległości R_0 dla każdego z zarejestrowanych strzałów. Każda trajektoria pocisku opisana została przynajmniej przez 5 punktów pomiarowych.

Wyniki z analizy zarejestrowanych głowicą G1 obrazów zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Współrzędne ekranowe z analizy zarejestrowanych głowicą G1 obrazów

Table 4. Screen coordinates from image recorded analysis

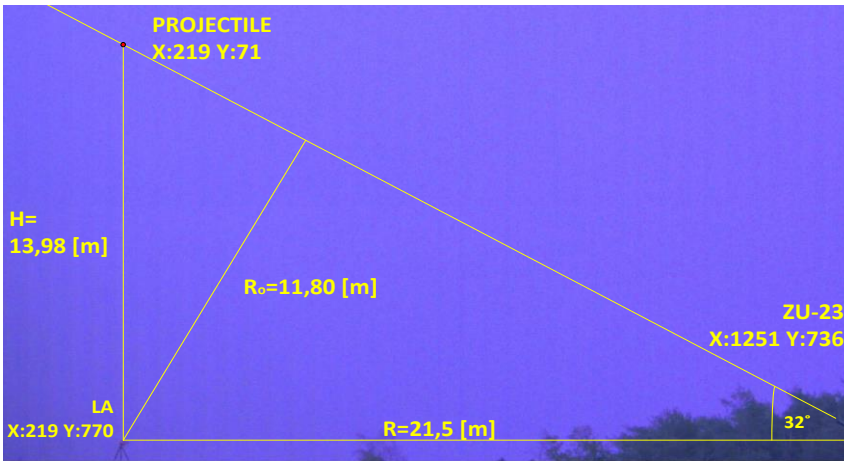
Obiekt	Strzał 2		Strzał 4		Strzał 5		Strzał 6		Strzał 7		Strzał 8		
	współrzędne [liczba pikseli]												
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
LA	219	770	664	782	664	782	664	782	966	781	966	781	
ZU-23	1251	736	1251	736	1251	736	1251	736	1250	736	1251	737	
Punkty położenia pocisku na jego trajektorii	1)	1055	612	1127	659	1109	646	994	573	1097	635	983	561
	2)	852	482	922	528	906	517	793	447	900	509	786	435
	3)	655	358	720	402	712	394	598	323	711	387	600	316
	4)	466	238	527	279	524	277	414	205	529	271	423	203
	5)	289	126	346	164	345	162	239	94	357	162	252	93
	6)	120	20	171	56	173	55	-	-	194	57	-	-
H	219	71	664	363	664	363	664	362	966	559	966	550	

Graficzne odwzorowanie wyników określania współrzędnych pocisków przedstawiono na rys. 5-7. Na podstawie współrzędnych ekranowych położenia wylotu lufy armaty ZU23 oraz lokatora LA wyznaczono wartości odległości R_0 przelotu pocisków względem lokatora LA.

Wyznaczone za pomocą głowicy G1 wartości odległości R_0 przedstawiono w tabeli 5.

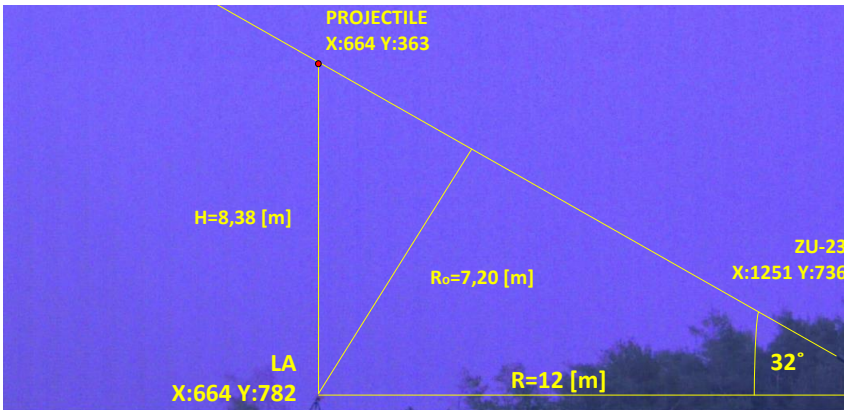
4.2. Rejestracje lokatora LA

Podczas strzałów system TP w czasie rzeczywistym wyznaczył wszystkie odległości R_{pom} . Zarejestrowane dane zestawiono w tabeli 5.



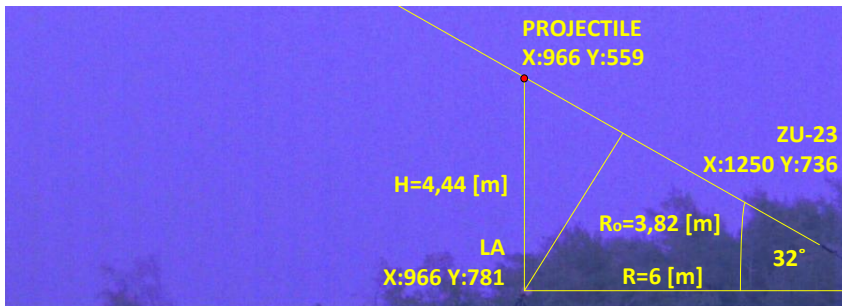
Rys. 5. Parametry przelotu pocisków dla strzału 2

Fig. 5. Projectile miss distance parameters of shot No. 2



Rys. 6. Parametry przelotu pocisków dla strzałów 4-6

Fig. 6. Projectile miss distance parameters of shots No. 4-6



Rys. 7. Parametry przelotu pocisku dla strzałów 7-8

Fig. 7. Projectile miss distance parameters of shots No. 7-8

Tabela 5. Wyniki adjustacji lokatora LA w warunkach strzałów poligonowych

Table 5. Results of adjustment of acoustic locator during anti-aircraft gun fire

Nr strzału	Kąt ε	R_i [m]	R_o [m]	R_{pom} [m]	$ R_o - R_{pom} $ [m]
1	32°	21,5	-	11,48	-
2	32°	21,5	11,80	11,70	0,1
3	32°	21,5	-	11,56	-
4	32°	12	7,22	7,14	0,08
5	32°	12	7,22	7,30	0,08
6	32°	12	7,20	7,26	0,06
7	32°	6	3,82	3,78	0,06
8	32°	6	3,96	4,0	0,04
9	32°	6	-	3,86	-

$\sigma_{|R_o - R_{pom}|} = 0,021$

4.3. Rejestracje za pomocą rejestratora sygnałów

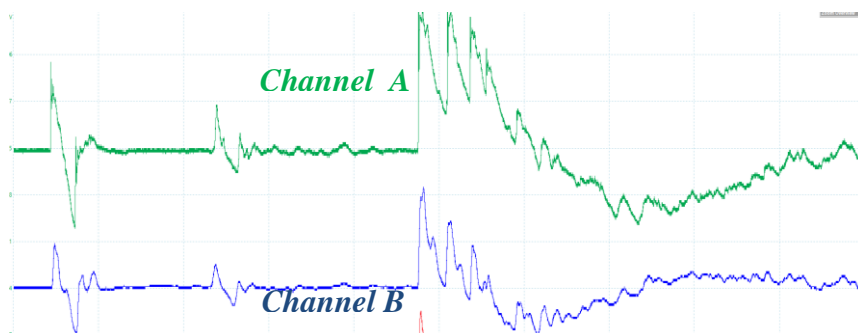
Do kontroli parametrów pracy lokatora LA wykorzystano wielokanałowy rejestrator sygnałów elektrycznych [4]. Do wejść podłączono odpowiednio:

- wejście 1 (channel A) – mikrofon wzorcowy firmy B&K;
- wejście 2 (channel B) – czujnik akustyczny lokatora LA;

Rejestrator skonfigurowano, ustawiając następujące parametry:

- zakres dynamiczny: kanały A i B $\pm 10V$;
- częstotliwość próbkowania: 100 MS/s;
- czas pojedynczej rejestracji: 100 ms.

Przykładowy wynik rejestracji przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Przykładowe zobrazowanie z rejestratora sygnałów

Fig. 8. Example of measurement screen from signal recorder

5. PODSUMOWANIE

Podczas wykonanych badań przeprowadzono kontrolę funkcjonowania aparatury systemu TP. W szczególności sprawdzony został lokator akustyczny systemu TP. Podczas strzelań kontrolnych system funkcjonował prawidłowo. Sprawdzono protokół komunikacyjny lokatora LA. Przeprowadzona procedura adiustacji potwierdziła stan systemu TP odpowiadający jego przeznaczeniu. Na podstawie zebranych wyników badań stwierdzono, że:

- lokator LA wykrył wszystkie wystrzelone pociski, a system TP określił ich pozycję z wymaganą dokładnością;
- wyznaczona wartość błędu w odległości $\sigma_{|R_o - R_{pom}|} = 0,021$ [m] jest porównywalna z dokładnością przyjętego do badań wzorca;
- na podstawie porównania przebiegów sygnałów zarejestrowanych za pomocą rejestratora nie stwierdzono różnic pomiędzy kanałami A i B.

LITERATURA

- [1] Rodzik Dariusz i inni. 2016. *Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu rozwojowego nr O ROB 0068 03 01 pt. „Opracowanie systemu oceny strzelań do celów powietrznych”* (na prawach rękopisu). Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- [2] Rodzik Dariusz, Jan Pietrasieński, Stanisław Grzywiński, Jakub Miernik. 2016. „Komputerowe wspomaganie procesu oceny strzelań do celów powietrznych”. *Mechanik* 89(7) : 810-811.
- [3] Pietrasieński Jan, Dariusz Rodzik, Stanisław Grzywiński, Jakub Miernik. 2017. „Proving Ground Testing of an Anti-Aircraft Artillery Assessment System”. *Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa – Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering* 8(3) : 95-108.
- [4] Żygadło Stanisław, Stanisław Grzywiński. 2016. „Projekt zdalnego, wielokanałowego rejestratora sygnałów”. *Mechanik* 89(7) : 700-701.

Adjustment of Acoustic Locator During Anti-Aircraft Gun Fire

Dariusz RODZIK*, Jan PIETRASIENSKI, Stanisław GRZYWIŃSKI,
Jan SZCZURKO, Jakub MIERNIK

*Military University of Technology, Faculty of Mechatronics and Aerospace,
Department of Mechatronics
2 gen. S. Kaliskiego Street, 00-908 Warsaw, Poland*

Abstract. The paper presents the method of adjusting the acoustic locator in the conditions of the anti-aircraft gun fire. As a distance pattern, it used a high resolution image of an optical head of known technical specifications recorded during static 23 mm ammunition shooting.

Keywords: metrology, acoustic locator, adjustment of acoustic locator

