

Andrzej PAZUR, Andrzej SZELMANOWSKI, Jerzy BOROWSKI,  
Sławomir MICHALAK

## **BADANIA MODELOWE SYSTEMÓW ANTYKOLIZYJNYCH W ZAKRESIE POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA LOTNICZYCH SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH**

### **Streszczenie**

Jednym z elementów zwiększenia bezpieczeństwa lotniczych systemów transportowych jest zastosowanie tzw. systemów antykolizyjnych, wspomagających komunikację systemu antropotechnicznego „człowiek- statek powietrzny”. Współczesne zintegrowane systemy awioniczne (wykorzystujące systemy antykolizyjne) obejmują m.in. układy ostrzegające o potencjalnym zderzeniu pomiędzy statkami powietrznymi w locie (typu TCAS w zakresie „powietrze – powietrze”) oraz o zderzeniu statku powietrznego z ziemią (typu GPWS w zakresie „powietrze – ziemia”). Umożliwiają one nie tylko bezpośrednio informowanie załogi statku powietrznego o wystąpieniu sytuacji zagrożenia kolizją (co jest bardzo ważne podczas lotów manewrowych i w czasie podejścia do lądowania), ale także podają komendy dyrektywne (nakazujące czynności niezbędne dla wykonania manewru „ominięcia” przeszkody). Prowadzone obecnie prace rozwojowe w zakresie systemów antykolizyjnych wskazują na możliwości wykorzystania informacji o sytuacji zagrożenia kolizją w tzw. nahałmowej prezentacji danych. Technicznym rozwiązaniem takiego podejścia mogą być hełmy lotnicze przystosowane do pracy w tzw. cyberprzestrzeni (np. system nahałmowy dla samolotu F-35). W Polsce, przy podobnych pracach prowadzonych przez m.in. ITWL i PCO w ramach modernizacji statków powietrznych z awioniką analogową, pojawił się problem wiarygodności źródeł pozyskania danych o zagrożeniu kolizją i ich przetworzenia do wersji zobrazowania nahałmowego (według standardu GLASS COCPIT). W referacie przedstawiono wyniki przeprowadzonych w ITWL badań modelowych w zakresie wiarygodności informacji otrzymywanej z wybranych systemów antykolizyjnych oraz możliwości zastosowania jej do nahałmowej prezentacji danych dla modernizowanych wojskowych statków powietrznych. Omówiono wybrane metody i układy wykorzystywane do wspomagania pilota w zakresie ostrzegania o sytuacji zagrożenia kolizją (zobrazowanie monitorowe) oraz przedstawiono wybrane wyniki analizy prawdopodobieństwa kolizji statków powietrznych w kontrolowanej przestrzeni powietrznej. Zaprezentowano zestaw nahałmowego systemu wyświetlania parametrów lotu SWPL-1 (zbudowany w Zakładzie Awioniki ITWL) oraz przedstawiono propozycje zastosowania systemu antykolizyjnego na śmigłowcach wojskowych Sił Zbrojnych RP.

### **WSTĘP**

Jednym z elementów zwiększenia bezpieczeństwa lotniczych systemów transportowych jest zastosowanie tzw. systemów antykolizyjnych, wspomagających komunikację systemu antropotechnicznego „człowiek- statek powietrzny”. Współczesne zintegrowane systemy awioniczne (wykorzystujące systemy antykolizyjne) obejmują m.in. układy ostrzegające

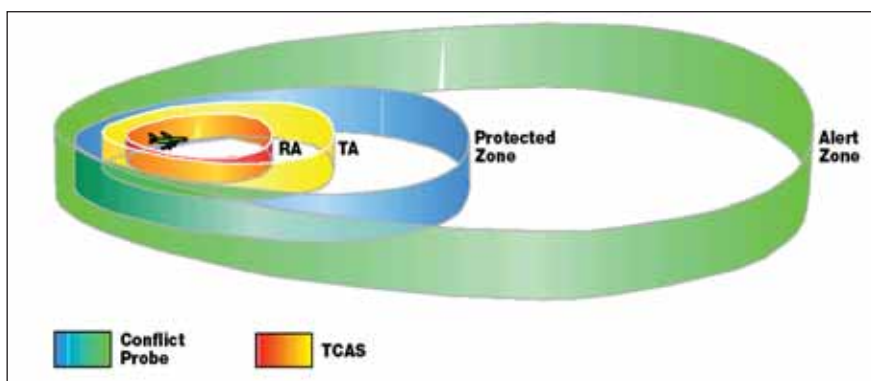
o potencjalnym zderzeniu pomiędzy statkami powietrznymi w locie (typu TCAS w zakresie „powietrze – powietrze”) oraz o zderzeniu statku powietrznego z ziemią (typu GPWS w zakresie „powietrze – ziemia”). Zadaniem systemu TCAS (*Traffic Collision Avoidance System*) jest ograniczenie możliwości kolizji w powietrzu poprzez ostrzeganie pilota o zbliżaniu się innych samolotów. GPWS (*Ground Proximity Warning System*) to system ostrzegający pilotów o odległości ich samolotu w stosunku do ziemi. Ww. systemy umożliwią nie tylko bezpośrednie informowanie załogi statku powietrznego o wystąpieniu sytuacji zagrożenia kolizją (co jest bardzo ważne podczas lotów manewrowych i podczas podejścia do lądowania), ale także podają komendy dyrektywne (nakazujące czynności niezbędne dla wykonania manewru „ominięcia” przeszkody). Utrzymanie statku powietrznego jako wartościowego środka bojowego na współczesnym polu walki wymaga stałego podwyższenia jego zdolności operacyjnych i zdolności przetrwania. Prowadzone obecnie prace rozwojowe w zakresie systemów antykolizyjnych wskazują na możliwości wykorzystania informacji o sytuacji zagrożenia kolizją w najełmowych systemach prezentacji danych m.in. SWPL-1 „Cyklop”.

## **1. SYSTEM ANTYKOLIZYJNY A NAJEŁMOWY SYSTEM ZOBRAZOWANIA DANYCH**

### **1.1. Antykolizyjny system ostrzegawczy TCAS**

W zależności od przeznaczenia statku powietrznego i stopnia komplikacji zintegrowanego systemu awionicznego, pilot dzięki najełmowemu systemowi obrazowania otrzymuje dane o położeniu przestrzennym statku powietrznego, dane radionawigacyjne, informacje o celach i posiadanej broni. Współczesne, zachodnie rozwiązania w zakresie systemów antykolizyjnych bazują na rozwiązaniach informatycznych, a typowy system TCAS stanowi analogię systemu komputerowego. System TCAS monitoruje przestrzeń powietrzną otaczającą samolot poprzez nasłuchiwanie sygnałów z transponderów radaru wtórnego innych statków powietrznych, które mogą stwarzać zagrożenie oraz porozumiewanie się z innymi samolotami wyposażonymi w system TCAS koordynując odpowiednie do sytuacji manewry. System wyświetla na wskaźnikach informacje o sytuacji w powietrzu, ostrzega komunikatami głosowymi o możliwości kolizji w powietrzu oraz w razie konieczności doradza (nakazuje) manewr poziomy niezbędny do uniknięcia kolizji. System wysyła i odbiera następujące informacje o samolotach stwarzających zagrożenie tj. zasięg pomiędzy własnym samolotem a samolotem mogącym stworzyć zagrożenie, względny namiar do samolotu stwarzającego zagrożenie, wysokość oraz prędkość pionową samolotu mogącego stworzyć zagrożenie oraz prędkość zbliżania się do siebie samolotów znajdujących się na kursach kolizyjnych. Przy użyciu tych danych system przewiduje czas i odległość od potencjalnego punktu kolizyjnego z samolotem którego ruch stwarza zagrożenie. TCAS II powinien przewidzieć czy granica bezpieczeństwa może zostać przekroczona i w takim przypadku wygenerować ostrzeżenia ostrzegawcze (TA - Traffic Advisory) w celu ostrzeżenia, że punkt kolizyjny jest w pobliżu. Jeżeli samolot stwarzający zagrożenie będzie kontynuował lot na kierunku kolizyjnym system wyda ostrzeżenie nakazowe (Resolution Advisory) mający na celu zapewnienie bezpiecznej separacji pionowej pomiędzy samolotami znajdującymi się na kursach kolizyjnych. System TCAS wypracowuje nakazy zapewniające bezpieczną separację zakładając, że czas reakcji wynosi 5 sekund [3, 4 s. 1-7].

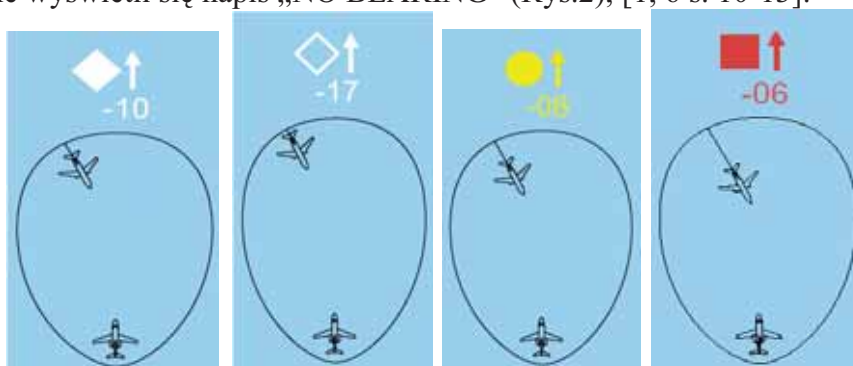
Nakazy zwiększające separację pionową lub zmiana ich kierunku wymaga reakcji w ciągu 2,5 sekundy (Rys.1).



Rys. 1. Strefy ostrzeżenia TCAS [3]

Źródło: [3]

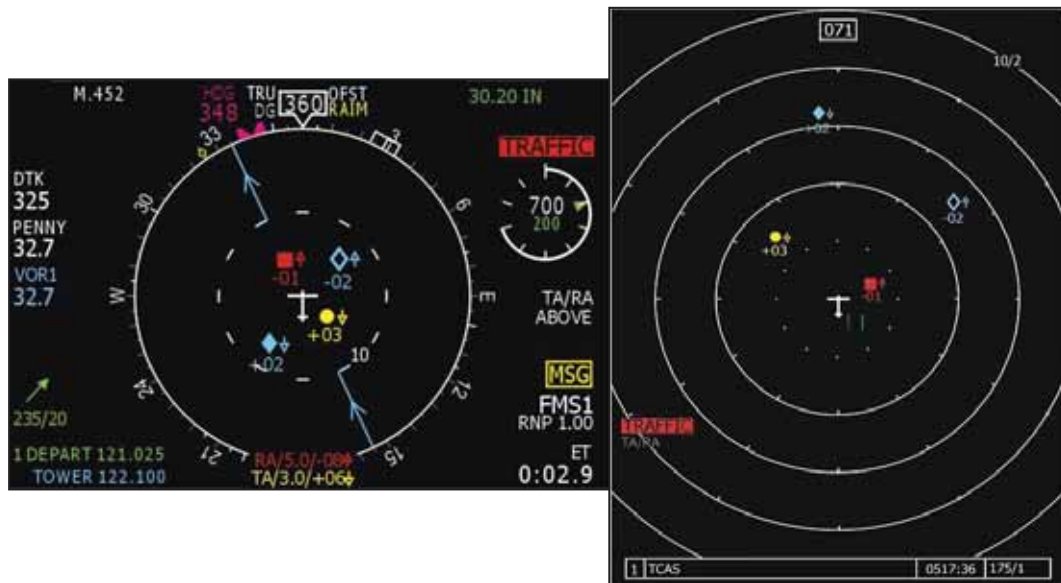
Dwa samoloty wyposażone w system TCAS będą koordynowały swoje nakazy (RA) przy użyciu transponderów pracujących w modzie S. Koordynacja ta zapewnia wygenerowanie przeciwnych ostrzeżeń na samolotach lecących na kursach kolizyjnych. Piloci powinni płynnie, ale stanowczo wykonywać zalecane manewry. Nigdy nie wolno wykonywać manewrów w przeciwną stronę do nakazanych przez system TCAS. System może śledzić do 60 statków powietrznych jednocześnie i wyświetlić na wskaźnikach do 30 samolotów. Wskazania doradcze uwzględniają niewielkie odchyłki od wyliczonej ścieżki lotu w chwili generowania separacji pionowej. System może wyświetlać na wskaźnikach cztery rodzaje ostrzeżeń zależne od położenia samolotu mogącego stworzyć zagrożenie oraz jego prędkości zbliżania się do własnego samolotu. Symbole te zmieniają kolor i kształt tak aby odpowiednio przedstawić poziom zagrożenia i zwrócić uwagę pilota. Symbole ruchu mogą również być połączone z informacją różnicy wysokości (wysokości względnej) pomiędzy samolotami wyrażonej w setkach stóp. Dodatkowo może być wyświetlana informacja czy samolot intruz wznosi się, opada czy też zachowuje stały poziom lotu. Znak „+” przy cyfrach wysokości względnej oznacza że samolot intruz znajduje się powyżej, a znak minus oznacza, że samolot intruz znajduje się poniżej. Strzałka do góry oznacza, że samolot na kursie kolizyjnym (intruz) wznosi się z prędkością 500 stóp/minutę lub większą natomiast strzałka w dół oznacza, że samolot opada w dół z prędkością 500 stóp/minutę lub większa. Cyfry oznaczające wysokość względną oraz tendencję lotu poziomego (wznoszenie, opadanie) nie będą wyświetlane jeśli samolot intruz nie posiada funkcji odpowiedzi w której zawarty jest raport o wysokości (NAR Non Altitude Reporting). Jeżeli natomiast nastąpi błąd w określeniu namiaru na samolot intruz na ekranie wyświetli się napis „NO BEARING” (Rys.2), [1, 6 s. 10-13].



Rys. 2. Przykłady zobrazowania sytuacji powietrznej (ruch nie stwarzający zagrożenia, ruch który może stworzyć zagrożenie, ruch potencjalnie stwarzający zagrożenie i ostrzeżenia nakazowe) [6]

Źródło: [6]

Każdy pilot posiada możliwość sterowania nakładaniem danych z TCAS poprzez ich własne pulpity sterowania oraz wskaźniki. Informacje wyświetlane z systemu TCAS mają zapewnić lepsze zobrazowanie ruchu powietrznego i zróżnicowanie poziomów zagrożenia (Rys.3), [4 s. 11].



**Rys. 3.** Przykłady zobrazowania ruchu powietrznego i zróżnicowanie poziomów zagrożenia [4]

Źródło: [4]

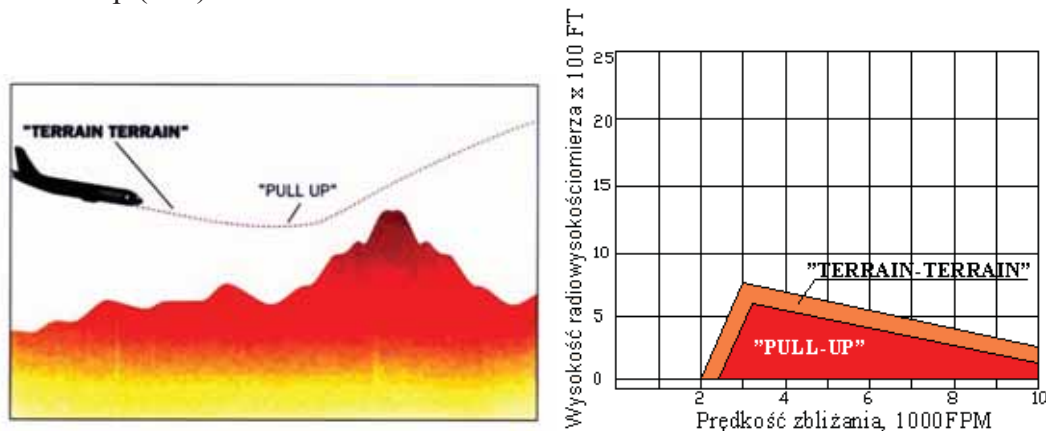
## 1.2. System ostrzegania EGPWS

System EGPWS przeznaczony jest do ostrzegania pilota przed nadmierną prędkością zbliżania się do ziemi, nagłym zmniejszeniu wysokości lotu bez zmiany prędkości pionowej samolotu, nagłym zmniejszeniu się prędkości bez zmiany wysokości samolotu, konieczności wypuszczenia klap, nadmiernej dolnej odchyłce ścieżki schodzenia, zbyt dużym przechyleniu, możliwością zderzenia z przeszkodą terenową lub budowlaną oraz dostarcza komunikaty o wysokości lotu podczas lądowania. System EGPWS wykorzystuje dane z terenowej bazy danych, systemów pilotażowych i radio-nawigacyjnych. Na podstawie tych informacji wypracowywane są ostrzeżenia o zbliżaniu do ziemi. Piloci otrzymują komunikaty głosowe oraz sygnalizację świetlną z odpowiednim wyprzedzeniem, tak aby umożliwić wyprowadzenie samolotu z sytuacji niebezpiecznej [5, s. 1].

W zależności od sytuacji i fazy lotu wyodrębniono sześć trybów działania EGPWS.

1. Przekroczenie prędkości schodzenia - udziela ostrzeżenia "sink rate" przy zbyt gwałtownym zmniejszaniu wysokości lotu. W fazie podejścia końcowego ostrzeżenie jest włączane przy przekroczeniu prędkości pionowej 1000 stóp na sekundę (305 m/s).
2. Wznoszenie się elewacji terenu - W odległości 90 sekund lotu od spodziewanego miejsca przecięcia się toru lotu z powierzchnią ziemi system udziela informacji "caution, terrain" i zapala lampkę "TERR". W odległości 30 sekund od miejsca prognozowanej kolizji włącza się ostrzeżenie "terrain terrain - pull up, pull up" i lampka ostrzegawcza "PULL UP".
3. Utrata wysokości po starcie - System udziela ostrzeżenia "don't sink" (lampka "TERR") jeżeli do wysokości bezwzględnej 50 stóp (15,2 m) samolot przejdzie do schodzenia. Tryb ten jest aktywny do czasu osiągnięcia wysokości 700 stóp (213 m) nad przeszkodami.
4. Przekroczenie wysokości 500 stóp (152,4 m) nad powierzchnią terenu - Zmniejszenie wysokości bezwzględnej do 500 stóp jest sygnalizowane głosem: "five hundred". Tryb ten włącza się gdy samolot leci blisko terenu i tryby 1 i 2 są nieaktywne.

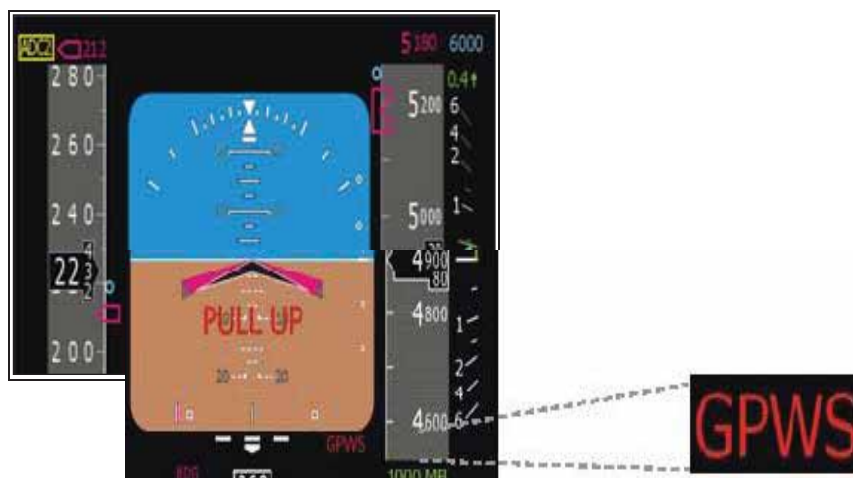
5. Podejście poniżej ścieżki schodzenia - Sygnalizuje zejście poniżej 3 - stopniowej ścieżki schodzenia. Aktywuje się w czasie podejścia według ILS, po wypuszczeniu podwozia.
6. Ostrzeżenie o nadmiernym przechyleniu - Włącza się przy przekroczeniu kąta przechylenia w zależności od wysokości: 40° przy 150 stopach (46 m) nad ziemią do 10° na wysokości 30 stóp (9 m).



Rys. 4. Przykład nadmiernej prędkości zbliżania do ziemi nad zróżnicowanym terenem [5]

Źródło: [5]

Tryb pracy przedstawiony na rysunku 4. odpowiada fazie lotu podczas podejścia do lądowania nad zróżnicowanym terenem. Wejście samolotu podczas lądowania w strefę zagrożenia sygnalizowane będzie sygnalizacją głosową powtarzającym się komunikatem "TERRAIN - TERRAIN" oraz włączeniem się czerwonej lampki ostrzegawczej. Po włączeniu lampki sygnalizacyjnej słyszalny jest głosowy komunikat "PULL-UP". Po usłyszeniu któregośkolwiek z komunikatów należy bezzwłocznie zwiększyć wysokość aż do wyłączenia się sygnalizacji świetlnej i głosowej. Sygnalizacja i komunikaty systemu EGPWS są wyświetlane na wskaźniku wyświetlacza poniżej linii horyzontu. Komunikat „PULL UP” oraz status GPWS SA wyświetlane na czerwono, gdy system EGPWS generuje ostrzeżenia podstawowe (tak jak np. komunikat SINK RATE) oraz ostrzeżenia terenowe. Komunikaty migają przez pięć sekund a następnie są wyświetlane w trybie ciągłym. Stan „GPWS” jest wyświetlany na żółto kiedy tryby ostrzegawcze lub terenowe są aktywne (Rys.5) [5 s. 17].



Rys. 5. Sygnalizacja i komunikaty systemu EGPWS są wyświetlane na wskaźniku wyświetlacza poniżej linii horyzontu. Komunikat „PULL UP” oraz status GPWS [5]

Źródło: [5]

Komunikaty ostrzegawcze generowane są pojedynczo i w przypadku jednoczesnego wystąpienia kilku następujących komunikatów generowane są one w odpowiedniej kolejności zaczynając od komunikatu o najwyższym priorytecie. Przedstawione w tabeli 1 komunikaty ostrzegawcze generowane w odpowiednim trybie pracy systemu [5 s. 12].

**Tab. 1.** Głosowe komunikaty ostrzegawcze [5]

L.p.	KOMUNIKATY GŁOSOWE	
1	<b>BANK ANGLE</b>	Graniczny kąt przechylenia.
2	<b>DON'T SINK</b>	Nie opadaj.
3	<b>FIVE HUNDRED</b>	Przekroczenie wysokości 500ft AGL.
4	<b>GLIDESLOPE</b>	Ścieżka podejścia (zejście poniżej ścieżki podejścia).
5	<b>MINIMUS-MINIMUS</b>	Osiągnięcie wysokości decyzji.
6	<b>PULL UP</b>	Zwiększ wysokość.
7	<b>SINK RATE</b>	Nadmierne opadanie.
8	<b>TERRAIN - TERRAIN</b>	Nadmierna prędkość zbliżania do ziemi.
9	<b>TOO LOW, FLAPS</b>	Niska wysokość, wypuść kłapy.
10	<b>TOO LOW, TERRAIN</b>	Niewystarczająca separacja nad terenem.
11	<b>OBSTACLE, OBSTACLE</b>	Przeszkoda (budowla, antena, itp.).
12	<b>CAUTION TERRAIN</b>	Uwaga teren.
13	<b>CAUTION OBSTACLE</b>	Uwaga przeszkoda.

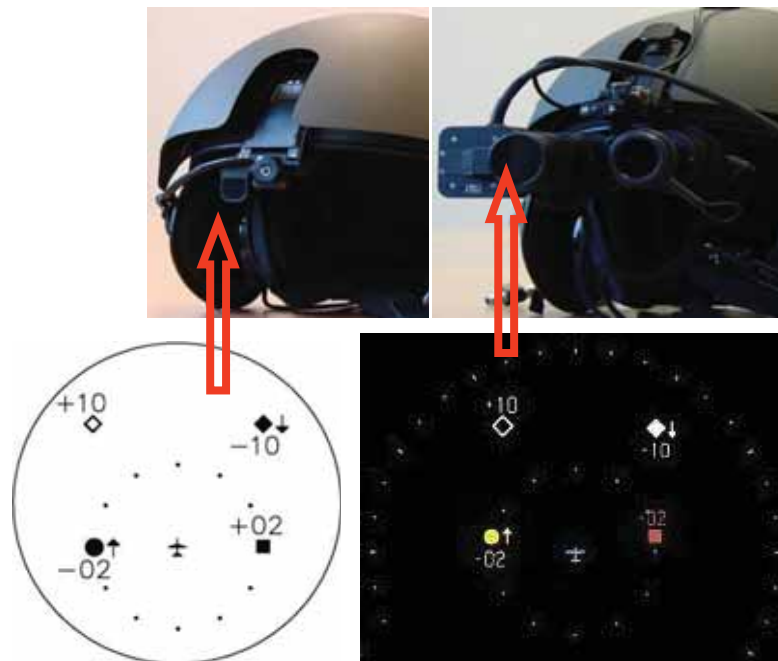
Źródło: [5]

Wychodząc naprzeciw tym wymaganiom oraz w celu poprawy tzw. świadomości sytuacyjnej załóg w zakresie ostrzegawczych systemów antykolizyjnych istnieje możliwość zobrazowania na wyświetlaczu nahełmowym podstawowych informacji m.in. o sytuacji w powietrzu, możliwości kolizji, a także ostrzegania pilota (załogi) przed nadmierną prędkością zbliżania się do ziemi. Zaopatrzenie pilota w coraz doskonalsze pomoce nawigacyjne pozwoli na efektywniejsze wykorzystanie systemu prezentacji danych w nahełmowych systemach oraz podniesie bezpieczeństwo wykonywania lotów.

## **2. PROPOZYCJA SPOSOBU MOŻLIWOŚCI PREZENTACJI DANYCH Z OSTRZEGAWCZYCH SYSTEMÓW ANTYKOLIZYJNYCH W NAHEŁMOWYCH SYSTEMACH ZOBRAZOWANIA**

Prezentacja danych z ostrzegawczych systemów antykolizyjnych na każdym statku powietrznym z zabudowanym urządzeniem TCAS i EGPWS, potwierdziła, że taki system może być zintegrowany z nahełmowym wyświetlaczem parametrów lotu SWPL-1 (Rys.6.). Autonomiczna wersja wyświetlacza nahełmowego znacząco wpłynie na poprawę bezpieczeństwa w czasie wykonywania lotów w trudnym terenie (np. w górach) czy w nocy

z wykorzystaniem gogli noktowizyjnych NVG (ang. Night Vision Gogle) [2]. Głównym celem integracji i zarządzania nahałmowego systemu parametrów lotu na pokładzie śmigłowca wojskowego w zakresie ostrzegawczych systemów antykolidyjnych będzie poprawa świadomości sytuacyjnej pilota w każdych warunkach atmosferycznych poprzez zobrazowanie parametrów z ww. systemów w czasie realizacji zadań taktyczno-operacyjnych.



**Rys. 6.** Nahałmowy wyświetlacz parametrów lotu SWPL-1 i przykład zobrazowania sytuacji zagrożenia w dzień i w nocy [2]

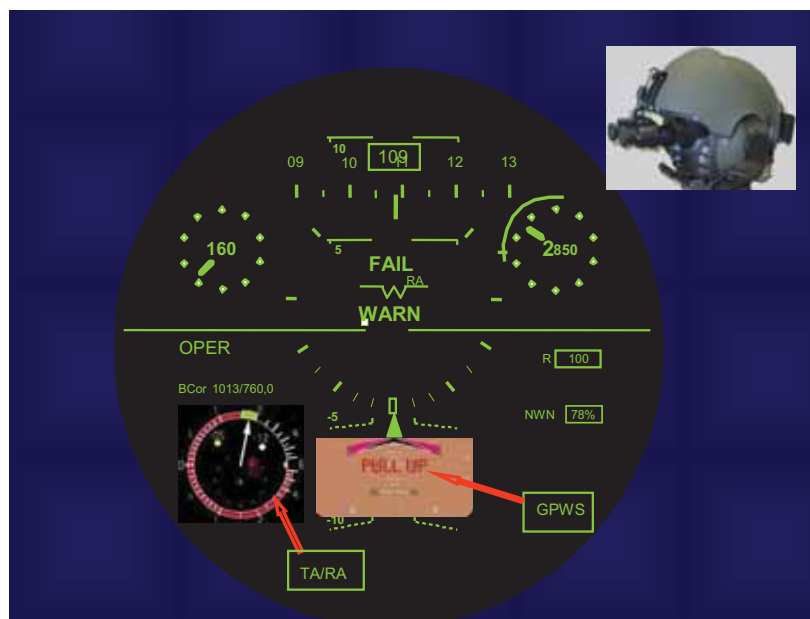
Źródło: [3, 2]

Na wyświetlaczu dziennym i nocnym nahałmowego wyświetlacza parametrów lotu wskazywane są następujące symbole samolotów intruzów.

Zależnie od konfiguracji będą to:

- ruch niegroźny wyświetlany jako otwarty diament (niewypełniony),
- bliski ruch, który może stworzyć zagrożenie wyświetlany jako wypełniony biały diament,
- bliski ruch stwarzający zagrożenie (TA - Traffic Advisory) wyświetlany jako żółty wypełniony okrąg,
- bezpośrednie zagrożenie (RA - Resolution Advisory) wyświetlany jako wypełniony czerwony kwadrat.

Na planszy operacyjnej „OPER” nahałmowego wyświetlacza parametrów lotu SWPL-1 przedstawiono propozycje zobrazowania ostrzegawczych systemów antykolidyjnych TCAS i EGPWS. Pilot podczas wykonywania zadania bojowego może wybierać sobie jedną z plansz, która to w danej fazie lotu jest mu niezbędna (Rys.6).



**Rys. 6.** Nahełmowy wyświetlacz parametrów lotu SWPL-1 i przykład zobrazowania sytuacji zagrożenia na planszy „OPER” [2]

Źródło: [2]

## PODSUMOWANIE

Nahełmowy system parametrów lotu SPL-1 „Cyklop” pozwala na bezpośrednie zobrazowanie informacji z ostrzegawczych systemów antykolizyjnych i podaje komendy dyrektywne związane z ostrzeżeniem o sytuacjach niebezpiecznych w czasie lotu. Każdy śmigłowiec wojskowy wyposażony w systemy TCAS i EGPWS poszerzy swoje możliwości użytkowe i zyska wielofunkcyjność w zakresie wykonywanych zadań operacyjno- taktycznych. Wprowadzenie na pokład śmigłowców nowoczesnych systemów zobrazowania nahełmowego pozwalających na prezentację danych uzyskanych z systemów antykolizyjnych w nahełmowym systemie parametrów lotu SWPL-1 wydaje się idealnym rozwiązaniem. Zobrazowanie na wyświetlaczu nahełmowym ważnej informacji jaką jest m.in. ostrzeżenie załogi przed kolizją z innym statkiem powietrznym oraz ostrzeżeniem przed szybkim zbliżaniem się do ziemi (przeszkody) podwyższyłoby nie tylko świadomość sytuacyjną pilota w ramach wykonywanego zadania ale również skróciłoby czas na reakcję w przypadku zagrożenia dając w efekcie lepsze wykorzystanie tego systemu.

Ponadto zasadniczym celem integracji i zarządzania nahełmowego systemu parametrów lotu na pokładzie wojskowego statku powietrznego w zakresie ostrzegania przez systemy antykolizyjne będzie znaczne podniesienie poziomu poprawy bezpieczeństwa lotów w lotnictwie śmigłowcowym, odciążenie pilota/załogi poprzez brak konieczności rozglądania się po wskaźnikach na kokpicie w czasie realizacji zadań lotniczych. Otwarta architektura nahełmowego wyświetlacza parametrów lotu oraz kontrola nad oprogramowaniem integracyjnym pozwala na przygotowywanie integracji z systemami antykolizyjnymi oraz zarządzanie tworząc nowoczesny nahełmowy system zobrazowania parametrów pilotażowo-nawigacyjnych.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Allied Signal Collision Avoidance System CAS 67 ACAS II Pilot's Guide.* USA 1999.
2. Borowski J. i inni., *System Wyświetlania Parametrów Lotu SWPL-1 dla Śmigłowców Mi-17. Opis Techniczny i Instrukcja Użytkowania.* BT ITWL Warszawa 2010.



3. *System Antykolizyjny TCAS II CAS 67A. Opis Techniczny samolotu M28B/PT.* Mielec 2010, CZĘŚĆ III – URE.
4. *System Antykolizyjny TCAS-4000. Opis Techniczny samolotu M28B/PT GLASS COCKPIT.* Mielec 2010, CZĘŚĆ III – URE.
5. *System Ostrzegania EGPWS. Opis Techniczny Samolotu M28B/PT.* Mielec 2010, CZĘŚĆ II – OSPRZĘT.
6. *TCASII/ACASII, Collision Avoidance System User's Manual.* USA 2000.

## **THE MODEL-BASED STUDY ON ANTI-COLLISION SYSTEMS AS TO IMPROVE SAFETY OF AIR TRANSPORTATION SYSTEMS**

### **Abstract**

*Application of the so-called anti-collision systems that support communication within the anthropo-technical, i.e. the 'human being – aircraft', system is one of many and various ways to improve safety of any air transportation systems. Modern integrated avionic systems (within which anti-collision systems are most often used) cover, among other items, systems to warn of possible mid-air collision between aircraft (TCAS, for 'air-to-air' applications, a type of Airborne Collision Avoidance System) and those to alert pilots to the possibility of flying into the ground (GPWS, for 'air-to-ground' dangers, a type of Terrain Awareness and Warning System). Both allow the pilots/aircrews to be directly informed about the occurrence of the risk of collision (which is extremely important while performing a high-maneuvrability flight or during the aircraft's approach to landing). What is more, they provide the aircrew with directive commands that indicate specific actions/manoeuvres to avoid obstacle/collision. Development work on anti-collision systems, under way just now, prove there is a chance to use information on the risk of collision in the so-called helmet-mounted display (HMD). This approach may be illustrated with flight helmets adapted to operate within the so-called cyberspace (e.g. the HMD system for the F-35 Joint strike Aircraft). Similar works carried out in Poland by, among other companies, ITWL and PCO under a common project targeted at upgrading aircraft furnished with analogue avionics have given rise to a number of questions. Reliability of sources of data on the risk of collision and the data processing to meet the HMD requirements following the GLASS COCKPIT standard are among the most important ones. The paper has been intended to present results of the ITWL-conducted model-based studies on the reliability of information/data received from some selected anti-collision systems, and on capabilities to apply it to helmet-mounted display systems for upgraded military aircraft.*

### **Autorzy:**

dr inż. **Andrzej Pazur** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie – Zakład Awioniki [andrzej.pazur@itwl.pl](mailto:andrzej.pazur@itwl.pl),

dr inż. **Andrzej Szelmanowski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie – Zakład Awioniki [andrzej.szelmanowski@itwl.pl](mailto:andrzej.szelmanowski@itwl.pl),

dr inż. **Jerzy Borowski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie – Zakład Awioniki [jerzy.borowski@itwl.pl](mailto:jerzy.borowski@itwl.pl),

dr inż. **Sławomir Michalak** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych w Warszawie – Zakład Awioniki [slawomir.michalak@itwl.pl](mailto:slawomir.michalak@itwl.pl).