

Bogusław CZECHOWICZ, Teresa BUCZKOWSKA-MURAWSKA
Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)

RESEARCH METHODOLOGY OF THE SLEEVE-TARGET SYSTEM WITH MISS DISTANCE INDICATOR OF THE UNMANNED AERIAL TARGET IMITATOR

Metodyka badań czujnika trafień rękawa strzeleckiego bezzalogowego imitatora celu powietrznego

Abstract: *The article presents the method of using a modified acoustic miss distance indicator applied together with the set of controlled aerial target imitators (ZSMCP) Jaskółka “Swallow” operated in the Polish Armed Forces. The described method enables the implementation of controlling and testing the new CZT imitators and inspect the technical condition of these, which are still operated.*

Keywords: miss distance indicator, sleeve-target system, aerial target imitator, anti-aircraft fire

Streszczenie: *W artykule omówiono metodę wykorzystaną podczas realizacji badań typu zmodyfikowanego układu akustycznego czujnika trafień (CZT) eksploatowanego z zestawem sterowanych manewrujących celów powietrznych (ZSMCP) Jaskółka wdrożonego do eksploatacji w Siłach Zbrojnych RP. Przedstawiona metoda umożliwi wdrożenie procedury kontroli i badań nowych egzemplarzy CZT oraz stanu technicznego tych, które pozostają w eksploatacji.*

Słowa kluczowe: czujnik trafień, rękaw strzelecki, imitator celu powietrznego, strzelania przeciwlotnicze, badania typu

1. Introduction

The acoustic miss distance indicator (CZT) was developed and manufactured at the Air Force Institute of Technology (ITWL) in Warsaw in the years 2001-2005 under the target project No. 5135 “Developing a unit of controlled aerial target imitators for the training of air defence forces” for the needs of the Headquarters Land Command. Due to the conducted works, the set of controlled aerial target imitators (ZSMCP) Jaskółka “Swallow” was implemented in the Polish Armed Forces, and it uses two types of aerial target imitators:

- controlled single-use aerial target imitator SMCP-JU Komar “Mosquito” intended for gunnery training from the portable rocket launchers;
- controlled multiple-use aerial target imitator SMCP-WU Szerszeń “Hornet” intended for gunnery training from anti-aircraft warfare.

Currently, five ZSMCP – are being operated in the Polish Armed Forces. Three of them are in air defence units, and one is located in the Air Force Training Centre Ustka (CPSP) and the Polish Air Force Academy. CZT indicator is optionally used with the sleeve-target system Szerszeń “Hornet”. The implementation of the subsequent supplies of ZSMCP elements coincided with the necessity to modify the equipment of the CZT indicator, and thus, perform tests of its latest version that confirmed meeting the technical and operational conditions.

2. Destination, description and functioning of the CZT indicator

CZT is aimed to objectively assess the shootings performed by anti-aircraft artillery to the sleeve-target system by the aerial target imitator. It is done based on analysing the amplitudes of shock waves generated by passing missiles, recorded using four acoustic sensors (microphones) [1].

CZT consists of the following components:

- measuring unit,
- data transmission receiver (CZT ground part) with the display unit,
- a program for reading and presenting shooting data.

CZT measuring unit (figs. 1–3) includes:

- detection and acoustic signal analysis module (acoustic warhead),
- analysis, recording and data transmission module.



Fig. 1. CZT measuring unit connected with the sleeve-target system



Fig. 2. Acoustic warhead of the CZT measuring unit with the analysis, recording and data transmission module



Fig. 3. CZT measuring unit - view from the side of the sleeve-target system

Four microphones are placed in the warhead housing, around the circumference of the cylinder with a diameter of 62 mm, arranged every 90°, inclined by 15° from its axis and directed towards the attached sleeve target. An acoustic signal from each sensor (microphone) is a separate measurement path consisting of the analogue and digital part.

The analogue part performs the detection (further target zone) of low and high input signal threshold. Sensitivity thresholds are detected by comparators, to which reference voltages are set by hardware, and it is equal for all four measurement paths. Digital signals at comparator outlets initiate the digital analysis of the recorded missile flight in the microcontroller. To accept a hit, it is indispensable that a signal for a given threshold occurs at least in three paths with a time interval of no more than 600 microseconds.

Following the parameter analysis of the received signals from the analogue path and meeting the requirement, the digital part:

- measures a minimum time interval between missile flights,
- records in the non-volatile memory the hit result and time [h:min:s] of recording that passed since the synchronization performed during the preparation of CZT for operation,
- sends data on hits by radio after the programmed time has elapsed since the last recorded missile flight (usually 30 s).

Hit results recorded in sensor memory can be read using a computer program preceded by connecting the sensor to the RS 232 computer serial port.

Data transmission receiver (fig. 4) is used to display the hit results and activate the measuring unit after expanding the sleeve target's tow rope. The display of the receiver illustrates the following data:

- the number of the recorded missile flights (hits) in the zone from 0 m up to 15 m (S15);
- the number of the recorded missile flights (hits) in the zone from 0 m up to 10 m (S10);

- time of recording the first hit and the last hit during the given flight of the aerial target imitator.



Fig. 4. CZT data transmission receiver

The CZT measuring unit is activated by holding for 5 seconds the switch on the housing located next to the power switch on the left. Holding of the switch is indicated by the LED placed above. During this time, the LED flashes with high frequency. When the receiver gets the activation confirmation of the measuring unit, the diode is blinking in solid blue. From the moment of arming, radio communication with the measuring unit is signalled on the receiver's panel using a red LED situated in the upper left corner of the receiver's housing. LED flashes once a second when there are no transmission disturbances. When the sensor is under fire (recording the passing missiles), the LED is not flashing. Signalling of communications is restored after 2 s after the last recorded hit. After the programmed time of the last hit, data from the sensor are transferred and displayed on the receiver's screen. If the measuring unit registers the subsequent shootings before this time expires, then the time after which the data will be sent will be calculated from the beginning (since the last recorded hit). Parameters on display are automatically refreshed after successive hit registrations, or they can be cleared by switching the power supply off and back on.

CT technical data:

- missile calibre 23 mm
- power supply 4.8 V
- current consumption 100 mA
- recording zones $0 \div 10^{+2}$ m and $0 \div 15^{+2}$ m
- minimum time interval between successive missiles 10 ms
- (permissible rate of fire 6000 shots/min)
- maximum number of registered missiles 8000
- parameters of wireless data transmission: 9600 bauds, 8 bits of data, lack of even parity bit, 1-bit of alloy
- parameters of wire serial transmission: 115200 bauds, 8-bit of data, lack of even parity bit, 1-bit of alloy

- total mass of the measuring unit 400 g
- total mass of the data transmission receiver 400 g

3. Research performance and results

In 2014, under the implementation of the contract for supplying ZSMCP elements, CZT devices were modified as follows:

- change of system modems with the operating frequency of 2.4 GHz to those with the operating frequency of 868 MHz;
- change of the measuring unit microcontroller from 8-bit to 24-bit
- change of the system electronic subassemblies.

The change of modems was caused by the need to change the operation frequency of CZT to avoid potential disturbances of control system receivers and flight control of aerial target imitators (manufactured since 2013) operating in the band with the frequency of 2.4÷2.483 GHz. Due to the lack of an 8-bit controller on the market, the microcontroller in the CZT measuring unit was changed. The system electronic subassemblies were altered due to the need to integrate CZT with the new modems and controller.

Following the modification, tests [2] were performed, which aimed to:

- 1) verify the operation of the modified CZT systems,
- 2) sensitivity calibration of the measuring unit microphones during ground shootings with the 23 mm calibre ammunition,
- 3) initial calibration of microphone sensitivity of the measuring unit during ground shootings with the 23 mm sub-caliber ammunition,
- 4) scaling a distance of detecting a missile flight for the bottom, top and forward measuring unit zone,
- 5) determining the amplitude-time characteristics of measuring unit microphones for different missile flight ranges,
- 6) determining technical conditions values of test shooting ranges from the blank pistol, which are equal to shootings from 23 mm calibre ammunition and checking the compatibility of transmitted and recorded shooting data.

Tests were done at the turn of February and March 2015 at the Air Force of Technology (ITWL) in Warsaw (in the scope related to points 1 to 6 of the research aim) and at the Air Force Training Centre Ustka (CPSP) (in the scope pertaining to points 2 to 5 of the research aim).

Tests at the Air Force Training Centre Ustka (CPSP) were performed at the firing range by successive shootings aimed at the targets of previously prepared target range using the oscilloscope and Wi-Fi transmission station connected with the tested CZT (figs. 5 and 6). It enabled to change microphone sensitivity in measurement paths caused by distance and assess their reactions for the required missile flight ranges. Shootings were done from the firing post no. 23 (SO-23) distant by approx. 370 m from the target range. The shooting accuracy was assessed based on the visual inspection of the flight of each first missile

launched from the series (figs. 7 and 8). The shootings were filmed with a camera situated on a tripod. Three ammunition types were used for the shootings: 23 mm calibre BZT ammunition, 23 mm APDS-T Armor Piercing Discarding Sabot and 23 mm FAPDS-T Frangible Armour Piercing Discarding Sabot with Tracer. During tests, the location of the tested CZT (CZT-p/BAD) was changed by fixing it at the back, side and front of the target range.

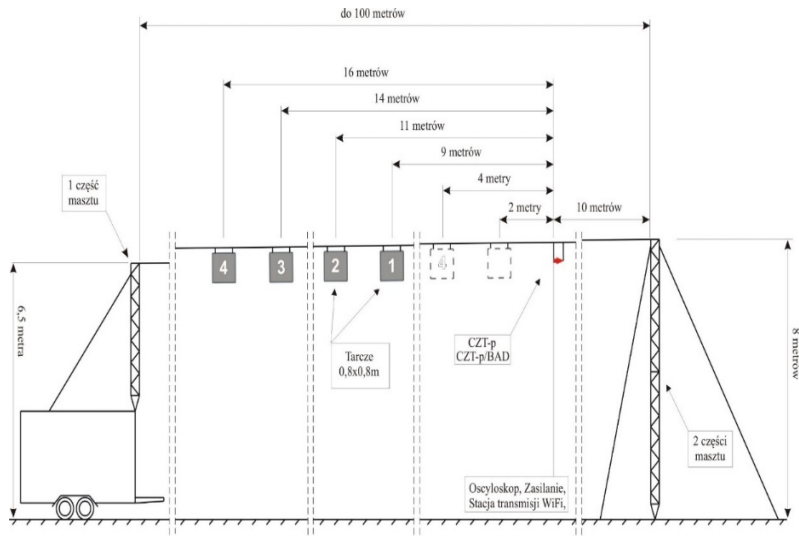


Fig. 5. Diagram of the target range for CZT field tests (Wi-Fi – Wireless Fidelity, wireless transmission)

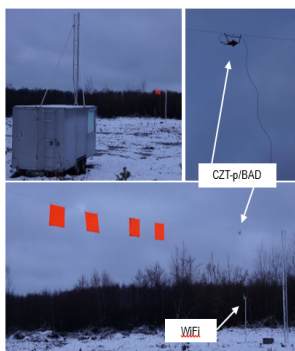


Fig. 6. Target range on the foreground of the firing post no. 23 (SO-23)



Fig. 7. Location of the target range relative to SO-23 at the Air Force Training Centre Ustka (CPSP)



Fig. 8. Shooting at the SO-23 firing post at the Air Force Training Centre Ustka (CPSP)

Due to the conducted tests (shootings), based on the analysis of recording results of the amplitude-time characteristics of the microphones of the tested measuring unit (fig. 9), their sensitivity thresholds were established so that they meet the requirements of detecting the missile flight in two zones (15 m and 10 m) with the following values:

- for 23 mm ammunition:

$$U_{S15} = 530 \text{ mV},$$

$$U_{S10} = 650 \text{ mV};$$

- for 23 mm sub-caliber ammunition:

$$U_{S15} = 725 \text{ mV},$$

$$U_{S10} = 900 \text{ mV}.$$

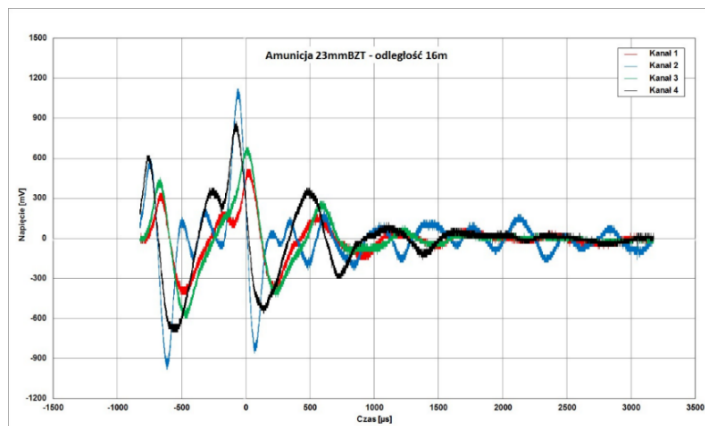


Fig. 9. An example of the amplitude-time characteristics of the microphones of the CZT measuring unit

Data from the shootings with 23 mm sub-caliber ammunition were analysed to determine the initial characteristics of the range of detecting missiles in zones located around the CZT measuring unit, in the plane perpendicular to the shooting axis. The missile detection zones are pear-shaped (fig. 10).

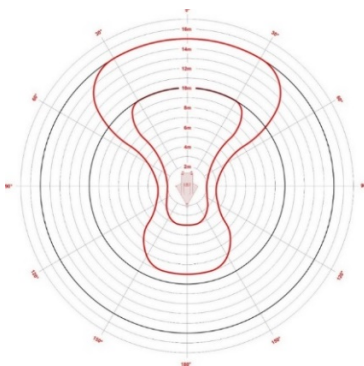


Fig. 10. Missile detection zones in the plane perpendicular to the shooting axis

Following the field tests, tests were performed at ITWL to determine the test shots from the blank pistol equivalent to shots with 23 mm ammunition and 23 mm sub-caliber ammunition and to check the compatibility of the transmitted and recorded data from shots. Moreover, tests were conducted with the experimental method using a PC equipped with a programme called 'Czujnik_trafien.exe' (miss distance indicator). CZT was attached to the pole tip (perpendicular to the pole axis) with a height of 1.7 m and connected with a serial data transmission cable with the CZT-p/BAD measuring unit, scaled during ground shots at the firing range (fig. 11). The pole with the CZT measuring unit was placed in an open space, ensuring no acoustic wave reflections. The microphones of the measuring unit were directed towards the shooting direction. The measuring tape was spread along the shooting axis, and the initial shooting lines were established (from 5 to 9 meters – every 1 meter). The shooting position was measured by taking into account the difference in the shooting place and the barrel breech of the pistol during shooting (fig. 11). The measuring unit was connected to the PC. After switching on measuring unit's power supply, activating the program Czujnik_trafien.exe and establishing a connection with the measuring unit, the service mode of the program was activated. The distances of the shooting lines were determined to verify two missile flight recording zones by measuring the bottom of the measuring unit three times with blank ammunition from different shooting lines and recording the number of microphones reacting above the sensitivity thresholds.

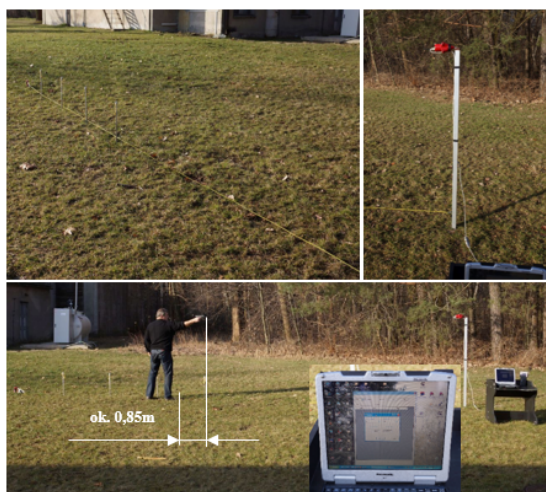


Fig. 11. Test shootings to CZT measuring unit done with blank ammunition

Due to the conducted tests, the distances for test shootings with blank ammunition were determined. This ammunition fulfilled the requirements of detecting missile flight in two zones (15 m and 10 m) with the following values:

- for 23 mm ammunition:

$$L_{S15} = 8,40 \text{ m,}$$

$$L_{S10} = 7,15 \text{ m;}$$

- for 23 mm sub-caliber ammunition:

$$L_{S15} = 6,65 \text{ m,}$$

$$L_{S10} = 4,90 \text{ m.}$$

The compatibility of the transmitted and recorded data from the shootings was verified by performing test shootings with blank ammunition from the smaller distances than the distances determined for the verification of two border zones of detecting the missile flight by recording the indications of data transmission receiver and comparing them with the data recorded in the measuring unit following shootings.

Due to the verification, it was concluded that the sums of the recorded hits in zones 0-10 m and 0-15 m are equal to the number of hits displayed in zones S10 and S15 and times of the first and last hit in a series are compatible with the times displayed in the CZT data transmission receiver.

4. Procedure to verify delivery&acceptance tests and control tests

Successful tests of the modified miss distance indicator enabled to update the methodology of CZT delivery and acceptance tests that belong to the “Technical requirements for serial production of controlled ZSMCP aerial targets” [3] with regard to the CZT verification procedure in the assembly and its functioning during shooting with blank ammunition.

In the technical documentation of the modified miss distance indicator, it was recorded that the results of verification using the blank ammunition are deemed to be positive, if, during triple shooting from a distance:

- 1) 7.15 m (4.90 m for sub-caliber ammunition respectively), the number of microphones reacting three times above sensitivity thresholds in the remote zone equals 4, and in the near zone, is smaller than 3,
- 2) 8.40 m (6.65 m for sub-caliber ammunition respectively), the number of microphones reacting at least two times above sensitivity thresholds in the near zone is 0, and in the remote zone, is smaller than 3,
- 3) 8.90 m (7.15 m for sub-caliber ammunition respectively), the number of microphones reacting three times above sensitivity thresholds in the near zone is 0, and in the remote zone, is not bigger than 3.

The procedure for checking the functionality of CZT with using blank ammunition is a basic and the cheapest method applied to verify the compatibility with the requirements of newly manufactured and serviced products.

5. Evaluation of the research results

Following the inspection on their operation according to the above-described procedure, two new miss distance indicators were used during the field tests of the PILICA Anti-Aircraft Rocket-Artillery System (PSR-A) conducted as a part of their preliminary tests [6] as well as acceptance and delivery tests [7].

Aerial target Szerszeń “Hornet”, carrying a sleeve target and CZT, performed flights relative to the indicated firing post (fig. 12, point 0,0) taking into account the parameters (height and distance) agreed with the Research Manager. Shooting assessment was made regularly using data transmission receiver of the miss distance indicator and visualized after each flight (fig. 13) reading its recorded parameters.

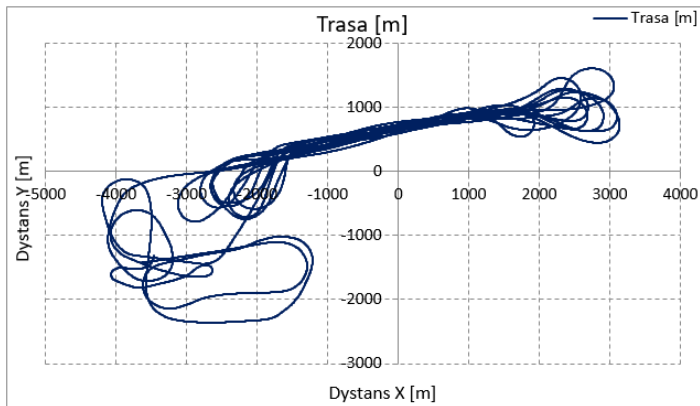


Fig. 12. The example of the flight trajectory of the aerial target Szerszeń “Hornet” in the grid of metric coordinates relative to the position of guns at the firing post

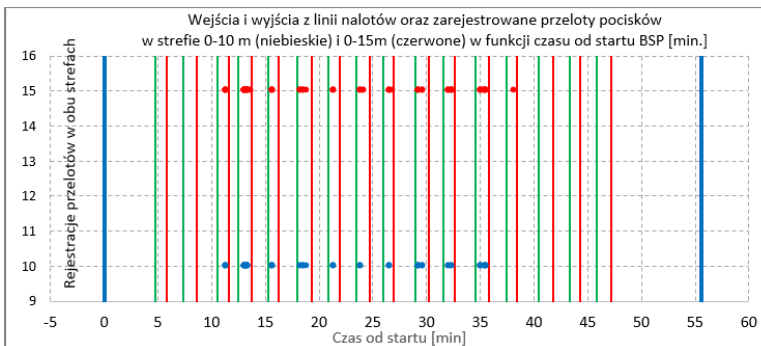


Fig. 13. The example of recording the missile flight against the line of entry and exit from the airstrike line. Blue lines are take-off and landing times and green lines – entry line into the airstrike line, while red lines are exit times from the airstrike line

Using CZT while conducting the field tests of the anti-aircraft system enabled to verify its operation [4, 5].

6. Summary

Thanks to adopting the appropriate verification method of the requirements, proper planning and efficient implementation of tests on the acoustic miss distance indicator of the sleeve target of the aerial target imitator Szerszeń "Hornet", which was developed and implemented in 2005, made it function until today. It is the only device currently used in the Polish Armed Forces used for objective evaluation of anti-aircraft artillery shootings. The designed and manufactured CZT also proved its usefulness during the field tests of the PSR A PILICA system developed by Zakłady Mechaniczne TARNÓW in 2019 and 2020.

7. References

1. Czechowicz B., Magdziak E., Rykaczewski D.: Układ czujnika trafień rękawa strzeleckiego. Instrukcja użytkowania i obsługi technicznego, wersja 01, październik 2013 z późniejszymi zmianami.
2. Czechowicz B., Magdziak E., Mentrak G., Rykaczewski D.: Protokół Badań NR 1/CZT/BT/2015 – załącznik nr 1 do „Protokołu końcowego z badań typu układu akustycznego czujnika trafień CZT po modyfikacji ukończenia”, Warszawa 2015.
3. Czechowicz B., Magdziak E., Rykaczewski D.: Metodyka Badań nr 07/ZSMCP/CZT. Układ akustycznego czujnika trafień rękawa strzeleckiego. Badania zdawczo-odbiorcze – załącznik nr 7 „Warunków Technicznych do produkcji seryjnej zestawu sterowanych manewrujących celów powietrznych ZSMCP”, wersja 2, czerwiec 2014 r z późniejszymi zmianami.
4. Żokowski M., Buczkowska-Murawska T., Czechowicz B., Hajduk J., Janas C., Janicki J., Kurek M., Świerkot R.: Wyniki rejestracji Strzelań PSR-A PILICA w akustycznym czujniku trafień holowanym przed rękawem strzeleckim bezzałogowego statku powietrznego SZERSZEŃ wykorzystywanego jako imitator celu powietrznego, Warszawa 2020.
5. Żokowski M., Buczkowska-Murawska T., Hajduk J., Janas C., Kurek M.: Sprawozdanie nr SP-62/58/2020 z pracy pt. Badania funkcjonowania w locie akustycznego czujnika trafień bezzałogowego statku powietrznego SZERSZEŃ wykorzystywanego jako cel powietrzny (wykonywane w ramach zabezpieczenia logistycznego w trakcie badań poligonowych PSR-A PILICA), Warszawa 2020.

6. <https://zbiam.pl/wiosenne-zgrupowanie-poligonowe-psr-a-pilica/>
7. <https://zbiam.pl/psr-a-pilica-na-badaniach-zdawczo-odbiorczych/>

METODYKA BADAŃ CZUJNIKA TRAFIEŃ RĘKAWA STRZELECKIEGO BEZZAŁOGOWEGO IMITATORA CELU POWIETRZNEGO

1. Wprowadzenie

Układ akustycznego czujnika trafień (CZT) opracowano i wykonano w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (ITWL), w latach 2001-2005, w ramach projektu celowego Nr 5135 „Opracowanie zestawu sterowanych, manewrujących celów powietrznych do szkolenia wojsk obrony przeciwlotniczej”, zrealizowanego na potrzeby Dowództwa Wojsk Lądowych. W wyniku przeprowadzonych prac wdrożony został do eksploatacji w Siłach Zbrojnych RP zestaw sterowanych manewrujących celów powietrznych (ZSMCP) „Jaskółka”, w którym wykorzystywane są dwa rodzaje imitatorów celów powietrznych:

- sterowany manewrujący cel powietrzny jednorazowego użytku SMCP-JU „Komar”, przeznaczony do treningu i wykonywania strzelań z przenośnych przeciwlotniczych zestawów raketowych;
- sterowany manewrujący cel powietrzny wielokrotnego użytku SMCP-WU „Szerzeń”, przeznaczony do treningu i wykonywania strzelań z dział przeciwlotniczych.

Obecnie eksploatowanych jest pięć ZSMCP – trzy w jednostkach obrony przeciwlotniczej, jeden jako wyposażenie Centralnego Poligonu Sił Powietrznych w Ustce (CPSP) oraz jeden w Lotniczej Akademii Wojskowej. CZT użytkowany jest opcjonalnie z rękawem strzeleckim imitatora celu powietrznego „Szerzeń”. Realizacja kolejnych dostaw elementów ZSMCP zbiegła się z koniecznością przeprowadzenia modyfikacji sprzętowej CZT, a co za tym idzie przeprowadzenia badań jego nowej wersji potwierdzających spełnienie warunków technicznych i użytkowych.

2. Przeznaczenie, opis i zasada funkcjonowania CZT

Przeznaczeniem CZT jest obiektywna ocena strzelań wykonywanych przez artylerię przeciwlotniczą do rękawa strzeleckiego holowanego przez imitator celu powietrznego. Ocena ta prowadzona jest na podstawie analizy amplitud fal uderzeniowych, wytwarzanych przez przelatujące pociski, rejestrowanych z wykorzystaniem czterech sensorów akustycznych (mikrofonów) [1].

W skład CZT wchodzi:

- zespół pomiarowy,
- odbiornik transmisji danych (część naziemna CZT) z wyświetlaczem,
- program odczytu i prezentacji danych ze strzelań.

Zespół pomiarowy CZT (rys. 1–3) obejmuje:

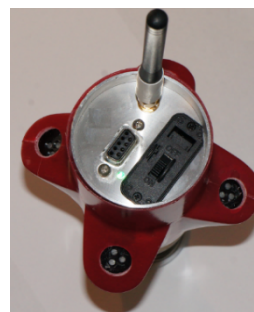
- moduł detekcji i analizy sygnału akustycznego (głowicę akustyczną),
- moduł analizy, rejestracji i transmisji danych.



Rys. 1. Zespół pomiarowy CZT połączony z rękawem strzeleckim



Rys. 2. Głowica akustyczna zespołu pomiarowego CZT z modulem analizy, rejestracji i transmisji danych



Rys. 3. Zespół pomiarowy CZT – widok od strony rękawa strzeleckiego

W obudowie głowicy rozmieszczono cztery mikrofony, na obwodzie walca o średnicy 62 mm, w układzie co 90° , odchylone o kąt 15° od jej osi i ukierunkowane w stronę doczepianego rękawa strzeleckiego. Sygnał akustyczny z każdego czujnika (mikrofonu) stanowi osobny tor pomiarowy składający się z części analogowej oraz cyfrowej.

Część analogowa realizuje detekcję niskiego (dalsza strefa trafienia) i wysokiego (bliższa strefa trafienia) progu sygnału wejściowego. Za detekcję progów czułości odpowiedzialne są komparatory, do których doprowadzone są, ustawiane sprzętowo, napięcia odniesienia, jednakowe dla wszystkich czterech torów pomiarowych. Sygnały cyfrowe na wyjściach komparatorów uruchamiają w mikrokontrolerze analizę cyfrową zarejestrowanego przelotu pocisku. Do akceptacji trafienia wymagane jest, aby sygnał dla danego progu wystąpił minimum w trzech torach w odstępie czasowym nie większym niż 600 mikrosekund.

Po analizie parametrów odebranych sygnałów z toru analogowego i spełnieniu wymagań część cyfrowa:

- odmierza minimalną przerwę czasową między przelotami pocisków,
- zapisuje w pamięci nieulotnej wynik trafienia i czas [godz.:min:s] rejestracji, jaki upłynął od momentu synchronizacji wykonywanej podczas przygotowania CZT do pracy,

- wysyła drogą radiową dane o trafieniach po upływie programowanego czasu od ostatniego zarejestrowanego przelotu pocisku (standardowo 30 s).

Wyniki strzelania zapisane w pamięci czujnika można odczytać, wykorzystując program komputerowy po uprzednim podłączeniu czujnika do portu szeregowego komputera (RS 232).

Odbiornik transmisji danych CZT (rys. 4) służy do zobrazowania wyników strzelań oraz do aktywacji zespołu pomiarowego po rozwinięciu linki holowniczej rękawa strzeleckiego. Na wyświetlaczu odbiornika prezentowane są:

- liczba zarejestrowanych przelotów pocisków (trafień) w strefie od 0 m do 15 m (S15);
- liczba zarejestrowanych przelotów pocisków (trafień) w strefie od 0 m do 10 m (S10);
- czas zarejestrowania pierwszego trafienia oraz czas ostatniego trafienia w danym przelocie imitatora celu powietrznego.



Rys. 4. Odbiornik transmisji danych CZT

Aktywacja zespołu pomiarowego CZT następuje poprzez przytrzymanie przez 5 s włącznika umieszczonego na obudowie obok włącznika zasilania po lewej stronie. Zarejestrowanie przytrzymania włącznika sygnalizowane jest przez diodę LED umieszczoną powyżej. W tym czasie dioda miga z dużą częstotliwością. Gdy odbiornik otrzyma potwierdzenie aktywacji zespołu pomiarowego dioda świeci ciągłym niebieskim światłem. Na pulpicie odbiornika od momentu uzbrojenia sygnalizowana jest łączność radiowa z zespołem pomiarowym za pośrednictwem czerwonej diody zlokalizowanej w lewym górnym rogu obudowy odbiornika. Dioda świeci się raz na sekundę w okresie, gdy nie występują zakłócenia transmisji. W trakcie ostrzału czujnika (rejestracji przelatujących pocisków) dioda nie świeci. Sygnalizacja łączności przywracana jest po upływie 2 s od ostatniego zarejestrowanego trafienia. Po zaprogramowanym czasie od ostatniego strzału dane z czujnika są przesyłane i wyświetlane na ekranie odbiornika. Jeżeli zespół pomiarowy odnotuje kolejne strzały przed upływem tego czasu, to czas po jakim zostaną wysłane dane będzie liczony od początku (od ostatniego zarejestrowanego trafienia). Wskazania na wyświetlaczu są samoczynnie odświeżane po kolejnych rejestracjach trafień lub można je zerować poprzez wyłączenie i ponowne załączenie zasilania.

Dane techniczne CZT:

- kaliber pocisków 23 mm
- zasilanie 4,8 V
- pobór prądu 100 mA
- strefy rejestracji $0 \div 10^{+2}$ m i $0 \div 15^{+2}$ m
- minimalny czas pomiędzy kolejnymi pociskami 10 ms
- (dopuszczalna szybkostrzelność 6000 strzałów/min)
- maksymalna liczba rejestrowanych pocisków 8000
- parametry bezprzewodowej transmisji danych: 9600 bodów, 8-bitów danych, brak bitu parzystości, 1-bit stopu
- parametry przewodowej transmisji szeregowej: 115200 bodów, 8-bitów danych, brak bitu parzystości, 1-bit stopu
- masa całkowita zespołu pomiarowego 400 g
- masa całkowita odbiornika transmisji danych 400 g

3. Przebieg i wyniki badań typu

W 2014 r., w ramach realizacji umowy na dostawę elementów ZSMCP, wykonano modyfikację ukompletowania CZT obejmującą:

- zmianę modemów układu o częstotliwości pracy 2,4 GHz na modemy o częstotliwości pracy 868 MHz;
- zmianę mikrokontrolera pracy zespołu pomiarowego z 8-bitowego na 24-bitowy;
- zmianę podzespołów elektronicznych układu.

Zmiana modemów spowodowana była koniecznością zmiany częstotliwości pracy CZT dla uniknięcia ewentualnych zakłóceń odbiorników układów sterownia i kontroli lotu imitatorów celów powietrznych (produkowanych od 2013 r.) pracujących w paśmie o częstotliwości 2,4÷2,483 GHz. Zmianę mikrokontrolera w zespole pomiarowym CZT wymusił brak dostępności na rynku stosowanego kontrolera 8-bitowego. Zmiana podzespołów elektronicznych układu spowodowana była potrzebą integracji CZT z nowymi modemami i kontrolerem.

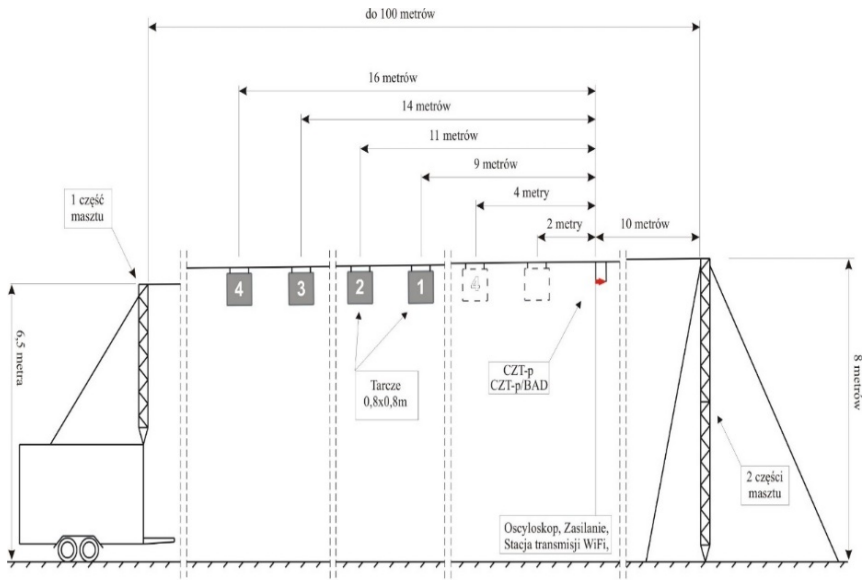
Po wykonanej modyfikacji przeprowadzono badania typu [2], których celem było:

- 1) sprawdzenie poprawności funkcjonowania zmodyfikowanych układów CZT,
- 2) kalibracja czułości mikrofonów zespołu pomiarowego podczas wykonywania strzałów naziemnych amunicją kalibru 23 mm,
- 3) wstępna kalibracja czułości mikrofonów zespołu pomiarowego podczas wykonywania strzałów naziemnych amunicją podkalibrową 23 mm,
- 4) skalowanie odległości wykrywania przelotu pocisków dla tylnej, górnej i przedniej strefy zespołu pomiarowego,
- 5) wyznaczenie charakterystyk czasowo-amplitudowych mikrofonów zespołu pomiarowego dla różnych odległości przelotu pocisków,

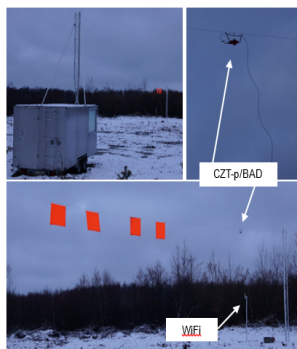
- 6) określenie wartości do warunków technicznych (WT) w zakresie odległości strzelań testowych z pistoletu hukowego równoważnych strzelaniom amunicją kalibru 23 mm oraz sprawdzenie zgodności transmitowanych i rejestrowanych danych ze strzelań.

Badania przeprowadzono na przełomie lutego i marca 2015 r. w ITWL (w zakresie odnoszącym się do punktów 1 i 6 celu badań) oraz na terenie CPSP (w zakresie odnoszącym się do punktów 2 – 5 celu badań).

Badania na terenie CPSP wykonano metodą kolejnych naziemnych strzelań poligonowych do tarcz przygotowanego wcześniej pola tarczowego z wykorzystaniem oscyloskopu i stacji transmisji bezprzewodowej Wi-Fi połączonej z badanym CZT (rys. 5 i 6) umożliwiających odległościową zmianę czułości mikrofonów w torach pomiarowych oraz ocenę ich reakcji dla wymaganych odległości przelotu pocisków. Strzelania przeprowadzono ze stanowiska ogniowego nr 23 (SO-23) odległego o ok. 370 m od pola tarczowego. Celność strzelań oceniano na podstawie oceny wizualnej przelotu każdego pierwszego pocisku z wystrzelonej serii (rys. 7 i 8). Przebieg strzelań filmowano aparatem fotograficznym umieszczonym na statywie. Do strzelań wykorzystano trzy rodzaje amunicji: kalibru 23 mm typu BZT, podkalibrową 23 mm typu APDS-T i podkalibrową 23 mm typu FAPDS-T. Podczas badań zmieniano położenie badanego CZT (CZT-p/BAD) mocując go tyłem, bokiem i przodem w kierunku pola tarczowego.



Rys. 5. Schemat pola tarczowego do badań poligonowych CZT (Wi-Fi – Wireless Fidelity, transmisja bezprzewodowa)



Rys. 6. Pole tarczowe na przedpolu stanowiska ogniowego SO-23



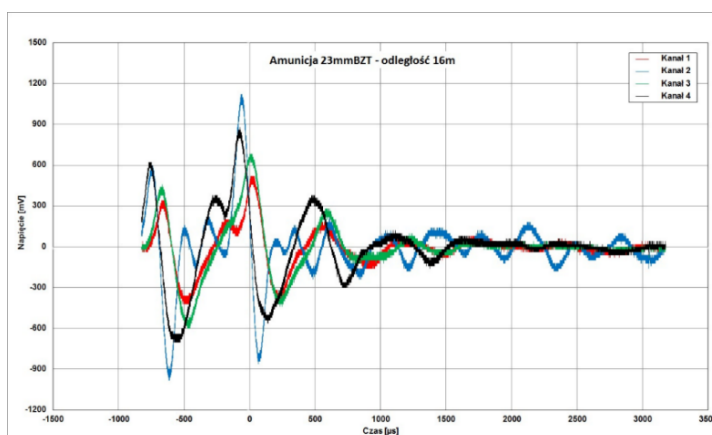
Rys. 7. Położenie pola tarczowego względem SO-23 na CPSP



Rys. 8. Strzelania na stanowisku ogniowym SO-23 na CPSP

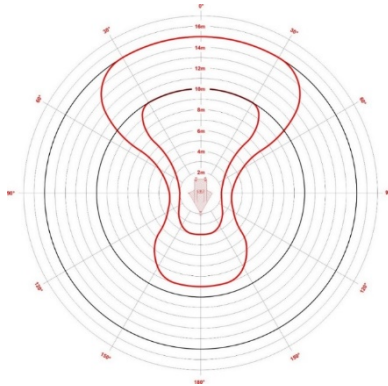
W wyniku przeprowadzonych badań (strzelania), na podstawie analizy wyników rejestracji charakterystyk czasowo-amplitudowych mikrofonów badanego zespołu pomiarowego (rys. 9), ustalono ich progi czułości tak, by spełniały one wymaganie wykrywania przelotu pocisków w dwóch strefach (15 m i 10 m) o wartościach odpowiednio:

- dla amunicji 23 mm:
 $U_{S15} = 530 \text{ mV}$,
 $U_{S10} = 650 \text{ mV}$;
- dla amunicji podkalibrowej 23 mm:
 $U_{S15} = 725 \text{ mV}$,
 $U_{S10} = 900 \text{ mV}$.



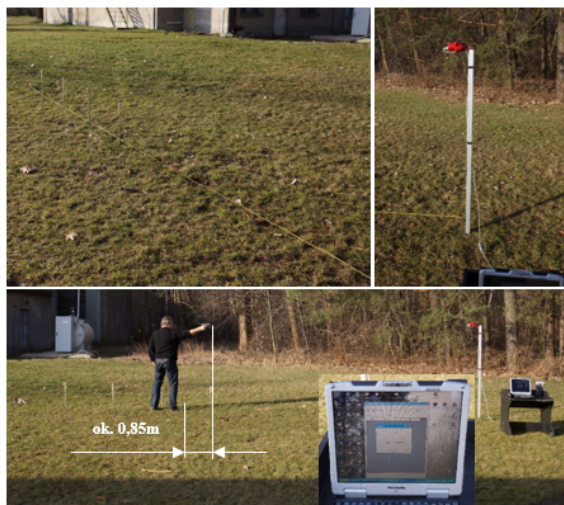
Rys. 9. Przykładowa charakterystyka amplitudowo-czasowa mikrofonów zespołu pomiarowego CZT

Dane ze strzelań amunicją podkalibrową 23 mm poddano analizie dla określenia wstępnej charakterystyki odległości wykrywania pocisków w strefach rozmieszczonych wokół zespołu pomiarowego CZT, w płaszczyźnie prostopadłej do osi strzelania. Strefy wykrywania pocisków mają kształt „gruszkowaty” (rys. 10).



Rys. 10. Strefy wykrywania pocisków w płaszczyźnie prostopadłej do osi strzelania

Po badaniach na poligonie przeprowadzono w ITWL badania dla określenia odległości strzelań testowych z pistoletu hukowego równoważnych strzelaniom amunicją kalibru 23 mm i amunicją podkalibrową 23 mm oraz sprawdzenia zgodności transmitowanych i rejestrowanych danych ze strzelań. Badania przeprowadzono metodą doświadczalną, z wykorzystaniem komputera PC, z programem Czujnik_trafien.exe. CZT zamocowano do wierzchołka tyczki (prostopadle do osi tyczki) o wysokości 1,7 m i połączono przewodem szeregowej transmisji danych z zespołem pomiarowym CZT-p/BAD, wyskalowanym podczas naziemnych strzelań poligonowych (rys. 11). Tyczkę z układem pomiarowym CZT umieszczono na otwartej przestrzeni zapewniającej brak odbić fali akustycznej. Mikrofony zespołu pomiarowego zorientowano na kierunek strzelania. Wzdłuż osi strzelania rozwinęto taśmę mierniczą i ustalono wstępne rubieże strzelań od 5 m do 9 m (co 1 metr). Przeprowadzono pomiar pozycji strzelającego, uwzględniając różnicę w odległościach miejsca wykonywania strzelania i wylotu lufy pistoletu podczas wykonywania strzelania (rys. 11). Zespół pomiarowy podłączono do komputera PC. Po włączeniu zasilania zespołu pomiarowego, uruchomieniu programu Czujnik_trafien.exe i uzyskaniu połączenia z zespołem pomiarowym, uruchomiono tryb serwisowy programu. Ustalono odległości rubieży strzelań dla weryfikacji dwóch stref rejestracji przelotu pocisków wykonując, mierząc w denko zespołu pomiarowego, trzykrotne strzelanie amunicją hukową z różnych rubieży i notując liczbę mikrofonów reagujących powyżej progów czułości.



Rys. 11. Strzelania testowe do zespołu pomiarowego CZT amunicją hukową

W wyniku przeprowadzonych badań ustalono odległości dla strzałów testowych amunicją hukową, spełniające wymaganie wykrywania przelotu pocisków w dwóch strefach (15 m i 10 m) o wartościach odpowiednio:

- dla amunicji 23 mm:
 $L_{S15} = 8,40$ m,
 $L_{S10} = 7,15$ m;
- dla amunicji podkalibrowej 23 mm:
 $L_{S15} = 6,65$ m,
 $L_{S10} = 4,90$ m.

Sprawdzenia zgodności transmitowanych i rejestrowanych danych ze strzałów przeprowadzono, wykonując strzelania testowe amunicją hukową z odległości mniejszych niż odległości ustalone dla weryfikacji dwóch granicznych stref wykrywania przelotu pocisków, notując wskazania odbiornika transmisji danych i porównując je, po wykonaniu strzałów, z danymi zarejestrowanymi w zespole pomiarowym. W wyniku przeprowadzonego sprawdzenia stwierdzono, że sumy rejestrowanych trafień w strefach 0-10 m i 0-15 m równe są liczbie trafień wyświetlanych w strefach S10 i S15, a czasy zarejestrowanego pierwszego i ostatniego trafienia w serii są zgodne z czasami wyświetlanymi w odbiorniku transmisji danych CZT.

4. Procedura sprawdzeń badań zdawczo-odbiorczych i kontrolnych

Przeprowadzone z wynikiem pozytywnym badania typu zmodyfikowanego czujnika trafień umożliwiły uaktualnienie metodyki badań zdawczo-odbiorczych CZT, będących

elementem „Warunków Technicznych do produkcji seryjnej zestawu sterowanych manewrujących celów powietrznych ZSMCP” [3] w zakresie procedury sprawdzeń CZT w nowej kompletacji oraz jego funkcjonowania podczas strzelania amunicją hukową.

W dokumentacji technicznej zmodyfikowanego czujnika trafień zapisano, że wyniki sprawdzeń z wykorzystaniem amunicji hukowej uznaje się za pozytywne, jeżeli podczas trzykrotnych strzelań z odległości:

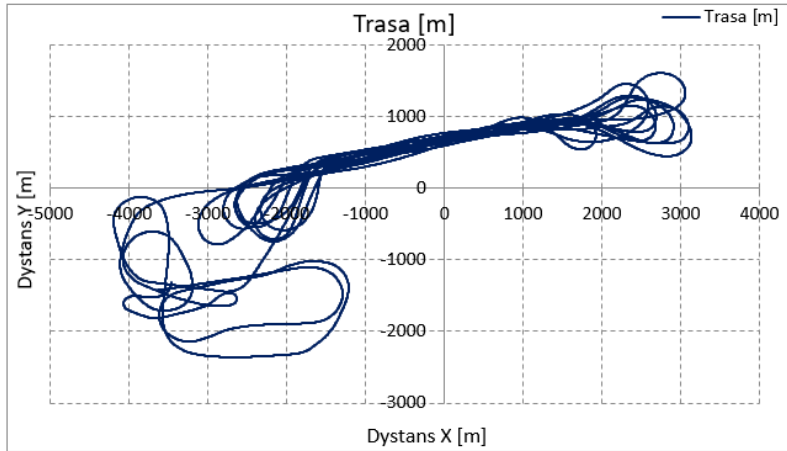
- 1) 7,15 m (odpowiednio 4,90 m dla amunicji podkalibrowej), liczba mikrofonów trzykrotnie reagujących powyżej progów czułości w strefie dalekiej jest równa 4, a w strefie bliskiej nie mniejsza niż 3,
- 2) 8,40 m (odpowiednio 6,65 m dla amunicji podkalibrowej), liczba mikrofonów co najmniej dwukrotnie reagujących powyżej progów czułości w strefie bliskiej jest równa 0, a w strefie dalekiej nie mniejsza niż 3,
- 3) 8,90 m (odpowiednio 7,15 m dla amunicji podkalibrowej), liczba mikrofonów trzykrotnie reagujących powyżej progów czułości w strefie bliskiej jest równa 0, a w strefie dalekiej nie większa niż 3.

Procedura sprawdzenia funkcjonowania CZT z wykorzystaniem amunicji hukowej jest podstawową i najtańszą metodą stosowaną dla weryfikacji zgodności z wymaganiami nowo wyprodukowanych i serwisowanych wyrobów.

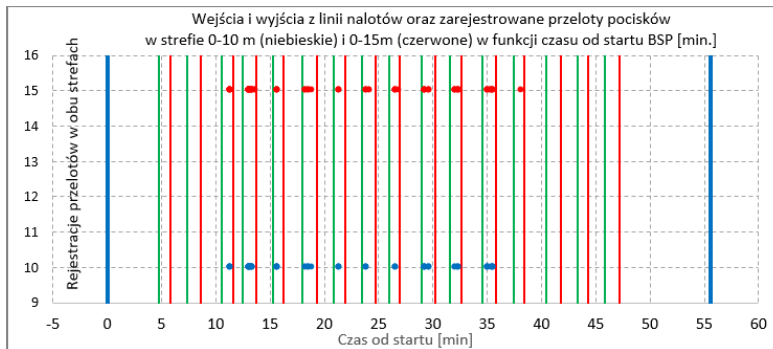
5. Ewaluacja wyników badań

Dwa nowe egzemplarze opisywanego czujnika trafień, po sprawdzeniu ich funkcjonowania wg opisanej wyżej procedury, wykorzystano podczas przeprowadzanych badań poligonowych Przeciwlotniczego Systemu Rakietowo-Artyleryjskiego (PSR-A) Pilica realizowanych w ramach jego badań wstępnych (zakładowych) [6] oraz zdawczo-odbiorczych [7].

Cel powietrzny „Szerszeń”, holujący rękaw strzelecki i CZT, wykonywał loty względem wskazanego stanowiska ogniowego (rys. 12, pkt 0,0) z uwzględnieniem parametrów (wysokość i odległość) uzgodnionych z Kierownikiem Badań. Ocena strzelań prowadzona była na bieżąco z wykorzystaniem odbiornika transmisji danych czujnika trafień i wizualizowana po każdym locie (rys. 13) po odczytaniu jego zarejestrowanych parametrów.



Rys. 12. Przykładowa trajektoria lotu celu powietrznego „Szerszeń” w siatce współrzędnych metrycznych względem pozycji dział na stanowisku ogniowym



Rys. 13. Przykładowa rejestracja przelotu pocisków na tle linii wejścia i wyjścia z linii nalotów. Linie niebieskie to czas startu i lądowania, zielone to czasy wejścia w linię nalotu, czerwone to czasy wyjścia z linii nalotu

Wykorzystanie CZT podczas realizacji badań poligonowych systemu przeciwlotniczego umożliwiło weryfikację jego funkcjonowania [4, 5].

6. Podsumowanie

Przyjęcie odpowiedniej metody weryfikacji wymagań, właściwe planowanie i sprawna realizacja badań typu akustycznego czujnika trafień rękawa strzeleckiego imitatora celu powietrznego „Szerszeń”, opracowanego i wdrożonego do eksploatacji w 2005 r., sprawiło, że funkcjonuje on do dzisiaj. Jest jedynym wykorzystywanym obecnie w Siłach

Zbrojnych RP urządzeniem obiektywnej oceny przeciwlotniczych strzelań artyleryjskich. Zaprojektowany i wytworzony CZT potwierdził również swoją przydatność podczas przeprowadzanych w 2019 i 2020 r. badań poligonowych, opracowywanego przez Zakłady Mechaniczne TARNÓW, systemu PSR-A PILICA.

7. Literatura

1. Czechowicz B., Magdziak E., Rykaczewski D.: Układ czujnika trafień rękawa strzeleckiego. Instrukcja użytkowania i obsługi technicznego, wersja 01, październik 2013 z późniejszymi zmianami.
2. Czechowicz B., Magdziak E., Mentrak G., Rykaczewski D.: Protokół Badań NR 1/CZT/BT/2015 – załącznik nr 1 do „Protokołu końcowego z badań typu układu akustycznego czujnika trafień CZT po modyfikacji ukompletowania”, Warszawa 2015.
3. Czechowicz B., Magdziak E., Rykaczewski D.: Metodyka Badań nr 07/ZSMCP/CZT. Układ akustycznego czujnika trafień rękawa strzeleckiego. Badania zdawczo-odbiorcze – załącznik nr 7 „Warunków Technicznych do produkcji seryjnej zestawu sterowanych manewrujących celów powietrznych ZSMCP”, wersja 2, czerwiec 2014 r z późniejszymi zmianami.
4. Żokowski M., Buczkowska-Murawska T., Czechowicz B., Hajduk J., Janas C., Janicki J., Kurek M., Świerkot R.: Wyniki rejestracji Strzelań PSR-A PILICA w akustycznym czujniku trafień holowanym przed rękawem strzeleckim bezzałogowego statku powietrznego SZERSZEŃ wykorzystywanego jako imitator celu powietrznego, Warszawa 2020.
5. Żokowski M., Buczkowska-Murawska T., Hajduk J., Janas C., Kurek M.: Sprawozdanie nr SP-62/58/2020 z pracy pt. Badania funkcjonowania w locie akustycznego czujnika trafień bezzałogowego statku powietrznego SZERSZEŃ wykorzystywanego jako cel powietrzny (wykonywane w ramach zabezpieczenia logistycznego w trakcie badań poligonowych PSR-A PILICA), Warszawa 2020.
6. <https://zbiam.pl/wiosenne-zgrupowanie-poligonowe-psr-a-pilica/>
7. <https://zbiam.pl/psr-a-pilica-na-badaniach-zdawczo-odbiorczych/>

