

SAFE SKY

 Biuletyn Bezpieczeństwa Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej

2(31)/2026

W trosce o bezpieczeństwo



W numerze:

> Spadochron

> AI w ATM, cz. 2

> Cywilna i wojskowa
Inspekcja Lotnicza

> Dron - zagrożenie
lub narzędzie

 PASA

Szanowni Państwo,

Oddajemy w Państwa ręce kolejny numer *Safe Sky*, w którym prezentujemy zagadnienia pokazujące, jak dynamicznie zmienia się środowisko lotnicze i jak różnorodne wyzwania stoją dziś przed uczestnikami systemu lotniczego.

Rozwój nowych technologii otwiera przed lotnictwem zupełnie nowe możliwości, ale jednocześnie rodzi pytania dotyczące ich bezpiecznego wykorzystania. W drugiej części cyklu **Piotra Dmochowskiego** poświęconego sztucznej inteligencji w ATM przedstawiamy praktyczne zastosowania technologii AI oraz kierunki jej rozwoju w obszarze zarządzania ruchem lotniczym. To temat, który jeszcze niedawno wydawał się elementem odległej przyszłości, a dziś stopniowo staje się częścią codziennej rzeczywistości.

Niezmienne istotne pozostaje również przygotowanie na sytuacje awaryjne. Artykuł **Andrzeja Rutkowskiego** przypomina o wyposażeniu, które w krytycznych okolicznościach może decydować o życiu załogi i pasażerów. Chodzi o spadochrony ratunkowe. Warto pamiętać, że coraz więcej statków powietrznych lotnictwa ogólnego jest w nie wyposażonych, a wiedza o ich obecności może mieć znaczenie dla służb uczestniczących w obsłudze sytuacji awaryjnych. Zagadnienie to dotyczy nie tylko służby FIS, lecz również TWR, APP oraz ARCC.

Z kolei **Paweł Szpakowski** przybliży współpracę pomiędzy cywilną i wojskową Inspekcją Lotniczą w Polsce, pokazując ich rolę w utrzymaniu bezpieczeństwa infrastruktury nawigacyjnej oraz procedur lotniczych, ze szczególnym uwzględnieniem terminowego wykonywania kontroli z powietrza.

Współczesne lotnictwo musi także mierzyć się z dynamicznym rozwojem bezałogowych statków powietrznych. Drony stwarzają nowe możliwości operacyjne, ale jednocześnie generują zagrożenia wymagające właściwego zarządzania ryzykiem oraz współpracy wszystkich uczestników systemu lotniczego. O tym, czy BSP są przede wszystkim zagrożeniem, czy też narzędziem wspierającym bezpieczeństwo, pisze **Adrian Morys**.

Mamy nadzieję, że przygotowane artykuły będą nie tylko źródłem wiedzy, lecz także inspiracją do dalszej dyskusji i wymiany doświadczeń. To właśnie budowanie świadomości zagrożeń, ciągłe doskonalenie oraz dzielenie się wiedzą pozostają fundamentami skutecznej kultury bezpieczeństwa.

Życzymy inspirującej lektury.

Biuro SMS

Spis treści

Spadochron – pamiętaj o nim **4**

Andrzej Rutkowski

Sztuczna inteligencja w przyszłym zarządzaniu ruchem lotniczym. Od koncepcji do odpowiedzialnego wdrożenia **Część 2a: AI w praktyce - technologie i zastosowania w ATM** **14**

Piotr Andrzej Dmochowski

Cywilna i wojskowa Inspekcja Lotnicza w Polsce **35**

Paweł Szpakowski

Dron nad lotniskiem - zagrożenie lub narzędzie bezpieczeństwa **42**

Adrian Morys



Masz ciekawą propozycję artykułu dotyczącą bezpieczeństwa w ruchu lotniczym? Napisz do nas: safe.sky@pansa.pl

Redakcja:

Piotr Ostaszewski, Sebastian Sobczyński

Opracowanie, łamanie:

Piotr Ostaszewski

Dział Monitorowania Bezpieczeństwa

Biuro SMS

Polska Agencja Żeglugi Powietrznej
www.pansa.pl

ul. Wieżowa 8
02-147 Warszawa
tel. +48 22 574 67 28

Zdjęcie na okładce: **Cirrus SR22, fot. Andrzej Rutkowski**
Opracowanie graficzne: **Dział Komunikacji**

Dotyczy:

APP
TWR
FIS
ARCC



Fot. 1. Do jednego z bardziej spektakularnych uruchomień BRS doszło w 2010 r. z podczas pokazów lotniczych w Argentynie, gdy w samolocie Rans S-9 doszło do urwania skrzydła podczas wiązanki akrobacyjnej. Pilot nie odniósł poważniejszych obrażeń. Fot.: BRS Aerospace.

Spadochron – pamiętaj o nim



Andrzej Rutkowski



W przypadku General Aviation spadochron, który w krytycznej sytuacji uratuje cały samolot, to dziś żadna sensacja. Problem w tym, że czasem trzeba umiejętnie pomóc pilotowi go użyć...

Jest 13 listopada, około 19:20, a więc już noc. Koniec kilkugodzinnego lotu. Aeroklubowe lotnisko (zaplanowane jako docelowe) jest niedostępne z powodu złej pogody. Pilot czteromiejscowego samolotu podejmuje decyzję o lądowaniu na pobliskim lotnisku komunikacyjnym. Podejście wg ILS nie udaje się, pilot rozpoczyna kolejne. Za oknem nie widać nic, bo noc, bo pogoda, bo nad lasem – z dala od świateł w terenie. W pewnym momencie silnik przestaje pracować. Dla czterech osób to koniec.

To wydarzyło się w Polsce

Może niektórzy pamiętają katastrofę Cirrusa SR22 w 2011 r. niedaleko Pyrzowic, która poruszyła środowiskiem lotniczym. Poruszający był też raport końcowy PKBWL, w którym stwierdzono m.in., że:

- ▶ Lot po trasie LIPV [Wenecja-Lido – przyp. aut.] – EPKM był wykonywany na podstawie planu lotu wg VFR;
- ▶ W końcowej fazie lotu ze względu na panujące warunki IMC, FPL został zmieniony na lot do EPKT, w celu wykonania podejścia wg ILS;
- ▶ Pilot nie miał umiejętności wykonywania lotów w warunkach IMC i nie posiadał uprawnień IR(A), o czym nie poinformował kontrolera APP EPKK;
- ▶ Komisji nie udało się ustalić przyczyny technicznej, z powodu której silnik mógłby przerwać pracę;
- ▶ Pilot w końcowej fazie lotu prawdopodobnie nie kontrolował stanu paliwa w zbiornikach samolotu;

- ▶ Trudne warunki atmosferyczne na końcowym odcinku trasy i w miejscu lądowania miały krytycznie niekorzystny wpływ na zaistnienie zdarzenia.

Te trudne warunki pogodowe zostały zilustrowane w raporcie następującą prognozą TAF dla Katowic-Pyrzowic:

TAF AMD EPKT 131601Z 1316/1324 15004 KT 3000 BKN005 TEMPO 1316/1324 1500BR PROB40 1316/1324 BKN002 PROB30 TEMPO 1318/1324 0600 FZFG=

A więc mamy tu prognozowane spadki widzialności do 3 km, podstawa zachmurzenia BKN 500 ft, chwilowe spadki widzialności w zamgleniu do 1500 m, możliwe obniżenie podstaw do 200 ft i w końcu nieco mniej prawdopodobne (ale dalej możliwe) spadki widzialności do 600 m oraz marznącą mgłą.

Na koniec Raportu Komisja wskazała następujące przyczyny:

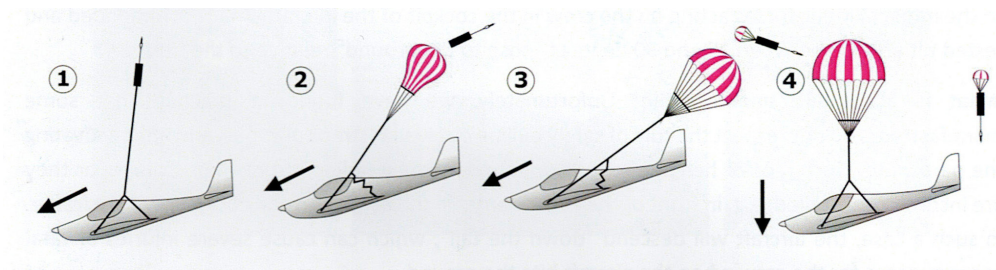
- ▶ Podjęcie decyzji o wlocie w strefę krytycznie niekorzystnych warunków atmosferycznych przez pilota nie posiadającego uprawnień i umiejętności do wykonywania lotów wg przepisów IFR w warunkach IMC;
- ▶ Nieumiejętne wykonanie podejścia do lądowania wg systemu ILS;
- ▶ Zatrzymanie pracy silnika, prawdopodobnie z powodu kontynuacji lotu bez przełączenia zaworu sterującego paliwem na zbiornik zawierający paliwo.

Raport pokazuje jak sumiennie pilot zastawił na siebie (i resztę załogi) tę pułapkę. Pod koniec lotu dużo się działo, więc opróżniony zbiornik paliwa stał się w tamtych warunkach sprawą nie do opanowania. W Raporcie stwierdzono: „Zatrzymanie pracy silnika, prawdopodobnie z powodu kontynuacji lotu bez przełączenia zaworu sterującego paliwem na zbiornik zawierający paliwo.”

Pilot zgłosił przez radio sytuację w niebezpieczeństwie. Około godzinę później odnaleziono w lesie wrak.



Fot.2. W samolocie Cirrus SR20/SR22 spadochron ratowniczy jest wyposażeniem standardowym.
Fot.: Andrzej Rutkowski



Fot. 3. Sekwencja działania spadochronu czeskiej marki Galaxy GRS. Od aktywowania spadochronu przez pilota do wyhamowania opadania upływa nie więcej niż 10 sekund. Źródło: Galaxy GRS

W całej tej historii największą zagadką wydaje się być dlaczego pilot posiadając (w tamtych latach) unikalny samolot wyposażony w spadochron ratowniczy nie uruchomił go. Nieudane podejście, nic nie widać za oknem, silnik przestaje pracować – czego jeszcze trzeba, żeby użyć spadochronu i być może uratować wszystkich na pokładzie?

Dlaczego piloci się zabijają?

Katastrofa wydarzyła się około 15 lat temu, były to czasy, kiedy firma Cirrus Aircraft zainwestowała sporo pracy i funduszy by ograniczyć zjawisko polegające na tym, że w krytycznych – jak ta opisywana – sytuacjach piloci nie uruchamiają spadochronu (a każdy Cirrus wyposażony jest w spadochron ratowniczy), co kończy się ofiarami śmiertelnymi. Prowadzono prace naukowe, szukano przyczyn.

Okazało się, że w krytycznej sytuacji u pilota pojawia się rodzaj „**widzenia tunelowego**”, gdy skupiając się na rozwiązaniu problemu, nie dostrzega on wszystkich dostępnych opcji. Często nie dostrzeże również tej w danej sytuacji obiektywnie najlepszej.

Poza tym w sytuacjach krytycznych pojawia tzw. „**efekt pierwszeństwa**” (ang. *Primacy effect*). Polega on na tym, że rzeczy wyuczone jako pierwsze, zakorzeniają się najgłębiej i najsilniej wpływają na przyszłe zachowania. Jeśli więc ktoś przez całe lotnicze życie był uczony wyszukiwania pola do lądowania awaryjnego kiedy zawiedzie silnik, to gdy teraz leci nowoczesnym samolotem wyposażonym w spadochron, w sytuacji stresowej jest dużo większa szansa, że (jak „zawsze”) zajmie się przymierzaniem do pola, zamiast pomyśleć o spadochronie (który jest ową nową opcją).



Fot. 4. W samolotach ultralekkich miejsce gdzie zamontowany jest spadochron jest oznaczone ostrzegawczymi nalepkami.. Źródło: Andrzej Rutkowski



Fot. 5. W ogóle wydatków związanych z zakupem lekkiego, dwumiejscowego samolotu (rzędu 250–290 tys. EUR) dodatkowy wydatek 7–9 tys. EUR za BRS nie wydaje się być ekstrawagancją. Fot.: Andrzej Rutkowski

Rezultaty tych badań skutkowały u Cirrusa opracowaniem na nowo programów szkolenia – wdrożenia szkoleń familiaryzacyjnych dla pilotów przesiadających się na Cirrusy z innych typów oraz szkoleń okresowych. Postawiono na wyuczenie szeregu *calloutów* i nawyków by wytworzyć u pilotów pewien rodzaj pamięci mięśniowej związanej z użyciem spadochronu. Jej celem miało być to, że w sytuacji stresowej pilot już o nim nie zapomni, mało tego – maksymalnie skrócony zostanie czas podjęcia decyzji o jego uruchomieniu. Bo tu wysokość wprost przekłada się na szansę przeżycia.

W tych szkoleniach świetnie sprawdzało się wykorzystanie symulatora odzwierciedlającego kokpit SR20/22 wraz z realistycznym pokazaniem wrażeń związanych z uruchomieniem spadochronu.

Krytyczna rola ATS

Swego czasu, w gronie instruktorów FIS złożyliśmy wizytę w ośrodku szkoleniowym Cirrusa w Poznaniu. Chodziło o to by temat spadochronu oswoić i w miarę mądrze wpleść do pracy na FIS – bo przecież efekt pierwszeństwa nie dotyczy wyłącznie pilotów, więc czemu miałby nie dotyczyć Informatorów FIS czy Kontrolerów Ruchu Lotniczego. Zastanawialiśmy się co w sytuacji awaryjnej powiedzieć przez radio, żeby zwiększyć szanse załogi na przeżycie. Wraz z instruktorami z ośrodka Cirrusa w Poznaniu doszliśmy do wniosku, że najlepszą opcją będzie **zapytanie pilota przez radio czy samolot jest wyposażony w spadochron ratowniczy**.

Po z górą 10 latach od wprowadzenia tego punktu do FIS-owej checklisty na wypadek awarii silnika (i mąglowania tematu na symulatorze FIS), wygląda na to, że jest to rozwiązanie trafione. Załatwia ono takie rzeczy jak:

- ▶ **przypomnienie pilotowi o tym, że ma do dyspozycji jeszcze jedną opcję** (chodzi o wyłączenie widzenia tunelowego i efektu pierwszeństwa, żeby pilot o spadochronie nie zapomniał),
- ▶ **decyzja o użyciu spadochronu pozostaje po stronie pilota** (to pytanie, ta akcja ATS jest na przeciwnym biegunie skali niż wojskowa komenda „katapultuj się!“. Tu wyłącznie pilot decyduje, czy „daje w pole” czy „odpala spadochron”),
- ▶ **pytanie jest uniwersalne – nie ogranicza się do sytuacji wyłącznie z samolotami Cirrus**, z których każdy fabrycznie wyposażony jest w spadochron. Tu dla wyjaśnienia – skoro już wiemy, że każdy Cirrus ma spadochron, to nie oznacza, że tego pytania nie powinniśmy pilotowi Cirrusa zadawać. Pamiętajmy, że podstawowa funkcja tego pytania to przypomnienie pilotowi o spadochronie, dopiero potem jest zaspokojenie ciekawości ATS,
- ▶ **to czy samolot wyposażony jest w spadochron jest istotne dla służb ratowniczych** (informację o tym, że statek powietrzny doświadczający trudności wyposażony jest w spadochron ratowniczy, musimy BEZWZGLĘDNIE przekazać na ARCC lub do Lotniskowej Straży Pożarnej. Jeśli pilot zdecyduje się na lądowanie w terenie przygodnym, które obarczone jest ryzykiem niepowodzenia, pirotechniczny ładunek miotający spadochronu może stanowić zagrożenie dla służb ratowniczych przybyłych by ratować załogę. Porównanie z granatem wrzuconym do ogniska może być adekwatne.

Słyszysz MAYDAY z powodu utraty kontroli nad samolotem lub awarii silnika w samolocie General Aviation:

- ▶ Powiedz „**roger MAYDAY**”
- ▶ Zapytaj czy samolot wyposażony jest w spadochron. Jeśli pilot potwierdzi, koniecznie przełącz potem tę informację do ARCC.
- ▶ Zapytaj o liczbę osób na pokładzie.

Nie zwlekaj z zapytaniem o spadochron, bo każda sekunda zwłoki to mniejsza wysokość otwierania spadochronu i niższe szanse na uratowanie załogi.

Metoda postępowania

Zastanówmy się teraz nad tym jak ubrać wiedzę o samolotach i ich spadochronach w metodę postępowania.



Fot. 6. Kabina samolotu Bristell BR23. Uchwyt wyzwalający spadochron zamontowany jest w środkowej, dolnej części tablicy przyrządów. Fot.: Andrzej Rutkowski



Fot. 7. W części samolotów ultralekkich spadochron zabudowany jest pomiędzy silnikiem a kabiną. Na zdjęciu VL-3 w wersji z napędem turbinowym. Fot.: Andrzej Rutkowski

Jeśli samolot widać na zobrazowaniu radarowym, nasza FIS-owa checklista (znajdująca się w INOP FIS) na wypadek awarii silnika i lądowania w terenie przygodnym, jest naprawdę krótka:

1. Zapytaj czy samolot wyposażony jest w spadochron ratowniczy,
2. Zapytaj ile jest osób na pokładzie.

I KONIEC. Pilot i tak ma co robić, bez względu na to, którą opcję ratowania wybierze. Nie przeszkadzajmy mu w tym. Oczywiście ważna jest kolejność czynności.

To są jedyne punkty, które w checkliście odnosimy do pilota. Oczywiście dalej jest m.in. powiadamianie ARCC (koniecznie z informacją o spadochronie na pokładzie), itd.

Czy tylko awaria silnika?

Awaria silnika i nieuchronność lądowania w terenie przygodnym to klasyczny powód by pilot miał skorzystać ze spadochronu ratowniczego. Jednak pole do zastosowania jest znacznie szersze, wymienić tu można zdarzenia związane z utratą kontroli nad statkiem w powietrzu, czyli sytuacje jak:

- ▶ **zderzenie w powietrzu** – tu sprawa jest prosta: samolot przestaje lecieć, albo staje się mniej manewrowy,
- ▶ **uszkodzenie struktury samolotu** – jako skutek przekroczenia parametrów eksploatacyjnych danego typu samolotu, powodem może być próba wykonania akrobacji albo zbyt szybki lot w warunkach turbulencji,
- ▶ **utrata orientacji przestrzennej w locie VFR po wlocie w IMC** – na świecie odnotowano wiele zdarzeń śmiertelnych z tym związanych, to jeden z największych zabójców w General Aviation,

- **zasłabnięcie pilota** – gdy brak na pokładzie samolotu osoby, która potrafiłaby bezpiecznie nim wylądować, uruchomienie spadochronu to fenomenalna opcja. Przed każdym lotem pilot powinien przeprowadzić briefing dla pasażera na taką okoliczność objaśniając jak uruchomić spadochron i co jeszcze trzeba będzie wtedy zrobić (a trzeba np. wyłączyć silnik),

Z pożarem na pokładzie, o ile pilot jest w stanie kontrolować lot, chyba byłbym ostrożny. Krytyczną sprawą w tej sytuacji jest jak najszybsze znalezienie się statku powietrznego na ziemi. W pamięci mam film, na którym widać płonącego Cirrusa po kolizji w powietrzu wiszącego pod rozwiniętym spadochronem – zdawać by się mogło w nieskończoność. Mam tu mieszane uczucia. Może: **póki pilot ma kontrolę nad statkiem powietrznym to lądowanie w terenie przygodnym. Jeśli ją utraci na skutek pożaru – spadochron.**



Fot. 8. Cirrus SF50 – jedyny seryjnie produkowany samolot odrzutowy ze spadochronem ratowniczym.

Fot.: Andrzej Rutkowski

Pilot użyje spadochronu i co dalej?

Uruchomienie spadochronu ratowniczego nie jest skomplikowaną czynnością. Przed każdym lotem pilot ma za zadanie wyjąć zawleczkę zabezpieczającą przed mimowolnym uruchamianiem spadochronu. Jest to poprzeczna przetyczka w pobliżu ręczki wyzwalającej spadochron. Jej pozostawienie, z myślą: *jakby co, to najpierw zdążę wyjąć blokadę*, może być tragiczne w skutkach.

W zależności od typu samolotu sama ręczka spadochronu zabudowana jest w tablicy przyrządów, w tunelu pomiędzy fotelami lub w suficie. Podstawowy warunek jej lokalizacji jest taki, że przypięty pasami do fotela pilot (lub pasażer) bez luzowania lub odpinania pasów musi bez problemu do niej dosięgnąć. Samo uruchomienie spadochronu polega na zdecydowanym pociągnięciu oburącz za ową ręczkę. Siła do tego potrzebna to kilka kilogramów na dystansie kilku centymetrów. Do ręczki przytwierdzona jest stalowa linka. Biegnie ona do detonatora rakiety, która wyciąga spadochron z kadłuba. To tak w największym uproszczeniu.

Po około 10 sekundach od pociągnięcia za ręczkę samolot powinien już wisieć pod w pełni otwartą czaszą i wyhamowany zmierzać ku ziemi z prędkością, która spowoduje z nią kontakt odpowiadający impetem skokowi na nogi z wysokości około dwóch metrów.

Warto wiedzieć, że użycie spadochronu wiąże się z szeregiem dodatkowych czynności, jakie pilot musi wykonać. W największym uproszczeniu będą to:

- ▶ **zabezpieczenie zespołu napędowego** poprzez wyłączenie silnika (to w sytuacji, gdy pilot aktywuje spadochron nie z powodu przerwania pracy przez silnik) i zamknięcie kranów paliwa, by nie dochodziło ono w okolice silnika,
- ▶ **wyłączenie instalacji elektrycznej** chodzi o zminimalizowanie prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru po zetknięciu z ziemią. Jak więc łatwo się domyślić, zaraz po uruchomieniu spadochronu stracimy z takim statkiem powietrznym łączność radiową i kontakt radarowy,
- ▶ **zabezpieczenie załogi** poprzez przyjęcie tzw. pozycji bezpiecznej. Tu ciekawostka: w Cirrusie jest to zupełnie inna pozycja niż ta, z którą mamy do czynienia w sytuacjach awaryjnych na pokładzie samolotów komunikacyjnych. Instrukcja samolotu mówi, że załoga ma przyjąć siedzącą pozycję wyprostowaną z plecami dociśniętymi do oparcia i dociągnąć (czteropunktowe) pasy bezpieczeństwa. Kolejnym krokiem jest uchylenie drzwi przed kontaktem z ziemią. Chodzi o to by nie zostały one zablokowane poprzez ewentualne zniekształcenie kadłuba.

Po czym poznać, że pilot użył spadochronu?

Bazując na tym, co zostało napisane powyżej, jeżeli pilot użyje spadochronu, a z jakiegoś powodu nie powiadomi nas o tym przez radio, myślę, że sami będziemy w stanie taką sytuację rozpoznać na obrazowaniu radarowym. Samolot będzie tracił wysokość w tempie około 1000-1500 ft/min, a jego prędkość podróżna zmniejszy się do prędkości wiatru. Być może na chwilę pojawi się squawk 7700 i wkrótce utracimy dane



Fot. 9. Czeski Skylancer J600. Żółty trójkąt na ogonie to ostrzeżenie dla ratowników, że samolot ma spadochron z napędem pirotechnicznym. Fot.: Andrzej Rutkowski

z transpondera. Oczywiście po tym jak pilot wyłączy cały prąd w samolocie nie dowołam się do niego przez radio.

Który samolot może mieć spadochron

Jak do tej pory tyle razy użyłem słowa Cirrus, że chyba żaden z Szanownych Czytelników nie będzie miał wątpliwości, że spadochron znajdziemy we wszystkich samolotach wyprodukowanych przez Cirrus Aircraft, czyli SR20 i SR22, ale też w odrzutowym SF50. W przypadku tych samolotów możemy spotkać się z akronimem CAPS (Cirrus Airframe Parachute System).

Jeśli chodzi o inne samoloty, przez radio może paść „BRS” – skrót od Ballistic Recovery System. Swoją drogą, amerykańska firma BRS Aerospace jest producentem systemu CAPS, a skrót BRS w lotnictwie przyjęł się jako ogólne określenie wyrzucanego spadochronu ratowniczego – coś w rodzaju: odkurzacz = elektroluks.

Amerykański BRS montowany jest głównie w samolotach produkowanych w USA, stąd współpraca z takimi producentami jak ICON, LANCAIR, CubCrafters, Glasair, ale też szwedzkim Blackwingiem, włoskim Tecnamem, czeskim Bristelem, czy niemieckim – ale produkowanym w Polsce – FK.

Warto wspomnieć, że firma wytwarza także zestawy do zabudowy w istniejących już starszych statkach powietrznych, na zasadzie tzw. retrofitów. I tak, spadochron możemy dokupić sobie np. do Cessny 172, czy 182 i zainstalować zgodnie z STC (Supplemental Type Certificate). To rozwiązanie o ile przyjęło się na zachodzie, w Polsce już nie bardzo. Póki co, słyszałem o jednej zarejestrowanej pod naszym nadzorem Cessnie z takim właśnie dodatkowym wyposażeniem. Ale było to dobre 10 lat temu.

Spadochron statku powietrznego [ang. *Airframe parachute*] – co warto wiedzieć:

- ▶ Akronim CAPS oraz BRS oznaczają spadochron ratowniczy statku powietrznego,
- ▶ Szerokie zastosowanie w samolotach ultralekkich. Poza tym standardowo, wszystkie samoloty Cirrus spadochron posiadają.
- ▶ Ponad 600 osób uratowanych na całym świecie.
- ▶ CAPS: optymalna wysokość uruchomienia spadochronu – 2000 ft AGL (na tej wysokości w przypadku awarii silnika Cirrus zaleca zakończenie prób jego uruchomienia i użycie spadochronu), najniższe jak dotąd otwarcie z uratowaniem załogi – 444 ft AGL, minimalna wysokość otwierania 500-600 ft AGL (podobnie BRS w wersji „najcięższej”),

Z kolei w Europie, prym wiodą producenci spadochronów pochodzący z Czech. Największym z nich jest GRS – Galaxy Rescue Systems. Czeski potentat skupił się na rynku lżejszych samolotów. Jest tu całkiem spora nisza rynkowa, jeśli weźmiemy pod uwagę, że np. w Niemczech spadochron ratowniczy jest obowiązkowym wyposażeniem samolotów ultralekkich. Biorąc też pod uwagę, że samoloty ultralekkie nie muszą być testowane przez producenta pod względem łatwości wyprowadzenia z korkociągu, takie wyposażenie dodatkowe w spadochron, mimo że nie obowiązkowy, ogólnie wydaje się niezłym pomysłem.

Systemy tego producenta znajdziemy m.in. w słoweńskich Pipistrelach, czeskich Evektorach, TL-Ultralight, Jihlavan.

Na nasz operacyjny użytek możemy przyjąć, że w polskich realiach pewne jest to, że:

1. **każdy Cirrus spadochron posiada** (ale przypominam, że i tak pytamy przez radio, żeby przypomnieć o tym pilotowi...),
2. **jest wielce prawdopodobne, że samolot ultralekki**, który mamy na łączności **będzie mieć spadochron**. Jak rozpoznać, że samolot jest ultralekki? – po znakach, np. SP- i cztery litery, OK- i 3 litery oraz 2 cyfry, OM-M i 3 cyfry, D-M i trzy litery.
3. Pilotów Cessn, Piperów, Diamondów, nie ma co o to pytać.



Fot. 10. W Polsce spadochron nie jest obowiązkowy w samolotach ultralekkich. Mimo to, z rozmowy z największym w Polsce dystrybutorem tego rodzaju maszyn, wynika, że od 2012 r. wszyscy klienci zamawiali u niego samolot z takim wyposażeniem. Fot.: Andrzej Rutkowski

Czy były jakieś udane ratowania?

W Polsce jak dotąd nie było żadnego. Był jeden przypadek (w 2006 r.), gdy podczas prób fabrycznych ultralekkiego prototypu samolot rozleciał się do tego stopnia, że odpalenie spadochronu nie pomogło. Spadochron nie uratował też dwuosobowej załogi w Mielcu w 2017 r. PKBWL stwierdziła, że... producent nie przymocował go do konstrukcji samolotu. Samolot pochodził z początku produkcji seryjnej.

Co innego na świecie. Firma BRS (czyli ta amerykańska) chwali się ocaleniem 510 istnień ludzkich, z czego sam Cirrus podaje, że wg danych na 8 maja 2026, CAPS uratował życie 297 osobom. Czeski GRS, na kwietniowych targach we Friedrichshafen chwalił się liczbą 137 uratowanych. Zatem widać, że koncepcja działa i realnie może pomóc wybawić załogę w podbramkowej sytuacji.

Wracając do sytuacji z Cirrusem na Pyrzowicach, bardzo, ale to bardzo chcę uniknąć mentorskiego tonu „a trzeba było wtedy...” Nic z tych rzeczy. Mądrzenie się post factum, wygodnie siedząc w domowym fotelu nie jest ani szczególnym bohaterstwem, ani szczególnym błyskiem intelektu i ma się nijak do chwili, kiedy sprawy się dzieją. Kiedy jest deficyt wszystkiego i jest się w środku akcji. Myślę raczej, że do tych doświadczeń powinniśmy podejść w inny sposób. Jesteśmy 15 lat po tym zdarzeniu, czasy się zmieniły – zmieniła się technika, wprowadzono szkolenia doskonalące dla pilotów, spadochron ratowniczy „trafił pod strzechy” – to już nie tylko abstrakcyjnie drogie samoloty Cirrus, ale rzecz normalna i powszechna w lotnictwie ultralekkim. Słabo by było, gdyby służby ruchu lotniczego tych zmian nie dostrzegały. I by po stronie ATS w odniesieniu do samolotów General Aviation były jeszcze gdzieś sposoby postępowania na wypadek awarii silnika bez punktu z pytaniem o spadochron ratowniczy... Przy okazji, symbolem niedoścignięcia przepisów za światem lotniczym niech będzie to, że formularz FPL ICAO nadal konsekwentnie nie zauważa tak dziś oczywistego wyposażenia ratowniczego. Konkluzja w sumie analogiczna do tej z poprzedniego Safe Sky, gdzie pisałem o Emergency Autoland.



Andrzej Rutkowski

**Informator FIS, instruktor OJTI, local safety expert,
inspektor ATS, pilot turystyczny.**

Sztuczna inteligencja w przyszłym zarządzaniu ruchem lotniczym

Od koncepcji do odpowiedzialnego wdrożenia

Część 2a: AI w praktyce – technologie i zastosowania w ATM



Piotr Andrzej Dmochowski

Część pierwsza cyklu przedstawiała teoretyczne, regulacyjne i etyczne podstawy odpowiedzialnego wdrażania sztucznej inteligencji w zarządzaniu ruchem lotniczym. Omówiono w niej kluczowe wyzwania operacyjne sektora, zasadę human-centric AI, ramy prawne wynikające z EU AI Act oraz wymagania certyfikacyjne EASA, w tym klasyfikację poziomów autonomii zawartą w AI Roadmap 2.0. Zwrócono również uwagę na specyfikę certyfikacji systemów uczenia maszynowego, która jest znacznie bardziej złożona niż w przypadku tradycyjnego oprogramowania deterministycznego.

Przejście od koncepcji do rzeczywistego wdrożenia AI w europejskim ATM jest procesem długotrwałym i wymagającym. Środowisko operacyjne charakteryzuje się bardzo wąskim marginesem błędu, dlatego każdy nowy system musi przejść rygorystyczną walidację, certyfikację, integrację z istniejącą infrastrukturą oraz uzyskać akceptację użytkowników końcowych.

Mimo tych ograniczeń rozwój AI w ATM nabiera tempa. Z końcem 2024 roku SESAR 3 Joint Undertaking realizował 68 projektów w ramach programu Horizon Europe oraz 9 projektów Connecting Europe Facility. Inicjatywy te angażując 126 niezależnych organizacji z całej Europy, łącznie zrealizowały 158 ról projektowych w całym programie, a łączna wartość inwestycji przekroczyła 650 mln EUR. Program realizuje cztery oficjalne ścieżki innowacji SESAR, które płynnie łączą teorię z praktyką rynkową: Exploratory Research (ER) – badania podstawowe i koncepcyjne; Industrial Research (IR) – badania przemysłowe nad technologiami; Digital Sky Demonstrators (DSD) – testy rozwiązań w realnym środowisku operacyjnym; Fast Track Innovation and Uptake (FTIU) – mechanizmy szybkiego transferu gotowych technologii na rynek.

Celem drugiej części artykułu jest opisanie przejścia od założeń koncepcyjnych do analizy praktycznej. Główny nacisk położono na rozwiązania poziomu 1 (Human Assistance), które już wchodzą do środowiska operacyjnego, oraz na perspektywę wdrożenia poziomów 2 i 3, planowane po 2030 roku. Osią tekstu pozostaje bezpieczeństwo operacyjne. Każde omawiane rozwiązanie jest oceniane nie tylko przez pryzmat możliwości technicznych, lecz przede wszystkim pod kątem wpływu na stabilność, odporność i przewidywalność systemu.

UWAGA 1:

Wzorem pierwszej części opracowania, publikację zamyka słownik pojęć. Objaśnia on specjalistyczną terminologię oraz skróty dotyczące systemów zarządzania ruchem lotniczym (ATM) i wdrażanych rozwiązań sztucznej inteligencji (AI).

UWAGA 2:

Zgodnie z konwencją przyjętą w pierwszej części pracy, zbiorcze odsyłacze bibliograficzne umieszczono na końcu akapitów. Odsyłają one bezpośrednio do spisu literatury na końcu artykułu.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [68] [98]

1. Od zasad do operacji. AI w realnym środowisku ATM

Przejsie od koncepcji do praktyki wymaga jasnego rozróżnienia trzech kategorii systemów funkcjonujących obecnie w zarządzaniu ruchem lotniczym:

- ▶ Systemy operacyjne – w pełni certyfikowane narzędzia wspomagające codzienne decyzje kontrolerów, działające bezpośrednio w rzeczywistym środowisku ruchu lotniczego. Przykładem jest wdrożony moduł FADE EUROCONTROL (wspomagający prognozowanie opóźnień), wykorzystywany przez wiele linii lotniczych, czy system PansaUTM.
- ▶ Systemy pre-operacyjne – działające w środowiskach testowych, planistycznych lub w trybie shadow-mode. Pracują równolegle do operacji, generują rekomendacje i prognozy, ale nie wpływają bezpośrednio na decyzje kontrolerów. Większość zaawansowanych prototypów z projektów SESAR znajduje się właśnie w tej kategorii.
- ▶ Systemy badawcze – rozwijane w ramach projektów SESAR i innych inicjatyw badawczych, których celem jest eksploracja nowych możliwości technologicznych, jeszcze bez bliskiej perspektywy wdrożenia operacyjnego.

Zgodnie z EASA AI Roadmap 2.0, większość wdrożeń przemysłowych koncentruje się obecnie na poziomie 1 (Human Assistance). Stopniowe przejście do poziomu 2 (Human-AI Teaming), w tym rozwiązania typu Digital co-Controller (DC), czyli cyfrowy asystent kontrolera ruchu lotniczego, planowane jest orientacyjnie na okres po 2027-2028 roku (Tab. 1.). Jest to prognoza, a nie sztywna data. Uzmysławia ona, że wiele rozwiązań opisywanych w mediach branżowych jako przełomowe pozostaje wciąż w fazie przedwdrożeniowej lub w fazie badań.

Poziom 1 AI: Wsparcie człowieka	Poziom 2 AI: Współpraca człowiek-AI	Poziom 3 AI: Zaawansowana automatyzacja
Poziom 1A: Rozszerzenie możliwości człowieka.	Poziom 2A: Koopercja człowieka i systemu AI.	Poziom 3A: System wykonuje decyzje i działania, które mogą być nadpisane/zablokowane przez człowieka.
Poziom 1B: Wsparcie poznawcze w podejmowaniu decyzji i wyborze działań.	Poziom 2B: Zaawansowana współpraca partnerska.	Poziom 3B: System wykonuje akcje niemożliwe do nadpisania (np. w celu zapewnienia bezpieczeństwa po utracie kontroli lub świadomości przez człowieka).

Tab. 1. Klasyfikacja zastosowań sztucznej inteligencji, źródło [21]

Kluczowym mechanizmem umożliwiającym bezpieczne przejście między poziomami dojrzałości jest tryb shadow-mode. Algorytm AI pracuje równolegle z rzeczywistymi operacjami: przetwarza te same dane radarowe, plany lotów i informacje meteorologiczne, generuje rekomendacje, które są rejestrowane i porównywane z decyzjami podjętymi przez kontrolera. Nie są one jednak przekazywane operatorowi w czasie rzeczywistym. Dzięki temu można precyzyjnie ocenić zgodność algorytmu z decyzjami człowieka, wskazać fałszywe alarmy oraz obszary mniejszej skuteczności modelu, bez zwiększania ryzyka dla bezpieczeństwa operacji. Shadow-mode stanowi standardowy element metodologii walidacji SESAR (obok Real-Time Simulation, Fast-Time Simulation, Live Trials).

Głównym wątkiem przewijającym się przez cały tekst jest zasada nadrzędnej roli nadzoru ludzkiego (human oversight). Niezależnie od poziomu technicznej skuteczności algorytmu, ostateczna decyzja operacyjna, ocena kontekstu oraz odpowiedzialność za bezpieczeństwo lotów pozostają po stronie człowieka. Jest to wymóg regulacyjny wynikający z EU AI Act, EASA AI Roadmap 2.0 oraz standardów EUROCAE. EASA Concept Paper Issue 2 (2024) definiuje poziom 1 jako systemy wzmacniające ludzkie możliwości, a poziom 2 jako systemy podejmujące działania pod nadzorem człowieka.

Na podstawie przeglądu projektów badawczych, wyników walidacji i dokumentów regulacyjnych niniejszy artykuł dokumentuje następującą tezę. AI w europejskim ATM osiągnęła dojrzałość techniczną wystarczającą do zastosowań na poziomie 1 według klasyfikacji EASA. Jednak dysproporcja między dojrzałością techniczną a faktycznym wdrożeniem operacyjnym jest wyznaczana przede wszystkim przez bariery certyfikacyjne, ludzkie i organizacyjne. Evolucja modeli obliczeniowych jest więc warunkiem koniecznym, ale nie wystarczającym. Teza ta jest potwierdzana przez każdy z omawianych obszarów zastosowań. FADE działa operacyjnie, bo miał mierzalne dane, prostą architekturę i jasny problem do rozwiązania. Systemy HAT poziomu 2 nie działają operacyjnie, mimo technicznej gotowości, bo brakuje standardu certyfikacyjnego, orzecznictwa w kwestii odpowiedzialności i danych o wpływie na bezpieczeństwo w warunkach rzeczywistych.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [16] [17] [21] [49] [53]

2. Główne obszary zastosowań AI w ATM

Sztuczna inteligencja nie wchodzi do zarządzania ruchem lotniczym jako uniwersalna, gotowa technologia. Pojawia się jako zbiór wyspecjalizowanych narzędzi, rozwijanych na różnych etapach dojrzałości i dedykowanych konkretnym funkcjom operacyjnym. Praktyczne pytanie brzmi: w których obszarach codziennej pracy ATM modele uczenia maszynowego mogą realnie wspierać operatorów? Analiza potrzeb operacyjnych wskazuje przede wszystkim na środowiska, w których dane są złożone, szybkozmienne i przekraczają możliwości bieżącej analizy człowieka. Czyli w obszarach przewidywania konfliktów, zarządzania przepustowością i popytem, dynamicznej optymalizacji konfiguracji sektorów, operacji opartych na trajektoriach 4D, prognozowaniu warunków pogodowych, operacji lotniskowych oraz zarządzania ruchem dronów w U-space. We wszystkich tych dziedzinach AI pełni rolę narzędzia wspomagającego procesy poznawcze kontrolerów, nie przejmując jednak ostatecznej odpowiedzialności operacyjnej.

Znaczna większość rozwiązań AI opisywanych w literaturze branżowej i podczas konferencji pozostaje na etapie badawczym lub przedwdrożeniowym. Katalog FLY AI, prowadzony przez EUROCONTROL na zasadzie dobrowolnych zgłoszeń, potwierdza, że w portfelu projektów nadal dominują rozwiązania na etapach przedwdrożeniowych. Jak podkreślali uczestnicy FLY AI Forum 2024, poszczególne rozwiązania znajdują się na bardzo różnych poziomach dojrzałości, a zastąpienie kontrolerów przez AI nie jest perspektywą ani dzisiejszą, ani bliskiej przyszłości. Istotnym warunkiem skuteczności każdego systemu AI jest jakość danych wejściowych. Modele uczenia maszynowego nie korygują błędów ani braków w danych źródłowych. Solidna inżynieria danych i ciągłe monitorowanie ich jakości stanowią warunek konieczny, a nie opcję.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [11] [12] [17] [36] [37] [48] [58] [71] [86] [93]

2.1 Predykcja konfliktów i zagrożeń

Przewidywanie konfliktów należy do najbardziej dojrzałych i wymagających obszarów zastosowania AI w ATM. Ze względu na krytyczne znaczenie separacji pomiędzy statkami powietrznymi, jest to dziedzina, w której najsilniej uwidacznia się rozdział między możliwościami technologicznymi a ograniczeniami akceptacji operacyjnej i certyfikacyjnej.

Systemy wykrywania konfliktów działają w dwóch perspektywach czasowych. Short-Term Conflict Detection (STCD) obejmuje okno rzędu kilku minut. Priorytetem jest szybkość detekcji i wysoka niezawodność. Medium-Term Conflict Detection (MTCD) działa z wyprzedzeniem od kilkunastu do około 20–30 minut, umożliwiając wcześniejsze informowanie kontrolera o ewentualnej konieczności zmiany trajektorii lotu, zanim sytuacja stanie się krytyczna. Klasyczne algorytmy geometryczne stosowane w MTCD borykają się z dobrze udokumentowanym problemem wysokiej liczby fałszywych alarmów. Prowadzi to, do tego, że systemy te są często ignorowane przez operatorów.

W projekcie SESAR 4DSkyways (PJ.18-W2, Solution 53) testowano nadzorowane uczenie maszynowe do generowania trajektorii wolnych od konfliktów z 5-minutowym wyprzedzeniem. W eksperymencie opartym na ponad 250 tysiącach próbek danych z Maastricht Upper Area Control Centre wyniki potwierdziły potencjał ML, jednak ujawniły też poważną przeszkodę. Ponieważ w realnym ruchu sytuacje groźne należą do rzadkości, aż w 75% historycznych danych piloci nie musieli zmieniać trasy. Przez to algorytm uczył się głównie z bezpiecznych, rutynowych sytuacji, co ograniczało jego zdolność do prawidłowego reagowania w momentach realnego zagrożenia.

Projekt ARTIMATION skupił się na zapewnieniu przejrzystości decyzji algorytmów poprzez techniki zrozumiałej sztucznej inteligencji (XAI), wykorzystując wizualizacje 3D, opisy oparte na danych oraz prezentacje kluczowych czynników wpływających na wybory modelu. Wyniki badań wskazują, że możliwość prześledzenia logiki systemu znacząco zwiększa zaufanie operatorów i gotowość do korzystania z nowych narzędzi. Projekt TAPAS testował prototypy sztucznej inteligencji (XAI) w warunkach *human-in-the-loop* – czyli w symulacjach, w których system pełni funkcję doradczą, a ostateczną decyzję podejmuje kontroler. Narzędzia te sprawdzano pod kątem taktycznego wykrywania i rozwiązywania konfliktów (CDR, Conflict Detection and Resolution) oraz przedtaktycznego zarządzania przepływem ruchu. Badania potwierdziły, że w systemach krytycznych dla bezpieczeństwa kontrolerzy odrzucają zalecenia algorytmów, jeśli nie rozumieją sposobu ich wygenerowania. Standardowe, proste interfejsy (które podają gotowy wynik bez podania przyczyn) okazały się niewystarczające, by zyskać zaufanie operatorów.

Projekt SafeOPS, realizowany przez Uniwersytet Techniczny w Monachium (SESAR 3 JU), pozwolił na ilościowe określenie warunków akceptacji sztucznej inteligencji przez personel operacyjny. Podczas testów nad systemem prognozowania odejść samolotów na drugi krąg, kontrolerzy zadeklarowali, że będą korzystać z narzędzia pod warunkiem, iż trafność jego wskazań wyniesie co najmniej 90%. Wynik ten stanowi wymierne, zweryfikowane empirycznie kryterium projektowe dla inżynierów systemów ATM.

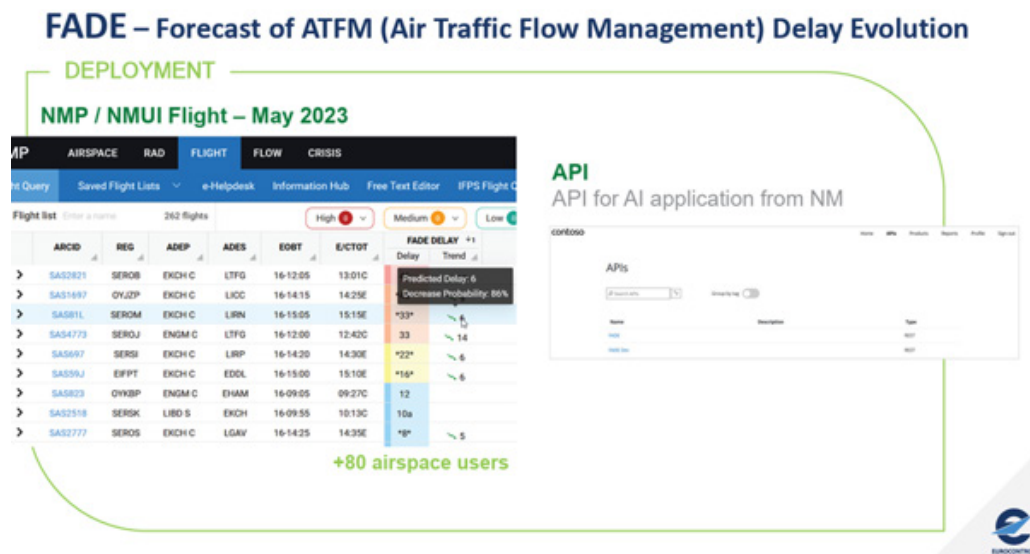
Na obecnym poziomie 1, AI wspomaga przede wszystkim wykrywanie konfliktów i generowanie możliwych scenariuszy. Decyzja o wyborze rozwiązania pozostaje wyłącznie po stronie kontrolera. Przejście do poziomu 2, w tym koncepcji typu Digital co-Controller (DC), czyli cyfrowego asystenta kontrolera ruchu lotniczego, jest planowane na okres po 2027-2030 roku i będzie wymagało znacznie bardziej rygorystycznych standardów certyfikacyjnych.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [10] [11] [13] [17] [26] [71] [79] [86] [91] [93]

2.2 Zarządzanie przepustowością i popytem (Demand and Capacity Balancing)

Demand and Capacity Balancing (DCB), czyli bilansowanie liczby lotów chcących przelecieć przez dany sektor z przepustowością, jaką sektor jest w stanie obsłużyć bez przeciążenia kontrolera, należy do najtrudniejszych wyzwań operacyjnych europejskiej sieci lotniczej. Tradycyjne narzędzia analityczne często nie nadążają za nieliniowością i złożonością tych zależności, zwłaszcza w warunkach gwałtownych zmian pogody, nieplanowanych zdarzeń czy kumulacji opóźnień w sieci. Pogoda odpowiada za blisko jedną trzecią wszystkich regulacji ATFM w Europie.

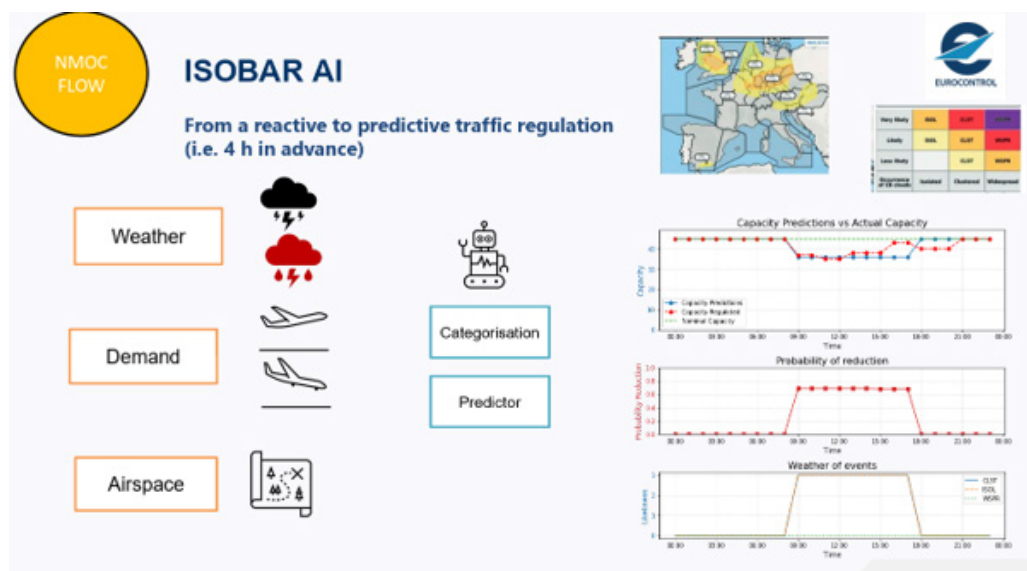
Jednym z najbardziej dojrzałych narzędzi AI w obszarze DCB jest FADE (Forecast of ATFM Delay Evolution) opracowane przez EUROCONTROL Innovation Hub. System dostarcza liniom lotniczym szacowane docelowe opóźnienie ATFM oraz prawdopodobieństwo zmniejszenia bieżącego opóźnienia. Model ML osiąga dokładność przewidywaniu trendu opóźnienia na poziomie około 75%, redukując błąd prognozy nawet o 63% w porównaniu z metodami tradycyjnymi i to już ponad dwie godziny przed planowanym odlotem. Po testach z udziałem 13 linii lotniczych (m.in. Air France, KLM, Swiss, Turkish Airlines, Wizz Air, easyJet) FADE zostało wdrożone do systemów operacyjnych Network Managera w maju 2023 roku. Codziennie korzysta z niego ponad 50 przewoźników. FADE jest to jednym z nielicznych przykładów pełnej ścieżki wdrożeniowej AI w ATM (Rys. 1.).



Rys. 1. Moduł FADE zintegrowany z systemem NMUI Flight systemu EUROCONTROL. W kolumnie „FADE DELAY” widoczna jest prognoza opóźnienia końcowego oraz strzałka trendu ułatwiająca liniom lotniczym planowanie taktyczne, źródło [52]

W projekcie ISOBAR (SESAR3 JU) opracowany został zestaw trzech powiązanych modeli ML. Prognoza prawdopodobieństwa i intensywności zjawisk konwekcyjnych z wyprzedzeniem do 36 godzin, ocena ich wpływu na przepustowość sektorów z uwzględnieniem efektów kaskadowych oraz generowanie alternatywnych planów lotów omijających prognozowane ograniczenia. Symulacje EUROCONTROL Innovation Hub potwierdziły zarówno techniczną wykonalność, jak i operacyjną użyteczność projektu. ISOBAR otrzymał nagrodę SESAR Digital European Sky Award w kategorii badań eksploracyjnych (2023). Najważniejsza

lekcją z realizacji projektu jest to, że narzędzia do prezentacji prognozowanej przepustowości powinny być proste, zrozumiałe i dopasowane do sposobu pracy operacyjnej personelu (Rys. 2.).



Rys. 2. Trzystopniowy proces przetwarzania danych w projekcie ISOBAR: od meteorologicznej prognozy konwekcyjnej AI, przez detekcję przeciążeń sektorów (hotspotów), aż po automatyczne generowanie alternatywnych planów lotów, źródło [1].

Wyzwanie DCB (Demand and Capacity Balancing) ma charakter sieciowy, bo to system „naczyni połączonych”. Decyzja podjęta w jednym regionie Europy wpływa na obciążenie sektorów setki kilometrów dalej. Projekt ISLAND (Intelligent Suite for Local and Network Demand and Capacity Balancing, konsorcjum: EUROCONTROL, DSNA, ENAIRE, DLR, ONERA, DFS, NATS) zwraca szczególną uwagę właśnie na ten aspekt, rozwijając narzędzia do poprawy prognoz ruchu sieciowego i generowania scenariuszy „co jeśli” dla bilansowania popytu i przepustowości. We wszystkich opisanych przypadkach AI pozostaje narzędziem poziomu 1, czyli dostarcza prognoz i wariantów działania, ale nie podejmuje decyzji operacyjnych.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [1] [17] [34] [37] [41] [42] [44] [45] [52] [54] [88]

2.3 Dynamiczna optymalizacja sektorów

Sektor kontroli to znacznie więcej niż wyznaczony fragment przestrzeni powietrznej. Każdy sektor charakteryzuje się własną specyfiką operacyjną i poziomem obciążenia pracą kontrolerów, a jednocześnie jest elementem europejskiej sieci zarządzania ruchem lotniczym. Dlatego planowanie dynamicznych konfiguracji sektorów (DAC) wymaga jednoczesnego uwzględnienia prognoz natężenia ruchu, dostępności personelu, pogody, ograniczeń przestrzeni powietrznej oraz aktualnej sytuacji operacyjnej. W efekcie podejście oparte wyłącznie na danych historycznych i wcześniej przygotowanych wariantach konfiguracji przestaje wystarczać w obliczu współczesnych, często nieprzewidywalnych zmian.

Kluczowym narzędziem EUROCONTROL jest Research Network Strategic Tool (R-NEST), który na podstawie prognozowanego ruchu generuje nowe konfiguracje sektorów, w tym projektuje je od podstaw.

Narzędzie to pozwoliło uzyskać zoptymalizowane konfiguracje lepiej dopasowane do rzeczywistego zapotrzebowania przy równoczesnym zrównoważeniu obciążenia kontrolerów. Walidacja operacyjna przeprowadzona w 2019 roku w EUROCONTROL Experimental Centre z udziałem ekspertów operacyjnych m.in. z PANSA i DFS potwierdziła korzyści automatycznego wspomaganie koordynacji cywilno-wojskowej, wzrost świadomości sytuacyjnej oraz możliwość definiowania konfiguracji dopasowanych do dostępnych zasobów. Po raz pierwszy przetestowano algorytmy AI wspierające predykcje przepustowości proponowanych konfiguracji.

Projekt SMARTS rozwiązuje problem zarządzania przestrzenią powietrzną u samego źródła. Zamiast poprawiać istniejące granice sektorów, całkowicie reorganizuje podstawowe bloki, z których są one budowane. Dzięki uczeniu maszynowemu, zaawansowanemu modelowaniu i optymalizacji matematycznej, SMARTS pozwoli skrócić trasy lotów, zredukować opóźnienia i emisje oraz zmniejszyć obciążenie pracą kontrolerów.

DAC pozostaje obszarem, w którym przepaść między dojrzałością technologiczną (TRL 4-6) a pełnym wdrożeniem operacyjnym jest wciąż wyraźna. Zgodnie z ATM Master Plan, do 2035 roku planowane jest wdrożenie zaawansowanych konfiguracji sektorów wspieranych automatyzacją poziomu 2.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [8] [55] [56] [76] [84] [97] [100]

2.4 Trajektorie 4D i Trajectory-Based Operations (TBO)

Koncepcja Trajectory-Based Operations (TBO) jest próbą rozwiązania fundamentalnego problemu przewidywalności. Każdy uczestnik systemu, pilot, czy kontroler, pracuje na nieco innym obrazie tej samej trajektorii. Różnice w przewidywaniu profilu wznoszenia, momentu rozpoczęcia zniżania i wpływu wiatru generują skumulowaną niepewność wymuszającą szersze marginesy separacji i częstsze interwencje taktyczne. Zamiast reaktywnego zarządzania odchyleniami, cały system ATM ma działać na wspólnym, zsynchronizowanym planie trajektorii 4D udostępnianym wszystkim stronom przez infrastrukturę SWIM (System Wide Information Management – wspólna sieć wymiany danych, przez którą każdy system AI w ATM odbiera dane wejściowe, a jej zakłócenie lub niepowodzenie dotyka wszystkich narzędzi decyzyjnych jednocześnie).

Projekt 4DSkyways wykazał, że połączenie danych ADS-C z pokładem, precyzyjnych prognoz meteorologicznych oraz technik ML pozwala znacząco zmniejszyć niepewność trajektorii. Mechanizm jest prosty. Lepsza predykcja pozwala redukować marginesy separacji, to z kolei oznacza mniej interwencji taktycznych, co skutkuje niższym obciążeniem kontrolerów i wyższą przepustowością. PANSA aktywnie uczestniczyła w walidacji rozwiązywania dotyczącego predykcji trajektorii z ADS-C.

Projekt NETWORK-TBO wprowadza innowacyjne rozwiązanie AI prognozujące ograniczenia przestrzeni powietrznej dla danego lotu, wraz z poziomem pewności predykcji. Linie lotnicze mogą wykorzystać te informacje na etapie planowania, optymalizując plany lotu.

Wdrożenie kluczowych usług FF-ICE (Flight and Flow Information for a Collaborative Environment – standard definiujący cyfrową wymianę danych o trajektoriach między wszystkimi uczestnikami systemu ATM, zastępujący tradycyjne uzgodnienia telefoniczne) wynika z Rozporządzenia CP1 (2021/116) z terminem 31 grudnia 2025 roku. W praktyce, ze względu na skalę wyzwań integracyjnych, standard ten nie został wówczas w pełni zaimplementowany przez wszystkie podmioty, a pełna transformacja operacyjna wciąż trwa. TBO z warstwą AI jest również narzędziem strategii dekarbonizacji, ponieważ każda niewykonana interwencja taktyczna to mniej spalonego paliwa.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [9] [30] [38] [39] [67] [74] [83] [96]

2.5 AI a pogoda w ATM

Warunki meteorologiczne pozostają jednym z głównych źródeł niepewności operacyjnej w ATM. Pogoda odpowiada za blisko jedną trzecią wszystkich opóźnień ATFM w Europie. Dla operacji trasowych, to około 25%, a na lotniskach nawet 50%. W tym obszarze metody uczenia maszynowego oferują konkretną wartość poprzez weather nowcasting, krótkoterminowe prognozowanie pogody w horyzoncie od kilkunastu minut do 2-3 godzin. Z dość dużą dokładnością zawężają prognozę co do czasu i miejsca wystąpienia zjawiska wraz z lepszym uwzględnieniem lokalnych efektów niż klasyczne numeryczne modele prognozowania pogody (NWP).

Projekt KAIROS (SESAR3 JU, Fast Track Innovation and Uptake) stosuje modele ML na połączonych danych z numerycznych prognoz i obserwacji operacyjnych, obejmując cztery kluczowe zjawiska: burze konwekcyjne, oblodzenie na dużych wysokościach (high altitude ice crystals), turbulencje w czystym powietrzu (clear air turbulence) oraz ograniczoną widzialność (low visibility). Wyniki wskazują na zwiększoną dokładność i dłuższe wyprzedzenie czasowe w porównaniu z obecnie dostępnymi informacjami meteorologicznymi.

Projekt ALARM (multi-hazard monitoring and early warning system) integruje dane o środowiskowych i meteorologicznych zagrożeniach dla lotnictwa. System łączy informacje satelitarne oraz naziemne w czasie rzeczywistym, generując alerty w trzech perspektywach czasowych: natychmiastowej (nowcasting do 2 godzin), krótkoterminowej (do 6 godzin, obejmującej m.in. silne burze wokół lotnisk oraz przemieszczanie się niebezpiecznych dla silników chmur dwutlenku siarki pochodzenia wulkanicznego) oraz średnioterminowej (do 48 godzin, prognozującej unijne punkty zapalne klimatu – climatic hotspots). ALARM jest zgodny z unijnym profilem technologicznym Yellow SWIM, co umożliwia jego bezpośrednią integrację z europejską infrastrukturą zarządzania ruchem lotniczym (ATM).

Głównym wyzwaniem jest tu zapewnienie dokładności ocen prawdopodobieństwa w modelach (tzw. kalibracja probabilistyczna). Model, który systematycznie zawyża prawdopodobieństwo braku zagrożenia, może być bardziej niebezpieczny niż model mniej dokładny, ale uczciwy co do własnej niepewności. Projekty KAIROS i ISOBAR kładą duży nacisk na przejrzystość działania algorytmów oraz kalibrację probabilistyczną prognoz, co jest warunkiem ich wdrożenia operacyjnego.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [4] [65] [85] [90]

2.6 Wieże cyfrowe i zdalne

Wieże cyfrowe i zdalne (Remote Tower Operations – RTO, w tym model Multi Remote Tower – MRT) zastępują obserwacje pola manewrowego lotniska strumieniami wideo z kamer wysokiej rozdzielczości, danymi z sensorów i innymi źródłami. Sztuczna inteligencja wchodzi tutaj jako warstwa wspomagająca percepcję. Nie zamiast oczu kontrolera, lecz obok nich. Program SESAR bada możliwości konsolidacji kluczowych usług w jednym interfejsie, integracji planów lotów i informacji taktycznych oraz wdrażania nowych narzędzi wspomagających decyzje.

Projekt TRUSTY (SESAR3 JU, koordynowany przez Malardalen University z udziałem ENAC i Deep Blue) analizuje, w jaki sposób przejrzystość algorytmów i zrozumiałość ich rekomendacji kształtują poziom zaufania u kontrolerów ruchu lotniczego (Rys. 3.). Finalna walidacja odbyła się w marcu 2025 roku na platformie ACHIL w ENAC w Tuluzie. 17 doświadczonych kontrolerów zarządzało jednocześnie dwoma lotniskami: Toulouse Blagnac (LFBO) w trybie tradycyjnym oraz Muret-Lherm (LFBR) w trybie zdalnym z asystą AI. Badanie skupiało się na dynamice interakcji człowiek-AI w warunkach wysokiego ryzyka.



Rys. 3. TRUSTY (Trustworthy Intelligent System for Remote Digital Tower) projekt badawczy SESAR, którego celem jest zrozumienie, w jaki sposób kontrolerzy ruchu lotniczego (ATCO) wchodzi w interakcję z systemami sztucznej inteligencji typu explainable AI (wyjaśnialna AI) i jak im ufają w środowiskach zdalnych wież cyfrowych źródło [94] [104]

System ASRU (Automatic Speech Recognition and Understanding) projektu HAAWAI (projekt DTT PJ05-W2-97, DLR, Austro Control, PANSa i in.) przetwarza komunikację radiową kontroler-pilot w czasie rzeczywistym i automatycznie aktualizuje elektroniczne paski lotów. Walidacja z 12 kontrolerami z Austro Control w DLR Braunschweig (wrzesień-listopad 2022) dała konkretne wyniki: wskaźnik błędów słownych na poziomie 3%, skuteczność rozpoznawania komend na poziomie 92% oraz znaków wywoławczych na poziomie 97%. Czas klikania myszką spadł ponad 30-krotnie, z 12 800 do około 400 sekund podczas 28 godzin symulacji. Należy podkreślić, że 8% błędów rozpoznawania komend w środowisku safety-critical to nie jest margines, który można zignorować, to jest dokładnie ten punkt, w którym certyfikacja i analiza ryzyka mają krytyczne znaczenie.

Projekt DTT, w którym uczestniczyła PANSa, eksploruje również zastosowanie rzeczywistości rozszerzonej (AR) w środowisku wieży – nakładanie cyfrowych etykiet i wskazań tras na obraz z kamer, szczególnie wartościowe w warunkach ograniczonej widzialności. Wśród wszystkich obszarów zastosowań AI w ATM wieże cyfrowe i zdalne stawiają przed algorytmami najsurowsze wymagania. System musi działać niezawodnie w każdych warunkach oświetleniowych i pogodowych. Dlatego certyfikacja AI dla wież zdalnych należy do najtrudniejszych wyzwań regulacyjnych EASA.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [27] [57] [69] [70] [80] [82] [87] [94] [104]

2.7 AI w U-space i zarządzaniu ruchem dronów

Koncepcja U-space ma zapewnić bezpieczną, skalowalną integrację dronów z ruchem załogowym oraz umożliwić masowe operacje komercyjne i publiczne. U-space to zintegrowany ekosystem usług,

obejmujący m.in. taktyczny geo-fencing (cyfrowe strefy geograficzne, do których drony mają zakaz wlotu), zarządzanie sytuacjami awaryjnymi, strategiczne i taktyczne rozwiązywanie konfliktów, informacje meteorologiczne, śledzenie, zarządzanie planami lotów oraz proceduralny interfejs z klasycznym ATM. AI nie jest jednym z elementów tego ekosystemu, jest spoiwem umożliwiającym ich współdziałanie w czasie rzeczywistym przy obsłudze setek, a docelowo tysięcy operacji jednocześnie.

W maju 2025 roku EASA wydała pierwszy w Europie certyfikat dostawcy usług U-space (USSP – U-space Service Provider) dla firmy ANRA Technologies. Podmioty typu USSP pełnią w środowisku dronowym rolę analogiczną do ANSP. To przełomowe wydarzenie otwiera drogę do komercyjnych wdrożeń systemów U-space na szeroką skalę.

Projekt SPATIO (SESAR3 JU, koordynowany przez ENAIRE) koncentruje się na rozwoju trzech komplementarnych usług: rozwiązywaniu konfliktów na etapie planowania lotu i w czasie rzeczywistym, bieżącym prognozowaniu trajektorii lotu oraz dynamicznym zarządzaniu przepustowością stref U-space. W październiku 2025 roku pomyślnie przeprowadzono testy walidacyjne tego rozwiązania. Wykazały one zdolność systemu do dynamicznego dostosowywania separacji do rzeczywistych i zmiennych warunków operacyjnych.

Projekt U-ELCOMÉ jest największym dotychczasowym testem w rzeczywistych warunkach systemu U-space na 6. poziomie gotowości technologicznej (TRL 6), realizowanym w trzech krajach europejskich. W styczniu 2026 roku SESAR JU opublikował U-space Implementation Handbook, praktyczne podsumowanie doświadczeń wdrożeniowych.

U-space jest obszarem, w którym AI musi działać na znacznie wyższym poziomie automatyzacji niż w klasycznym ATM. Człowiek nie jest w stanie manualnie koordynować setek operacji jednocześnie. Rodzi to kluczowe pytania o odpowiedzialność prawną (kto odpowiada za incydent spowodowany autonomicznym rozwiązaniem konfliktu przez system AI?) oraz cyberbezpieczeństwo. EASA w procesie certyfikacji ANRA po raz pierwszy zmierzyła się z tymi kwestiami w praktyce, wymagając m.in. oceny bezpieczeństwa algorytmów, planów ciągłości działania i ram cyberbezpieczeństwa. Najtrudniejszym elementem pozostaje bezpieczna integracja U-space z tradycyjnym lotnictwem załogowym – zarówno w przestrzeni kontrolowanej wokół dużych portów lotniczych, jak i w rejonie lotnisk aeroklubowych.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [15] [19] [23] [46] [95] [103]

2.8 Cyberbezpieczeństwo systemów AI w ATM

Wprowadzenie AI do systemów ATM tworzy nowe wyzwania w obszarze bezpieczeństwa, których nie uwzględniały dotychczasowe metody oparte na rezerwowych systemach i przewidywalnych procedurach awaryjnych. Dodatkowo coraz większe uzależnienie od wspólnych usług i danych, takich jak SWIM, GNSS oraz ADS-B, powoduje wzrost liczby potencjalnych punktów podatnych na awarie, błędy lub celowe działania zakłócające.

Cyberzagrożenia dla lotnictwa stają się coraz większym wyzwaniem. Według raportu ENISA Threat Landscape 2025 sektor transportu odpowiadał za 7,5% wszystkich incydentów cybernetycznych w UE, a większość z nich dotyczyła branży lotniczej. Wzrost liczby ataków jest związany m.in. z napiętą sytuacją geopolityczną. EUROCONTROL EATM-CERT odnotował 6320 zdarzeń cyberbezpieczeństwa dotyczących lotnictwa. Chociaż żaden z tych incydentów nie wpłynął bezpośrednio na bezpieczeństwo wykonywanych lotów, spowodowały one znaczne straty finansowe liczone w miliardach euro.

Trzy nowe kategorie podatności specyficzne dla AI.

- ▶ **Data poisoning** (zatrucie danych treningowych) – systematyczne wprowadzanie zniekształconych danych do zbiorów treningowych. Model uczy się wtedy błędnych wzorców, które mogą ujawnić się dopiero w specyficznych warunkach operacyjnych, bez natychmiastowej awarii systemu.
- ▶ **Adversarial attacks** (ataki) – celowe, minimalne zniekształcenie danych wejściowych w czasie rzeczywistym, mające na celu skłonienie modelu do popełnienia błędu klasyfikacji niewidocznego dla człowieka. Zjawisko to jest szczególnie niebezpieczne w systemach predykcji konfliktów lub detekcji anomalii na płycie lotniska.
- ▶ **Ataki na infrastrukturę danych** – głównym celem ataku jest system SWIM oraz systemy GNSS. Przypadki fałszowania (spoofing) i zagłuszania (jamming) sygnałów GNSS dramatycznie wzrosły. EUROCONTROL prowadzi strategiczny program budowy infrastruktury zaufania dla SWIM opartej na PKI (Public Key Infrastructure), rodzaju cyfrowego paszportu dla informacji krążących w europejskim ATM. Projekt obejmuje 30 interesariuszy.

EU AI Act (Art. 15) nakłada na dostawców systemów wysokiego ryzyka obowiązek zapewnienia odporności na ataki, manipulacje danymi oraz nieautoryzowany dostęp. Systemy AI stosowane w ATM, jako elementy infrastruktury krytycznej, podlegają tym wymogom obligatoryjnie. Po raz pierwszy wymogi cyberbezpieczeństwa dedykowane ML zostały uregulowane w wiążącym akcie prawnym na poziomie unijnym. EUROCONTROL wskazuje podwójną rolę AI, która może wspierać wykrywanie zagrożeń cybernetycznych, ale może też być używana w złośliwych celach.

Cyberbezpieczeństwo stanowi systemowy warunek brzegowy dla wszystkich omówionych wcześniej obszarów zastosowań AI. Przegląd ośmiu obszarów prowadzi do jednego zasadniczego wniosku. Kluczową zmienną nie jest wyłącznie jakość algorytmu, lecz jakość interakcji między modelem a człowiekiem, który z nim pracuje. Zarządzanie tą interakcją jest przedmiotem kolejnego rozdziału.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [22] [28] [32] [33] [59] [61] [66] [73] [101]

3. Human-AI Teaming na stanowisku operacyjnym

Wprowadzenie AI do środowiska operacyjnego ATM nie polega na prostym dodaniu nowych funkcji do istniejących systemów, lecz na fundamentalnej zmianie modelu współpracy między człowiekiem a systemem. Koncepcja Human-AI Teaming (HAT) opisuje tę współpracę jako komplementarną. AI i kontroler wykonują odrębne zadania, które wzajemnie się dopełniają. ATM Master Plan 2025 definiuje cel jako interakcję, w której zadania człowieka ewoluują w kierunku obszarów zbyt złożonych dla AI i interwencji, gdy automatyzacja zawodzi, z założeniem, że system adaptuje się do człowieka, a nie odwrotnie.

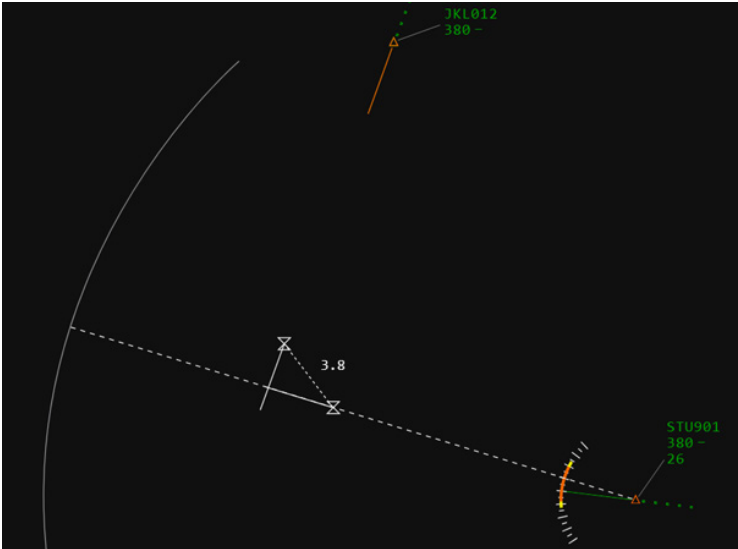
Parasuraman i Riley (1997) jako pierwsi systematycznie opisali taksonomię zachowań związanych z zaufaniem do automatyzacji, wyróżniając (Tab. 2): misuse (nadmierne zaufanie prowadzące do ślepego polegania na systemie i rezygnacji z własnej czujności), disuse (zbyt niskie zaufanie skutkujące ignorowaniem systemu) oraz abuse (nieprzemyślane wdrażanie automatyzacji przez projektantów lub menedżerów ponad realne możliwości ludzkiego operatora). Ich wniosek, że twórcy systemów muszą dbać zarówno o nadmierne, jak i niedostateczne zaufanie, pozostaje nadal fundamentem projektowania systemów HAT. Lee i See (2004) doprecyzowali ten model, wskazując, że zaufanie do automatyzacji to dynamiczny proces kalibracji, którego kluczową determinantą jest przewidywalność zachowania systemu w warunkach niestandardowych.

Pojęcie	Poziom zaufania	Zachowanie i skutki operacyjne	Przykład w ATM / Lotnictwie
Misuse niewłaściwe użycie	Nadmierne ślepe zaufanie	Operator bezkrytycznie polega na systemie. Przestaje monitorować otoczenie i traci czujność operacyjną (complacency).	Kontroler akceptuje bez sprawdzenia błędny plan rozwiązania konfliktu wygenerowany przez AI.
Disuse nieużywanie	Niedostateczny sceptycyzm	Operator ignoruje, wyłącza lub odrzuca sugestie automatyzacji, opierając się wyłącznie na działaniach manualnych.	Wyłączenie asystenta AI sugerującego konfigurację sektorów (DAC) z powodu wcześniejszych fałszywych alarmów.
Abuse nadużycie	Brak kalibracji błąd systemowy	Narzucenie automatyzacji przez kadrę zarządzającą/projektantów bez uwzględnienia ograniczeń i potrzeb człowieka.	Przeciążenie kontrolera zbyt dużą liczbą nieskoordynowanych alertów z nowego systemu autonomicznego.

Tab. 2. Taksonomia zaufania do automatyzacji według Parasuramana i Riley’a (1997), źródło: opracowanie własne

ARGOS (EUROCONTROL Maastricht UAC we współpracy z DLR) to jeden z najbardziej ambitnych projektów HAT w Europie. Narzędzie LORD (Lateral Obstacle & Resolution Display) wyświetla kontrolerowi geometrie konfliktu, minimalną odległość oraz alternatywne trasy, umożliwiając testowanie wariantów przed podjęciem decyzji. AI pokazuje konsekwencje możliwych decyzji, ale wybór należy do człowieka.

JARVIS (SESAR3 JU, koordynowany przez Deep Blue, z udziałem ENAV, ENAC, Leonardo, Airbus Defence and Space) rozwija asystentów cyfrowych dla kontrolera, załogi lotniczej i operatora lotniska.



Rys. 4 Narzędzie LORD (Lateral Obstacle and Resolution Display) będące częścią systemu ARGOS. Grafika przedstawia interfejs prezentujący kontrolerowi wykryte problemy poziome oraz potencjalne ścieżki ich rozwiązania, źródło [50]

W marcu 2025 roku przeprowadzono walidację modułu CORA (Conflict Resolution Advisory) do wspomagania rozwiązywania konfliktów z nowymi uczestnikami przestrzeni. CODA (Controller Adaptive Digital Assistant, SESAR3 JU, konsorcjum z udziałem Deep Blue, ENAC, IFATCA, NLR) bada obciążenie psychiczne kontrolera (jego poziom zmęczenia i stresu) i dynamicznie dostosowuje poziom asysty systemu do aktualnej kondycji operatora. SCRIBE (DSNA) jest już używany operacyjnie we Francji. Automatycznie rozpoznaje komunikację radiową, wydobywa komendy i aktualizuje dane systemowe.

Bainbridge (1983) w klasycznym artykule Ironies of Automation opisała fundamentalny paradoks polegający na tym, że im bardziej niezawodna jest automatyzacja, tym rzadziej operator interweniuje i tym słabiej utrzymuje kompetencje potrzebne w sytuacjach awaryjnych. Strauch (2017), odnosząc się do tych ustaleń po ponad trzydziestu latach, stwierdził, że problemy te wciąż nie zostały rozwiązane. Dysponujemy dobrymi danymi o tym, jak kontrolerzy oceniają narzędzia HAT w symulacjach. Nie dysponujemy natomiast mierzalnymi danymi operacyjnymi o tym, jak wdrożenie narzędzi poziomu 1 HAT wpłynęło na bezpieczeństwo lub wydajność w warunkach rzeczywistych. Ta luka jest sama w sobie ważnym wynikiem. Brak danych operacyjnych jest jednym z powodów, dla których certyfikacja poziomu 2 będzie trwać dłużej niż wskazują optymistyczne harmonogramy.

Poziom HAT	Rola systemu vs Człowieka	Dostępność danych ewaluacyjnych	Status certyfikacji i wdrożenia
Poziom 1 HAT (Wsparcie taktyczne)	AI sugeruje rozwiązania / optymalizuje trasy. Kontroler akceptuje i wykona decyzje.	Wysoka (w symulacjach): Dane kwestionariuszowe, oceny subiektywne kontrolerów. BRAK (w rzeczywistości): Brak mierzalnych danych operacyjnych o realnym wpływie na bezpieczeństwo.	Wdrożone / Wdrażane (Główny punkt odniesienia dla współczesnych analiz).
Poziom 2 HAT (Wysoka autonomia)	AI samodzielnie inicjuje i wykonuje działania, informując człowieka po fakcie lub dając czas na weto.	Brak podstaw operacyjnych: Nie da się przewidzieć zachowań systemu na bazie danych z Poziomu 1.	Opóźnione (Optymistyczne harmonogramy zawiodą przez brak twardych danych z Poziomu 1).

Tab. 3. Poziomy HAT, luka operacyjna i bariery certyfikacji, źródło opracowanie własne

Jeśli AI generuje rekomendację, kontroler ją realizuje, a dochodzi do incydentu, to kto ponosi odpowiedzialność? Brak jasnej odpowiedzi prawnej i proceduralnej na poziomie europejskim jest jednym z głównych hamulców wdrażania. Zrozumienie architektury ekosystemu regulacyjnego, kto finansuje badania, kto ustanawia standardy, kto egzekwuje wymagania i w jakim harmonogramie, jest warunkiem koniecznym dla każdego menedżera ATM planującego wdrożenie AI.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [7] [14] [29] [35] [47] [50] [51] [58] [60] [63] [64] [72] [78] [84] [89] [99]

4. Europejskie wdrożenia i projekty SESAR – stan na 2026 rok

Poprzednie rozdziały opisywały poszczególne obszary zastosowań AI. Każdy z osobna, z perspektywy technologicznej i operacyjnej. Ten rozdział przyjmuje inną optykę. Zamiast pytać co AI robi w danym zastosowaniu, pyta kto to finansuje, kto reguluje i w jakim harmonogramie. Technologia bez regulacji nie

może być certyfikowana. Regulacja bez finansowania badań pozostaje jedynie życzeniem. A badania bez operacyjnej walidacji nie przekraczają progu shadow-mode.

W obecnej fazie partnerstwa SESAR3 JU – uruchomionej w 2021 roku w ramach programu Horizon Europe – sztuczna inteligencja stanowi jeden z głównych priorytetów. Nowa, druga runda projektów, ogłoszona 3 lutego 2026 roku, obejmuje 42 inicjatywy badawcze o łącznej wartości ponad 350 mln EUR, finansowane przez UE i przemysł. W gronie 17 projektów eksploracyjnych znalazły się m.in. obliczenia kwantowe do optymalizacji trajektorii lotu w czasie rzeczywistym, kwantowe czujniki precyzyjnej nawigacji, systemy AI modelujące wpływ lotnictwa na klimat, zautomatyzowane wsparcie decyzji oraz zrozumiała sztuczna inteligencja (XAI) zapewniająca bezpieczne i odporne na zakłócenia operacje. EUROCONTROL uczestniczy w 21 z 42 wybranych projektów, koordynując sześć z nich. Prace ruszą w połowie 2026 roku i potrwają do roku 2029.

W grudniu 2024 roku SESAR JU przyjął piątą edycję Europejskiego ATM Master Plan. Dokument definiuje dziesięć Strategic Deployment Objectives (SDO) i przyjmuje trzy horyzonty czasowe: 2030 jako koniec fazy badań i innowacji, 2035 jako termin implementacji 10 strategicznych celów wdrożeniowych oraz 2045 jako pełne wdrożenie wizji Digital European Sky. AI stanowi technologię uniwersalną, wbudowaną w co najmniej pięć z dziesięciu SDO: zarządzanie trajektoriami, bilansowanie popytu i przepustowości, konfigurację przestrzeni, integrację U-space oraz operacje lotniskowe. Już wdrożone rozwiązania SESAR mogą przyczynić się do 4% redukcji emisji CO₂ w przeliczeniu na jeden lot, a rozwiązania zaimplementowane w ramach Common Project 1 przyniosły już spadek emisji o 2%.

Pierwszego sierpnia 2024 roku weszło w życie Rozporządzenie (UE) 2024/1689 – EU AI Act, pierwsza na świecie kompleksowa regulacja prawna dotycząca sztucznej inteligencji. Wiele systemów AI stosowanych w lotnictwie będzie traktowanych jako systemy wysokiego ryzyka ze względu na ich zastosowanie w infrastrukturze krytycznej i komponentach bezpieczeństwa.

Odpowiedzią EASA jest NPA 2025-07 – pierwsza propozycja regulacyjna agencji dotycząca AI w lotnictwie, ogłoszona 10 listopada 2025 roku. Jej celem jest dostarczenie przemysłowi technicznego przewodnika w zakresie zapewnienia wiarygodności AI zgodnie z wymaganiami dla systemów wysokiego ryzyka, obejmując wytyczne dotyczące zapewnienia jakości AI, czynnika ludzkiego i etyki dla poziomów 1 i 2. EASA porusza się szybciej i bardziej kompleksowo niż jakikolwiek inny regulator lotniczy na świecie, dzięki czemu jej ramy regulacyjne stają się światowym wzorcem wdrażania wiarygodnej sztucznej inteligencji w lotnictwie.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [18] [24] [43] [62] [75] [77] [84] [101]

5. Wyzwania wdrożeniowe. Co pozostaje do rozwiązania

Klasyczne systemy lotnicze są certyfikowane zgodnie z deterministycznymi standardami (DO-178C, DO-278A), które zakładają pełną przewidywalność zachowania. Model uczenia maszynowego działa inaczej, jego odpowiedź wynika z wyuczonych wzorców, a nie sztywnych reguł. Wspólny komitet EUROCAE WG-114 i SAE G-34 opracowuje standard ED-324/ARP6983. Draft 7 trafił do konsultacji publicznych w sierpniu 2025 roku. Pierwsza wersja ogranicza się do zamrożonych modeli nadzorowanego uczenia maszynowego. Modele adaptacyjne pozostają poza zakresem pierwszej wersji. Harmonogram EASA przewiduje finalizację polityki AI/ML na 2028 rok. Do tego czasu operacyjnie wdrażane systemy AI muszą opierać się na dokumentach koncepcyjnych (Concept Papers) EASA dla poziomów 1 i 2. Choć wskazują one kierunek, formalnie nie mają mocy wiążącej – zmieni się to dopiero po zakończeniu unijnych prac legislacyjnych RMT.0742.

Pytanie o odpowiedzialność prawną za błąd systemu AI rekomendacyjnego na stanowisku kontrolera pozostaje bez jednoznacznej odpowiedzi. EU AI Act definiuje obowiązki dostawców systemów wysokiego ryzyka, ale nie rozstrzyga relacji między dostawcą systemu AI, operatorem ANSP a indywidualnym kontrolerem w kontekście konkretnego zdarzenia. Ta luka prawna będzie musiała zostać wypełniona, przez orzecznictwo lub regulację, zanim większość ANSP zdecyduje się na wdrożenie systemów AI z realnym wpływem na decyzje operacyjne.

Europejski ATM składa się z kilkudziesięciu ANSP działających w różnych jurysdykcjach, z różnymi systemami operacyjnymi i różnym poziomem gotowości technologicznej. Każde wdrożenie musi przejść przez lokalną walidację, adaptację i certyfikację, co wielokrotnie wydłuża czas przejścia od koncepcji do operacji. Dyrektor EUROCONTROL ds. transformacji ATM ujął to wprost, że najtrudniejszą częścią pozostanie implementacja, w której EUROCONTROL musi nadal wspierać swoich interesariuszy (regulatorów, inwestorów, operatorów): „we wspinacze na tę skałę”. Mniejsze ANSP mają ograniczone możliwości finansowania własnych projektów AI, co grozi pogłębianiem technologicznych nierówności w sieci. Jednocześnie ich prostsze środowiska operacyjne mogą ułatwiać pilotażowe wdrożenia, co przemawia za sieciowym podejściem do transferu technologii.

Wdrożenie AI w ATM wymaga równoczesnego rozwoju trzech filarów: dojrzałej infrastruktury i integracji, wysokich kompetencji personelu oraz dojrzałych procesów organizacyjnych i certyfikacyjnych. Tylko kompleksowe podejście, z zachowaniem zasady human oversight i safety first, pozwala na odpowiedzialne wykorzystanie potencjału sztucznej inteligencji w europejskim ATM.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [25] [29] [31] [58] [102]

6. Kierunki dalszego rozwoju ATM z AI

W sierpniu 2025 roku EASA opublikowała wyniki badania etyki AI w lotnictwie. Eksperci z branży ocenili swój poziom akceptacji sztucznej inteligencji na 4,4 w 7-stopniowej skali, co odzwierciedla ostrożny optymizm co do potencjału AI przy jednoczesnym wyrażaniu obaw dotyczących ryzyka. Około dwie trzecie respondentów zgłosiło zastrzeżenia, odrzucając co najmniej jeden ze scenariuszy wdrożenia AI. Najczęstsze obawy dotyczyły ograniczeń wydajności systemów, ochrony danych i prywatności, odpowiedzialności prawnej, bezpieczeństwa oraz ryzyka utraty wiedzy i degradacji umiejętności ludzkich.

Cykliczna konferencja branżowa FLY AI Forum 2025 nosiła podtytuł From Machine Learning to Generative AI. EASA zapowiedziała włączenie zaawansowanych technik, w tym modeli generatywnych i dużych modeli językowych (LLM), do przyszłych prac regulacyjnych. Projekt SynthAIr (SESAR3 JU, koordynowany przez SINTEF) bada metody generowania syntetycznych danych ATM, takich jak trajektorie, zdarzenia operacyjne, wzorce ruchu, uzupełniających skąpe zbiory danych historycznych bez naruszania prywatności ani bezpieczeństwa informacji. Na AI Days 2025 w Kolonii Lufthansa Group zaprezentowała zastosowanie modelu LLM jako asystenta diagnostycznego w obsłudze technicznej statków powietrznych. To ważny precedens systemowy, ponieważ technologia LLM może działać w certyfikowanym środowisku lotniczym jako narzędzie wspomagające decyzje operacyjne. Otwiera to drogę do wdrożenia asystentów konwersacyjnych, którzy będą wspierać personel operacyjny ATM w codziennej pracy z dokumentacją NOTAM i AIP.

Nowa runda projektów SESAR3 JU (luty 2026) zawiera kierunki badawcze dotyczące obliczeń kwantowych dla optymalizacji trajektorii w czasie rzeczywistym i kwantowych sensorów dla precyzyjnej nawigacji. Stollenwerk i współpracownicy (NASA Ames, DLR, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020) wykazali, że problem rozwiązywania konfliktów trajektorii można sformułować jako problem kwadratowej optymalizacji binarnej (QUBO) i rozwiązywać na komputerach kwantowych. Wyniki tych badań wskazują na możliwość uzyskiwania optymalnych rozwiązań dla najbardziej złożonych

podproblemów. W przypadku problemów kombinatorycznych o wielu ograniczeniach (takich jak jednoczesne rozwiązywanie konfliktów dla setek lotów) obliczenia kwantowe oferują teoretyczną przewagę pod względem złożoności nad algorytmami klasycznymi. Jednak ich praktyczna realizacja wymaga komputerów o znacznie większych możliwościach niż te dostępne obecnie.

Kryterium analizy	Podjęście klasyczne (Algorytmy tradycyjne)	Podjęście kwantowe (Model QUBO / Stollenwerk 2020)
Modelowanie problemu	Sekwencyjne przeszukiwanie drzew decyzyjnych lub heurystyki upraszczające.	Mapowanie całego scenariusza (setek lotów) na jedną kwadratową macierz binarną.
Złożoność obliczeniowa	Wykładnicza (skrajnie złożona obliczeniowo). Przy dużym zagęszczeniu ruchu algorytmy „zawieszają się” lub dają rozwiązania suboptymalne.	Teoretycznie wielomianowa. Komputer kwantowy przeszukuje całą przestrzeń stanów jednocześnie (superpozycja).
Czas wyznaczania trajektorii	Rośnie drastycznie wraz z liczbą konfliktów; utrudnia optymalizację w czasie rzeczywistym.	Stały lub minimalnie rosnący, umożliwiający natychmiastową reakcję na nagłe anomalie pogodowe.
Główna zaleta operacyjna	Stabilność, pełna przewidywalność zachowania kodu i niska cena infrastruktury.	Zdolność do jednoczesnego rozwiązywania globalnych, wielokryterialnych konfliktów sieciowych.
Bariery wdrożeniowe (Stan na 2026)	Architektura klasyczna osiąga fizyczne limity wydajności przy symulacjach masowych (np. dron + lotnictwo załogowe).	Wymóg sprzętowy: Potrzeba procesorów (QPU) o wyższej spójności i większej liczbie kubitów niż obecne systemy testowe.

Tabela 4: Porównanie klasycznego i kwantowego (QUBO) rozwiązywania konfliktów trajektorii w ATM, źródło: opracowanie własne.

Optymalizacja tras, minimalizacja zużycia paliwa oraz prognozowanie wpływu operacji lotniczych na środowisko to obszary, w których sztuczna inteligencja przynosi mierzalne korzyści. Wdrażanie AI w zarządzaniu śladem klimatycznym staje się kluczowym priorytetem branży, obok zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa. Wśród projektów eksploracyjnych nowej rundy SESAR znalazło się m.in. wykorzystanie sztucznej inteligencji do modelowania skutków klimatycznych lotnictwa.

Patrząc przez pryzmat projektów opisanych w tym artykule wyłania się jeden nadrzędny kierunek: integracja. Nie chodzi o izolowane narzędzia AI dla kolejnych zastosowań, lecz o ekosystem, w którym wykrywanie konfliktów, zarządzanie przepustowością, konfiguracja sektorów, prognoza pogody i U-space działają jako spójne warstwy analityczne jednego systemu, połączone SWIM, zsynchronizowane trajektoriami 4D i dostępne dla człowieka przez jednolite interfejsy HAT. Dyrektor wykonawczy SESAR JU Andreas Boschen podkreślił, że udoskonalamy i rozwijamy naszą wizję Cyfrowego Europejskiego Nieba, w którym automatyzacja i sztuczna inteligencja są kluczowymi dźwigniami transformacji ATM. Dźwignia nie zastępuje siły ludzkiej, lecz ją zwielokrotnia.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [2] [3] [5] [6] [20] [40] [77] [81] [92]

7. Podsumowanie części drugiej

Sztuczna inteligencja w ATM sprawdza się w praktyce, o ile zostanie właściwie zdefiniowana, zweryfikowana i wdrożona. System FADE redukuje błąd prognozy opóźnień ATFM aż o 63% i jest codziennie wykorzystywany przez ponad 50 linii lotniczych. Z kolei projekt HAAWALL osiąga 97% skuteczność w rozpoznawaniu znaków wywoławczych, skracając czas ręcznego wprowadzania danych przez kontrolerów wieżowych aż 30-krotnie. W tym samym czasie PansaUTM z powodzeniem działa operacyjnie w całej Polsce. Te liczby i wdrożenia to ostateczny dowód na to, że sztuczna inteligencja z sukcesem wchodzi do struktur ATM i sprawdza się w praktyce.

Skuteczność techniczna to jednak za mało. Projekt SafeOPS wykazał, że kontrolerzy akceptują prognozy AI dopiero wtedy, gdy model osiąga dziewięćdziesięcioprocentowy poziom pewności. Z kolei zespoły ARTIMATION i TAPAS potwierdziły, że wyjaśnialność decyzji algorytmu stanowi warunek konieczny jego operacyjnej akceptacji. Wyniki te całkowicie zmieniają definicję sukcesu w projektach AI. Kluczowym pytaniem nie jest już to, czy algorytm działa, lecz to, czy kontroler mu ufa i faktycznie z niego korzysta.

Ramy regulacyjne powstają w bezprecedensowym tempie. Unijny EU AI Act wszedł w życie w sierpniu 2024 roku, a już w listopadzie 2025 roku EASA opublikowała projekt przepisów NPA 2025-07. Równolegle grupa robocza EUROCAE WG-114 finalizuje wersję roboczą standardu ED-324/ARP6983. Impuls wdrożeniowy wzmocni nowa runda 42 projektów SESAR3 JU z budżetem 350 milionów euro, która startuje w połowie 2026 roku. Według szacunków zawartych w ATM Master Plan 2025, każde euro zainwestowane we wdrożenie rozwiązań SESAR przyniesie do 2050 roku 17 euro bezpośredniego zwrotu. Po uwzględnieniu sze-rokich korzyści społeczno-ekonomicznych wartość ta rośnie aż do 53 euro zysku za każde zainwestowane euro. Dodatkowo pełna realizacja planu pozwoli uniknąć emisji do 400 milionów ton CO₂ do połowy wieku.

Akronim projektu	Budżet i koordynator	Rola AI / komputera kwantowego	Główny problem operacyjny
AIC4ATM	~1,00 mln EUR Univ. Politècnica de Catalunya	Budowa frameworku audytowego oceniającego zgodność systemów z EU AI Act.	Brak ujednoliconych narzędzi do certyfikacji i kontroli złożonych algorytmów.
MEDUSA	~2,00 mln EUR DLR (Niemcy)	Tworzenie modeli gwarantujących przejrzystość maszynową od etapu projektu (trustworthy AI).	Tradycyjne metody testowe nie sprawdzają się przy nowoczesnym uczeniu maszynowym.
NEXT-QCM	~1,00 mln EUR Mälardalens Universitet	Integracja uczenia kwantowego z wyjaśnialną sztuczną inteligencją (XAI).	Niewydolność klasycznych komputerów przy optymalizacji sieci lotniczych w czasie rzeczywistym.
JARVIS-CONNECT	~6,00 mln EUR Collins Aerospace Ireland	Rozwój cyfrowych asystentów pilota/kontrolera do gotowości rynkowej (do 2029 r., TRL6).	Bariery w budowaniu zaufania na linii człowiek-maszyna i bezpiecznej wymianie danych o trasach.
NEURON	~11,94 mln EUR Indra Sistemas	Wdrożenie komputerowej analizy obrazu na wieżach i prognoz nowcastingowych pogody.	Potrzeba automatyzacji śledzenia obiektów na lotnisku i redukcji obciążenia kontrolerów.

Tabela 5. Przegląd projektów AI w nowej rundzie Digital European Sky (luty 2026), źródło [77]

Wciąż jednak brakuje jednoznacznej odpowiedzi na pytanie o odpowiedzialność prawną za błąd systemu rekomendacyjnego AI na stanowisku kontrolera. Nie wypracowano jeszcze ostatecznego standardu certyfikacji modeli uczenia maszynowego (ML) w zastosowaniach ATM, nie wdrożono też operacyjnie żadnego systemu na poziomie 2 według klasyfikacji EASA. Badania tej agencji pokazują, że profesjonaliści lotniczy oceniają swoją akceptację dla sztucznej inteligencji na 4,4 w skali do 7. Oznacza to ostrożny optymizm, któremu towarzyszą realne obawy o granice wydajności technologii, odpowiedzialność oraz ryzyko degradacji ludzkich kompetencji.

Tym niemniej, teza postawiona w pierwszym rozdziale znajduje tutaj pełne potwierdzenie: algorytmy osiągają gotowość znacznie szybciej niż otaczające je systemy i procedury. Tempo wdrażania AI w ATM jest funkcją dojrzałości regulacyjnej, organizacyjnej i ludzkiej, a nie wyłącznie technicznej. To kluczowy wniosek, który powinien kształtować priorytety zarówno menedżerów instytucji zapewniających służby żeglugi powietrznej (ANSP), jak i decydentów regulacyjnych na najbliższe pięć lat.

Ze względu na bogactwo materiałów dotyczących udziału Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (PAŻP) w europejskiej transformacji ATM z wykorzystaniem AI, zarówno w projektach SESAR, jak i we wdrożeniach UTM oraz U-space, temat ten zostanie omówiony w osobnym artykule (część 2b). Zagadnienie to jest zbyt obszerne i istotne, by traktować je wyłącznie jako jeden z rozdziałów niniejszego przeglądu.

Niniejsze opracowanie stanowi pierwszą tak obszerną i wieloaspektową publikację na łamach „Safe Sky”, mającą na celu stworzenie solidnego fundamentu pod dyskusję o AI w lotnictwie. Świadomie zarysowano tu szeroki horyzont technologiczny i regulacyjny, który ma służyć jako punkt wyjścia dla środowiska akademickiego oraz praktyków. Szczegółowe zagadnienia, takie jak etyka AI w decyzjach safety-critical, harmonogramy certyfikacji poszczególnych systemów czy bezpośrednia perspektywa linii lotniczych i załóg, zasługują na osobne, dedykowane studia. Stanowią one bowiem naturalny kierunek dla kolejnych odsłon tej debaty.

Wniosek płynący z obu części jest jeden: sztuczna inteligencja w zarządzaniu ruchem lotniczym nie jest kwestią przyszłości. To wyzwanie teraźniejszości, na które poszczególne obszary i organizacje odpowiadają w różnym tempie, dysponując odmiennymi zasobami oraz odmiennym poziomem gotowości.

W tej sekcji skorzystano z następujących publikacji: [20] [75] [77]

Słownik pojęć

ADS-C EPP – Technologia przesyłania z pokładu samolotu przewidywanej trajektorii 4D, dzięki której systemy naziemne lepiej „widzą” intencje pilota.

Adversarial attacks – Celowe, subtelne zakłócenie danych wejściowych tak, żeby model AI popełnił błąd, którego kontroler nie zauważy.

ALARM – System wczesnego ostrzegania meteorologicznego (burze, pyły, turbulencja), dostarczający prognozy w standardzie SWIM.

ANSP – Dostawca usług nawigacji lotniczej (w Polsce – PANSO), odpowiedzialny za zarządzanie ruchem lotniczym.

ARGOS / LORD – Zaawansowane narzędzie wspomagania decyzji w Maastricht, pokazujące konflikty i proponujące rozwiązania w widoku 3D.

ARTIMATION – Projekt badający, jak wyjaśnialność (XAI) wpływa na zaufanie kontrolerów do systemów AI.

ASRU (HAAWAII) – System automatycznego rozpoznawania mowy kontroler-pilot, aktualizujący paski lotów bez użycia rąk.

ATFM – Zarządzanie przepływem ruchu lotniczego – bilansowanie liczby lotów z realną przepustowością sieci.

Bainbridge Ironies of Automation – Paradoks: im lepsza automatyzacja, tym gorzej operator radzi sobie, gdy system zawiedzie.

CODA – Cyfrowy asystent kontrolera, który dostosowuje poziom wsparcia do aktualnego obciążenia i stresu operatora.

CORA – Moduł generujący rekomendacje rozwiązania konfliktów (projekt JARVIS).

DAC (Dynamic Airspace Configuration) – Dynamiczne zmienianie granic sektorów w zależności od aktualnego ruchu zamiast sztywnych schematów.

Data poisoning – Zatrucie zbioru treningowego – celowe wprowadzenie błędnych danych, żeby model później działał źle.

DCB (Demand and Capacity Balancing) – Bilansowanie popytu na przestrzeń z dostępną przepustowością sektorów.

De-skilling – Stopniowa utrata umiejętności manualnych przez kontrolera wskutek nadmiernego polegania na automatyzacji.

Digital European Sky – Docelowa wizja europejskiego ATM do 2045 roku – w pełni zdigitalizowany i mocno zautomatyzowany system.

Distribution shift – Sytuacja, gdy model dostaje inne dane w praktyce niż te, na których był trenowany.

DTT – Projekt rozwijający technologie dla wież cyfrowych i zdalnych (rozpoznawanie mowy, AR).

ED-324 / ARP6983 – Nowy standard certyfikacji systemów AI/ML w lotnictwie (obecnie w przygotowaniu).

E-OCVM – Metodologia walidacji koncepcji operacyjnych stosowana w SESAR (w tym shadow-mode).

EU AI Act – Unijne prawo regulujące sztuczną inteligencję, szczególnie systemy wysokiego ryzyka (w tym większość AI w ATM).

FADE – Narzędzie prognozujące opóźnienia ATFM – jedno z nielicznych wdrożonych operacyjnie rozwiązań AI.

FF-ICE – Standard cyfrowej wymiany informacji o trajektoriach 4D między wszystkimi uczestnikami ruchu.

FMP – Stanowisko zarządzania przepływem w ACC – odpowiada za lokalne regulacje ruchu.

FRA (Free Route Airspace) – Przestrzeń, w której samoloty mogą lecieć dowolnymi trasami, a nie ustalonymi korytarzami.

GNSS – Nawigacja satelitarna (GPS, Galileo) – podstawowe źródło pozycji, podatne na jamming i spoofing.

HAAWAII – patrz ASRU

HAT (Human-AI Teaming) – Współpraca człowiek-AI, w której algorytm pomaga, a człowiek podejmuje ostateczną decyzję.

ISOBAR – Projekt prognozujący wpływ burz konwekcyjnych na przepustowość sieci.

ITEC SkyNex – Nowy system ATC budowany przez sojusz z udziałem PANSA.

JARVIS – Projekt asystentów AI dla kontrolerów, załóg i lotnisk.

KAIIROS – Projekt ML do precyzyjnego prognozowania zagrożeń pogodowych (burze, turbulencja, mgła).

LORD – patrz ARGOS

MTCd – Detekcja konfliktów średnioterminowych (kilka-kilkanaście minut).

Network Manager – EUROCONTROL – centralne zarządzanie przepływem ruchu w Europie.

NETWORK-TBO – Projekt optymalizacji trajektorii 4D na poziomie całej sieci.

NPA 2025-07 – Dokument EASA określający wymagania certyfikacyjne dla AI w lotnictwie.

NWP – Klasyczne numeryczne prognozy pogody (mniej dokładne w krótkim horyzoncie niż ML).

PKI – Infrastruktura klucza publicznego – podstawa cyberbezpieczeństwa sieci SWIM.

R-NEST – Narzędzie do generowania dynamicznych konfiguracji sektorów.

RTO (Remote Tower) – Zdalna kontrola lotniska za pomocą kamer i sensorów.

SafeOPS – Projekt predykcji odejść na drugi krąg – ustalił próg akceptacji 90% pewności.

SESAR 3 JU – Główne unijne konsorcjum finansujące badania i wdrożenia w ATM.

Shadow-mode – Tryb testowania AI równoległe do rzeczywistych operacji bez wpływu na decyzje.

SMARTS – Projekt przeprojektowywania bloków przestrzeni powietrznej z użyciem AI.

SPATIO – Projekt taktycznej dekonfliktacji w U-space.

STCD – Detekcja konfliktów krótkoterminowych (kilka minut).

SWIM – Wspólna europejska sieć wymiany danych lotniczych w czasie rzeczywistym.

SynthAir – Projekt generowania syntetycznych danych treningowych dla AI.

TAPAS – Projekt badający explainable AI w warunkach human-in-the-loop.

TBO (Trajectory-Based Operations) – Zarządzanie ruchem na podstawie precyzyjnych trajektorii 4D.

TRL – Skala gotowości technologicznej (1–9).

TRUSTY – Projekt badający wpływ wyjaśnialności AI na zaufanie kontrolerów wież zdalnych.

U-ELCOMe – Największy demonstrator operacyjny U-space w Europie.

U-space – System zarządzania ruchem dronów w dolnej przestrzeni powietrznej.

USSP – Dostawca usług U-space (komercyjny odpowiednik ANSP dla dronów).

XAI (Explainable AI) – Wyjaśnialna sztuczna inteligencja – systemy, których decyzje da się zrozumieć.

Bibliografia:

- [1] https://academieairespace.com/wp-content/uploads/2024/12/Grand-Perret_Eurocontrol.pdf
- [2] <https://aeroirene.substack.com/p/easa-artificial-intelligence-days-aa2>
- [3] <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/aviation-industry-cautiously-optimistic-about-ai-finds-easa-survey.html>
- [4] <https://alarm-project.eu>
- [5] <https://www.alg-global.com/blog/aviation/ai-trends-will-shape-aviation-2026>
- [6] <https://arxiv.org/abs/1711.04889>
- [7] <https://www.atc-network.com/atc-news/sesar-joint-undertaking/air-traffic-control-a-human-machine-partnership>
- [8] <https://atmmasterplan.eu/executive/automation-roadmap>
- [9] <https://atmmasterplan.eu/executive/tbo-roadmap>
- [10] <https://cordis.europa.eu/article/id/442199>
- [11] <https://cordis.europa.eu/article/id/442205>
- [12] <https://cordis.europa.eu/article/id/442205-integrating-predictive-ai-into-air-traffic-management-workflows>
- [13] <https://cordis.europa.eu/article/id/442209>
- [14] <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1016/0005-1098%2883%2990046-8>
- [15] <https://dronelife.com/2025/05/14/anra-technologies-becomes-first-easa-certified-u-space-service-provider/>
- [16] <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-concept-paper-issue-02-guidance>
- [17] <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137919/en>
- [18] <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/easas-first-regulatory-proposal-artificial-intelligence-aviation-now-open>
- [19] <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-certifies-anra-technologies-first-u-space-service-provider>
- [20] <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/press-releases/easa-publishes-survey-results-ethics-artificial-intelligence>
- [21] https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/easa_ai_roadmap_2_0_2023.pdf
- [22] <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2025>
- [23] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R0664>
- [24] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32024R1689>
- [25] <https://www.eurocae.net/open-consultation-for-ed-324/>

- [26] https://www.eurocontrol.int/archive_download/all/node/10494
- [27] <https://www.eurocontrol.int/article/are-physical-towers-dead>
- [28] <https://www.eurocontrol.int/article/atm-navigating-challenging-cybersecurity-landscape>
- [29] <https://www.eurocontrol.int/article/digitalisation-and-ai-air-traffic-control-balancing-innovation-human-element>
- [30] <https://www.eurocontrol.int/article/europe-takes-important-steps-towards-trajectory-based-operations>
- [31] <https://www.eurocontrol.int/article/european-atm-master-plan-and-eurocontrols-role-wider-atm-transformation>
- [32] <https://www.eurocontrol.int/article/investing-early-cyber-resilience-will-avoid-major-disruptions-longer-term>
- [33] <https://www.eurocontrol.int/article/investing-early-cyber-resilience-will-avoid-major-disruptions-longer-term#:~:text=Our%20EATM%2DCERT%20team%20publishes%20an,identified%206%2C320%20events%20and%20categorised>
- [34] <https://www.eurocontrol.int/article/isobar-research-building-controller-confidence-ai-systems>
- [35] <https://www.eurocontrol.int/article/lord-adds-speed-and-flexibility-decisions-maastricht-controllers>
- [36] <https://www.eurocontrol.int/article/why-artificial-intelligence-highly-relevant-air-traffic-control>
- [37] <https://www.eurocontrol.int/artificial-intelligence>
- [38] <https://www.eurocontrol.int/concept/flight-and-flow-information-collaborative-environment>
- [39] <https://www.eurocontrol.int/concept/system-wide-information-management>
- [40] <https://www.eurocontrol.int/event/fly-ai-forum-2025>
- [41] <https://www.eurocontrol.int/news/isobar-and-4dskeyways-projects-win-digital-european-sky-awards>
- [42] <https://www.eurocontrol.int/news/using-ai-powered-delay-prediction-improve-daily-airline-operations>
- [43] <https://www.eurocontrol.int/press-release/eurocontrol-set-play-key-role-next-phase-sesar-projects>
- [44] <https://www.eurocontrol.int/project/eatin>
- [45] <https://www.eurocontrol.int/project/island>
- [46] <https://www.eurocontrol.int/project/u-elcome>
- [47] <https://www.eurocontrol.int/publication/argos-factsheet>
- [48] <https://www.eurocontrol.int/publication/fly-ai-report>
- [49] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-08/e-ocvm-version-3.0-volume-1.pdf>
- [50] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-03/eurocontrol-muac-argos-factsheet.pdf>
- [51] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-04/20240430-flyai-forum-session-5-roques-carol.pdf>
- [52] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2025-04/20250422-flyai-forum-session1-anoraud-staudacher-eurocontrol-austrian-airlines.pdf>
- [53] <https://www.eurocontrol.int/solution/proven-methodology-applied-sesar-research>
- [54] <https://www.eurocontrol.int/solution/reducing-operational-impact-atfm-delay-uncertainty>
- [55] <https://www.eurocontrol.int/solution/rnest>
- [56] <https://www.eurocontrol.int/use-cases/operational-assessment-dynamic-airspace-configuration-collaborative-process>
- [57] https://www.fit.vut.cz/research/group/speech/public/publi/2023/helmke_ATM2023_paper_4.pdf.cs
- [58] <https://globalairspaceadar.com/stories/report-from-the-eurocontrol-flyai-forum-2024/>
- [59] [spoofing-threats](https://www.eurocontrol.int/solution/proven-methodology-applied-sesar-research)
- [60] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8013079>
- [61] <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/ise2/2046868>
- [62] <https://jdasolutions.aero/blog/does-easas-ai-initiative-require-immediate-faa-response/>
- [63] <https://journals.sagepub.com/doi/10.1518/001872097778543886>
- [64] https://journals.sagepub.com/doi/10.1518/hfes.46.1.50_30392
- [65] <https://www.kairos-eu.com/project>
- [66] <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.100-2e2025.pdf>
- [67] <https://www.pansa.pl/wp-content/uploads/2023/01/SAFE-SKY-420-2022.pdf>
- [68] https://www.pansa.pl/wp-content/uploads/2026/01/SAFE-SKY-30_2026.pdf
- [69] <https://www.remote-tower.eu/wp/project-pj05-w2/solution-97-l/>
- [70] <https://www.remote-tower.eu/wp/videos/>
- [71] https://www.researchgate.net/publication/357685004_A_Machine_Learning_Framework_for_Predicting_ATC_Conflict_Resolution_Strategies_for_Conformal_Automation
- [72] <https://sesar.eu/projects/coda>
- [73] <https://www.sesardeploymentmanager.eu/news/eurocontrol-completes-sesar-deployment-implementation-project-swim-common>
- [74] <https://www.sesarju.eu/projects/4DSkyways>
- [75] <https://www.sesarju.eu/news/europe-unveils-new-plan-modernise-critical-infrastructure-aviation>
- [76] <https://www.sesarju.eu/news/eu2-million-research-project-develop-artificial-intelligence-system-improve-air-travel>
- [77] <https://www.sesarju.eu/news/europes-skies-get-digital-upgrade-thanks-eur-350-million-innovation-investment>
- [78] <https://www.sesarju.eu/news/exploring-ai-support-air-traffic-controllers-conflict-resolution>
- [79] <https://www.sesarju.eu/news/predicting-conflict-free-trajectories-using-supervised-machine-learning>
- [80] <https://www.sesarju.eu/news/reduced-flight-time-and-fuel-burn-cards-controller-voice-recognition-tool>
- [81] <https://www.sesarju.eu/news/sesar-innovation-spotlight-fly-ai-forum>
- [82] <https://www.sesarju.eu/news/trusty-project-validates-trustworthiness-ai-digital-remote-towers>
- [83] <https://www.sesarju.eu/news/view-towards-trajectory-based-operations>
- [84] <https://www.sesarju.eu/node/4820>
- [85] <https://www.sesarju.eu/projects/ALARM>
- [86] <https://www.sesarju.eu/projects/artimotion>
- [87] <https://www.sesarju.eu/projects/DTT>
- [88] <https://www.sesarju.eu/projects/isobar>
- [89] <https://www.sesarju.eu/projects/JARVIS>
- [90] <https://www.sesarju.eu/projects/KAIROS>
- [91] <https://www.sesarju.eu/projects/SAFEOPS>

- [92] <https://www.sesarju.eu/projects/SynthAIR>
- [93] <https://www.sesarju.eu/projects/tapas>
- [94] <https://www.sesarju.eu/projects/trusty>
- [95] <https://www.sesarju.eu/projects/U-ELCOMÉ>
- [96] <https://www.sesarju.eu/sesar-solutions/improved-performance-cdr-tools-enabled-reduced-trajectory-prediction-uncertainty>
- [97] https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/projects/FPR/731796_PJ08_D1.2_Final%20Project%20Report_v2.pdf
- [98] <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR%20Annual%20Activity%20Report%202024.pdf>
- [99] <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SESAR%20Master%20Plan%202025.pdf>
- [100] https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2024/papers/SIDs_2024_paper_053%20final.pdf
- [101] <https://www.squirepattonboggs.com/media/253jx3rd/aerospace-industry-why-are-product-conformity-regimes-relevant-to-high-risk-ai-systems-under-the-eu-ai-act.pdf>
- [102] <https://theaircurrent.com/tac-explains/glossary-ai-ml-terms-aircraft-certification/>
- [103] <https://uasweekly.com/2025/11/03/unify-fly-demonstrates-u-space-deconfliction-at-spatio-open-day-in-romania/>
- [104] https://www.youtube.com/watch?v=4C7EDa_AVhk



Piotr Andrzej Dmochowski

Operator FMP

Ślot Koordynator dla Portu Lotniczego Kraków Balice

Inżynier z wieloletnim doświadczeniem w PAŻP. Zainteresowania badawcze: przepustowość przestrzeni powietrznej, płynność ruchu lotniczego i zarządzanie przepływem ruchu lotniczego.

Cywilna i wojskowa Inspekcja Lotnicza w Polsce



Paweł Szpakowski

Bezpieczeństwo operacji lotniczych w polskiej przestrzeni powietrznej opiera się między innymi na funkcjonowaniu naziemnej infrastruktury nawigacyjnej, której precyzja i niezawodność muszą być regularnie potwierdzane specjalistycznymi pomiarami. Część z tych zadań realizowana jest z powietrza w ramach kontroli określanej mianem inspekcji. W Polsce tego rodzaju działalność realizują dwa podmioty - cywilny i wojskowy. Artykuł przybliży kwestie terminowości realizacji działań inspekcyjnych, wskazuje specyfikę działania obu grup oraz wyjaśnia celowość współpracy między nimi.



Fot.1. Samolot pomiarowy stanowi kluczowy element funkcjonowania Inspekcji Lotniczej, źródło: ze zbiorów autora

Inspekcja Lotnicza (Flight Inspection / Flight Calibration) to między innymi proces kontroli pomocy radionawigacyjnych NAVAIDS wykonywany z powietrza, w trakcie lotu. Jego celem jest sprawdzanie poprawności działania systemów precyzyjnego podejścia do lądowania ILS (Instrument Landing System), radiolatarni kierunkowych DVOR (Doppler VHF Omnidirectional Range) oraz radiodalmiery DME (Distance Measuring Equipment), które wykorzystywane są do określania dokładnej pozycji

statków powietrznych i wspieraniu prowadzenia ich po wyznaczonych trasach lotu. Urządzenia te umożliwiają pilotom orientację przestrzenną i nawigację niezależnie od ograniczeń widzialności, bez konieczności obserwacji terenu. Kontrole z powietrza wykonuje się przy wykorzystaniu specjalnie przystosowanych samolotów inspekcyjnych, których wyposażenie pozwala przeprowadzić szczegółową analizę działania poszczególnych systemów naziemnych. Załogi tych statków powietrznych, którymi są inspektorzy pokładowi i piloci, weryfikują dokładność, stabilność i jednoznaczność sygnałów nawigacyjnych emitowanych przez te urządzenia w odniesieniu do norm międzynarodowych, określają zasięg działania, identyfikują wpływ czynników zewnętrznych terenowych i środowiskowych na poprawność działania i ciągłość pracy. Inspekcja stanowi jeden z kluczowych elementów zapewnienia bezpieczeństwa operacji lotniczych, ponieważ potwierdza, że samoloty otrzymują z ziemi prawidłowe sygnały nawigacyjne i dzięki temu mogą bezpiecznie lądować, a także wykonywać loty zgodnie z obowiązującymi procedurami, utrzymując zadane i wymagane trajektorie tras przelotów.



Fot.2. Wojskowy system radionawigacyjny TACAN; źródło: ze zbiorów autora

Osobną grupę stanowią urządzenia nawigacyjne instalowane i wykorzystywane na potrzeby lotnictwa wojskowego. W dużej mierze systemy dla wojska są identyczne z używanymi przez lotnictwo cywilne. Istnieje jednak grupa urządzeń, które obecnie znajdują zastosowanie tylko militarne. Należą do nich: radiolatarie bezkierunkowe NDB (Non-Directional Beacon), systemy TACAN (Tactical Air Navigation) i radary PAR (Precision Approach Radar). NDB nadaje sygnał we wszystkich kierunkach. Samolot w oparciu o pokładowy odbiornik ADF (Automatic Direction Finder) może określić kierunek do radiolatarni i na tej podstawie prowadzić nawigację. TACAN to system nawigacji lotniczej, dostarczający pilotom dwie podstawowe informacje nawigacyjne jakimi są kierunek i odległość do stacji naziemnej. Jest wojskowym odpowiednikiem DVOR/DME. Różnica polega na jego przystosowaniu do działań taktycznych, to znaczy, że został zaprojektowany do użycia w warunkach bojowych. Zachowuje stabilność wskazań przy wysoce manewrowych samolotach, dużych i częstych zmianach prędkości, wysokości, ostrych zakrętach. Cechuje się wysoką odpornością na zakłócenia radiowe oraz skutecznym działaniem w środowisku intensywnej emisji

fal, przy jednoczesnej pracy wielu systemów i potencjalnym oddziaływaniu zakłóceń elektromagnetycznych. PAR jest naziemnym systemem radarowym precyzyjnego podejścia do lądowania, stosowanym do kierowania samolotami, zwłaszcza w warunkach ograniczonej widzialności. Zapewnia kontrolerom ruchu lotniczego dokładne informacje o położeniu poziomym i pionowym maszyn względem początku drogi startowej. System monitoruje końcowe podejście, a kontroler przekazuje pilotowi instrukcje głosowe w celu utrzymania właściwego kierunku i ścieżki zniżania.

W Polsce zagadnieniami eksploatacji cywilnej, naziemnej infrastruktury radionawigacyjnej zajmuje się Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, będąca użytkownikiem blisko 150 różnego rodzaju urządzeń zlokalizowanych na lotniskach i w wybranych punktach kraju. Na potrzeby prowadzonych kontroli z powietrza tych urządzeń PAŻP dysponuje wyspecjalizowaną grupą Inspekcji Lotniczej, wyposażoną w nowoczesny samolot typu Beechcraft King Air 350i, ze względu na swoje wielobarwne malowanie zwany Papugą. Maszyna posiada zainstalowaną na pokładzie aparaturę kontrolno-pomiarową Flight Inspection System (FIS), umożliwiającą kompleksową ocenę działania systemów nawigacyjnych poprzez odbiór i pomiar sygnałów radiowych wraz z dokładnym określeniem położenia samolotu w przestrzeni. Uzyskiwane wyniki są zestawiane z zadanymi tolerancjami dokładności i na tej podstawie określana jest zdolność kontrolowanego urządzenia do pracy operacyjnej.



Fot.3. Radar precyzyjnego podejścia PAR, źródło: ze zbiorów autora

Kontrolą z powietrza systemów nawigacyjnych stosowanych na potrzeby wojska zajmuje się druga istniejąca w kraju grupa inspekcyjna, zwana potocznie PUEBLO, funkcjonująca w strukturach Sił Zbrojnych RP. Sekcja Kontroli z Powietrza Naziemnych Urządzeń Nawigacyjnych, zlokalizowana jest w Powidzu w 33. Bazie Lotnictwa Transportowego. Działając w ramach 3. Skrzydła Lotnictwa Transportowego, poprzez Inspektorat Sił Powietrznych, podlega Dowództwu Generalnemu Rodzajów Sił Zbrojnych (DGRSZ).

Zadania oblotu urządzeń naziemnych wojsko realizuje przy wykorzystaniu dwóch przeznaczonych do celów inspekcyjnych statków powietrznych typu PZL M28 B/PT Bryza (o numerach bocznych 0215 i 0217) wyposażonych, podobnie jak samolot PAŻP, w systemy FIS, na których dostawę i montaż Inspektorat Uzbrojenia Ministerstwa Obrony Narodowej podpisał umowę z PZL Mielec w 2017 roku. W mieleckich zakładach odbywa się także bieżące serwisowanie obu maszyn.



Fot.4. Samolot M28 B/PT Bryza wykorzystywany przez wojskową inspekcję lotniczą, źródło: ze zbiorów autora

Inspekcja lotnicza obejmuje różne typy kontroli, w zależności od tego, kiedy są wykonywane, dlaczego są realizowane i jaki status operacyjny mają sprawdzane urządzenia nawigacyjne. Kontrola wdrożenia (commissioning/initial) wykonywana jest przed pierwszym dopuszczeniem systemów do eksploatacji, po nowej instalacji, zmianie lokalizacji lub modernizacji. Zakres takiego sprawdzenia jest najszerzy i najbardziej szczegółowy, weryfikowane są wszystkie istotne parametry operacyjne urządzenia. Kontrole okresowe (periodic) realizowane są cyklicznie, w trakcie normalnej eksploatacji, według ustalonego harmonogramu, co 6 lub 12 miesięcy, zależnie od rodzaju urządzenia. Pozwalają potwierdzić, że wymagane parametry pracy utrzymują się w czasie i nie następuje degradacja sygnału nawigacyjnego. Bezpieczeństwo w eksploatacji takich urządzeń opiera się na ciągłości monitorowania ich parametrów funkcjonalnych i wykrywaniu z wyprzedzeniem ewentualnych zmian. Kontrole doraźne wykonywane są po pracach naprawczych, będących następstwem awarii, zgłoszeniach od załóg lotniczych o nieprawidłowym działaniu lub podejrzeniu uszkodzenia, czy powstałych zmianach w otoczeniu ich anten nadawczych, jakimi mogą być przykładowo nowopowstałe obiekty. Pozwalają zweryfikować, czy urządzenie nadal może być bezpiecznie użytkowane. Kontrole doraźne wykonywane są poza normalnym harmonogramem, ich zakres zależny jest od przyczyny i może skutkować ograniczeniem użytkowania lub czasowym wyłączeniem urządzenia.

Jedną z kluczowych kwestii związanych z kontrolami okresowymi jest terminowość ich realizacji. Niewykonanie w wymaganym terminie skutkuje utratą statusu urządzenia sprawnego, co wymusza konieczność wyłączenia go z pracy operacyjnej. O fakcie bezzwłocznie informuje się wtedy użytkowników przestrzeni powietrznej poprzez wydanie stosownej depechy NOTAM. Taki stan trwa do momentu wykonania kolejnego sprawdzenia z powietrza. Przepisy dopuszczają pewną elastyczność w kwestii wydłużenia terminu kolejnej kontroli o maksymalnie 21 dni, jeśli wystąpią okoliczności uniemożliwiające jej przeprowadzenie, jakimi są niekorzystne warunki atmosferyczne, niedostępność samolotu pomiarowego lub niesprawność systemu kontroli z powietrza FIS. Zastosowanie odstępstwa czasowego możliwe jest jeżeli zostanie potwierdzone, że dotychczasowa praca urządzenia nawigacyjnego była stabilna i udokumentowana protokołami z poprzednich kontroli z powietrza oraz pozytywnymi wynikami okresowych przeglądów naziemnych, realizowanych przez personel techniczny z częstotliwością nie mniejszą niż co 30 dni.

Czasowe wyłączenie z użytkowania statku powietrznego wykorzystywanego w inspekcji może mieć różne przyczyny. Każdy samolot ma wpisany w swój proces eksploatacji szczegółowy kalendarz obowiązkowych prac serwisowych i przeglądów, które muszą być rygorystycznie, regularnie wykonywane według planu. Mogą pojawić się także niesprawności maszyny wynikające z usterek, które powstały nagle, w trakcie realizowanych uprzednio lotów, w czasie bieżącej eksploatacji. Takich zdarzeń nie da się z przyczyn oczywistych zaplanować, zatem może zdarzyć się, że pomimo wyznaczonego i przygotowywanego już oblotu kolejnego urządzenia, samolot nie będzie mógł wzbić się ponownie w powietrze. Awaria samolotu to okoliczność łagodząca, ale nie usprawiedliwienie do wstrzymania realizacji harmonogramu kontroli z powietrza urządzeń nawigacyjnych. Jeżeli podmiot zajmujący się tego rodzaju działalnością dysponuje tylko jednym statkiem powietrznym, to na czas jego przestoju musi zorganizować rozwiązanie alternatywne. Polega ono na wynajęciu innego samolotu pomiarowego, aby we własnym zakresie wykonać zaplanowane zadania lub na zrealizowaniu kompleksowej usługi flight inspection świadczonej przez innego dostawcę.



Fot.5. Bazą samolotów inspekcji wojskowej jest lotnisko w Powidzu, źródło: ze zbiorów autora

W celu umożliwienia stałego utrzymywania w pracy operacyjnej wszystkich lotniczych urządzeń nawigacyjnych, zarówno wykorzystywanych przez statki powietrzne cywilne jak i wojskowe, a tym samym zapewnić bezpieczeństwo oraz płynność przepływu ruchu lotniczego na terytorium całego kraju, powstała koncepcja wspólnej realizacji działań inspekcyjnych przez zespoły specjalistów i samoloty z Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej oraz Dowództwa Generalnego Rodzajów Sił Zbrojnych. W czerwcu 2024 r. obie instytucje podpisały Porozumienie o współpracy w zakresie realizacji wzajemnych kontroli z powietrza lotniczych urządzeń naziemnych, gwarantujące ciągłość realizacji tego rodzaju zadań. Aneks wydużający umowę przyczynia się do zacieśnienia współpracy, zapewniając utrzymywanie bezpieczeństwa ruchu lotniczego na najwyższym możliwym poziomie. Na mocy ustaleń, cywilny samolot pomiarowy może kontrolować urządzenia na lotniskach wojskowych, a wojsko wykonywać kontrolę urządzeń cywilnych. W sytuacjach, gdy konieczne jest terminowe wsparcie wykonania wybranych zadań pomiarowych, każda ze stron porozumienia może liczyć na wsparcie załogi pomiarowej i wykorzystanie potencjału samolotu drugiej grupy inspekcyjnej. Dotychczas w ramach współpracy samoloty inspekcji wojskowej zrealizowały kilka lotów na rzecz PAŻP, dokonując między innymi kontroli systemów ILS/DME w portach lotniczych Zielona Góra, Poznań i Warszawa. Przez analogię załoga Papugi zrealizowała pomiary na lotniskach wojskowych w Łasku, Powidzu i Dęblinie. Wzajemnie uznawane są protokoły z wynikami takich inspekcji, stanowiąc formalne dokumenty określające statusy kontrolowanych urządzeń. Obie instytucje rozwijają także kompetencje swoich zespołów inspektorów, odpowiedzialnych za realizację zadań kontrolno-pomiarowych, wymieniając się specjalistyczną wiedzą oraz doświadczeniem. Jednym z przykładów wspólnych działań jest udział przedstawicieli Inspekcji Lotniczej PAŻP w corocznych, odprawach wojskowej kadry technicznej odpowiedzialnej za nadzór i eksploatację urządzeń ubezpieczenia lotów. Prezentowane w ramach spotkań referaty pozwalają na wzajemne poznanie możliwości operacyjnych i technicznych, zwiększając tym samym efektywność działania obu zespołów latających. Czynnikiem sprzyjającym efektywnej współpracy między PAŻP i DGRSZ w zakresie kontroli z powietrza, jest przede wszystkim fakt użytkowania przez obie strony prawie identycznych rozwiązań technologicznych i oprogramowania. Producentem i dostawcą obu systemów pomiarowych jest niemiecka firma Aerodata. Odbyte przez inspektorów pokładowych jednokowe szkolenia specjalistyczne, sprawiają, że obie grupy dysponują tak samo wysoko wykwalifikowanym personelem pokładowym. Metodyka realizowania misji inspekcyjnych oparta jest na podobnych zasadach, wykorzystywane są identyczne bazy danych o pomocach nawigacyjnych i ich lokalizacji. Pozwala to w szybki i bezproblemowy sposób przygotowywać i przekazywać w pełni gotowe do wykorzystania przez drugą stronę programy lotów inspekcyjnych. Możliwe jest też natychmiastowe, wzajemne przesyłanie zebranych w powietrzu wyników pomiarów i wykresów obrazujących pracę kontrolowanych urządzeń i ich wzajemna interpretacja.

Zasadnicza różnica w operowaniu obu grup polega na czasochłonności lotów pomiarowych. Związane jest to z różnymi zakresami prędkości lotu samolotów Beechcraft 350 i M28 B/PT oraz liczbą realizowanych pomiarów i sposobem ich wykonywania. Inspekcja cywilna opiera swoje działania jedynie na międzynarodowych przepisach zawartych w dokumentach ICAO uzupełnionych o krajowe Ministerstwa Infrastruktury. Wojsko poza ICAO korzysta z przepisów NATO, w tym dokumentów standaryzacyjnych (STANAG) oraz instrukcji Ministerstwa Obrony Narodowej. Warto zauważyć, że ze względu na częściowo różne rodzaje urządzeń nawigacyjnych, wykorzystywanych w obu rodzajach lotnictwa, nie ma możliwości aby obie inspekcje mogły stanowić dla siebie pełne zastępstwo przy realizacji powierzonych im zadań pomiarowych.

Ze względu na operowanie w tej samej przestrzeni powietrznej i zbliżone wyposażenie techniczne samolotów obie grupy inspekcyjne stykają się z jednakowymi problemami związanymi z występowaniem zakłóceń sygnałów GNSS (Global Navigation Satellite System) typu spoofing i jamming. Systemy satelitarne umożliwiają wyznaczanie położenia statku powietrznego w przestrzeni w trakcie realizacji inspekcji. Jeżeli dane o pozycji i czasie są niepoprawne pokładowe systemy FIS nie są w stanie zrealizować pomiarów w sposób ciągły, z należytą dokładnością. W skrajnych przypadkach nie jest w ogóle możliwe przeprowadzenie lotu inspekcyjnego. W takiej sytuacji nawet wykorzystanie maszyny drugiej grupy nie jest rozwiązaniem,

ze względu na analogiczny osprzęt pomiarowy. Z tego powodu zarówno PAŻP jak i wojsko podjęły niezależnie decyzje o modyfikacji swoich samolotów pod kątem możliwości wykonywania pomiarów także w warunkach występowania zakłóceń GNSS. Uzupełnione wyposażenie ma zawierać alternatywne systemy pozycjonowania jakimi są systemy inercyjne (INS) wraz z urządzeniami niwelowania powstającego w trakcie ich używania tzw. dryfu, anteny CRPA potrafiące tłumić sygnały zakłócające pochodzące z określonych kierunków. Ma to zapewnić niezależnienie realizacji zadań kontroli z powietrza od coraz częściej występujących jammingu i spoofingu.

Podsumowując, realizacja działań inspekcji lotniczej stanowi jeden z fundamentów bezpieczeństwa i ciągłości operacji lotniczych, zapewniając bieżącą weryfikację poprawności działania systemów nawigacyjnych oraz ich zgodności z obowiązującymi normami. Regularne kontrole z powietrza pozwalają na wykrycie ewentualnych nieprawidłowości i zapobiegają ograniczeniom w użytkowaniu infrastruktury lotniczej. Istotnym wzmocnieniem tego procesu jest możliwość wykonywania części tych zadań w ramach nawiązanej współpracy pomiędzy cywilną i wojskową grupą inspekcyjną działającymi w Polsce. Umożliwia to optymalne wykorzystanie zasobów obu podmiotów a tym samym zwiększenie ich efektywności operacyjnej. Jest to szczególnie przydatne w sytuacjach czasowej niedostępności sprzętu pomiarowego jednej ze stron przy równoczesnym zbliżającym się terminie obowiązkowego oblotu. Takie podejście pozwala zachować ciągłość działań inspekcyjnych, przekładając się na spójny, elastyczny i zdecydowanie bardziej niezawodny system nadzoru nad urządzeniami nawigacyjnymi w całej krajowej przestrzeni powietrznej.



Paweł Szpakowski

**Główny Specjalista ds. kontroli urządzeń z powietrza,
Inspektor Pokładowy**

Od ponad 28 lat członek załogi samolotów Inspekcji Lotniczej PAŻP „Papuga”,
Local Safety Expert,
autor publikacji z zakresu bezpieczeństwa lotniczego,
operator i pilot dronów

Dron nad lotniskiem

zagrożenie lub narzędzie bezpieczeństwa



Adrian Morys

Jeszcze niedawno dron był dla wielu osób przede wszystkim latającym aparatem do zdjęć i filmów. Dziś to pełnoprawne narzędzie pracy, używane w ratownictwie, budownictwie, inspekcjach technicznych i monitoringu infrastruktury. W lotnictwie cywilnym operacje BSP są analizowane w sposób szczególny. W rejonie lotnisk mogą zarówno wspierać bezpieczeństwo operacji, jak i stanowić istotne zagrożenie.

Nieprzypadkowo ICAO i regulatorzy lotniczy coraz częściej mówią o dronach w dwóch kontekstach jednocześnie: jako o technologii przydatnej oraz jako o źródle nowego typu ryzyka dla transportu lotniczego.

Największy problem pojawia się wtedy, gdy dron trafia w rejon podejść do lądowania, odlotów albo samego pola manewrowego lotniska. W takiej przestrzeni margines błędu jest minimalny. Nawet niewielki bezałogowiec może wymusić działania operacyjne, od weryfikacji sytuacji przez służby ruchu lotniczego po ograniczenie operacji lotniczych. EASA przypomina, że incydenty z dronami przy lotniskach mogą wynikać zarówno z nieświadomości operatora, jak i z działania celowego. Od 2020 roku poważne zakłócenia odnotowano między innymi w Madrycie, Frankfurtu, Rydze i Manchesterze. W Stanach Zjednoczonych FAA informuje, że co miesiąc otrzymuje ponad 100 zgłoszeń o obserwacjach dronów w pobliżu lotnisk. W polskich realiach mocnym sygnałem ostrzegawczym był już incydent z 2015 roku, gdy dron znalazł się około 100 metrów od samolotu Lufthansy podchodzącego do lądowania w Warszawie. Szczególnie istotny był incydent w Gatwick, gdzie według brytyjskiego rządu chaos wywołany przez drony dotknął ponad 100 tysięcy pasażerów.

Z punktu widzenia prawa najważniejsze jest to, że w Europie nie obowiązuje już prosta, uniwersalna zasada typu „byle nie za blisko lotniska”. EASA wskazuje, że państwa członkowskie wyznaczają strefy geograficzne dla dronów, czyli obszary, w których lot jest zakazany, ograniczony albo wymaga wcześniejszej zgody, a strefy te dotyczą wszystkich kategorii operacji. W Polsce za wyznaczanie takich stref odpowiada PAŻP. ULC przypomina przy tym, że operator przed lotem musi sprawdzić dostępność przestrzeni powietrznej, a w niektórych przypadkach uzyskać zgodę zarządzającego daną przestrzenią. W praktyce oznacza to, że przy planowaniu lotu w pobliżu lotniska nie wystarczy znać odległość od pasa startowego. Trzeba sprawdzić aktualnie aktywne strefy, wysokość, masę drona, kategorię lotu i warunki opublikowane dla konkretnego miejsca. Dodatkowo w Polsce każdy lot BSP powinien odbywać się po poinformowaniu PAŻP za pośrednictwem wskazanego systemu. Od 15 kwietnia 2024 roku dawny Check In PANSA został zastąpiony aplikacją mobilną DroneTower, która jest integralną częścią systemu PansaUTM. W polskich materiałach operacyjnych dobrze widać też, jak bardzo szczegółowo podchodzi się dziś do rejonów lotnisk

kontrolowanych. W prezentacji opublikowanej przez ULC w 2025 roku wskazano, że w strefach CTR każdy lot w rejonie 1 km od granicy lotniska wymaga zgody zarządzającego strefą. W rejonie do 6 km możliwy jest lot do 30 m AGL dronem o masie do 900 g, natomiast inne przypadki wymagają uzyskania zgody. Powyżej 6 km od granicy lotniska loty są co do zasady możliwe do 100 m AGL dronem do 25 kg, ale każdy inny wariant również wymaga zgody. W tej samej prezentacji podkreśla się, że dane kontaktowe do zarządzającego można znaleźć w DroneTower lub DroneMap. To bardzo ważne, bo w przestrzeni lotniskowej nie ma miejsca na spekulacje, a nawet zgoda służb nie zwalnia operatora z odpowiedzialności za bezpieczeństwo lotu i ustąpienie pierwszeństwa statkom załogowym.

Równolegle prawo staje się coraz bardziej przystosowane do postępu w technologiach dronowych, bo bezpieczeństwo w lotnictwie cywilnym wymaga dziś identyfikowalności operatorów. ULC podaje, że w Polsce rejestracji podlegają operatorzy posiadający drony o wadze przekraczającej 250 g lub wyposażone w czujnik zbierający dane, na przykład kamerę. Osoby latające dronem o masie 250 g lub więcej muszą przejść szkolenie online i zaliczyć test, a kwalifikacje są ważne przez 5 lat. Jeszcze ważniejsza stała się zdalna identyfikacja. EASA wskazuje, że od 1 stycznia 2024 r. wszystkie drony eksploatowane w kategorii szczególnej (Specific Category) oraz wszystkie drony posiadające oznaczenie klasy C1, C2, C3, C5 lub C6 używane zgodnie z przepisami UE muszą działać z aktywnym i aktualnym systemem zdalnej identyfikacji (Remote ID). ULC doprecyzowuje, że system ten może emitować między innymi identyfikator operatora, numer seryjny drona, czas, położenie, wysokość, trasę, prędkość BSP i pozycję pilota lub punkt startu. W praktyce dron w pobliżu lotniska przestaje być anonimowym punktem na niebie.

W tym miejscu należy mocno podkreślić, że dron nie jest wyłącznie problemem. W nowoczesnych portach lotniczych może stać się narzędziem poprawy bezpieczeństwa i efektywności pracy. ICAO wskazuje, że wykorzystanie dronów, robotyki, zaawansowanego obrazowania i analityki może wyeliminować konieczność obecności personelu na aktywnych drogach startowych, przyspieszać inspekcje pola manewrowego i poprawiać wykrywanie uszkodzeń nawierzchni oraz FOD. To szczególnie ważne tam, gdzie tradycyjne kontrole wymagają czasowych ograniczeń w pracy lotniska. Równolegle w Europie rozwija się U-space, czyli cyfrowe środowisko usług dla dużej liczby operacji bezzałogowych. EASA przypomina, że ramy prawne U-space zostały zbudowane w oparciu o rozporządzenie 2021/664, a w maju 2025 roku wydano pierwszy certyfikat dla dostawcy usług U-space. Oznacza to, że przyszłość rynku nie idzie w stronę zarządzania poprzez zakazywanie lotów dronów, lecz raczej w stronę ich coraz lepszego włączania do zarządzanej przestrzeni powietrznej. Z perspektywy lotnictwa cywilnego najrozsądniejsze jest więc podejście dwutorowe. Rejon lotniska musi być chroniony przed dronem użytym nielegalnie, lekkomyślnie albo z intencją zakłócenia ruchu. Ten sam typ technologii może wspierać inspekcje, monitoring infrastruktury i szybsze reagowanie na zagrożenia. ICAO podkreśla potrzebę skoordynowanego, całościowego podejścia do ochrony infrastruktury lotniczej przed bezzałogowcami, a EASA zwraca uwagę, że procedury reagowania na incydenty powinny obejmować nie tylko służby lotniskowe, ale również policję i inne podmioty pierwszej odpowiedzi. Rola BSP w lotnictwie cywilnym zależy od jakości regulacji, procedur operacyjnych i świadomości operatorów.



Adrian Morys

Specjalista ds. eksploatacji urządzeń i systemów COM

Dział Eksploatacji Systemów CNS Południe

Local Safety Expert



Biuletyn Bezpieczeństwa
Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej



Polska Agencja Żeglugi Powietrznej

ul. Wieżowa 8
02-147 Warszawa
tel. +48 22 574 67 28
www.pansa.pl