



WYBRANE ROZWIĄZANIA SPRZĘTOWO-PROGRAMOWE APARATURY DO OBLOTÓW TECHNICZNYCH STACJI NAPROWADZANIA RAKIET *SELECTED HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS FOR TECHNICAL FLIGHT TESTS OF MISSILE GUIDANCE STATION*

Stanisław ŻYGADŁO, Maciej PODCIECHOWSKI, Jakub MIERNIK

Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 46

Military University of Technology, 2 Sylwestra Kaliskiego St., 00-908 Warsaw, Poland

Author's e-mail address: stanislaw.zygadlo@wat.edu.pl; ORCID: 0000-0003-2019-5872

DOI 10.5604/01.3001.0013.5899

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrane rozwiązania sprzętowe i programowe aparatury do przeprowadzania oblotów technicznych stacji naprowadzania rakiet PZR NEWA SC. Sprawdzone, w warunkach poligonowych, rozwiązania potwierdziły możliwość zamontowania aparatury oblotowej na pokładzie samolotu SONEX LL i wykorzystania go do przeprowadzenia oblotów SNR.

Słowa kluczowe: aparatura oblotowa, rakietka, oblot techniczny, stacja naprowadzania rakiet

1. Wstęp

Stacja naprowadzania rakiet (SNR) przeciwlotniczego zestawu rakietowego wymaga przeprowadzenia kontroli parametrów technicznych przed wykonaniem strzelań bojowych.

Najlepszą metodą kontroli jest tzw. oblot techniczny, który jest przeznaczony do dynamicznego sprawdzenia parametrów toru nadawczo-odbiorczego oraz toru sterowania rakietami. Obecnie do oblotów SNR wykorzystuje się samolot TS11 Iskra z zamontowaną na pokładzie aparaturą oblotową złożoną z zespołu anten i bloku radiokierowania UR-20 wymontowanych z rakiety 5W27 (Podciechowski i in., 2016). Do ste-

Abstract: The paper presents selected hardware and software solutions for execution of technical check flights for the missiles guidance station (MGS) of SA-3 GOA SAM system. The solutions were proven under field conditions what was confirmed by integration of the checking equipment onboard of SONEX LL plane and its successive deployment for testing the MGS.

Keywords: flight tests equipment, missile, technical check flight, missile guidance station

1. Introduction

Technical parameters of missile guidance station (MGS) of the anti-aircraft missile system have to be checked before the live firings.

A so called technical check flight designed for dynamical testing of parameters of transmitter-receiver and missile guidance channels is a best method of checking. Now, the check flights of MGS are carried out by TS11 Iskra plane having onboard the check flight equipment with antenna system and radio-guidance unit UR-20 dismantled from missile 5W27 (Podciechowski et. al., 2016). A special voltage converter and plane onboard units

rowania pracą oraz zasilania bloku wykorzystywana jest specjalna przetwornica napięcia oraz elementy pokładowe samolotu. Oblot wykonywany jest na kursie zbliżeniowym do SNR, którą wprowadza się w tryb automatycznego śledzenia sygnału odbitego od celu (samolotu). Ponieważ samolot i aparatura rakiety znajdują się w tym samym punkcie przestrzeni powietrznej wyznaczane przez SNR współrzędne celu i rakiety powinny być identyczne. Wiadomo, że pomiar współrzędnych w radiolokacji jest procesem stochastycznym, a powstałe błędy zależą od metody ich pomiaru oraz różnic w torach przetwarzania i obróbki sygnałów celu i rakiety SNR. Na wielkość błędów mają także wpływ parametry lotu celu, parametry aparatury rakiety oraz warunki propagacji fali.

Zadaniem oblotu jest skorygowanie składowej systematycznej i losowej (odchylenia standardowego) tych błędów. Podczas oblotu wartość rozbieżności położenia celu i rakiety na całej długości lotu samolotu jest zapisywana przez aparaturę rejestrującą SNR, co pozwala ocenić wielkość błędów fluktuacyjnych i systematycznych pomiaru współrzędnych. Wynikiem analizy tego procesu jest ocena stanu technicznego SNR i jej przydatności bojowej. Oblot SNR realizowany jest w trzech etapach (Zasady..., 1983; WZE, 2016):

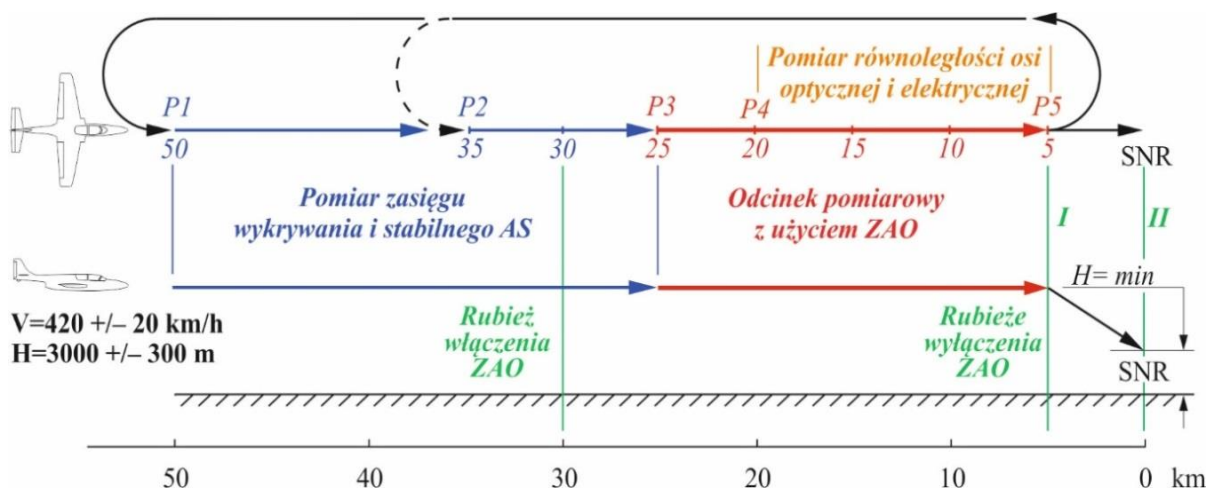
1. *Przygotowanie oblotu.* Na tym etapie dokonuje się, z wynikiem pozytywnym, sprawdzeń aparatury SNR oraz oceny warunków atmosferycznych.
2. *Oblot.* Na tym etapie samolot z aparaturą rakiety porusza się po ściśle określonej trasie lotem poziomym na stałej wysokości (rys.1) bez gwałtownych przechyłów, które powodują dużą fluktuację sygnałów odbitych, co może być powodem większych wartości błędów fluktuacyjnych pomiaru współrzędnych celu i rakiety.
3. *Analiza wyników.* Na podstawie zapisanych przez aparaturę SNR błędów systematycznych i fluktuacyjnych podejmuje się decyzję o stanie technicznym SNR i wprowadza odpowiednie korekty. Ostateczna ocena SNR jest podejmowana po uzyskaniu pozytywnych wyników z minimum 3 załotów samolotu.

are used to operate and power the equipment. The flight is executed on the approaching path to MGS which automatically tracks the signal reflected from a target (the plane). As the plane and the missile's unit are placed in the same point of airspace, then the coordinates of the target and missile measured by the MGS have to be identical. It is known that the measurement of coordinates by radar systems is a stochastic process and the existing errors depend on the measurement method and differences in the MGS channels converting and processing signals from a target and missile. The errors also depend on target flying parameters, missile equipment parameters and the conditions of wave propagation.

The check flight is aimed to correct systematic and random (standard deviation) components of these errors. Instruments of the MGS record the differences of positions between target and missile on the whole plane trajectory to assess fluctuating and systematic errors on measurement of coordinates. This process ends in analysis evaluating technical status and combat effectiveness of MGS. The check flight of MGS is carried out at three stages

(Zasady..., 1983; WZE, 2016):

1. *Preparation of the flight.* At this stage instruments of the MGS are checked for a positive result, and the atmospheric conditions are assessed.
2. *The check flight.* At this stage the plane with the missile's unit moves along a precise track of horizontal trajectory at constant altitude (Fig.1) without sudden tilts which may generate large fluctuations of reflected signals and, in consequence, increase the fluctuation error of the target and missile coordinates measurement.
3. *Analysis of results.* Basing on systematic and fluctuation errors recorded by MGS instruments a decision is made on technical status of MGS and suitable corrections are implemented. The final evaluation of the MGS is made when positive results are obtained for at least 3 check flights of the plane.



Rys. 1. Przykładowa trasa lotu samolotu podczas oblotu (Zasady..., 1983; WZE, 2016)

Fig. 1. An exemplary plane path at the check flight (Zasady..., 1983; WZE, 2016)

Pomiar zasięgu wykrywania i stabilnego AS – Measurement of detection range and stable AS

Pomiar równoległości osi optycznej i elektrycznej – Measurement of parallelism for optical and electric axes

Odcinek pomiarowy z użyciem ZAO – Measurement section using ZAO

Rubież włączenia ZAO – Distance of ZAO=ON

Rubież wyłączenia ZAO – Distance of ZAO=OFF

SNR - MGS

2. Rozwiązania sprzętowe

Widok aparatury oblotowej montowanej na pokładzie samolotu SONEX LL pokazano na rys. 2.

W jej skład wchodzi (WZE, 2016):

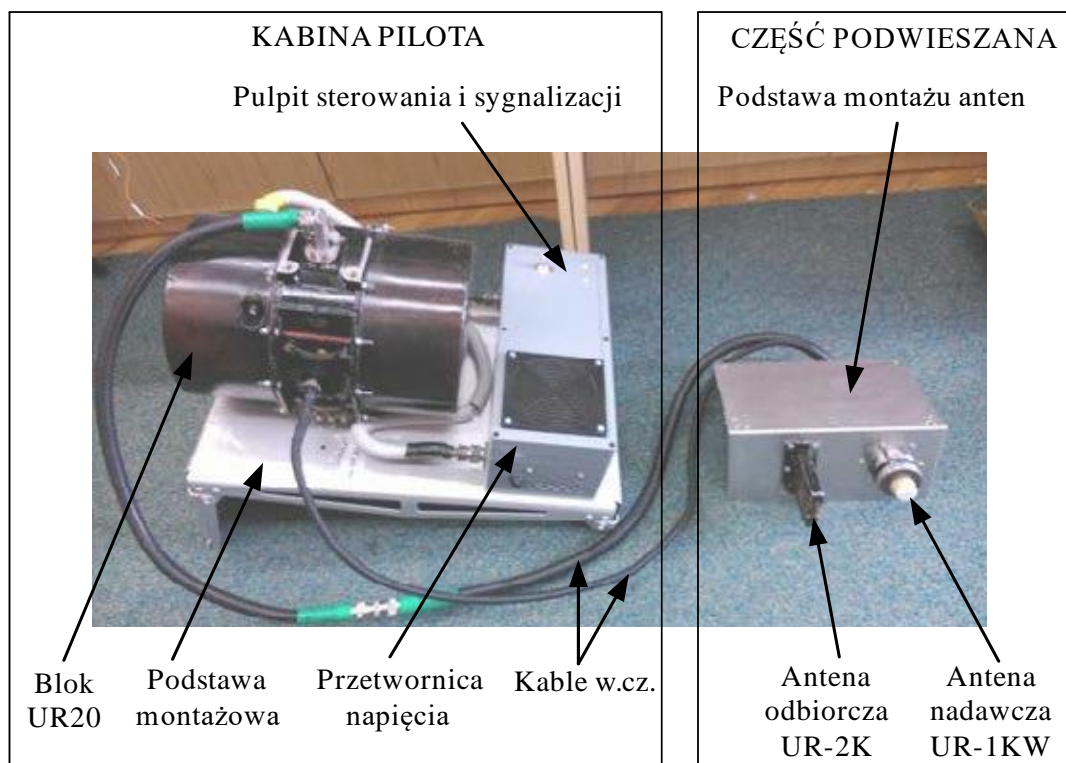
- część mocowana w kabinie na fotelu 2-go pilota zawierająca: podstawę montażową, blok UR20 oraz przetwornicę napięcia z pulpitem sterowania i sygnalizacji (rys.3);
- część podwieszana pod kabiną pilota zawierająca: podstawę montażową do zamocowania anten, antenę odbiorczą UR-2K i antenę nadawczą UR-1KW;
- kable w.cz. łączące anteny odbiorczą i nadawczą z blokiem UR20;
- kable łączące przetwornicę napięcia z blokiem UR20 i zasilaniem pokładowym.

2. Hardware Solutions

The view of the check flight equipment assembled onboard of SONEX LL plane is shown in Fig. 2.

It consists of (WZE, 2016):

- A part fixed in the cockpit to the seat of the 2-nd pilot including: assembling chassis, block UR20 and voltage converter with the control and signalisation panel (Fig.3);
- Part suspended under pilot's cockpit including: assembling chassis to fix antennas, receiver antenna UR-2K and transmitter antenna UR-1KW;
- Microwave cables of receiver and transmitter antennas to block UR20;
- Cables connecting the voltage converter to block UR20 and onboard supply system.



Rys. 2. Widok aparatury oblotowej montowanej na pokładzie samolotu SONEX LL
(Podciechowski i in., 2016)

Fig. 2. View of the check flight equipment assembled onboard the plane SONEX LL
(Podciechowski et al., 2016)

Kabina pilota – Pilot cockpit

Pulpit sterowania i sygnalizacji – Control and signalisation panel

Część podwieszana – Suspended part

Podstawa montażu anten – Antennas assembling base

Blok UR20 – Block UR20

Podstawa montażowa – Assembling base

Przetwornica napięcia – Voltage converter

Kable w.cz. – Microwave cables

Antena odbiorcza – Receiver antenna

Antena nadawcza – Transmitter antenna



Rys. 3. Widok aparatury oblotowej zamontowanej w kabinie samolotu SONEX LL
(Podciechowski i in., 2016)

Fig. 3. Check flight equipment integrated in the cockpit of SONEX LL plane
(Podciechowski et al., 2016)

Warunkiem koniecznym dopuszczenia do startu samolotu są prawidłowa praca urządzeń stacji naprowadzania rakiet oraz pozytywne wyniki sprawdzeń aparatury oblotowej. Sprawdzeń tych dokonuje obsługa SNR oraz obsługa samolotu we współpracy z obsługą ruchomej stacji kontrolno-pomiarowej (RSKP). Aparatura oblotowa sprawdzana jest autonomicznie za pomocą sprzętu kontrolno-pomiarowego (rys. 4) oraz za pomocą aparatury RSKP (rys. 5).

Gdy samolot znajdzie się w strefie zasięgu radionadajnika komend SNR antena odbiorcza UR-2K bloku UR20 odbiera sygnały zapytania. Sygnały te są przekazywane do bloku UR20, w którym uruchamiają nadajnik impulsów odzewowych. Impulsy te, poprzez antenę nadawczą UR-1KW, wysyłane są w kierunku stacji naprowadzania rakiet zamykając w ten sposób oceniany obwód określania współrzędnych celu i rakiety.

The plane may take off provided that the station's instruments for guiding the missiles operate properly and results of examinations for the check flight equipment are positive. These examinations are carried out by the personnel of MGS and the plane crew together with the personnel of a movable checking-measurement station (MCMS). The check flight equipment is examined autonomously by checking-measurement instruments (Fig. 4) and by the instruments of the MCMS (Fig. 5).

When the plane is in the range of MGS radio-transmitter of commands, the receiver antenna UR-2K of UR20 block pickups interrogating signals. The signals are sent to block UR20 to activate the transmitter of answering pulses. Pulses are sent to the missiles guidance station via the transmitter antenna UR-1KW, and in such way the evaluated system measuring coordinates of target and missile is completed.

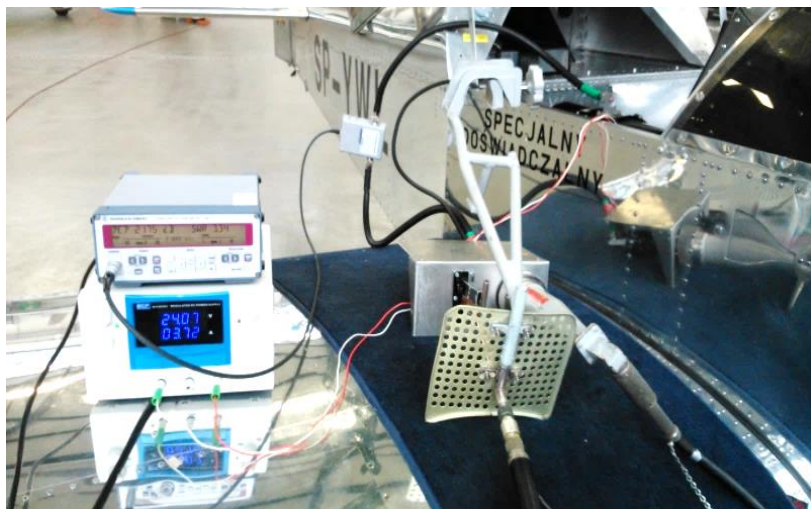


Rys. 4. Widok stanowiska do autonomicznych sprawdzeń aparatury oblotowej

Fig. 4. View of the setup for autonomous examinations of the check flight equipment

Aparatura oblotowa pozwala na dodatkową ocenę tego obwodu poprzez zapis odbieranych komend kierowania i komend jednorazowych. Pozwala to zweryfikować maksymalny zasięg sterowania lotem rakiety oraz możliwości sterowania radiozapalnikiem za pomocą komend jednorazowych.

The check flight equipment provides an additional evaluation of the system by recording the received control and single commands. It allows for verification of the maximal range for missile flight control and for radio-detonator control by individual commands.



Rys. 5. Widok stanowiska do sprawdzeń aparatury oblotowej za pomocą RSKP

Fig. 5. Setup for examining the check flight equipment by the MCMS

3. Rozwiązania programowe

Po wykonaniu procedury oblotu technicznego dokonywana jest analiza wyników oblotu. Oprogramowanie do ww. analizy składa się z dwóch części. Pierwsza część oprogramowania zainstalowana jest w aparaturze SNR. Na podstawie zapisanych przez tę aparaturę współrzędnych śledzonego samolotu z aparaturą oblotową wyznaczane są błędy systematyczne (wartość średnia) i fluktuacyjne (odchylenie standardowe). Ze względu na niestacjonarność procesu śledzenia, błędy wyznaczane są za odcinki pięciokilometrowe. Całkowity błąd oblotu jest średnią błędów za wszystkie pięciokilometrowe odcinki. Ze względu na zakłócenia dopuszczalne jest pominięcie do 25% aktywnego odcinka oblotu. Na rys. 6 i w tabeli 1 podano (w procentach) jaką część rejestracji pominięto.

Druga część oprogramowania dotyczy analizy komend zarejestrowanych przez aparaturę oblotową. Zarejestrowane komendy, po wylądowaniu samolotu, są analizowane pod względem jakości (poprawności) w funkcji odległości samolotu od SNR. Ponieważ na samolocie nie ma informacji o odległości do SNR, jest ona (odległość) wyznaczana w sposób pośredni. Komendy kierowania, wysyłane przez radionadajnik komend SNR, są zmieniane w funkcji pomierzonej przez SNR odległości do samolotu (rys.7). Zmiany komend kierowania są zdeterminowane i zapisane w aparaturze stacji. Na tej podstawie wyznaczana jest odległość samolotu, niezbędna przy analizie odebranych komend.

3. Software Solutions

After execution of the check flight procedure the results are analysed. The analysing software is composed of two parts. The first part is installed in instruments of the MGS. Basing on the coordinates recorded by these instruments for the tracked plane with the check flight equipment onboard the systematic (mean value) and fluctuating (standard deviation) errors are determined. Because of non-stationarity of the tracking process the errors are determined for sections of 5 km. The total error of the check flight is an average error from all 5 km sections. It is acceptable, due to the interferences, to omit to 25% of active section of the check flight. The omitted parts of recordings are given in Fig. 6 and in table 1 (in percentages).

Second part of software refers to the analysis of commands recorded by the check flight equipment. After the landing of the plane the recorded commands are analysed for their quality (correctness) as a function of distance between the plane and the MGS. The distance is determined in an indirect way as onboard the plane there is no data on the distance to MGS. The control commands sent by MGS radio-transmitter are changed according to the range to the plane measured by the MGS (Fig.7). The changes of control commands are determined and recorded in instruments of the station. On this ground the distance to the plane, needed at the analysis of received commands, is measured.

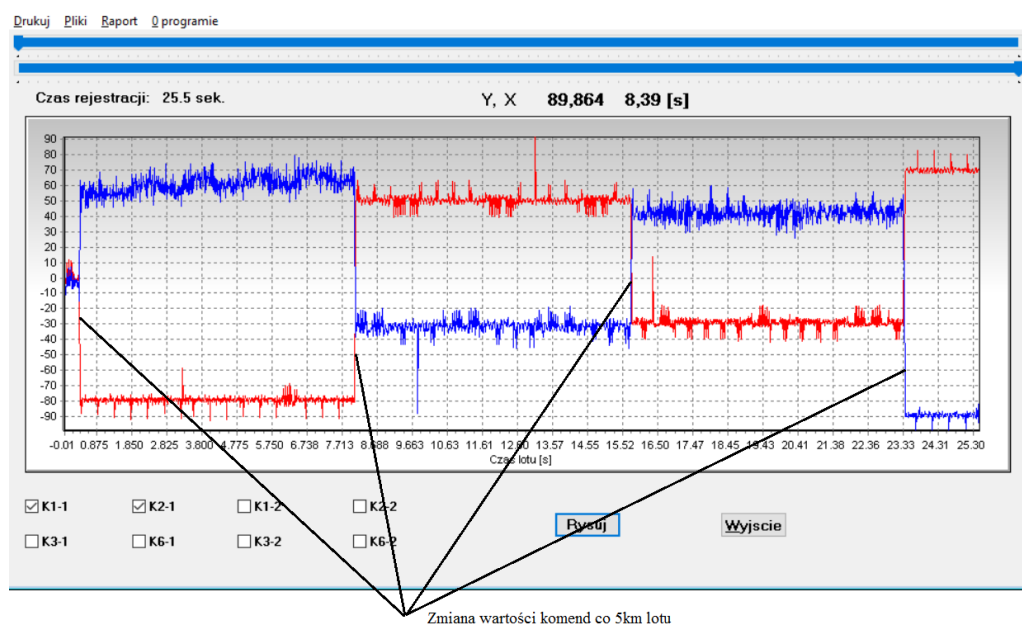


Rys. 6. Przykładowe zobrazowanie na wskaźniku naprowadzania SNR przebiegów zarejestrowanych w trakcie oblotu wraz z wyliczonymi wartościami błędów (WZE, 2016)

Fig. 6. Exemplary display on the MGS control monitor for signals recorded during the check flight with calculated values of errors (WZE, 2016)

Tabela 1 / Table 1

Tryb pracy kanału celu <i>Operation mode of target channel</i>	Błąd / Error			
	Płaszczyzna kątowna $\Phi 1$ lub $\Phi 2$ <i>Angular plane $\Phi 1$ or $\Phi 2$</i>		Odległość D / Distance D	
	Systematyczny <i>Systematic [°]</i>	Fluktuacyjny <i>Fluctuation [°]</i>	Systematyczny <i>Systematic [m]</i>	Fluktuacyjny <i>Fluctuation [m]</i>
Amplitudowy <i>Amplt.</i>	1,0	0,7	15	3
TES Reduction of constant reflections	3,0	2,0	25	5



Rys. 7. Przykładowe zobrazowanie zarejestrowanych komend kierowania

Fig. 7. Exemplary display of recorded controll commands

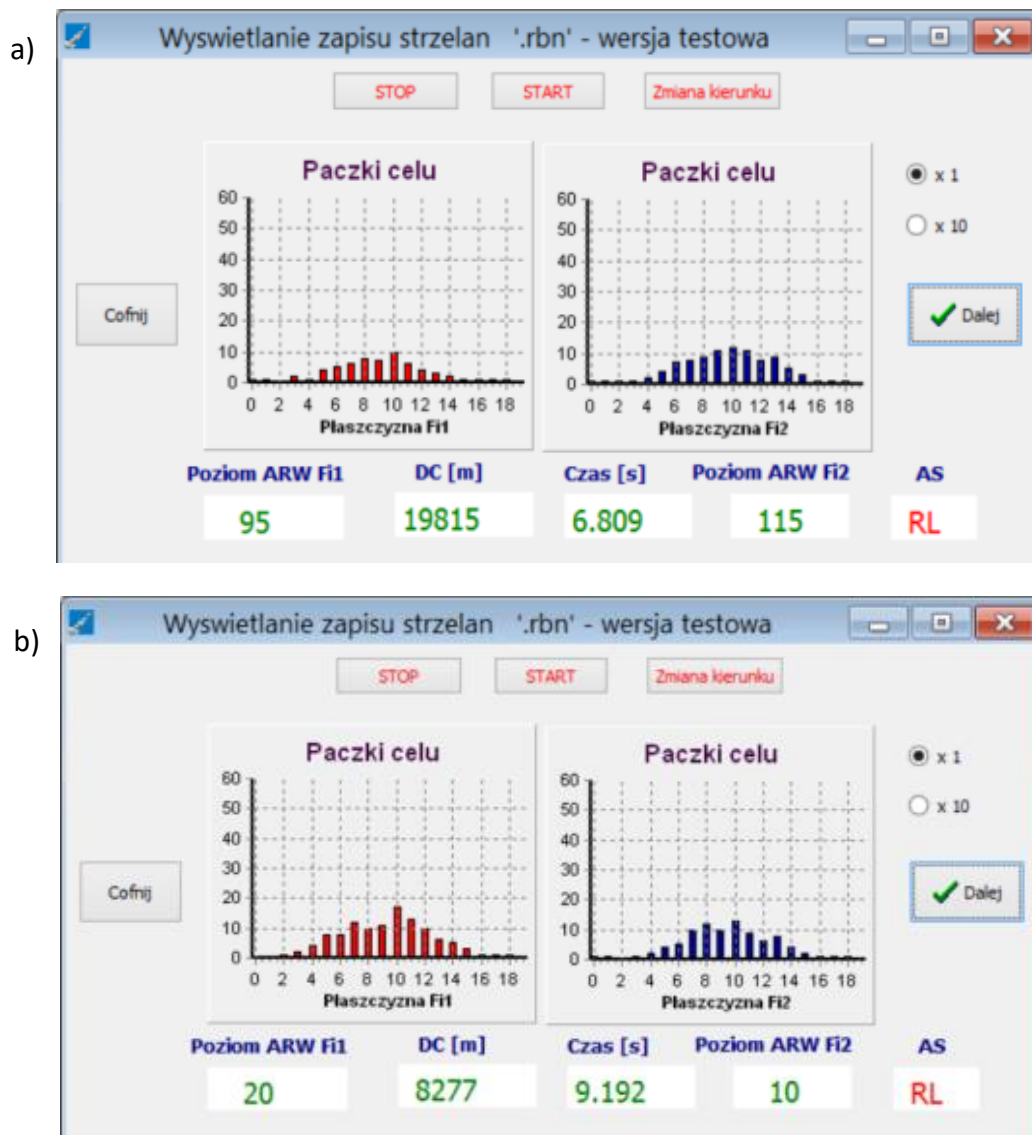
Zmiana wartości komend co 5km lotu – Change of command values by each 5 km of flight
 Czas rejestracji – Recording time

4. Przykładowe wyniki oblotu

Przykładowe wyniki oblotów technicznych SNR z aparaturą oblotową zamontowaną na samolocie SONEX LL na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych Ustka pokazano na rys. 8. Parametry zapisane w plikach 09171202.RBN i 09171206.RBN to zarejestrowane sygnały echa – paczki kąto- we celu dla dwóch wybranych odległości.

4. Check Flights Exemplary Results

Exemplary results of MGS technical check flights with the checking equipment onboard SONEX LL plane carried out at Ustka Central Airforce Training Range are shown in Fig. 8. Parameters recorded in files 09171202.RBN and 09171206.RBN represent the recorded signals reflected from targets – target angular packages for two selected distances.



Rys. 8. Zobrazowanie sygnału echa dla samolotu SONEX LL na odległości a) 20 km i b) 8 km

Fig. 8. Signals reflected from SONEX LL plane for ranges a) 20 km and b) 8 km

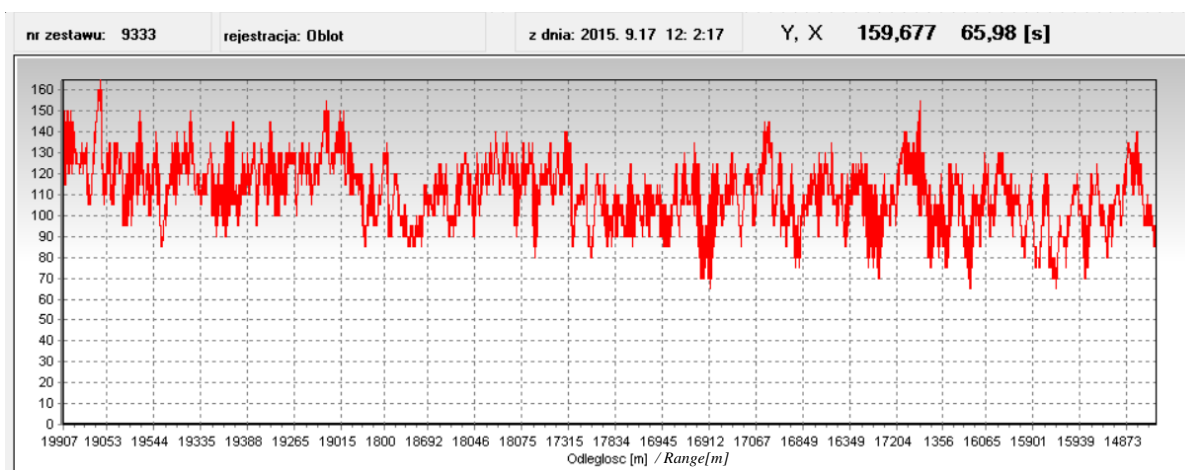
Paczki celu – Target packages

Poziom ARW – Level of Automatic Control of Amplification (ACA)

Czas - Time

Parametrem pozwalającym ocenić wielkość sygnału echa, a zatem powierzchni skutecznej (RCS) samolotu jest poziom napięcia automatycznej regulacji wzmocnienia w kanale głównym celu. Na rys. 9 przedstawiono przykładowy przebieg tego napięcia, przy czym umowne wartości liczbowe z zakresu $0 \div 800$ odpowiadają napięciu ARW z zakresu $0 \div 1$ V.

The level of automatic control of amplification (ACA) for the target main channel is a parameter evaluating the magnitude of the reflected signal, and by the same the plane radar cross section (RCS). An exemplary course of this voltage is shown in Fig. 9 where the numerical values from the range $0 \div 800$ correspond to voltage of the ACA in the range $0 \div 1$ V.



Rys. 9. Przebieg napięcia ARW dla śledzonego samolotu w zakresie odległości $20 \div 15$ km

Fig. 9. Course of the ACA voltage for the tracked plane at distances $20 \div 15$ km

W celu ujednoczenia wyników oblotów na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych Ustka dokonano oblotów porównawczych za pomocą samolotów TS11 Iskra i SONEX LL. Ich wyniki przedstawiono na rys. 10.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano rozwiązania sprzętowe i programowe oblotów technicznych za pomocą aparatury oblotowej zamontowanej na samolocie SONEX LL. Wyniki oblotów dokonanych na Centralnym Poligonie Sił Powietrznych Ustka potwierdziły poprawność przyjętych rozwiązań i możliwość wykorzystania samolotu SONEX LL do wykonywania oblotów technicznych SNR NE-WA SC.

The planes TS11Iskra and SONEX LL were used to standardise the results of check flights carried out at Ustka Central Airforce Training Range. Results of comparison are shown in Fig. 10.

5. Summary

The paper presents some hardware and software solutions for technical check flights deploying the checking equipment onboard the SONEX LL plane. The results of tests carried out at Ustka Central Airforce Training Range have confirmed the correctness of accepted solutions and a possibility for using the SONEX LL plane to execute technical check flights of the MGS of SA-3 GOA SAM system.

a)	Wartość błędu			BŁĄD OBLOTU
	Dopuszczalna Ampl	Średnia	Odchylenie standardowe	
BŁĄD SYSTEMATYCZNY				
$\Phi 1$	1'	0.19	0.20	0.39
$\Phi 2$	1'	-0.03	0.21	-0.25
r	15 m	0.44	6.53	6.97
BŁĄD FLUKTUACYJNY				
$\Phi 1$	0,7'	0.32	0.10	0.42
$\Phi 2$	0,7'	0.37	0.13	0.50
r	3 m	2.33	0.40	2.73

4. Błędy oblotu.

b)	Wartość błędu			BŁĄD OBLOTU
	Dopuszczalna	Średnia	Odchylenie śr. kwadr.	
BŁĄD SYSTEMATYCZNY				
$\Phi 1$	1'	-0.18	0.13	-0.31
$\Phi 2$	1'	-0.44	0.17	-0.62
r	15 m	2.47	7.35	9.82
BŁĄD FLUKTUACYJNY				
$\Phi 1$	0,7'	0.44	0.09	0.53
$\Phi 2$	0,7'	0.46	0.07	0.52
r	3 m	1.20	1.24	2.44

Rys. 10. Wyników oblotów porównawczych SNR a) TS11 Iskra, b) SONEX LL

Fig. 10. Results of comparative MGS check flights: a) TS11 Iskra, b) SONEX LL

Wartość błędu – Value of error

Dopuszczalna amplituda – Permittable amplitude

Średnia – Average

Odchylenie standardowe – Standard deviation

Błąd oblotu – Error of check flight

Błąd systematyczny – Systematic error

Błąd fluktuacyjny – Random error

Odchylenie śr. kw. – Mean square deviation

Literatura / Literature

Wojskowe Zakłady Elektroniczne S.A. (WZE). (2016). *Metodyka wykonywania oblotów technicznych. Stacja naprowadzania rakiet przeciwlotniczego zestawu rakietowego Newa S.C.* Zielonka: Wojskowe Zakłady Elektroniczne S.A.

Podciechowski, M., Rodzik, D., Żygadło, S., Karczmarz, D. i Szkudlarz H. (2016). *Moderнизacja aparatury do przeprowadzania oblotów technicznych PZR NEWA S.C.* IX Konferencja Naukowa „Kierowanie ogniem systemów obrony powietrznej (przeciwlotniczej)”, Ustka.

Zasady organizacji i przeprowadzenia oblotów stacji naprowadzania rakiet typu RSNA-75N, RSN-75W, SNR-125M. Sygn. OPK 935/83. Warszawa: Ministerstwo Obrony Narodowej.

