

**KONCEPCJA CYFROWEJ PLATFORMY LOTNICZEJ DO
REALIZACJI MISJI OBSERWACYJNYCH W RAMACH TRAKTATU
O OTWARTYCH PRZESTWORZACH**

**CONCEPT OF A DIGITAL AERIAL PLATFORM FOR CONDUCTING
OBSERVATION FLIGHTS UNDER THE OPEN SKIES TREATY**

Piotr Walczykowski, Agata Orych

Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii, Instytut Geodezji,
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Wojskowa Akademia Techniczna

SŁOWA KLUCZOWE: teledetekcja, sensory cyfrowe, Traktat o Otwartych Przestworzach

STRESZCZENIE: W 1992 r. w Helsinkach został podpisany Traktat o Otwartych Przestworzach (*Treaty on Open Skies*), w którym Polska uczestniczy od samego początku. Do zadań Traktatu należy przede wszystkim zwiększenie otwartości działań militarnych podejmowanych przez Państwa-Strony i nadzór nad przestrzeganiem postanowień porozumień rozbrojeniowych. Zobowiązania podpisane w Traktacie wypełnia się poprzez wykonywanie oraz przyjmowanie określonej liczby lotów obserwacyjnych nad terytorium sygnatariuszy Traktatu. Spośród 34 państw obecnie uczestniczących w porozumieniu tylko niektóre dokonały certyfikacji samolotu i zainstalowanej aparatury obserwacyjnej. Strona Polska należy do grona państw, które nie posiadają własnej platformy i w celu wywiązywania się z ustalonych postanowień Traktatu, wynajmuje samolot AN-30B od Strony Ukraińskiej. Wstępnie Traktat określał możliwość wykorzystania jedynie analogowych sensorów do pozyskiwania danych obrazowych.

Wraz z rozwojem techniki cyfrowej zanotowano wzrost zapotrzebowania na produkty bazujące na tego typu technologii. Obecnie fotografia cyfrowa jest wykorzystywana w wielu dziedzinach życia i nauki. Przyczyniło się to do większego rozwoju aparatury cyfrowej, wykorzystującej coraz to nowsze, bardziej innowacyjne rozwiązania. Cyfrowe produkty cechuje wiele zalet i obecnie prawie całkowicie wyparły one tradycyjne aparaty na film.

Cyfrowa technika zapoczątkowała nową erę w *Open Skies*. Idąc z duchem czasu Komisja Konsultacyjna do spraw Traktatu, po przeprowadzeniu badań, podpisała nową Decyzję, będącą załącznikiem do Traktatu, zezwalającą na wykorzystanie cyfrowych aparatów lotniczych podczas realizacji misji.

Głównym celem artykułu jest opracowanie koncepcji zastosowania cyfrowych sensorów oraz wyboru statku powietrznego, czyli cyfrowej platformy lotniczej, która mogłaby być wykorzystywana przez Polskę na potrzeby realizacji misji *Open Skies*. Dokonano analizy statków powietrznych będących na uzbrojeniu Sił Powietrznych Rzeczypospolitej Polskiej, pod kątem ich przydatności i możliwości adaptacji jednego z nich w celu wykorzystania podczas misji *Open Skies*. Następnie dokonano przeglądu nowoczesnych lotniczych sensorów cyfrowych oferowanych przez wiodących producentów rynku komercyjnego, oraz dodatkowo przeanalizowano zgodność parametrów tych sensorów z postanowieniami Traktatu i jego decyzjami.

1. TRAKTAT O OTWARTYCH PRZESTWORZACH

Treaty on Open Skies (Traktat o Otwartych Przestworzach) jest międzynarodowym porozumieniem umożliwiającym jego sygnatariuszom wykonywanie nieuzbrojonych lotów obserwacyjnych nad terytorium pozostałych jego członków. Celem Traktatu jest umocnienie, głównie z militarnego punktu widzenia, wzajemnego zrozumienia i zaufania poprzez umożliwienie swoim uczestnikom samodzielnego pozyskiwania informacji o siłach zbrojnych i działaniach innych Państw.

Traktat jednoznacznie określa rodzaj aparatury, która może zostać użyta podczas wykonywanego lotu. Są to: aparaty fotograficzne - panoramiczne i kadrowe - o minimalnej dopuszczalnej terenowej zdolności rozdzielczej (GRD – ang. *Ground Resolved Distance*) 30cm; kamery telewizyjne z monitorem, zobrazowaniem w czasie rzeczywistym - o GRD > 30cm; termalne skanery liniowe - o GRD > 50cm oraz radary obserwacji bocznej z syntetyczną aperturą - o GRD > 3m (Orych, 2011). GRD jest miarą rzeczywistej rozdzielczości przestrzennej wyznaczanej na podstawie analizy zobrazowań specjalnie skonstruowanych celów kalibracyjnych. Z racji braku możliwości praktycznych badań analizowanych sensorów, ich przeglądu pod kątem rozdzielczości przestrzennej wykonano na podstawie wartości teoretycznych GSD (ang. *Ground Sampling Distance*).

Według proponowanej aktualizacji Decyzji 14, będącej załącznikiem do Traktatu *Open Skies* (dot. aparatury obserwacyjnej w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni), dozwolone byłoby wykonywanie lotów obserwacyjnych z wykorzystaniem następujących sensorów:

1. Kamery wykorzystujące filtr „Bayer’a” (bez ograniczeń odnośnie zakresów spektralnych poszczególnych elementów filtra).
2. Sensory pozyskujące zobrazowania w oddzielnych kanałach (zarówno skanery liniowe jak i kamery kadrowe), które spełniają następujące warunki:
 - 2.1. Wartość środkowa zakresu wynosi: $0.47 \pm \Delta\lambda \mu\text{m}$ (dla kanału niebieskiego) i/lub $0.547 \pm \Delta\lambda \mu\text{m}$ (dla kanału zielonego) i/lub $0.635 \pm \Delta\lambda \mu\text{m}$ (dla kanału czerwonego).
 - 2.2. Szerokość zakresu $D\lambda$ dla każdego kanału nie może przekraczać czterokrotnego odchylenia wartości środkowej tego kanału od nominalnej długości fali dla danego kanału (niebieski – $0.47 \mu\text{m}$, zielony – $0.547 \mu\text{m}$ i czerwony – $0.635 \mu\text{m}$). Oznacza to, że szerokość zakresu każdego kanału musi spełniać zależność $D\lambda \geq 4 \Delta\lambda$.

Zgodnie z nowym zapisem, zabronione byłoby wykonywanie zobrazowań za pomocą sensorów zaprojektowanych w sposób umożliwiający uzyskiwanie rozdzielczości lepszej, niż ta określona wielkością elementu sensora (rozdzielczość subpikselowa). Przykładem tego typu sensorów są skanery typu *pushbroom* z kilkoma linijkami detektorów pozyskujących promieniowanie w jednym paśmie, przesuniętych względem siebie w kierunku prostopadłym do kierunku skanowania. (Walczykowski *et al.*, 2010)

2. KONCEPCJA CYFROWEJ PLATFORMY LOTNICZEJ

Polska jest sygnatariuszem Traktatu od początku jego istnienia, czyli już 20 lat. Regularne wykonywanie zaplanowanych misji zapewnia nam porozumienie ze Stroną Ukraińską, od której wypożyczamy samolot AN-30B z certyfikowaną konfiguracją sensorów. Aby w przyszłości móc prawidłowo funkcjonować w ramach Traktatu, Strona Polska, korzystając z doświadczeń innych Państw członkowskich, musi rozważyć jedną z czterech istniejących metod realizacji misji. Pierwszym z rozwiązań jest dalsza współpraca ze Stroną Ukraińską lub porozumienie z innym państwem członkowskim w celu korzystania z ich sprzętu. Kooperacja taka nie jest jednak bezpłatna, wypożyczenie samolotu wiąże się z poniesieniem kosztów związanych z eksploatacją, uzupełnieniem paliwa i wielu innych. Rozwiązanie takie wydaje się rozsądne zważywszy na fakt, iż w ramach Traktatu Strona Polska ma prawo wykonywać w ciągu roku tylko 6 lotów obserwacyjnych, z których przeważnie wykonuje jedynie 3.

Drugim sposobem realizacji zobowiązań stawianych przez Traktat jest zastosowanie na potrzeby lotu obserwacyjnego podwieszanego zasobnika lotniczego. Polega to na stworzeniu bądź zakupie zasobnika, którego aparatura obserwacyjna jest zgodna z postanowieniami Traktatu, oraz dokonaniu niezbędnych, konstrukcyjnych zmian w samolocie w celu podwieszenia zasobnika. Należy pamiętać, że samolot wyposażony w stosowną aparaturę nie musi być przeznaczony tylko i wyłącznie na cele misji, możliwe jest jego aktywne eksploataowanie w innych dziedzinach np. do monitorowania klęsk żywiołowych.

Trzecia możliwość realizacji misji *Open Skies* przewiduje współpracę z innymi państwami i eksploatację jednego zasobnika. Przykładem może być praca istniejącej Grupy POD, która wykorzystuje podwieszany zasobnik SAMSON na samolocie Hercules. Rozwiązanie to polega na zawarciu porozumienia z państwami, które również nie posiadają własnej aparatury i zmuszone są, jak Polska, współpracować z jednym z państw członkowskich Traktatu, aby móc realizować przewidziane loty obserwacyjne. Porozumienie takie zakłada stworzenie wspólnego podwieszanego zasobnika rozpoznawczego, który spełnia wymagania stawiane przez Traktat i dołączone do niego Decyzje. Taka forma współpracy wydaje się być ekonomiczna i opłacalna, ponieważ koszty stworzenia i utrzymania zasobnika dzielone są na wszystkich użytkowników. Wiąże się jednak z koniecznością koordynacji i dokonywaniu wcześniejszych ustaleń odnośnie terminów planowanych misji, tak, aby nie doszło do nieporozumień wynikających z sytuacji, w której w tym samym czasie dwa lub więcej Państw planuje posłużyć się zasobnikiem. Dodatkowym utrudnieniem jest również konieczność wykonania przed planowaną misją dodatkowego lotu po zasobnik, który może znajdować się w znacznej odległości od planowanego miejsca obserwacji, co powoduje zwiększenie kosztów misji.

Czwartym rozwiązaniem i jednocześnie warunkiem stania się Stroną niezależną w ramach realizacji misji, jest konieczność wprowadzenia na użytek państwa własnej platformy lotniczej, która podobnie jak w przypadku własnego obserwacyjnego podwieszanego zasobnika lotniczego, poza wykonywaniem zadań związanych z misjami *Open Skies*, może świadczyć usługi na rzecz służb wojskowych i cywilnych.

Światowy rozwój techniki cyfrowej zapoczątkował pracę nad możliwością wdrożenia nowych rozwiązań rejestracji obrazu na potrzeby realizacji misji obserwacyjnych. Komisja Konsultacyjna do spraw Traktatu, po przeprowadzeniu badań, opracowała Decyzję 14-stą, będącą załącznikiem do Traktatu, która zezwala na wykorzystanie cyfrowych aparatów lotniczych w ramach misji. Kamery cyfrowe znacznie różnią się możliwościami od tradycyjnych aparatów analogowych. Obrazy cyfrowe w porównaniu z obrazami wykonanymi metodami tradycyjnymi charakteryzują się znacznie lepszym zakresem dynamicznym i rozdzielczością radiometryczną. Uzyskują bardziej efektywną rozróżnialność obiektów o dużym kontraście oraz lepszą reprodukcję barw. Kamery cyfrowe dają szybki dostęp do danych, umożliwiają podgląd zdjęć w czasie rzeczywistym, oraz zmniejszają koszty otrzymanego produktu. Cyfrowe zdjęcia otrzymane z aparatów typu matrycowego można w procesie opracowania fotogrametrycznego traktować jak tradycyjne zdjęcia lotnicze po zeskanowaniu. Obecnie istnieje duża konkurencja firm produkujących lotnicze kamery cyfrowe, co daje możliwość wyboru spośród szerokiej oferty produktów. Cyfrowe kamery osiągnęły wysoką zdolność obrazowania, uzyskując GSD wielkości kilku centymetrów podczas lotu na niskiej wysokości. Stosując najlepsze kamery cyfrowe z zachowaniem GSD 30cm, lot obserwacyjny musiałby być wykonany na wysokości 10000-13000m. Strony posiadające platformy lotnicze z zainstalowanymi kamerami analogowymi, nadal będą korzystać ze swoich dotychczasowych rozwiązań, jednak w perspektywie najbliższych lat wydaje się pewne, że wszyscy sygnatariusze Traktatu zamienią analogowe kamery lotnicze kamerami cyfrowymi. Pierwszy krok w stronę rozwoju nowej generacji misji *Open Skies* poczyniła Strona Federacji Rosyjskiej, adaptując fabrycznie samolot TU-214OS i wyposażając go w najnowsze dostępne sensory cyfrowe, spełniające założenia Traktatu. W sytuacji zdecydowanego ukierunkowania nowych Decyzji w stronę cyfrowej aparatury obserwacyjnej, wprowadzenie na użytek tradycyjnej platformy lotniczej wyposażonej w konfigurację, na którą składa się analogowa kamera obserwacyjna wraz z filtrem optycznym i tradycyjnym filmem fotograficznym wydaje się rozwiązaniem bardzo niekorzystnym. Biorąc pod uwagę postęp technologiczny i stosując się do nowych postanowień zawartych w Decyzjach, najlepszym rozwiązaniem dla Polski jest wdrożenie własnej, cyfrowej platformy lotniczej. Niewątpliwie, zastosowanie takiej platformy ze względu na specyficzny charakter potrzeb, znacznie wpłynie na możliwość skutecznego i ekonomicznego realizowania przyjętych zobowiązań w ramach Traktatu, w wypełnieniu, których Polska bierze aktywny udział.

W związku z powyższym, opracowano projekt cyfrowej platformy lotniczej, która mogłaby być wykorzystywana przez Polskę do realizacji misji *Open Skies*. Zgodnie z założeniami Traktatu samolot obserwacyjny może być wyposażony w kadrowe i panoramiczne aparaty fotograficzne, kamery telewizyjne, termalne skanery liniowe oraz radar obserwacji bocznej z syntetyczną aperturą. W opracowaniu skupiono się na doborze kamery cyfrowej z tablicą sensorów CCD, która odpowiada tradycyjnym aparatom kadrowym.

2.1. Wybór samolotu – platformy lotniczej

Pod pojęciem cyfrowej platformy lotniczej rozumie się odpowiednio dobrany pod kątem przeznaczenia, statek powietrzny oraz odpowiednią kamerę cyfrową, która będzie zainstalowana na pokładzie wybranego samolotu. Pierwszym zadaniem jest

wyselekcjonowanie właściwego nościela–platformy. Istnieją trzy zasadnicze rozwiązania tego problemu.

Po pierwsze, można zakupić nowy typowo fotogrametryczny statek powietrzny, którego za względu na swoją konstrukcję, będzie przeznaczony wyłącznie do realizacji misji. Jednak takie rozwiązanie nie jest opłacalne i z pewnością nie jest praktyczne.

Drugim rozwiązaniem jest adaptacja fabryczna samolotu. Najlepszym wyborem jest samolot transportowy, którego adaptacja dla potrzeb realizacji misji *Open Skies* musiałby nastąpić na etapie jego budowy i samolot ten służyłby tylko do tych celów. Przykładem takiej adaptacji jest samolot TU-214OS, który powstał na bazie TU-214 i który ma za zadanie zastąpić samoloty TU-154 oraz AN-30B, na których wykonywane są loty obserwacyjne przez Stronę Federacji Rosyjskiej.

Trzecim rozwiązaniem jest adaptacja doraźna samolotu, polegająca na przystosowaniu do potrzeb misji już wyprodukowanego statku powietrznego, najlepiej samolotu transportowego, z zachowaniem jego pierwotnego przeznaczenia. Ponieważ projekt własnej cyfrowej platformy lotniczej wiąże się z bardzo wysokimi kosztami, opcja adaptacji doraźnej jednego ze statków powietrznych będących na uzbrojeniu Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej wydaje się najbardziej korzystna z punktu widzenia ekonomicznego.

W rozumieniu Traktatu *Open Skies* samolot obserwacyjny oznacza nieuzbrojony, nieprzystosowany do przenoszenia i używania broni stałopłat, przeznaczony do prowadzenia lotów obserwacyjnych. Dlatego też dokonano szczegółowej analizy statków powietrznych pod względem wymagań stawianych samolotom obserwacyjnym. Przede wszystkim samolot musi być odpowiednich gabarytów, aby na jego pokładzie można było zainstalować kamerę zamontowaną na podwieszeniu, jak również szereg modułów należących do aparatury np. moduł centralny z pulpitem sterującym zarządzający kamerą i pozostałymi elementami instalacji. Dodatkowo należy zapewnić załodze, operatorom sprzętu i uczestnikom lotu dogodne warunki do wykonywania pracy podczas lotu. Należy również zwrócić uwagę na to, by w przyszłości mieć możliwość wyposażyc samolot w dodatkową aparaturę określoną przez Traktat. Biorąc pod uwagę powyższe wymagania, najdłużej służące w Siłach Zbrojnych samoloty typu AN-2, An-28 i M-28M Bryza - ze względu na ich parametry - nie spełniają stawianych oczekiwań.

Kolejnym ważnym elementem jest możliwość modyfikacji konstrukcji samolotu, z myślą o przystosowaniu go na potrzeby misji i montażu podwieszanego zasobnika lotniczego. Grupa POD podwiesza zasobnik Samson w samolocie C-130 Hercules, w miejsce dodatkowego zbiornika paliwowego znajdującego się pod lewym skrzydłem, pomiędzy silnikami. Samolot transportowy C-130E Hercules - jego parametry techniczne, gabaryty, warunki pilotażowo–nawigacyjne i ładowność spełniają wszystkie oczekiwania stawiane maszynie wykonującej loty obserwacyjne. Wojsko Polskie posiada tylko trzy samoloty tego typu i są one w dużym stopniu zaangażowane w realizowanie misji zagranicznych, w których Polska bierze udział. Próba wykorzystania ich do dodatkowych zadań może stwarzać problemy.

Spośród samolotów transportowych będących na uzbrojeniu Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej najodpowiedniejszym modelem statku powietrznego do realizacji

misji *Open Skies* jest samolot transportowy EDAS-CASA C-295. Przeróbka konstrukcji polegająca na umieszczeniu zasobnika pod skrzydłem nie jest wprawdzie możliwa, ale spełnia on wszystkie oczekiwania stawiane modelowi platformy lotniczej. Samolot wyposażony jest w instalację pokładową, w skład której wchodzi instalacja paliwowa, elektryczna, hydrauliczna, ciśnieniowa wnętrza kabiny, tlenowa i przeciwpożarowa. Dodatkowym atutem jest produkcja podzespołów dla samolotu w PZL-Warszawa - Okęcie. Zainstalowanie sensora cyfrowego na pokładzie samolotu transportowego CASA C-295M mogłoby być rozwiązaniem na stworzenie cyfrowej platformy lotniczej na potrzeby Polski. Strona Turecka pokazała, że możliwe jest dokonanie technicznych przeróbek na pokładzie i zainstalowanie aparatury obserwacyjnej, certyfikując w 2004 roku w Niemczech samolot CASA CN-235, który był bazą do projektu C-295.

Jednym z istotnych parametrów determinującym możliwość adaptowania doraźnego samolotu jest zasięg samolotu, który powinien zapewnić możliwość wykonania długiego lotu, przy użyciu pełnych zbiorników paliwa, bez dodatkowego tankowania. Parametr ten jest zależny od obciążenia platformy, warunków atmosferycznych, prędkości i wysokości lotu obserwacyjnego. Pułap lotu może decydować o powodzeniu bądź niepowodzeniu misji. Również i ten warunek najlepiej spełnia C-295, osiągając zasięg do 5000km ciągłego lotu.

2.2. Wybór cyfrowej aparatury obserwacyjnej wchodzącej w skład cyfrowej platformy lotniczej

Dążąc do stworzenia w pełni cyfrowej platformy lotniczej, należy do samolotu CASA C-295 wyselekcjonować odpowiednią aparaturę obserwacyjną, która będzie spełniała wymagania stawiane przez Traktat i załączone Decyzje. W tym celu dokonano przeglądu nowoczesnych cyfrowych kamer lotniczych, oferowanych przez wiodących producentów rynku fotograficznego, dostępnych na rynku komercyjnym wszystkich państw członkowskich Traktatu.

Analizie poddano wybrane lotnicze kamery cyfrowe z tablicą sensorów CCD oraz kamery cyfrowe z linią sensorów CCD wybranych kontrahentów: Intergraph Z/I Imagine, Microsoft Vexcel Imaging GmbH, LEICA Geosystems, IGI – Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH oraz DiMAC- Aerial Imaging Solutions.

Na podstawie warunków stawianych przez Decyzję nr 14, do wykonywania lotów obserwacyjnych w ramach Traktatu, nie mogą służyć kamery cyfrowe uzyskujące rozdzielczości subpikselowe (cyfrowe kamery ADS40 oraz ADS80 firmy Leica Geosystem). Akceptowane są natomiast kamery, w których obraz rejestrowany jest na tablicy sensorów CCD w ściśle określony sposób. Aby spełnić kryteria określone w Decyzji, na platformie samolotu CASA C-295 możliwe jest zainstalowanie wszystkich kamer z firmy Intergraph Z/I Imaging, Microsoft Vexcel, IGI, DiMAC oraz kamera RCD105 firmy Leica Geosystem.

Należy zwrócić uwagę na charakter wykonywanej przez kamerę pracy oraz okoliczności, w jakich będzie musiała funkcjonować. Najważniejszym parametrem, jaki musi spełnić proponowana konfiguracja (samolot i kamera) jest zachowanie odpowiedniego pułapu, aby terenowa zdolność rozdzielcza nie była lepsza niż 30cm dla cyfrowej kamery. Podczas realizacji misji *Open Skies* najlepszym rozwiązaniem jest osiągnięcie pułapu, na

jakim samolot obserwacyjny będzie znajdował się poniżej wysokości chmur, w celu automatycznego wyeliminowania czynnika zachmurzenia mogącego przeszkodzić w realizacji misji. Chmury niskie tworzą się na wysokość ok 2 km, średnie od 2 do 7 km, a wysokie od 5 do 13 km. Najlepszym rozwiązaniem jest wykonywanie lotów obserwacyjnych na wysokości mniejszej niż 2 000 m. Ze względu na bardzo wysokie możliwości obrazowania nowoczesnych kamer pułap ten jest zbyt niski, dlatego aby przynajmniej częściowo wyeliminować czynnik zachmurzenia dobrze jest wykonywać loty obserwacyjne na wysokości do 4 000 m.

Wszystkie z analizowanych aparatów cyfrowych są w stanie wykonywać zobrazowania terenu o znacznie większej rozdzielczości od dozwolonych 30cm. Producenci reklamując swoje produkty zapewniają, że ich kamery są w stanie osiągnąć rozdzielczość rzędu kilku centymetrów wykonując zdjęcia z ustalonej wysokości. Na uzyskanie określonej rozdzielczości obrazu składają się wysokość lotu, długość ogniskowej oraz wymiar jednego piksela na matrycy CCD. Ze względu na ograniczenia dozwolonych rozdzielczości, używając kamery o obiektywach długoogniskowych i najnowszych matrycach, wzrasta konieczność wykonywania lotu obserwacyjnego na większym pułapie.

Wybór jednej kamery, która byłaby stosowana w ramach misji *Open Skies* jest bardzo trudny, ponieważ wszystkie przedstawione powyżej cyfrowe kamery spełniają stawiane im wymagania, a samolot jest w stanie udźwignąć każdą z nich wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem.

Czynnikiem decydującym o wyborze właściwej aparatury obserwacyjnej jest również całkowita kwota konieczna na pokrycie kosztów zakupu samego systemu, w skład którego wchodzi cyfrowa kamera lotnicza, odpowiedni panel sterowania, nośniki pamięci, oprogramowanie, okablowanie, a także wydatki związane ze szkoleniem personelu, dalszą eksploatacją i serwisowaniem.

Niemieckie firmy Intergraph Z/I Imaging i Leica zainicjowały rozwój lotniczych kamer cyfrowych, przedstawiając kamery DMC oraz ADS-40 podczas XIX Kongresu Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji w 2000 r. w Amsterdamie. Na kolejnym kongresie w 2004r. w Istambule kamerę UltraCAM zaprezentowała Austriacka firma Vexcel Imaging GmbH. Seria kamer DMC oraz UltraCAM oferują podobne rozwiązania i są porównywalne pod względem rozdzielczości, jednak kamery UltraCAM są znacznie tańsze od kamer DMC. Obie firmy posiadają dystrybutorów na terenie Polski z siedzibą w Warszawie.

Po wnikliwej analizie, do zbudowania cyfrowej platformy lotniczej na potrzeby misji *Open Skies* wybrano szerokokątną cyfrową kamerę lotniczą UltraCam Xp WA. Konstrukcja tej kamery bazuje na wcześniejszej wersji UltraCam Xp. Zastosowano w niej nowe obiektywy charakteryzujące się wysoką jakością, rozdzielczością, ogniskową - 70mm do pozyskiwania zobrazowań panchromatycznych oraz ogniskową 23mm do pozyskiwania zobrazowań barwnych i w bliskiej podczerwieni. Rozmiar matrycy wynosi 103.9 x 68,4mm, rozmiar obrazu panchromatycznego stanowi 196 megapikseli (17 310 x 11 310 pikseli), rozmiar obrazu barwnego składa się z 5 770 x 3 770 pikseli, a każdy z nich ma wielkość 6 x 6 μm . Teoretyczna minimalna wysokość lotu H_{\min} z zachowaniem GSD = 30 cm wynosi 3 500 m, a pas pokrycia terenu na tej wysokości równa się 5 193

x 3 393 m. Transfer na poziomie 2.5 Gb/s pozwala zgromadzić na pokładowych nośnikach pamięci o pojemności 4.2 TB - 6600 kadrów.

Postanowienia Traktatu umożliwiają zastosowanie zamontowanych na platformie kamer w innych dziedzinach niż tylko w celach realizacji misji *Open Skies*. Cyfrowa platforma lotnicza może zostać wykorzystana przykładowo w celach monitorowania środowiska naturalnego i skutków klęsk żywiołowych, może zapewnić prowadzenie monitoringu terenów zurbanizowanych, infrastruktury przemysłowej, zasiewów i kompleksów zielonych, jak również monitorować zanieczyszczenia wód, gleb, kompleksów leśnych np. substancjami ropopochodnymi. Uwzględniając dodatkowe możliwości wykorzystania cyfrowej kamery lotniczej najlepszym rozwiązaniem jest wybór kamery, której matryca CCD rejestruje długości fal w zakresie widzialnym (RGB) i w podczerwieni (NIR). Firmami produkującymi kamery o takich parametrach są Intergraph Z/I Imaging, Vexcel Imaging GmbH oraz kamera RCD 105 firmy Leica.

2.3. Koncepcja dostosowania samolotu casa c-295, jako platformy lotniczej

Samolot przeznaczony do pracy podczas misji *Open Skies* powinien spełniać określone wymagania, między innymi: charakteryzować się zmniejszonym wpływem wibracji silników, dużą stabilnością lotu, jak również powinien zapewnić bezpieczeństwo i wygodną pracę uczestnikom lotu. Dodatkowo musi mieć możliwość wykonania technicznych zmian w konstrukcji, które umożliwią montaż zespołu aparatury obserwacyjnej, stanowisk pracy operatorów wraz z pomocniczym wyposażeniem. Stanowiska operatorów powinny być rozmieszczone w sposób zapewniający wygodną obsługę, dogodny dostęp do kamer i sprzętu pomocniczego.

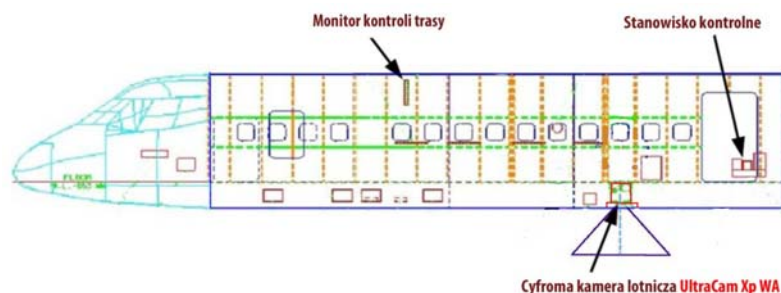
Przy dostosowywaniu wnętrza samolotu CASA C-295 należy wziąć pod uwagę przede wszystkim możliwość dokonania zmian w konstrukcji samolotu, polegających na wykonaniu otworu w podłodze służącego jako fotoluk do zamontowania kamery obserwacyjnej. Fotoluk musi być wykonany o średnicy odpowiednio dostosowanej do danego rodzaju aparatury obserwacyjnej i sposobu mocowania kamery, uwzględniając grubość kadłuba. Stanowisko kamery powinno być zaprojektowane blisko środka ciężkości samolotu, w miejscu o małym wpływie wibracji silnika, które zapewni dogodny dostęp do kamery i sprzętu pomocniczego, z dala od silnych zawirowań aerodynamicznych, od ujścia paliwa i olejów silnikowych.

Fotoluk może być wykonany w kadłubie samolotu na wysokości skrzydeł, w tylnej części ładowni. W tak wykonanym fotoluku może być zainstalowane podwieszenie, na którym zainstalowana zostanie cyfrowa kamera. Od zewnętrznej strony kadłuba samolotu otwór musi być zabezpieczony odpowiednią zasuwą.

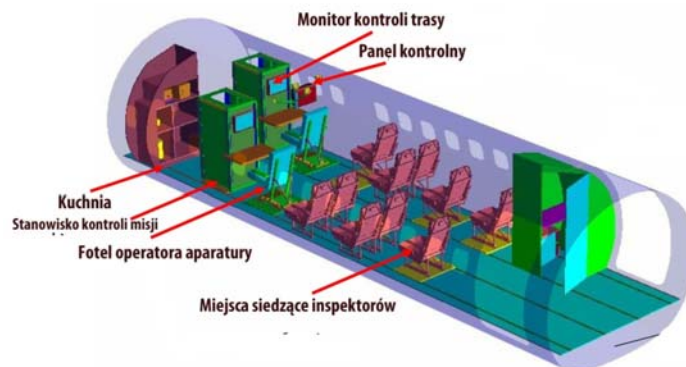
Szerokość wnętrza kadłuba C-295 wynosi 2.70 m, tak więc w środkowej jego części, w osi poprzecznej samolotu, można zamontować cyfrową kamerę lotniczą UltraCam Xp WA o wymiarach: 50 x 36 x 65 cm. Kamera może być zamontowana na jednym z pierścieni adoptujących: PAV-30, PAV-80, Z/I T-AS, GSM3000.

Wnętrze kabiny musi być wyposażone w siedziska przeznaczone dla uczestników lotu, zarówno strony obserwującej jak i obserwowanej. Załogę statku stanowi dwóch pilotów w tym jeden pilot-dowódca samolotu oraz jeden technik pokładowy. Uczestnikami

lotu mogą być ze strony obserwującej: operatorzy aparatury obserwacyjnej, reprezentanci lotu i tłumacz, zaś ze strony obserwowanej: kontrolerzy lotu i tłumacz, ze strony trzeciej: reprezentant, inspektor, osoba towarzysząca.



Rys. 1. Widok przekroju samolotu z boku wraz z propozycją montażu aparatury obserwacyjnej (OSF8-Turcja)



Rys. 2. Widok przykładowego wnętrza samolotu CASA C-295M, opracowanie własne w oparciu o źródło (OSF8-Turcja)

3. WNIOSKI

Państwa członkowskie Traktatu w perspektywie najbliższych lat, ze względu na rozwój techniki cyfrowej oraz nowe możliwości pozyskiwania zobrażeń w ramach porozumienia, zamienią dotychczas stosowane platformy lotnicze z zainstalowaną tradycyjną aparaturą obserwacyjną na nowe cyfrowe platformy lotnicze. Dążąc do umacniania pozycji na arenie międzynarodowej Polska mogłaby stworzyć własną cyfrową platformę lotniczą, która pozwoliłaby jej stać się niezależną Stroną Traktatu.

Stworzenie własnej platformy lotniczej w celu realizacji misji jest jednym z możliwych rozwiązań. Istnieją jeszcze inne sposoby takie jak stworzenie Grupy POD, bądź zastosowanie zasobnika na użytek indywidualny.

Aparaturę obserwacyjną zarówno zainstalowaną na platformie jak i w postaci zasobnika można wykorzystać również w innych celach, nie tylko do realizacji misji *Open Skies*.

Opracowanie koncepcji cyfrowej platformy lotniczej wymagało obszernego przeglądu literatury, zapoznania się z Traktatem i jego dalszymi Decyzjami, przeanalizowania wielu aspektów, zalet i wad technicznych parametrów środków latających oraz aparatury obserwacyjnej.

4. LITERATURA

Walczykowski, P., Orych, A., „Wybrane problemy z wyznaczaniem zdolności rozdzielczej sensorów wykorzystywanych w ramach misji Open Skies”, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej Vol. 59, nr 2, s. 309-323, Warszawa, 2010.

Orych, A. „Metodyka prowadzenia analizy wizualnej zobrażeń cyfrowych w celu wyznaczania dopuszczalnej wysokości lotu dla misji Open Skies Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej Vol. 60, nr 3, s. 321-334, Warszawa, 2011.

OPEN SKIES FORMAT (OSF) 8 - Designation/addition of an observation aircraft type or model and its installed sensors (one message per aircraft type or model), System Description part A, System Engineering part A. TURCJA.

CONCEPT OF A DIGITAL AERIAL PLATFORM FOR CONDUCTING OBSERVATION FLIGHTS UNDER THE OPEN SKIES TREATY

KEY WORDS: remote sensing, digital sensors, Treaty on Open Skies

Summary

The Treaty on Open Skies, to which Poland is a signatory from the very beginning, was signed in 1992 in Helsinki. The main principle of the Treaty is increasing the openness of military activities conducted by the States-Parties and control over respecting disarmament agreements. Responsibilities given by the Treaty are fulfilled by conducting and receiving a given number of observation flights over the territories of the Treaty signatories. Among the 34 countries currently actively taking part in this Treaty only some own certified airplanes and observation sensors. Poland is within the group of countries who do not own their own platform and therefore fulfills Treaty requirements using the Ukrainian An-30b.

Primarily, the Treaty only enabled the use of analogue sensors for the acquisition of imagery data. Together with the development of digital techniques, a rise in the need for digital imagery products had been noted. Currently digital photography is being used in almost all fields of studies and everyday life. This has led to very rapid developments in digital sensor technologies, employing the newest and most innovative solutions. Digital imagery products have many advantages and have now almost fully replaced traditional film sensors.

Digital technologies have given rise to a new era in Open Skies. The Open Skies Consultative Commission, having conducted many series of tests, signed a new Decision to the Treaty, which allows for digital aerial sensors to be used during observation flights.

The main aim of this article is to design a concept of choosing digital sensors and selecting an airplane, therefore a digital aerial platform, which could be used by Poland for Open Skies purposes. A thorough analysis of airplanes currently used by the Polish Air force was conducted in terms of

their specifications and the possibility of their employment for Open Skies Treaty missions. Next, an analysis was conducted of the latest aerial digital sensors offered by leading commercial manufacturers. The sensors were analyzed in terms of the accordance of their specifications with the technical requirements of the Treaty.

Dane autorów:

Dr inż. Piotr Walczykowski
e-mail: pwalczykowski@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 90 21

Mgr inż. Agata Orych
e-mail: aorych@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 9269