

Nadia NAWROCKA
Zuzanna KUNECKA*

ROZWIĄZANIE INITIAL 4D TRAJECTORY MANAGEMENT JAKO SZANSA NA ROZWÓJ TECHNOLOGICZNY W LOTNICTWIE

Słowa kluczowe: *4D, i4D, SESAR, technologia, lotnictwo, trajektoria, zarządzanie ruchem lotniczym*

Tematem artykułu jest perspektywa wprowadzania nowoczesnej technologii 4D. Na początku zostanie przedstawiona idea programu SESAR ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązania i4D. W dalszej części zostaną rozważone wyzwania stawiane tej technologii, potrzeby, na które jest ona odpowiedzią. Następnie przeanalizowane zostaną testy badające funkcjonalność operacyjną w każdej dziedzinie i pod każdym względem, a także przybliżony pierwszy lot z zastosowaniem czterowymiarowego zarządzania trajektorią lotu. Artykuł zawiera wnioski dotyczące strategii wprowadzania technologii i4D oraz subiektywną ocenę autorki artykułu na szansę wprowadzenia tego rozwiązania.

1. WSTĘP

Technologia 4D jest częścią programu SESAR. SESAR (Single European Sky ATM Research) jest projektem unowocześnienia systemu zarządzania przestrzenią lotniczą realizowanym przez państwa członkowskie Unii Europejskiej przy współpracy z Eurocontrol. Jego celem jest stworzenie jednolitej, europejskiej przestrzeni powietrznej. Założenia inicjatywy SESAR obejmują wzrost przepustowości lotnisk, a co za tym idzie, redukcję opóźnień w ruchu lotniczym, ograniczenie kosztów lotów i – co w obecnych czasach jest jednym z ważniejszych aspektów – redukcję negatywnego wpływu lotnictwa na środowisko. Realizacja programu została podzielona na trzy części: faza planowania, faza opracowywania i faza wdrożenia. W celu realizacji działań w ramach dwóch pierwszych faz zostało założone partnerstwo „SESAR Joint Undertaking - SJU”, które łączy 19 członków, reprezentantów przemysłu, instytucje zapewniające służby żeglugi powietrznej (w Polsce jest to PAŻP), jednostki zarządzające portami lotniczymi itd. SJU jest czynnikiem łączącym środowisko badawczo-rozwojowe w lotnictwie z doświadczeniem podmiotów lotniczych oraz dostępnymi środkami. Wdrażanie w ramach fazy trzeciej jest realizowane poprzez indywidualne podmioty, których dotyczą konkretne rozwiązania. Rozwój tego przedsięwzięcia wymaga dużego zaangażowania wszystkich partnerów programu SESAR.

* Koło Naukowe „Logistics”, Politechnika Wroclawska

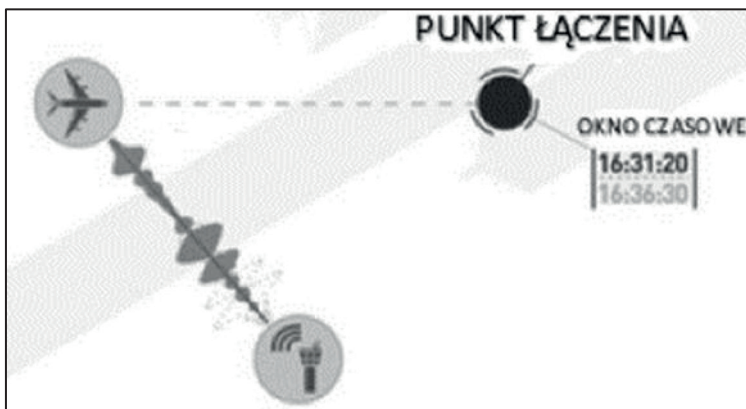
2. TRAJEKTORIA LOTU I4D

2.1. DEFINICJA I4D

Jednym z kluczowych przedsięwzięć SESAR jest właśnie zarządzanie trajektorią lotu 4D. Wprowadzenie zarządzania trajektorią 4D zaplanowano na dwa etapy. Pierwszy nazywa się Initial 4D (i4D), o którym mowa, a drugi to Full 4D. Co to takiego i dlaczego 4D? Trzy wymiary przestrzenne: szerokość i długość geograficzna, wysokość oraz wprowadzony do zarządzania trajektorią lotu czwarty wymiar, czyli czas. Pozwala to na określenie z większą precyzją – w porównaniu z obecnie wykorzystywanymi systemami – informacji o przewidywalnej trajektorii lotu samolotu, które można przekazać ośrodkom kontroli, aby zagwarantować optymalne i bezpieczne operacje lotnicze. I4D zapewnia lepszą synchronizację między samolotem a naziemną kontrolą ruchu lotniczego. Tym sposobem można powiązać obecną pozycję statku powietrznego z jego intencjami i optymalizować profil lotu w zależności od zmieniających się intencji statku powietrznego i zapewnić mu praktycznie nieograniczoną, optymalną trajektorię tak długo, jak to możliwe, w zamian za to, że samolot bardzo dokładnie dotrzyma czas przylotu do wyznaczonego punktu. Początkowe operacje 4D polegają na nałożeniu ograniczenia czasowego w punkcie połączenia na każdy statek powietrzny zbliżający się do tego punktu, w celu sekwencjonowania ruchu przed przylotem.

2.2. ALGORYTM OPERACJI WYKONYWANEJ Z WYKORZYSTANIEM I4D

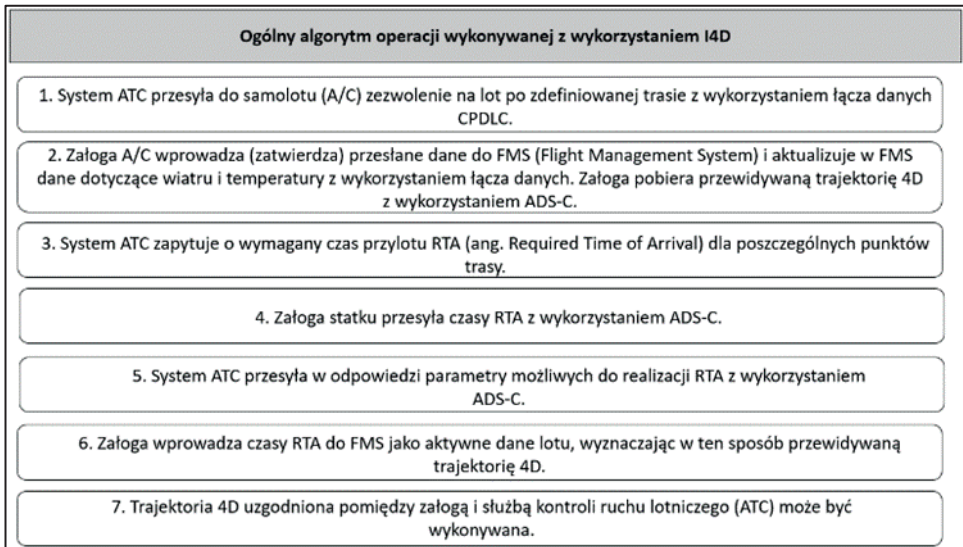
W tej koncepcji samolot i kontrola ruchu lotniczego ustalają z dużym wyprzedzeniem docelowy czas, w którym statek powietrzny osiągnie punkt połączenia. Umożliwia to nałożenie ograniczenia czasowego w punkcie połączenia (MP) na każdy statek powietrzny zbliżający się do tego punktu, w celu sekwencjonowania ruchu przed przylotem. Typowym punktem połączenia może być punkt początkowego podejścia (IAF), w pobliżu zatłoczonego lotniska.



Rys. 1. Wizualizacja nakładania punktu połączenia MP [2]

Fig. 1. Visualization of MP connection point overlap [2]

Usługi oferowane w ramach rozwiązania komunikacyjnego 4DTRAD (4D Trajectory Data Link) bazują na przesłaniu z pokładowego systemu FMS (ang. Flight Management System) do systemu ATM (Air Traffic Management) trajektorii 4D, która znajduje się w systemie pokładowym i powstała w oparciu o złożony plan lotu (FPL) i dane pochodzące z informacji meteorologicznych dla planowanej trasy i ładunku statku powietrznego. W następnych krokach następuje koordynacja trajektorii 3D (bez czasu) pomiędzy systemami naziemnymi oraz pomiędzy systemem naziemnym i systemem pokładowym, a także zatwierdzenie trajektorii przez załogę. Pozwala to przesyłać do systemu naziemnego wyliczone, przewidywane czasy osiągnięcia poszczególnych punktów trasy. Spodziewane czasy są następnie podstawą do negocjacji warunków kontroli w systemie ATM i wskazania dodatkowych ograniczeń czasowych wynikających z różnych systemów, takich jak np. systemu zarządzania pojemnością przestrzeni oraz systemu ETFMS (ang. Enhanced Tactical Flow Management System) [1].

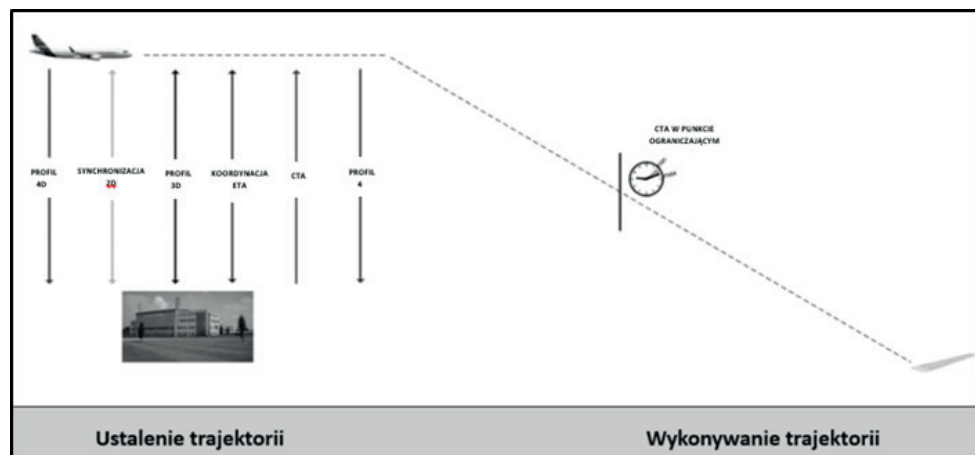


Rys. 2. Ogólny algorytm operacji wykonywanej z wykorzystaniem I4D [1]

Fig. 2. General algorithm of operation performed using I4D [1]

Po tym wszystkim samolot może już przelecieć swoim optymalnym profilem zniżania aż do tego punktu. Wymaga to bardzo zaawansowanej interakcji pomiędzy kontrolerami a statkiem powietrznym, która nie jest sterowana głosowo przez kontrolera, a przebiega za pośrednictwem wymiany komunikatów łącza danych CPDLC- jest to łączność kontrolera z pilotem za pomocą łącza danych [1]. Zasada działania systemu jest prosta i można ją porównać do dobrze nam znanego wysyłania wiadomości SMS : do każdego samolotu jest przypisany unikalny adres (tak jak numery w telefonach), a instrukcje są wyświetlane w formie tekstowej. Za pomocą

CPDLC kontroler może np. narzucić kurs, wymusić zmianę prędkości, nakazać zmianę poziomu lotu, zezwolić na lot po skręcie itp. Działa to w dwie strony - zarówno kontroler może wysyłać informacje do pilotów i na odwrót [3]. Po koordynacji między systemem naziemnym, a statkiem powietrznym i ustaleniu trajektorii samolot może latać do wyznaczonego punktu i realizować trajektorię bez instrukcji głosowych od kontrolerów. Liczy się to, aby statek powietrzny dotarł do punktu w określonym wcześniej oknie czasowym. Tym sposobem możliwe jest przejście z lotów z ograniczeniami w obecnym systemie ATM na loty zoptymalizowane.



Rys. 3. Schemat przelotu z użyciem trajektorii 4D [4]

Fig. 3. 4D trajectory flight diagram [4]

3. 4D JAKO ODPOWIEDŹ NA POTRZEBY I WYZWANIA

3.1 I4D ODPOWIEDZIĄ NA POTRZEBY RUCHU LOTNICZEGO

Technologia 4D jest odpowiedzią na wiele problemów. Po pierwsze - odejście od błędnych praktyk w lotnictwie. Ta technologia pozwala na kompleksowe i daleko- siężne poprawienie przepływu ruchu lotniczego. Mimo tego, że przeloty samolotów planuje się w oparciu o dostępne sloty i tak zdarzają się sytuacje ze skomplikowanym przepływem ruchu, a w niektórych, wyjątkowych sytuacjach stosuje się tzw. holding – manewr zapewniający utrzymywanie się statku powietrznego w określonej przestrzeni powietrznej podczas oczekiwania na dalsze zezwolenie. Ma to miejsce zwłaszcza na terenie dużych lotnisk, w obszarach o wzmożonym ruchu lotniczym, który może prowadzić do opóźnień. Kiedy tak się dzieje samoloty zużywają swój potencjał eksploatacyjny, a dodatkowo niski poziom wysokości potęguje uciążliwy hałas – czyni to cały proces bardzo kosztownym i szkodliwym dla środowiska. Dlatego ważne jest kompleksowe planowanie i przewidywanie w celu uniknięcia takich sytuacji – to umożliwi 4D. Po drugie jest to szansa na odejście od podejścia

bazującego na kluczowej roli kontrolera ruchu lotniczego. Taka klasyczna koncepcja wiąże się z wieloma ograniczeniami wpływającymi w szczególności na pojemność systemu zarządzania ruchem lotniczym ATM/CNS (ang. Air Traffic Management/Communication, Navigation, Surveillance). Ograniczenia te występują w obszarze:

- radiowej łączności głosowej, która jest podstawą wymiany informacji pomiędzy kontrolerem i pilotem i wymaga potwierdzenia prawie każdego działania, a wraz ze wzrostem ruchu lotniczego wykorzystanie wpływa na dostępność częstotliwości radiowych w paśmie lotniczym,
- podatności łączności głosowej na zakłócenia transmisji i przekłamania, co powoduje obowiązek stosowania potwierdzeń i przy tym zwiększa zajętość pasma radiowego,
- pojemności sektora kontroli ruchu lotniczego, która jest rozumiana jako największa ilość statków powietrznych, jaka może być bezpiecznie w nim kontrolowane,
- dzielenia sektorów ruchu lotniczego na mniejsze elementy przestrzeni, co prowadzi do zwiększonego nakładu pracy kontrolera; wynika to z konieczności przekazywania kontroli ruchu lotniczego pomiędzy sektorami [1].

Wszystko to oraz przewidywania, że ruch lotniczy znacząco wzrośnie w ciągu najbliższych lat skłoniło do zajęcia się kwestią przepustowości, udziałem kontrolera oraz środowiskiem i emisją hałasu. I to właśnie na te potrzeby technologia zarządzania trajektorią 4D jest odpowiedzią.

3.2 TESTY SYSTEMU I ICH WYNIKI

W ramach przedsięwzięcia przeprowadzono już z dobrym skutkiem, w środowisku operacyjnym opartym na satelitarnej technologii wspomagającej, pierwsze loty z zastosowaniem czterowymiarowego zarządzania trajektorią lotu. Pierwszym z takich lotów i premierą był lot Airbusa A320 w lutym 2012 z Tuluzy we Francji do Kopenhagi w Danii poprzez przestrzeń powietrzną centrum kontroli w Maastricht. Podczas lotu informacje o trajektorii statku powietrznego zawierające aktualne i przewidywane pozycje były wymieniane z zainteresowanymi instytucjami zapewniającymi służby żeglugi powietrznej i lotniskami.

Od technologii 4D od początku wymagano prawidłowego działania, odpowiedniej dopuszczalności operacyjnej, szeregu korzyści wynikającej z systemu oraz ujednoczenia w zakresie danych i nawigacji. Opracowano metodę testowania bezpieczeństwa i zestaw narzędzi pomocniczych w celu oceny odporności protokołów komunikacyjnych, sprawności aplikacji i innych elementów systemu. Przeprowadzono niezliczoną ilość testów na różnych płaszczyznach. Wszystkie prace powietrzne i naziemne były ściśle kontrolowane przez specjalistów. Symulacje i testy lotnicze zajęły ponad 400 godzin i obejmowały testowanie systemu w kabinie lotniczej, testy techniczne, symulacje łączące różne systemy oraz testy lotnicze SESAR.

Testy sprawdzania poprawności w locie kwalifikują się do 3 wersji programu SESAR, co wskazuje na znajdowanie się prototypów w ostatnim etapie walidacji przed rozpoczęciem produkcji przemysłowej. Przed samym testem w locie prototypy zostały zintegrowane ze stanowiskiem symulacyjnym. Symulatory kokpitu połączone z symulatorami ATC wykorzystane zostały do oceny użyteczności funkcji zarówno przez pilotów, jak i kontrolerów. Przygotowania do lotu obejmowały 9 sesji próbnych ze sprzężonymi symulatorami. Sesje te miały na celu rozwiązanie pewnych ograniczeń systemu, dopracowywanie scenariuszy testów i niektórych aspektów interoperacyjności, a także zapoznanie się lotniczej załogi testowej i kontrolerów z planem lotów. Należy zaznaczyć, że załoga pilotów nie przeszła żadnych specjalnych szkoleń czy ćwiczeń przed testami, aby sprawdzić, czy system jest na tyle dostępny w obsłudze, żeby każdy pilot mógł się nim swobodnie posługiwać. Jednak próby w locie to tylko jedna część spośród kilku składających się na koncepcję operacyjną 4D. Próba lotnicza była demonstracją techniczną wykonalności manewrów w prawdziwych warunkach.

Celem prób było skonfrontowanie systemu z rzeczywistymi warunkami i środowiskiem. Wskaźniki wybrane do oceny zostały zdefiniowane poprzez uwagi zgłoszone przez pilotów i kontrolerów podczas lotu oraz analizę inżynierską działań i reakcji osób oraz systemu, które były obserwowane i nagrywane. Możliwa była ocena pracy technologii i wpływu trudnych warunków pogodowych, czy innych sytuacji takich jak turbulencje oraz błędów załogi wywołanych stresem i presją. Rezultaty testów prezentowały się następująco:

- Po testach i symulacjach stwierdzono, że system działa prawidłowo, awionika jest na wysokim poziomie oraz osiągnięto dokładność CTA +/- 10 sekund przy 95% niezawodności.
- Poziom automatyzacji został uznany przez pilotów za zadowalający, z wyjątkiem wymaganego ręcznego wprowadzania aktualnych danych dotyczących temperatury dla profilu zniżania, co uznali za niepotrzebne utrudnienie.
- Stwierdzono, że system jest dobrze zintegrowany z kokpitem, a dopuszczalność operacyjna została potwierdzona przez pilotów i inżynierów testujących system, a także pilotów linii lotniczych.

Ogólne wnioski świadczą o dobrym prosperowaniu projektu. Uznano, że system oferuje w pełni ustandaryzowane rozwiązania, a wszystkie ustalenia dotyczące walidacji zostały przekazane do EUROCAE i RTCA. Interoperacyjność zdaje się być gwarantowana, a technologia ta z pewnością niesie ze sobą dużo korzyści.

4. KORZYŚCI PŁYNĄCE Z TECHNOLOGII I4D

Za jedną z najważniejszych zalet wdrożenia systemu niewątpliwie można uznać poprawę bezpieczeństwa ruchu lotniczego kontrolowanego. Dzięki 4D można z łatwością zweryfikować bezkolizyjność tras lotu samolotów ze sobą oraz z innymi elementami przestrzeni powietrznej. Możliwe jest udostępnianie w czasie

rzeczywistym informacji o aktywacji/dezaktywacji przestrzeni powietrznej wśród wszystkich uczestników procesu ATM. System pozwala na współpracę w podejmowaniu decyzji o rezerwacji przestrzeni powietrznej za pomocą środków automatyzacji łączących systemy planowania misji z siecią. Z pewnością technologia 4D ma również wpływ na zmniejszenie kosztów operatorów lotniczych. Dzięki niej możliwe jest zwiększenie przepustowości rejonów lotnisk oraz sektora planowania operacyjnego.

Według zebranych przez nas informacji, w bliskiej przyszłości zostanie wprowadzony końcowy etap technologii 4D. Odwołując się do całości opracowanego tematu, można stwierdzić, że większość założeń zostanie spełniona. System został opracowany na najwyższym poziomie, testy zbadały funkcjonalność operacyjną w każdej dziedzinie i pod każdym względem. Omawiana technologia ma szanse na duże powodzenie i zmodernizowanie przestrzeni lotniczej.

Bardzo ważnym aspektem w dzisiejszych czasach jest to, że wprowadzenie 4D pozwoli ograniczyć negatywny wpływ lotnictwa na środowisko naturalne- zmniejszyć się może poziom hałasu oraz zanieczyszczenia. Dzięki optymalizacji czasu samolot krócej przebywa na niskiej wysokości, a tym samym krócej imituje uciążliwy hałas oraz może lepiej dopasować swoją prędkość co prowadzi do oszczędności paliwa i mniejszej emisji szkodliwych. Nowa technologia odciąży kontrolerów i przeniesie ich rolę do sfery komputerowej, czyniąc ten proces bardziej zautomatyzowanym i dokładnym zwiększając przy tym przepustowość i bezpieczeństwo. 4D pozwala na minimalizację błędów ludzkiego i na rozwój technologiczny branży lotniczej. Zmniejszą się również koszty na wszystkich płaszczyznach ruchu powietrznego.

Czas pandemii może przyczynić się pozytywnie do dalszych etapów wdrożenia tej technologii. Na mniej obciążonym w skutek ograniczonego ruchu lotniczego niebie, ułatwiony może być proces implementacji tego rozwiązania – wdrożenie technologii, przeprowadzanie testów i oswojenie się z nią nie będzie tak uciążliwe i zakłócające codzienny porządek ruchu lotniczego.

LITERATURA

- [1] SKORUPSKI J., *Współczesne problemy inżynierii ruchu lotniczego*, wydawnictwo: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2014
- [2] https://www.youtube.com/watch?v=PNJxX-a8rcc&ab_channel=SESAAR (dostęp: 14.11.2020 r.)
- [3] <https://dlapilota.pl/wiadomosci/polska/w-pazp-trwaja-testy-uslugi-cpdlc?fbclid=IwAR0a97C3pebRt6UuGol-cGXCD0EliQkYQO8axOMgk5uBe0EUIsr7kBg6dGE> (dostęp: 14.11.2020 r.)
- [4] <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/events/atcglobal2014/ATC-2014-i4D.pdf?fbclid=IwAR0Kv4orv5AW5QFHDuKZCs8zoXOYkZZZcmEkcciKgJIUQpjD1IE6pQrltWI> (dostęp: 29.10.2020 r.)

INITIAL 4D TRAJECTORY MANAGEMENT SOLUTION AS AN OPPORTUNITY FOR TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN AVIATION

Key words: *4D, i4D, SESAR, technology, aviation, trajectory, air traffic management.*

The topic of the article is the perspective of introducing modern 4D technology. At the beginning, the idea of SESAR will be presented with particular emphasis on i4D solution. In the next part of the article we will consider the challenges posed by this technology, the needs to which it is an answer. Next, the tests will be analyzed to examine the operational functionality in every field and in every aspect, and first flight using the four-dimensional flight trajectory management will be taken into consideration. The article contains conclusions on the strategy of introducing i4D technology and subjective evaluation of the authors of the article on the chance of introducing this solution.

Corresponding author:

e-mail: nadia171720@wp.pl