

BIULETYN BEZPIECZEŃSTWA W LOTNICTWIE CYWILNYM

Nr 3(31)/2025



Urząd Lotnictwa Cywilnego

W NUMERZE:

- ✈ Sztuczna inteligencja w analizie ryzyka w zarządzaniu ruchem lotniczym
- ✈ Part-IS: Nowe przepisy EASA w zakresie bezpieczeństwa informacji w lotnictwie cywilnym
- ✈ Zderzenia z ptakami – zagrożenia w lotnictwie i metody ograniczania ryzyka
- ✈ Zarządzanie zagrożeniami i błędami w lotnictwie: koncepcja TEM

Publikowane przez:

Departament Zarządzania Bezpieczeństwem
w Lotnictwie Cywilnym
Urząd Lotnictwa Cywilnego
ul. Marcina Flisa 2
02-247 Warszawa
Tel.: +22 520 75 22

Zapraszamy do przesyłania komentarzy
i tematów ważnych
dla Państwa do poruszenia
w kolejnych edycjach biuletynu
na adres mailowy: **lbb@ulc.gov.pl**
lub **lbb-2@ulc.gov.pl**



Szanowni Państwo,

z przyjemnością oddaję w Państwa ręce kolejny numer Biuletynu Bezpieczeństwa Urzędu Lotnictwa Cywilnego.

W niniejszym wydaniu kontynuujemy cykl poświęcony pracom wyróżnionym podczas tegorocznej Studenckiej Konferencji Lotniczej „Skrzydła Lotnictwa 2025” zorganizowanej przez Koło Naukowe Bezpieczeństwo i Zarządzanie Lotnictwem Politechniki Poznańskiej w ramach konkursu referatów.

- Pierwszy artykuł, wyróżniony w konkursie referatów, omawia zastosowanie sztucznej inteligencji (AI) w analizie ryzyka w zarządzaniu ruchem lotniczym. Przedstawia, jak zaawansowane algorytmy AI wspierają predykcję zagrożeń poprzez analizę dużych zbiorów danych, a także opisuje przykłady wykorzystania sztucznej inteligencji w zarządzaniu ruchem lotniczym.
- Kolejny artykuł omawia przepisy Part-IS, które regulują zarządzanie bezpieczeństwem informacji w lotnictwie cywilnym. Przedstawia m.in. strukturę przepisów, kluczowe elementy ISMS czy proces wdrożenia Part-IS z uwzględnieniem obowiązujących terminów implementacji. Ponadto w artykule omówiono powiązania z dyrektywą NIS oraz wyzwania i korzyści jakie wynikają z wdrożenia Part-IS.
- Trzeci artykuł analizuje problem kolizji statków powietrznych z ptakami, stanowiący poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa lotów. Omawia ich wpływ na bezpieczeństwo operacji lotniczych oraz metody ograniczania ryzyka kolizji, a także przedstawia właściwe przepisy międzynarodowe oraz krajowe w tym zakresie.
- Ostatni artykuł opisuje koncepcję zarządzania zagrożeniami i błędami (TEM), która analizuje reakcje załóg lotniczych na zewnętrzne zagrożenia i wewnętrzne błędy, mogące prowadzić do niepożądanych stanów samolotu. Ponadto w artykule przedstawiono wykorzystanie metody TEM w praktyce, na przykładzie analizy zdarzenia lotniczego.

Zachęcamy do lektury, która inspirować może do wdrażania innowacyjnych rozwiązań i refleksji nad poprawą bezpieczeństwa w lotnictwie.

Urząd Lotnictwa Cywilnego zachęca Państwa do zgłaszania propozycji tematów oraz chęci przygotowania własnego artykułu związanego z bezpieczeństwem lotniczym – najciekawsze z nich z wielką chęcią opublikujemy na łamach kolejnych wydań Biuletynu. Zachęcamy także do dzielenia się swoimi uwagami do opublikowanych materiałów. Na Państwa komentarze czekamy pod adresem: lbb-2@ulc.gov.pl. Na ten sam adres można też zgłaszać chęć otrzymywania Biuletynu Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym w wersji elektronicznej.

Zapraszam do lektury.

Julian Rotter
Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego

Sztuczna inteligencja w analizie ryzyka w zarządzaniu ruchem lotniczym



Streszczenie

Artykuł analizuje zastosowanie sztucznej inteligencji (AI) w ocenie i zarządzaniu ryzykiem w ruchu lotniczym, podkreślając jej kluczową rolę w poprawie bezpieczeństwa i efektywności operacyjnej. Współczesne technologie AI oferują zaawansowane narzędzia do analizy ogromnych zbiorów danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na identyfikację potencjalnych zagrożeń i szybsze podejmowanie decyzji. Dzięki uczeniu maszynowemu oraz sieciom neuronowym możliwe jest wykrywanie wzorców związanych z incydentami lotniczymi, co umożliwia prognozowanie sytuacji awaryjnych i skuteczniejsze zarządzanie ruchem lotniczym.

Sztuczna inteligencja odgrywa istotną rolę w automatyzacji procesów decyzyjnych, co przekłada się na wsparcie kontrolerów ruchu lotniczego w monitorowaniu i analizowaniu dużych ilości informacji. Algorytmy AI są wykorzystywane do analizy warunków atmosferycznych, przewidywania możliwych opóźnień i optymalizacji tras lotniczych, co zmniejsza ryzyko kolizji oraz poprawia płynność ruchu w przestrzeni powietrznej. Ponadto, systemy AI umożliwiają precyzyjne monitorowanie stanu technicznego samolotów, co przekłada się na lepsze zarządzanie konserwacją i wykrywanie potencjalnych usterek zanim doprowadzą do poważniejszych problemów.

W artykule omówiono konkretne przypadki wdrożeń AI w zarządzaniu ruchem lotniczym, w tym zastosowanie systemów wspomagania

decyzji oraz autonomicznych technologii monitorowania ruchu powietrznego. Ponadto, zwrócono uwagę na wyzwania związane z integracją AI w istniejące systemy zarządzania, w tym konieczność zapewnienia wysokiej jakości danych, niezawodności algorytmów oraz cyberbezpieczeństwa. Wnioski wskazują, że AI ma potencjał do znaczącej poprawy zarządzania ruchem lotniczym, minimalizacji ryzyka oraz zwiększenia niezawodności i efektywności operacji lotniczych.

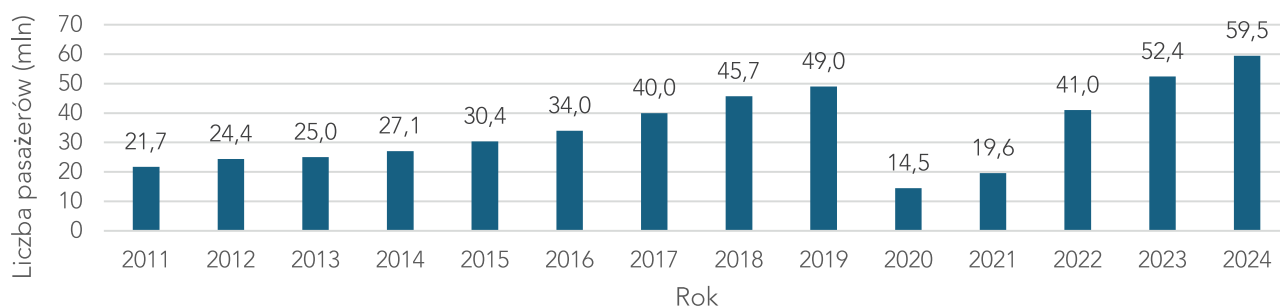
Słowa kluczowe

lotnictwo, bezpieczeństwo, zarządzanie ryzykiem, zarządzanie bezpieczeństwem, zarządzanie ruchem lotniczym, sztuczna inteligencja

Wprowadzenie

W ostatnich latach lotnictwo stanowi jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin. Nie zmieniła tego nawet pandemia, która, co prawda tymczasowo wyhamowała jego rozwój, niemniej poprzedni rok był pod wieloma względami rekordowy. Najwięcej pasażerów w historii skorzystało z usług narodowego przewoźnika, jakim są Polskie Linie Lotnicze LOT, a polskie lotniska obsłużyły blisko 60 milionów pasażerów – 10 milionów więcej niż przed pandemią (rys. 1). Z usług lotniska im. Fryderyka Chopina w Warszawie skorzystało pierwszy raz w historii ponad 20 milionów pasażerów (21,3 mln), a z największego polskiego lotniska regionalnego – Kraków-Balice ponad 10 milionów (11,1 mln).

Liczba pasażerów obsługiwanych na polskich lotniskach w latach 2011 - 2024



Rys. 1. Liczba pasażerów obsługiwanych na polskich lotniskach w latach 2011 - 2024 (opr. wł.)

Nieustannie rozwijają się również najnowsze technologie. Niewątpliwie do takich można zaliczyć sztuczną inteligencję. Znajduje ona coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, w tym lotnictwie, gdzie jej rola staje się coraz bardziej znacząca. Integracja sztucznej inteligencji z systemami zarządzania ruchem lotniczym otwiera nowe możliwości poprawy efektywności i bezpieczeństwa operacji lotniczych. Dzięki zdolności do analizy rozbudowanych zbiorów danych w czasie rzeczywistym, algorytmy sztucznej inteligencji mogą identyfikować potencjalne zagrożenia, czy wspierać decyzje kontrolerów ruchu lotniczego. Niemniej należy nadmienić, że AI nie będzie w stanie zastąpić kontrolerów ruchu lotniczego – będzie jedynie narzędziem wspomagającym ich pracę, a człowiek w dalszym ciągu będzie odgrywał kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa.

Lotnictwo od zawsze było jedną z najbardziej wymagających branż pod względem bezpieczeństwa i zarządzania ryzykiem. Każda operacja lotnicza, od samego planowania lotu, aż po jego realizację, wymaga precyzyjnych analiz wspieranych poprzez sprawne systemy nadzoru. W miarę znaczącego wzrostu liczby operacji lotniczych rośnie również zapotrzebowanie na bardziej zaawansowane i efektywne metody zarządzania ruchem lotniczym oraz monitorowania tego ruchu. Obecnie lotnictwo stawia na kwestie związane z bezpieczeństwem – ostatni z załączników do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym poświęcony jest bezpieczeństwu, a Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego wydała podręcznik zarządzania bezpieczeństwem – ICAO Doc 9859 (SMM – Safety Management Manual).

Współczesne systemy AI mogą analizować różne czynniki wpływające na bezpieczeństwo lotów, w tym warunki atmosferyczne, ruch powietrzny, parametry techniczne samolotów oraz poziom obciążenia kontrolerów ruchu lotniczego. Wykorzystanie uczenia maszynowego i sieci neuronowych pozwala na lepsze modelowanie sytuacji krytycznych, co przekłada się na skuteczniejsze zarządzanie ryzykiem.

Zarządzanie ruchem lotniczym jest jednym z najważniejszych obszarów, w których AI może znacząco poprawić efektywność operacyjną. Tradycyjne metody zarządzania ruchem lotniczym opierają się na ręcznym monitorowaniu ruchu przez kontrolerów ruchu lotniczego, w oparciu o procedurę lub radar, co wiąże się z dużym obciążeniem poznawczym, a także możliwością wystąpienia błędów. Dzięki zastosowaniu sztucznej inteligencji możliwe jest wdrożenie autonomicznych systemów wspomaganie decyzji, które mogą analizować dane z różnych źródeł i sugerować optymalne rozwiązania. Algorytmy AI są już wykorzystywane w niektórych krajach do optymalizacji tras lotów, co pozwala na redukcję zużycia paliwa, zmniejszenie emisji dwutlenku węgla oraz ograniczenie opóźnień.

Jednym z najbardziej obiecujących zastosowań sztucznej inteligencji w zarządzaniu ruchem lotniczym jest wykorzystanie technologii rozpoznawania obrazów i analizy danych radarowych do monitorowania przestrzeni powietrznej. Zaawansowane algorytmy mogą automatycznie wykrywać i klasyfikować obiekty w przestrzeni powietrznej. Dzięki temu kontrolerzy ruchu lotniczego mogą reagować szybciej i skuteczniej, minimalizując ryzyko kolizji oraz poprawiając płynność ruchu lotniczego.

Projekty Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej w dziedzinie zarządzania ruchem lotniczym

Jednym z podstawowych programów była modernizacja systemu P_21 PEGASUS do funkcjonalności SESAR (Single European Sky ATM Research). Celem projektu było przejście z dotychczasowego systemu zarządzania ruchem lotniczym PEGASUS_21 na technologię. Platforma testowa i walidacyjna zaimportowała sprawdzone funkcje operacyjne systemu PEGASUS, jednocześnie opierając się na przyszłych komponentach systemu ATM opracowanych we współpracy z instytucjami zapewniającymi zarządzanie ruchem lotniczym (ANSP) z Niemiec, Wielkiej Brytanii, Hiszpanii, Litwy, Holandii i Norwegii. Projekt był koordynowany przez jednego z managerów SESAR i finansowany ze środków Unii Europejskiej. Kosztował 3,3 mln euro i umożliwił walidację nowych koncepcji operacyjnych, w tym zarządzania trajektorią lotu, naziemnych systemów bezpieczeństwa, koordynacji między systemami, nowego interfejsu użytkownika oraz innych kluczowych elementów systemu ATM,

Powdrożeniu płaszczyzny testowej i walidacyjnej, projekt iTEC – Tests, Validation and Planning (iTEC-TVP) stanowił drugi etap 'migracji' do nowego systemu zarządzania ruchem lotniczym. W ramach projektu eksperci Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej, uczestniczyli w międzynarodowych zespołach roboczych w ramach inicjatywy iTEC (Interoperability Through European Collaboration). System iTEC jest przyszłościowym systemem zarządzania ruchem lotniczym, który ma zapewnić unifikację w ramach jednolitej europejskiej przestrzeni powietrznej. Ten projekt został dofinansowany kwotą 738 tysięcy euro pochodzącą z UE. Poza samym wkładem w rozwój wspólnego systemu zarządzania ruchem lotniczym, projekt ten stanowi solidną podstawę dla przyszłego systemu ATM.

Prowadzono również prace nad rozbudową i modernizacją systemu komunikacyjnego European Communication Gateway (ECG) poprzez wdrożenie systemu zapasowego oraz modernizację systemu podstawowego.

To rozwiązanie zapewnia ciągłość działania usług zarządzania ruchem lotniczym, dzięki wykorzystaniu dwóch niezależnych lokalizacji, w których rozmieszczone są system podstawowy i system zapasowy. Modernizacja umożliwia utrzymanie wymiany wiadomości i danych cyfrowych oraz wspiera wymianę automatycznych komunikatów koordynacyjnych między systemami kontroli ruchu lotniczego. Unia Europejska wsparła ten program kwotą 1,3 mln euro. Program pozwolił na wymianę komunikatów AFTN/AMHS jako głównego źródła informacji o planach lotów. Stworzono również scentralizowany system zarządzania informacjami przez EUROCONTROL - European Directory Services.

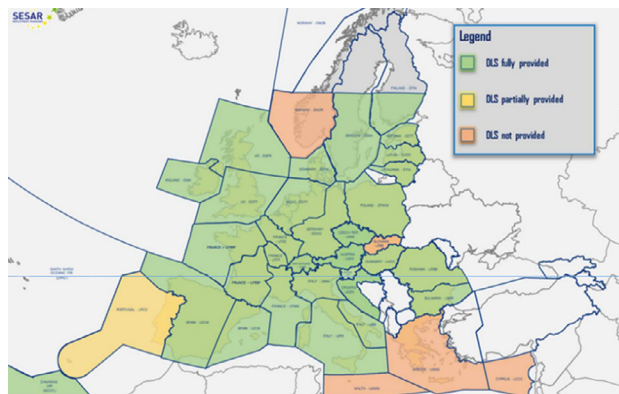
Współczesny system ATM jest również modernizowany w kierunku Free Route Airspace, czyli przestrzeni pozwalających na wykonanie lotów poza siecią dróg lotniczych. Głównym celem projektu była adaptacja systemu zarządzania ruchem lotniczym do kontroli lotów zgodnie z trajektoriami preferowanymi przez użytkowników. Projekt umożliwia przekazywanie i przyjmowanie lotów między polską przestrzenią powietrzną a sąsiednimi sektorami, niezależnie od wcześniej ustalonych punktów. Rozwiązanie takie w znacznej mierze przyczynia się do wzrostu przepustowości oraz pojemności sektorowej, a także zwiększa elastyczność przestrzeni pozwalając lepiej reagować na dynamicznie zmieniające się warunki w fazie taktycznej i w trakcie trwania operacji. Projekt współfinansowała Unia Europejska w kwocie 2,5 mln euro. Program pozwolił na optymalizację tras lotniczych, co przekłada się na krótszy czas lotu, mniejsze zużycie paliwa oraz niższą emisję spalin. Wprowadzone narzędzia wspierają kontrolerów ruchu lotniczego w wykrywaniu potencjalnych konfliktów, koordynacji wlotu do sąsiednich sektorów oraz monitorowaniu trajektorii lotu.

Innym projektem związanym z FRA (Free Route Airspace) jest wdrażanie tego rozwiązania w zakresie transgranicznym, w pierwszej kolejności ze Szwecją i Czechami. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej modernizuje systemy zarządzania ruchem lotniczym,

co jest kluczowe przy dalszym wdrażaniu tego rozwiązania. Projekt wspiera rozwój operacji między PANSA, a jej partnerami, umożliwiając rozszerzenie i usprawnienie operacji transgranicznych w ramach sieci europejskiej. W ramach projektu PAŻP planuje opracować i wdrożyć nowe funkcjonalności niezbędne do pełnego wsparcia tych operacji. Modernizacja przyniesie korzyści całej sieci lotniczej, zwiększając efektywność współpracy z partnerami.

Jedną z istotniejszych systemów komunikacji staje się obecnie system Controller-Pilot Data Link Communication (CPDLC), który przy wykorzystaniu łącza danych Very High Frequency Datalink (VDL2) zapewnia szybkie i uproszczone przekazywanie danych pomiędzy kontrolerami ruchu lotniczego, a pilotami. Dzięki jego funkcjom, kontroler ruchu lotniczego może w ciągu kilku sekund podjąć decyzję o zmianie poziomu lotu, kursu lub prędkości. Wiadomości są wyświetlane pilotowi do akceptacji, co umożliwia sprawną i jednoznaczną komunikację między pilotem, a kontrolerem. W FIR Warszawa wdrożono usługę łącza danych, przy finansowaniu UE na poziomie 2,2 mln euro. Pozwoliło to na prostą i efektywną komunikację między kontrolerami ruchu lotniczego, a pilotami, a także skróciło czas na nią potrzebny. W ramach inicjatywy SESAR technologia wykorzystująca VDL2 jest uznawana za rozwiązanie przejściowe, zaś docelowo wdrażane są uważane za najbardziej przyszłościowe, niezawodne i rozwinięte systemy oparte na łączności satelitarnej (SATCOM) firmy Iridium. Technologie te są operacyjnie sprawdzane m.in. w przestrzeni odpowiedzialności niemieckiego organu kontroli ruchu lotniczego Deutsche Flugsicherung (DFS) oraz firmy Airbus we współpracy z EUROCONTROL w sektorze obszarowym Rhein Radar. Obszar zapewniania DLS przedstawiono na rysunku (rys. 2).

Ciekawym programem jest również wdrożenie przez PAŻP narzędzia Optimised Runway Delivery (ORD) z wykorzystaniem Active Winds Aloft Integrator (AWALON). Projekt zakłada wdrożenie na Lotnisku Chopina w Warszawie narzędzia ORD w systemie PEGASUS_21.



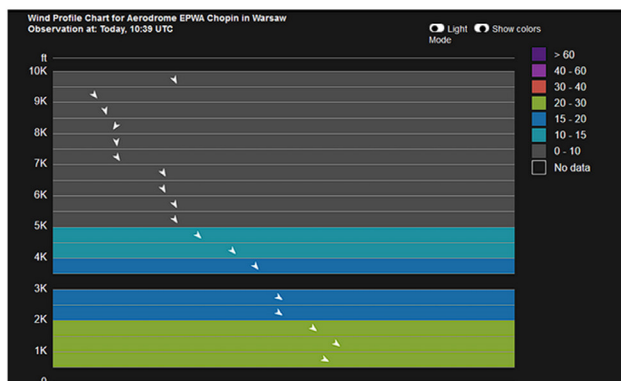
Rys. 2. Przestrzenie powietrzne obsługujące Datalink (stan na marzec 2022) (źródło: SESAR)

Narzędzie to wspiera kontrolerów ruchu lotniczego w zarządzaniu efektem kompresji, który występuje na krótkiej prostej przed lądowaniem, gdy poprzedzający statek powietrzny przekracza punkt wytracania prędkości. System obejmuje wskaźnik kompresji Initial Target Distance (ITD) dostarczany w punkcie separacji, a także narzędzie do dostarczania informacji o separacji opartej na odległości. Wizualizacja wskaźników pozwala na bardziej efektywne zarządzanie przepływem i daje zwiększoną przepustowość operacji lądowania na lotnisku Chopina. Dodatkowo, projekt ma na celu poprawę efektywności zużycia paliwa w porównaniu do obecnych operacji, które opierają się na tradycyjnych kategoriach wirów i turbulencji w śladzie aerodynamicznym. Dzięki poprawie spójności i efektywności stosowanych separacji system przyniesie korzyści w zakresie wydajności pracy kontrolerów, a także wpłynie pozytywnie na poziom bezpieczeństwa operacji lotniczych. Symulacja narzędzia w czasie rzeczywistym odbyła się w listopadzie 2024 roku, co przedstawia rysunek (rys. 3).



Rys. 3. Próby narzędzia ORD (źródło: Technology projects in the air traffic management - Operational benefits and values)

Program pozwala na zwiększenie przepustowości drogi startowej w okresach 'godzin szczytu', a moduł AWALON Wind dostarcza kontrolerom szczegółowy profil wiatru na podejściu, co umożliwia lepsze zarządzanie energią statków powietrznych, zmniejszenie liczby podejść o zbyt dużej energii, ograniczenie liczby przerwanych podejść oraz redukcję opóźnień naziemnych dla ruchu odlatującego. Okno programu przedstawiono na rysunku (rys. 4).



Rys. 4. Okno programu AWALON przedstawiające rozkład prędkości wiatru na danych wysokościach (źródło: Technology projects in the air traffic management - Operational benefits and values)

Projekty Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej w dziedzinie zarządzania przestrzenią powietrzną

Wdrażane są również programy w zakresie zarządzania przestrzenią powietrzną (ASM). Stanowi to jedno z kluczowych zadań Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej i jest bezpośrednią odpowiedzialnością komórek zarządzania przestrzenią powietrzną (AMC). Odpowiadają one za przyjmowanie i przetwarzanie wniosków o rezerwację struktur przestrzeni powietrznej, w tym na potrzebę lotów szkoleniowych, pokazów lotniczych czy ćwiczeń wojskowych. Wnioski o rezerwację (RQA) mogą być składane zarówno przez użytkowników cywilnych, jak i wojskowych. Do analizy składanych wniosków służy narzędzie CAT – Common Airspace Tool - zaprojektowane przez PAŻP, obecnie funkcjonujące w wersji 3.0. System ten zapewnia automatyzację procesu rezerwacji struktur przestrzeni powietrznej oraz usprawnia przygotowanie i publikację kluczowego dokumentu lotniczego, jakim jest plan wykorzystania przestrzeni – AUP. System umożliwia również planowanie, aktywację

i dezaktywację struktur przestrzeni powietrznej w czasie rzeczywistym oraz automatyczną wymianę danych z Network Managerem, co przekłada się na efektywne zarządzanie strukturami przestrzeni powietrznej zgodnie z koncepcją elastycznego wykorzystania przestrzeni powietrznej (FUA) na poziomie przedtaktycznym i taktycznym. Kluczowe rozwiązania CAT 3.0 wspierają koncepcję Dynamic Airspace Configuration opierając się na dynamicznych sektorach przestrzeni powietrznej dostosowanych do wzorców ruchu, dynamicznych konfiguracjach sektorów, elastycznie reagujących na dostępność kontrolerów ruchu lotniczego, zmieniające się natężenie ruchu i wymagania dotyczące wydajności. DAC opiera się również na zintegrowanym procesie Collaborative Decision Making (CDM), wspieranym przez narzędzia AI oraz rozwijanym zgodnie z podejściem SWIM (System-Wide Information Management). Wdrożenie tego typu narzędzia zarządzania przestrzenią poprawiło efektywność i elastyczność zarządzania przestrzenią powietrzną w kontekście działań wojskowych i cywilnych, wzmocniło współpracę pomiędzy komórkami ASM, a ATFCM, co zapewnia równowagę między przepustowością przestrzeni, a złożonością operacji. Wszelkie analizy pokazują, że holistyczna i efektywna współpraca pomiędzy wszystkimi jednostkami zaangażowanymi w organizację operacji lotniczej pozwala na zmaksymalizowanie wykorzystania dostępnej przestrzeni powietrznej. Ostatecznie, tego typu narzędzie pozwala na lepsze prognozowanie i reagowanie na zmiany w ruchu lotniczym dzięki zaawansowanej automatyzacji i analizie danych w czasie rzeczywistym.

W ramach programu SESAR 3 prowadzi się również prace nad projektami HARMONIC oraz MITRANO, które koncentrują się na rozwoju Dynamicznych Obszarów Mobilnych (DMA). W 2025 roku planowane jest wdrożenie nowych funkcji w systemie CAT, obejmujących ATC Volume oraz Elastyczne Parametry (Flexible Parameters). Przełoży się to na jego rozbudowanie o funkcjonalność umożliwiającą jeszcze większą elastyczność w zarządzaniu przestrzenią powietrzną. Nie tylko operatorzy

AMC, ale również sami użytkownicy przestrzeni powietrznej będą mogli definiować dodatkowe parametry wysokościowe i czasowe podczas składania wniosków o rezerwację. Z kolei obszar ATC Volume to przestrzeń o wysokiej aktywności operacyjnej, kluczowa dla zarządzania ruchem lotniczym.

Projekt MITRANO to efekt współpracy wojskowo – cywilnej mający na celu integrację operacji cywilnych, dostosowaną do rzeczywistych potrzeb ruchu lotniczego i zarządzania przepustowością przestrzeni powietrznych oraz optymalizację wykorzystania przestrzeni powietrznej, aby maksymalnie zwiększyć jej efektywność. Dodatkowo planowany jest rozwój nowych rozwiązań w zakresie zarządzania trajektoriami operacji i wspólnego podejmowania decyzji (CDM), zarówno na poziomie sieciowym, jak i w operacjach ATC, a także wdrożenie Dynamicznych Obszarów Mobilnych typu 3 (DMA Type 3), które są kluczowe z punktu widzenia koncepcji FUA. Nowe funkcjonalności znacząco usprawnią zarządzanie przestrzenią powietrzną, przy zwiększeniu elastyczności jej zarządzaniem, poziomu bezpieczeństwa oraz efektywności operacyjnej.

PAŻP koncentruje się na udoskonaleniu koncepcji Dynamicznej Konfiguracji Przestrzeni Powietrznej (DAC) w ramach projektu HARMONIC, poprzez: tworzenie, zarządzanie, udostępnianie i dystrybucję informacji o Dynamicznych Obszarach Mobilnych (DAC) typu 1 i 2 oraz integrację ASM z innymi systemami poprzez cyfrową wymianę danych. Projekt zakłada wymianę informacji między systemami ASM, a innymi podmiotami, przede wszystkim Network Managerem, ale również Biurem NOTAM, systemami kontroli ruchu lotniczego czy użytkownikami przestrzeni powietrznej. Dzięki programowi HARMONIC informacje o Dynamicznych Obszarach Mobilnych będą łatwiej dostępne, lepiej zintegrowane i szybciej aktualizowane, co przełoży się na większą efektywność operacyjną i elastyczność zarządzania ruchem lotniczym.

Wdrażanie technologii AI w lotnictwie

W przypadku lotnictwa możliwe jest szerokie zastosowanie sztucznej inteligencji do wsparcia podejmowanych działań. Do jej zalet należą przede wszystkim zdolność do przetwarzania dużej ilości danych, a także możliwość 'uczenia się' w oparciu o dane. Takie zdolności mogą być bardzo szeroko wykorzystywane, przede wszystkim w przypadku operacji lotniczych, wsparciu eksploatacji, ochronie środowiska, zarządzaniu portami lotniczymi, kwestiami związanymi z bezałogowymi statkami powietrznymi, cyberbezpieczeństwem, czy opisywanymi w tej publikacji, zarządzaniu ruchem lotniczym czy zarządzaniu ryzykiem w zakresie bezpieczeństwa.

W kontekście zarządzania ruchem lotniczym sztuczna inteligencja może wykorzystywać dane związane z wzorcami pogodowymi, konfiguracją sektorów czy prognozami przepływu ruchu lotniczego łączyć je w jeden spójny obraz, a następnie przyczynić się do optymalizacji tras lotu, co z kolei skróciłoby czas lotu, a także zmniejszyło zużycie paliwa - przyniesie to pozytywny wpływ dla środowiska oraz zmniejszy koszty ponoszone przez przewoźników. Zmniejszyłby się również opóźnienia, a sam sposób zarządzania ruchem lotniczym stałby się bardziej efektywny i skuteczny. Różnego rodzaju aplikacje oparte na uczeniu maszynowym oraz AI mogą także pomóc kontrolerom podejmować szybkie i świadome decyzje w sytuacjach kryzysowych.

Kwestia zarządzania bezpieczeństwem oraz ryzykiem w lotnictwie jest dziedziną wymagającą przetwarzania ogromnej ilości danych. Stwarza to pole do wykorzystania sztucznej inteligencji, która to mogłaby pomóc w identyfikacji słabych punktów poprzez wykrywanie zagrożeń, klasyfikacji ryzyka czy opracowywaniu dokumentacji dotyczącej ryzyka.

W 2020 roku Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego opublikowała pierwszy "Plan działania w zakresie sztucznej inteligencji". Stanowił on fundament pod działania EASA oraz nakreślił wizję dotyczącą

wymiaru bezpieczeństwa i rozwoju AI w lotnictwie. Najnowsze wydanie, określone jako wersja 2.0, zostało wydane w roku 2023. Poza samym planem EASA opublikowała również dokumenty koncepcyjne związane z rozwojem sztucznej inteligencji. Istotne jest zbudowanie zaufania do technologii, przy jednoczesnym spełnianiu międzynarodowych standardów, wprowadzanych nie tylko przez EASA, ale na przykład ICAO czy FAA.

W lotnictwie proaktywne zarządzanie bezpieczeństwem jest niezbędne do zapobiegania zdarzeniom i zwiększania efektywności operacyjnej. Wykorzystanie zaawansowanych technologii, nie tylko samej sztucznej inteligencji, może znacząco poprawić procesy podejmowania decyzji oraz ocenę ryzyka w systemach o krytycznym znaczeniu dla bezpieczeństwa. Dzięki usprawnieniu komunikacji narzędzia AI wspierają zarządzanie bezpieczeństwem, gdzie kluczowa jest szybka reakcja na zagrożenia. Dzięki przetwarzaniu i analizie historycznych danych systemy oparte o sztuczną inteligencję mogą identyfikować i trenować wzorce, które mogą wskazywać na potencjalne zagrożenia. Predykcyjna analiza ryzyka pozwoli na wdrożenie zaradczych środków bezpieczeństwa, zanim pojawią się rzeczywiste zagrożenia. Sztuczna inteligencja może być również wykorzystana do oceny strategii zarządzania ryzykiem poprzez analizę dotychczasowych procedur, co może prowadzić do konieczności wprowadzenia zmian celem optymalizacji czy zwiększenia efektywności strategii.

Jednym z wdrażanych rozwiązań opartym na AI, nad którym pracuje EUROCONTROL jest AI-enabled tactical FMP hotspot prediction and resolution (ASTRA). Narzędzie to ma na celu detekcję czynników takich jak awarie infrastruktury, nagłe zmiany pogody czy innych nieprzewidywanych zdarzeń mogących wpłynąć na krytyczny wzrost obciążenia ruchem oraz powstawanie punktów kulminacyjnych w danych sektorach odpowiedzialności. Według danych EUROCONTROL organy zarządzania ruchem Flow Management (FMP) są aktualnie w stanie zidentyfikować takie sytuacje z załogiem około 20 minutowym wyprzedzeniem. Projekt

ma na celu skrócenie łańcucha koordynacyjno-decyzyjnego, tak aby kluczowe informacje mogły dotrzeć do właściwej jednostki szybciej i z większym wyprzedzeniem. Narzędzie zabezpieczy wzrost pojemności sektorowej poprzez redukcję złożoności ruchu, a co za tym idzie nakładu pracy kontrolera, m.in. dzięki rozkładaniu obciążenia pomiędzy sektorami. Algorytm na bieżąco kompiluje ogromne ilości danych dotyczące planowanej i aktualnej trasy przelotu, sytuacji FLOW, a nawet trajektorie 4D czy aktualne polecenia ATCO, pozwalając tym samym unikać i rozkładać krytyczne natężenia w danych sektorach. Oprócz wszystkich wyżej wymienionych zalet, model pozwoli na redukcję zużycia paliwa co będzie tylko dodatkową korzyścią dla operatorów, jak i środowiska. Wszystko to również pokazuje, dlaczego aktualnie dąży się do unifikacji systemów ATM w obszarze EUROCONTROL do rozwiązania iTEC, tak aby móc osiągać jak najlepsze efekty i w pełni wykorzystać Europejskie niebo. Rozwiązanie jest aktualnie rozwijane głównie przez Szwajcarski SkyGuide, który agreguje dane od personelu operacyjnego celem stworzenia systemu, który jak najlepiej spełni oczekiwania i zmaksymalizuje efekty jego wdrożenia. Mając na uwadze nieustanną tendencję wzrostową ruchu lotniczego w Europie i brak przesłanek wskazujących na zmianę tego trendu w nadchodzących latach, jak i naturalne ograniczenia wynikające z możliwości człowieka można dojść do wniosku, że takie rozwiązanie będzie niezbędne dla zapewnienia bezpiecznego i płynnego ruchu.

Kolejnym z projektów, któremu warto poświęcić uwagę jest CODA (Controller Adaptive Digital Assistant). Jednym z najważniejszych założeń programu jest opracowanie płaszczyzny współpracy pomiędzy człowiekiem a AI celem zwiększenia efektywności operacyjnej. Program wydaje się pomocnym narzędziem, ponieważ najnowsze dane ICAO/IATA pokazują, że około 80% zdarzeń w lotnictwie jest spowodowane błędem ludzkim. Opiera się to na modelu Fatigue Monitoring Tool (FMT). Jest to projekt realizowany wspólnie z Włoskim ANSP (Air Navigation Service Provider) ENAV i ma na celu oszacowanie poziomu natężenia pracy i zmęczenia personelu operacyjnego

służb ruchu lotniczego przy uwzględnieniu różnych parametrów ruchowych, tak aby umożliwić planowanie służb sposób minimalizujący zmęczenie wpływające na ryzyko wystąpienia błędów stwarzających zagrożenie dla ruchu lotniczego. Działania te mają miejsce głównie w odpowiedzi na rozporządzenie EASA 373/2017 implikujące konieczność wprowadzenia procedur dotyczących monitorowania i mitygacji stresu kontrolerów ruchu lotniczego. W ramach tej inicjatywy eksperci ENAV i EUROCONTROL podjęli daleko idące działania, mające na celu zidentyfikowanie najważniejszych czynników wpływających na obciążenie, zmęczenie i jakość wypoczynku personelu operacyjnego służb zarządzania ruchem lotniczym. System po pozytywnej ewaluacji w ENAV jest aktualnie wdrażany w innych państwach, celem optymalizacji planowania zmian personelu ATCO w kontekście bezpieczeństwa. Algorytm opracowany przez firmę DeepBlue, we współpracy z EUROCONTROL pozwala identyfikować i redukować potencjalne zagrożenia już na etapie planowania, redukując tym samym ryzyko wystąpienia niepożądanych zjawisk w zarządzaniu ruchem lotniczym.

W sferze zagadnień czynnika ludzkiego (HF) pojawia się również system JARVIS (Just A Rather Very Intelligent System), którego celem jest dynamiczne monitorowanie i predykcja sytuacji operacyjnej mająca na celu ocenę kondycji poznawczej personelu ATCO, pilotów działających w ramach Single Person Operation (SPO) oraz personelu operacji lotniskowych. Narzędzie w głównej mierze jest rozwijane, aby móc w sposób bieżący śledzić i algorytmicznie oceniać zdolności poznawcze, nakład pracy i świadomość sytuacyjną osób mających wpływ na ruch lotniczy. Program jest rozwijany głównie w celu odkrycia granicy i możliwości efektywnego wspomagania człowieka przez AI. Sama intensywność prac nad tym narzędziem, pokazując konieczność rozwoju tego typu inicjatyw tak aby, nie tyle co zoptymalizować zarządzanie ruchem lotniczym w najbliższych latach, co być w stanie je zapewnić w ramach stawianych przez EASA wymogów bezpieczeństwa.

Jednym z najważniejszych i bardziej przyszłościowych rozwiązań w automatyzacji algorytmicznej przy użyciu zastosowań Sztucznej Inteligencji (AI) pozostaje TRUSTY (Trustworthy intelligent system for remote digital tower). Technologia zdalnego zapewniania kontroli ruchu lotniczego (znana jako Remote Tower) w ramach płyty manewrowej, dróg kołowania, dróg startowych oraz strefie kontrolowanej lotniska (CTR – Control Zone) pozostaje jednym z bardziej istotnych aspektów rozpracowywanych przez EUROCONTROL. Działania mają na celu zwiększenie udziału optymalizację, efektywność i niezawodność systemów zdalnej kontroli wieżowej w obszarze EUROCONTROL. W ramach Europejskiej Konferencji Lotnictwa Cywilnego (ECAC+) ponad 12 państw wdrożyło operacyjnie Remote TWR. Projekt TRUSTY optymuje w uwiarygodnienie optymalnego modelu współpracy między człowiekiem, a AI opartego na autorytecie człowieka Human-Centered AI (HCAI). Główne założenia to opracowanie ramowe dokładności, odporności, interpretowalności, sprawiedliwości i odpowiedzialności, tak aby zapewnianie zdalnej służby TWR mogło być jak najbardziej efektywne. Narzędzie wykorzystując innowacyjne modele i uczenie maszynowe umożliwi kontrolerom ruchu lotniczego podejmowanie optymalnych decyzji w swoim zakresie odpowiedzialności agregując w czytelny sposób ogrom informacji mający wpływ na krajowy i europejski system ATM.

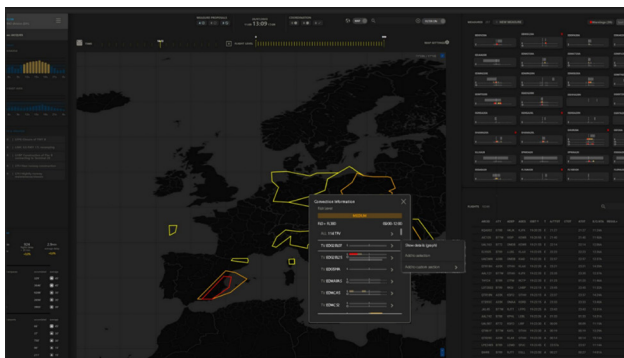
Wśród czynników wpływających na operacje lotnicze znajduje się wiele zmiennych, które przyczyniają się do ich złożoności, a w konsekwencji prowadzą do względnie dużej nieprzewidywalności. Według danych EUROCONTROL za rok 2023, średnie opóźnienie lotu wyniosło 17,5 minuty, co stanowi poprawę o 0,3 punktu procentowego względem roku poprzedniego, przy wzroście ruchu o 9,8% w obszarze ECAC+. Zakłócenia powstają na każdym etapie operacji, od planowania, poprzez obsługę naziemną i techniczną, aż po sam przelot. Z racji złożoności całego systemu lotniczego, jak i Europejskiej przestrzeni powietrznej dostrzeżono potrzebę opracowania narzędzia zdolnego do przewidywania zbędnych wzrostów opóźnienia

wywołanego ograniczeniami i sytuacją organów zarządzania przepływem ruchu lotniczego (ATFM). Forecast of the ATFM Delay Evolution (FADE) jest platformą umożliwiającą dokładne monitorowanie zmian restrykcji przestrzeni powietrznych mających wpływ na opóźnienie, tak aby umożliwić organom operacyjnym przewoźnika Operations Control Centre (OCC) efektywniejsze zarządzanie i panowanie nad bieżącą sytuacją. System był trenowany na historycznych danych EUROCONTROL i rozwijany we współpracy z wieloma operatorami, m.in. Transavia, SAS, Vueling, Swiss, Turkish Airlines, Wizz Air czy TUI. Zapewnia on 2 najważniejsze informacje: analizę trendu oraz przewidywane opóźnienie ATFM przed wylotem. Pozwala to przewoźnikom w bardzo skuteczny sposób podejmować często kosztowne i niepewne decyzje takie jak zmiana trasy (rerouting) czy odwołanie rejsu na podstawie wiarygodnej informacji, jak to opóźnienie w najbliższej przyszłości będzie się kształtować. Co najważniejsze, system szacując trend pozwala unikać często działań, które mogą się potencjalnie przyczynić jedynie do zwiększenia opóźnienia. Rozwiązanie po pozytywnym przejściu testów i ewaluacji zostało wdrożone operacyjnie do aplikacji planowania lotów EUROCONTROL Network Manager (NMP) i jego skuteczność jest oceniana jako wysoka.

Również ogrom depesz Notice to Air Missions (NOTAM) wydawanych każdego dnia został sklasyfikowany jako problem utrudniający efektywne zarządzanie ruchem lotniczym. Według danych EUROCONTROL Centrum Operacyjne Zarządzania EUROCONTROL NMOC każdego dnia otrzymuje od 500 do 900 takich depesz. Procedury oraz regulacje implikują konieczność wydawania takiej ilości NOTAMów, natomiast co najważniejsze – tylko 1,5% prowadzi do konieczności wprowadzenia zmian depeszą Data Modification Request (DMR). Rolą algorytmu opartego na względnie prostej sieci neuronowej jest klasyfikowanie NOTAMów w skali od A do F, gdzie A oznacza najwyższe prawdopodobieństwo konieczności utworzenia DMR i ma największe znaczenie dla NMOC, zaś F najniższe. Największym wyzwaniem dla autorów modelu, było przetrenowanie

go do analizy słów i tekstów pisanych przez człowieka, tak aby system potrafił skutecznie je analizować. Finalnie, system doszedł do sprawności pozwalającej na wyłapanie: 83% depesz NOTAM implikujących DMR w pośród 7 do 14 dziennie w kategorii A, jeśli dodać do tego ocenę B uzyskujemy wynik na poziomie 92% wśród 17 do 31 depesz A i B. Ostatecznie jeśli dołączymy do tego klasyfikację C system jest w stanie osiągnąć 96% skuteczności wśród 45 do 82 dziennie napływających NOTAM-ów klasy A, B i C. Narzędzie znacznie poprawia efektywność pracy NMOC, pozwalając na początku zająć się depeszami o najwyższym priorytecie. Jednym z ryzyk związanych z wdrożeniem takiej funkcjonalności jest tzw. 'Automation Bias', polegający na nadmiernym zaufaniu do automatyki. Zostało to zredukowane w bardzo prosty sposób, stosując przejrzystą klasyfikację indeksów literowych określających jedynie prawdopodobieństwo, bez żadnych sugestii czy poleceń.

EUROCONTROL również pracuje nad narzędziem, umożliwiającym przewidywanie z większym wyprzedzeniem zjawisk konwekcyjnych, które prowadzą do powstawania niebezpiecznych anomalii pogodowych skutkujących poważnymi zaburzeniami przepływu ruchu. W tym celu opracowano narzędzie ISOBAR, które pozwala prognozować kluczowe zjawiska konwekcyjne z komfortowym wyprzedzeniem sięgającym 36 godzin. Algorytm jest na tyle rozbudowany, że pozwala kompilować na bieżąco prognozy meteorologiczne z danymi organów zarządzania przepływem i pojemnością (ATFCM) na etapie fazy taktycznej i przedtaktycznej. Narzędzie to pozwala zdefiniować odpowiedzialnym organom priorytety dla danych przestrzeni oraz zapotrzebowanie, i wykorzystując sztuczną inteligencję wskazać krytyczne punkty, a także zasugerować konkretne rozwiązania na bazie przetrenowanego modelu, umożliwiając podejmowanie najlepszych decyzji dla przewidywanej sytuacji meteorologiczno-ruchowej. Interfejs systemu przedstawiono na rysunku (rys. 5).



Rys. 5. Interfejs systemu ISOBAR (źródło: EUROCONTROL)

Podsumowanie

Artykuł przedstawia kompleksową analizę roli sztucznej inteligencji (AI) w zarządzaniu ruchem lotniczym, koncentrując się na poprawie bezpieczeństwa i efektywności operacyjnej. Autorzy podkreślają, że współczesne technologie AI odgrywają kluczową rolę w analizie ogromnych zbiorów danych w czasie rzeczywistym, umożliwiając szybsze identyfikowanie zagrożeń oraz podejmowanie trafnych decyzji operacyjnych. Dzięki algorytmom uczenia maszynowego oraz sieciom neuronowym możliwe jest wykrywanie wzorców związanych z incydentami lotniczymi, co z kolei pozwala na prognozowanie sytuacji awaryjnych i podejmowanie działań zapobiegawczych.

Jednym z kluczowych obszarów zastosowania AI w lotnictwie jest automatyzacja procesów decyzyjnych w centrach kontroli lotów. Algorytmy AI umożliwiają analizę warunków atmosferycznych, przewidywanie możliwych opóźnień oraz optymalizację tras lotniczych, co przekłada się na zmniejszenie ryzyka kolizji i poprawę płynności ruchu w przestrzeni powietrznej. Ważnym aspektem jest także monitorowanie stanu technicznego samolotów – systemy AI potrafią wykrywać potencjalne usterki na wczesnym etapie, co pozwala na lepsze zarządzanie konserwacją i uniknięcie poważniejszych problemów technicznych.

Autorzy przywołują konkretne przykłady wdrożeń AI w zarządzaniu ruchem lotniczym. Wśród nich wyróżnia się działalność Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej (PAŻP), która jest uznawana za jedną z wiodących, pod względem

innowacyjności i wprowadzaniu nowatorskich rozwiązań, instytucji zapewniających zarządzanie ruchem lotniczym (ANSP) w Europie. PAŻP wdraża innowacyjne rozwiązania oparte na AI, mające na celu poprawę efektywności operacyjnej oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa w polskiej przestrzeni powietrznej. Wprowadzone przez PAŻP systemy wspomaganie decyzji są przykładem zaawansowanych technologii, które umożliwiają analizę ogromnych ilości danych w czasie rzeczywistym i podejmowanie trafnych decyzji operacyjnych.

EUROCONTROL jako organizacja koordynująca zarządzanie ruchem lotniczym w Europie, odgrywa istotną rolę w integracji systemów AI na poziomie międzynarodowym. Dzięki współpracy z EUROCONTROL, PAŻP uczestniczy w projektach mających na celu harmonizację systemów nawigacyjnych w Europie i wdrażanie jednolitych standardów zarządzania ruchem lotniczym. W artykule podkreślono, że integracja systemów AI na poziomie europejskim umożliwia lepsze zarządzanie ruchem transgranicznym, minimalizację opóźnień oraz zwiększenie efektywności operacyjnej w europejskiej przestrzeni powietrznej.

Wdrażanie systemów AI w zarządzaniu ruchem lotniczym wiąże się jednak z istotnymi wyzwaniami. Jednym z kluczowych problemów jest jakość danych, na podstawie których działają algorytmy AI. Niekompletne lub błędne dane mogą prowadzić do błędnych decyzji, co w lotnictwie może skutkować poważnymi konsekwencjami dla bezpieczeństwa. W związku z tym PAŻP wdrożył zaawansowane procesy walidacji i weryfikacji danych, aby zapewnić ich wysoką jakość i niezawodność.

Kolejnym wyzwaniem jest niezawodność algorytmów. Systemy AI muszą działać skutecznie w różnych warunkach operacyjnych, dlatego PAŻP regularnie testuje i kalibruje algorytmy, aby zagwarantować ich wysoką skuteczność. W artykule podkreślono, że kluczowe znaczenie ma również szybka reakcja na zmieniające się warunki w przestrzeni powietrznej – algorytmy muszą być zdolne do

dynamicznego dostosowywania się do nowych sytuacji.

Istotnym zagadnieniem jest również cyberbezpieczeństwo. Systemy AI są podatne na ataki hakerskie, co może zagrozić bezpieczeństwu operacyjnemu. PAŻP wdraża zaawansowane mechanizmy ochrony danych oraz systemy wykrywania zagrożeń w czasie rzeczywistym, aby zapewnić bezpieczeństwo infrastruktury technologicznej. W artykule zaznaczono, że wdrożone rozwiązania muszą spełniać najwyższe standardy bezpieczeństwa zgodnie z wytycznymi EUROCONTROL oraz Agencji Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA).

Podsumowując, artykuł ukazuje rosnące znaczenie sztucznej inteligencji w zarządzaniu ruchem lotniczym, podkreślając kluczową rolę PAŻP jako jednego z wiodących dostawców

usług nawigacyjnych w Europie. Wdrażane przez PAŻP innowacyjne rozwiązania, takie jak system PANDORA, stanowią przykład nowatorskiego podejścia do optymalizacji ruchu lotniczego i zarządzania ryzykiem. Współpraca z EUROCONTROL umożliwia integrację systemów AI na poziomie międzynarodowym, co przyczynia się do zwiększenia efektywności i bezpieczeństwa w europejskiej przestrzeni powietrznej. Wyzwania związane z jakością danych, niezawodnością algorytmów i cyberbezpieczeństwem muszą jednak zostać skutecznie rozwiązane, aby w pełni wykorzystać potencjał AI w lotnictwie.

mgr inż. Karol Rogożyński
Lotnicza Akademia Wojskowa
Polska Agencja Żeglugi Powietrznej

Łukasz Hinc
Politechnika Śląska

Bibliografia

- [1] Technology projects in the air traffic management - Operational benefits and values
- [2] <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/32644.pdf>
- [3] <https://www.eurocontrol.int/article/digitalisation-and-ai-air-traffic-control-balancing-innovation-human-element>
- [4] <https://www.eurocontrol.int/artificial-intelligence#tab-663677633tab2>
- [5] <https://www.eurocontrol.int/publication/all-causes-delays-air-transport-europe-annual-2023>
- [6] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-04/20240429-flyai-forum-session-1-anoraud-cra-met.pdf>
- [7] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-04/20240430-flyai-forum-session-5-kirov.pdf>
- [8] <https://www.sesarju.eu/ai>
- [9] [ment-ai-solutions-prevent-air-space-congestion](https://www.sesarju.eu/news/air-traffic-flow-manage-</div><div data-bbox=)

- [10] <https://www.sesarju.eu/news/how-useful-artificial-intelligence-air-traffic-management>
- [11] <https://www.sesarju.eu/news/sesar-ai-flagship-workshop-advancing-ai-aviation>
- [12] <https://www.sesarju.eu/node/4679>
- [13] <https://www.sesarju.eu/projects/ASTRA>
- [14] <https://www.sesarju.eu/projects/JARVIS>
- [15] <https://www.sesarju.eu/projects/trusty>
- [16] https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/projects/TRUSTY%20Newsletter%20-%20First%20Edition_Reflecting%20on%20a%20year%20of%20commitment.pdf
- [17] <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/webinars/3.%20ANSP%20-%20DFS.pdf>
- [18] <https://www.skysoft-atm.com/astra-project/>
- [19] <https://www.youtube.com/watch?v=i1YJenu61po>

Part-IS: Nowe przepisy EASA w zakresie bezpieczeństwa informacji w lotnictwie cywilnym



Nie chodzi tylko o cyberbezpieczeństwo (Cybersecurity), ale o szersze pojęcie bezpieczeństwa informacji, obejmujące zarówno zagrożenia cyfrowe, jak i analogowe.

Cel jest jasny: wzmocnić odporność sektora lotniczego na ewoluujące zagrożenia poprzez realizację przez organizacje lotnicze dodatkowych zadań związanych z identyfikacją, określaniem i minimalizowaniem ryzyka związanego z systemami ICT (*Information and Communication Technology*), które mogłyby zagrozić bezpieczeństwu lotów. Obejmuje to ochronę danych, systemów i procesów przed nieautoryzowanym dostępem, manipulacją czy awariami.

Tło i potrzeba wprowadzenia Part-IS

Lotnictwo cywilne jest jednym z najbardziej zintegrowanych sektorów gospodarki światowej, w którym systemy informatyczne odgrywają kluczową rolę w operacjach, od kontroli ruchu lotniczego po zarządzanie flotą. Wraz z digitalizacją wzrasta ryzyko ataków cybernetycznych, które mogą prowadzić do zakłóceń operacyjnych, utraty danych lub nawet wypadków lotniczych. Przykłady z przeszłości, takie jak ataki na systemy lotnisk czy linie lotnicze, pokazały, że zagrożenia te nie są teoretyczne.

EASA, jako organ regulacyjny UE ds. bezpieczeństwa lotniczego, zwróciła uwagę na ten problem w 2021 roku, publikując Opinię nr 03/2021, która proponowała wprowadzenie wymagań dotyczących zarządzania bezpieczeństwem informacji. Part-IS jest odpowiedzią na te wyzwania, skupiając się na ryzykach w obszarze informacji, które mogą wpływać na bezpieczeństwo lotnicze (*Safety*).

Przepisy Part-IS

Przepisy Part-IS zostały ujęte w dwóch głównych dokumentach:

1) Rozporządzeniu Delegowanym Komisji (UE) 2022/1645¹, określającym wymagania dla organizacji projektujących i produkujących (Part-21), operatorów lotnisk oraz zarządzających płytą. Rozporządzenie to wymaga wdrożenia SZBI (ISMS – Information Security Management System), który obejmuje identyfikację ryzyka, wdrożenie środków służących wyeliminowaniu niedopuszczalnego ryzyka, monitorowanie incydentów i ciągłe doskonalenie. Zacznie obowiązywać 16 października 2025 r. Wprowadza zmiany do:

- Rozporządzenia (UE) nr 748/2012 (art. 6);
- Rozporządzenia (UE) nr 139/2014 (art. 7).

¹ Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2022/1645 z dnia 14 lipca 2022 r. ustanawiające zasady stosowania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 w odniesieniu do wymagań dotyczących zarządzania ryzykiem związanym z bezpieczeństwem informacji o potencjalnym wpływie na bezpieczeństwo lotnicze w odniesieniu do organizacji objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 748/2012 i (UE) nr 139/2014 oraz zmieniające rozporządzenia Komisji (UE) nr 748/2012 i (UE) nr 139/2014

2) Rozporządzeniu Wykonawczym Komisji (UE) 2023/203², rozszerzającym wymagania w zakresie bezpieczeństwa informacji na inne organizacje, takie jak przewoźnicy lotniczy, organizacje obsługowe i szkoleniowe, oraz kompetentne organy (w tym EASA i organy krajowe). Rozporządzenie to określa, jak nadzorować zgodność z obowiązującymi przepisami prawa, w tym audyty i raportowanie incydentów. Wchodzi w życie **22 lutego 2026 r.**

Wprowadza zmiany do:

- Rozporządzenia (UE) nr 1178/2011 (art. 8);
- Rozporządzenia (UE) nr 748/2012 (art. 9);
- Rozporządzenia (UE) nr 965/2012 (art. 10);
- Rozporządzenia (UE) nr 139/2014 (art. 11);
- Rozporządzenia (UE) nr 1321/2014 (art. 12);
- Rozporządzenia (UE) 2015/340 (art. 13);
- Rozporządzenia wykonawczego (UE) 2017/373 (art. 14);
- Rozporządzenia wykonawczego (UE) 2021/664 (art. 15).

Powyższe terminy wdrożenia dają organizacjom czas na przygotowanie, wymagając jednocześnie natychmiastowego działania w celu osiągnięcia zgodności z wchodzącymi w życie przepisami.

W ślad za ww. Rozporządzeniami EASA opublikowała akceptowalne sposoby spełnienia wymagań (AMC) oraz materiały doradcze (GM), które oferują praktyczne przykłady realizacji wymogów, w tym ich mapowanie na standardy takie, jak ISO/IEC 27001 czy NIST CSF. Wszystkie dokumenty dostępne są na stronie EASA, również w formie skonsolidowanej, tzw. Easy Access Rules:

<https://www.easa.europa.eu/en/regulations/information-Security>

Zakres stosowania

Artykuł 2 (Zakres stosowania) **Rozporządzenia Wykonawczego Komisji (UE) 2022/1645** wymienia dokładnie organizacje, do których ma zastosowanie (lub nie). Są to:

- a) organizacje produkujące i organizacje projektujące podlegające części A podczęści G i J załącznika I (część 21) do rozporządzenia (UE) nr 748/2012, z wyjątkiem organizacji projektujących i produkujących, które zajmują się wyłącznie projektowaniem lub produkcją statków powietrznych ELA2 zdefiniowanych w art. 1 ust. 2 lit. j) rozporządzenia (UE) nr 748/2012;
- b) operatorzy lotniska i instytucje zapewniające służbę zarządzania płytą postojową podlegający przepisom załącznika III „Część »Wymagania dla organizacji« (część ADR OR)” do rozporządzenia (UE) nr 139/2014.

Artykuł 2 (Zakres stosowania) **Rozporządzenia Wykonawczego Komisji (UE) 2023/203** wymienia dokładnie organizacje, do których ma zastosowanie (lub nie). Są to:

- a) organizacje obsługi technicznej podlegające sekcji A załącznika II

² Rozporządzenie Wykonawcze Komisji (UE) 2023/203 z dnia 27 października 2022 r. ustanawiające zasady stosowania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1139 w kwestii wymagań dotyczących zarządzania ryzykiem związanym z bezpieczeństwem informacji o potencjalnym wpływie na bezpieczeństwo lotnicze w odniesieniu do organizacji objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 1321/2014, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 1178/2011, (UE) 2015/340, rozporządzeń wykonawczych Komisji (UE) 2017/373 i (UE) 2021/664 oraz właściwych organów objętych zakresem stosowania rozporządzeń Komisji (UE) nr 748/2012, (UE) nr 1321/2014, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 1178/2011, (UE) 2015/340, rozporządzeń wykonawczych Komisji (UE) 2017/373, (UE) nr 139/2014 i (UE) 2021/664 oraz zmieniające rozporządzenia Komisji (UE) nr 1178/2011, (UE) nr 748/2012, (UE) nr 965/2012, (UE) nr 139/2014, (UE) nr 1321/2014, (UE) 2015/340 oraz rozporządzenia wykonawcze Komisji (UE) 2017/373 i (UE) 2021/664

- (część 145) do rozporządzenia (UE) nr 1321/2014, z wyjątkiem organizacji zaangażowanych wyłącznie w obsługę techniczną statków powietrznych zgodnie z załącznikiem Vb (część ML) do rozporządzenia (UE) nr 1321/2014;
- b) organizacje zarządzania ciągłą zdatnością do lotu (CAMO) podlegające sekcji A załącznika Vc (część CAMO) do rozporządzenia (UE) nr 1321/2014, z wyjątkiem organizacji zaangażowanych wyłącznie w zarządzanie ciągłą zdatnością do lotu statków powietrznych zgodnie z załącznikiem Vb (część ML) do rozporządzenia (UE) nr 1321/2014;
- c) przewoźnicy lotniczy podlegający przepisom załącznika III (część ORO) do rozporządzenia (UE) nr 965/2012, z wyjątkiem przewoźników zaangażowanych wyłącznie w eksploatację któregośkolwiek z poniższych urządzeń:
- statków powietrznych ELA2 zdefiniowanych w art. 1 ust. 2 lit. j) rozporządzenia (UE) nr 748/2012;
 - jednosilnikowych samolotów z napędem śmigłowym o maksymalnej operacyjnej konfiguracji miejsc pasażerskich wynoszącej nie więcej niż pięć, które nie są sklasyfikowane jako złożone statki powietrzne z napędem silnikowym, podczas startu i lądowania na tym samym lotnisku lub w tym samym miejscu operacji lotniczej oraz wykonywania lotu według przepisów wykonywania lotu z widocznością (VFR) w dzień;
 - jednosilnikowych śmigłowców o maksymalnej operacyjnej konfiguracji miejsc pasażerskich wynoszącej nie więcej niż pięć, które nie są sklasyfikowane jako złożone statki powietrzne z napędem silnikowym, podczas startu i lądowania na tym samym lotnisku lub w tym samym miejscu operacji lotniczej oraz wykonywania lotu VFR w dzień;
- d) zatwierdzone organizacje szkolenia (ATO) podlegające załącznikowi VII (część ORA) do rozporządzenia (UE) nr 1178/2011, z wyjątkiem organizacji, które zajmują się wyłącznie szkoleniem związanym ze statkami powietrznymi ELA2 zdefiniowanymi w art. 1 ust. 2 lit. j) rozporządzenia (UE) nr 748/2012 lub wyłącznie szkoleniem teoretycznym;
- e) centra medycyny lotniczej dla załóg podlegające załącznikowi VII (część ORA) do rozporządzenia (UE) nr 1178/2011;
- f) operatorzy szkoleniowych urządzeń symulacji lotu (FSTD) podlegający załącznikowi VII (część ORA) do rozporządzenia (UE) nr 1178/2011, z wyjątkiem operatorów, którzy zajmują się wyłącznie eksploatacją FSTD do statków powietrznych ELA2 zdefiniowanych w art. 1 ust. 2 lit. j) rozporządzenia (UE) nr 748/2012;
- g) organizacje szkolące kontrolerów ruchu lotniczego (ATCO TO) i centra medycyny lotniczej dla kontrolerów ruchu lotniczego podlegające załącznikowi III (część ATCO. OR) do rozporządzenia (UE) 2015/340;
- h) organizacje podlegające załącznikowi III (część ATM/ANS.OR) do rozporządzenia wykonawczego (UE) 2017/373, z wyjątkiem następujących instytucji:
- instytucji zapewniających służby żeglugi powietrznej posiadających certyfikat o ograniczonym zakresie zgodnie z pkt ATM/ANS.OR.010 tego załącznika;
 - instytucji zapewniających służby informacji powietrznej składających deklaracje o swojej działalności zgodnie z pkt ATM/ANS.OR.015 tego załącznika;
- i) instytucje świadczące usługi U-space i wyłączne instytucje świadczące centralne usługi informacyjne podlegające rozporządzeniu wykonawczemu (UE) 2021/664.

Struktura przepisów

Przytoczona poniżej struktura przepisów jest podobna w zakresie wymagań dla organizacji (OR – *Organisation Requirements*), jak i właściwych organów (AR – *Authority Requirements*). Kolorem niebieskim zaznaczono elementy niewymagane dla właściwych organów, a w nawiasach dodano numery przepisów AR.

- IS.I.OR.100 Zakres stosowania (IS.AR.100)
- IS.I.OR.200 System zarządzania bezpieczeństwem informacji (SZBI) (IS.AR.200)
- IS.I.OR.205 Ocena ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji (IS.AR.205)
- IS.I.OR.210 Zmniejszanie ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji (IS.AR.210)
- IS.I.OR.215 System wewnętrznego zgłaszania zdarzeń związanych z bezpieczeństwem informacji
- IS.I.OR.220 Incydenty związane z bezpieczeństwem informacji – wykrywanie, reagowanie i działania naprawcze (IS.AR.215)
- IS.I.OR.225 Reagowanie na niezgodności, o których powiadomił właściwy organ
- IS.I.OR.230 System zewnętrznego zgłaszania zdarzeń związanych z bezpieczeństwem informacji
- IS.I.OR.235 Zlecanie czynności w zakresie zarządzania bezpieczeństwem informacji (IS.AR.220)
- IS.I.OR.240 Wymagania dotyczące personelu (IS.AR.225)
- IS.I.OR.245 Prowadzenie rejestrów (IS.AR.230)
- IS.I.OR.250 Podręcznik zarządzania bezpieczeństwem informacji

- IS.I.OR.255 Zmiany w systemie zarządzania bezpieczeństwem informacji
- IS.I.OR.260 Ciągłe doskonalenie (IS.AR.235)

Kluczowe elementy Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (SZBI)

Aby osiągnąć cele określone w ww. rozporządzeniach, organizacja ustanawia, wdraża i utrzymuje system zarządzania bezpieczeństwem informacji (SZBI), w ramach którego realizuje poniższe elementy:

- 1) Ustanawia strategię bezpieczeństwa informacji określającą ogólne zasady obowiązujące w danej organizacji w zakresie potencjalnego wpływu ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji na bezpieczeństwo lotnicze;
- 2) Identyfikuje ryzyko/ryzyka związane z bezpieczeństwem informacji i dokonuje przeglądu takiego ryzyka zgodnie z pkt IS.I.OR.205;
- 3) Wdraża środki zmniejszające ryzyko związane z bezpieczeństwem informacji zgodnie z pkt IS.I.OR.210;
- 4) Wdraża wewnętrzny system zgłaszania zdarzeń związanych z bezpieczeństwem informacji zgodnie z pkt IS.I.OR.215;
- 5) Definiuje i wdraża, zgodnie z pkt IS.I.OR.220, środki konieczne do wykrywania zdarzeń związanych z bezpieczeństwem informacji, identyfikuje zdarzenia o potencjalnym wpływie na bezpieczeństwo lotnicze oraz reaguje na te incydenty i przywraca system do stanu sprzed takich incydentów;
- 6) Wdraża odpowiednie środki w reakcji na powiadomienie przez właściwy organ, które nastąpiło w ramach natychmiastowej reakcji na incydent związany z bezpieczeństwem informacji lub identyfikację podatności mającej wpływ na bezpieczeństwo lotnicze;
- 7) Podejmuje odpowiednie działania, zgodnie

z pkt IS.I.OR225, w celu wyeliminowania niezgodności stwierdzonych przez właściwy organ;

- 8) Ustanawia zewnętrzny system zgłaszania zdarzeń zgodnie z pkt IS.I.OR230, umożliwiając właściwemu organowi podjęcie odpowiednich działań;
- 9) Przestrzega wymagań zawartych w pkt IS.I.OR235 w przypadku zlecenia jakiegokolwiek czynności, o których mowa w pkt IS.I.OR200, innym organizacjom;
- 10) Przestrzega wymagań dotyczących personelu, określonych w pkt IS.I.OR240;
- 11) Przestrzega wymagań dotyczących prowadzenia rejestrów określonych w pkt IS.I.OR245;
- 12) Monitoruje przestrzeganie przez organizację wymagań określonych w rozporządzeniach dot. Part-IS oraz udziela informacji zwrotnych dotyczących niezgodności kierownikowi odpowiedzialnemu (AM) w celu zapewnienia skutecznego wdrożenia działań naprawczych;
- 13) Chroni, bez uszczerbku dla mających zastosowanie wymagań dotyczących zgłaszania incydentów, poufności wszelkich informacji, które organizacja mogła otrzymać od innych organizacji, zgodnie z poziomem ich wrażliwości.

Aby zapewnić stałe przestrzeganie wymagań organizacja powinna:

- wdrożyć proces ciągłego doskonalenia zgodnie z pkt IS.I.OR260;
- dokumentować, zgodnie z pkt IS.I.OR250, wszystkie najważniejsze procesy, procedury, funkcje i obowiązki konieczne do zapewnienia zgodności z pkt IS.I.OR200 lit. a) oraz ustanowić tryb zmiany tej dokumentacji;
- zarządzać zmianami procesów, procedur, funkcji i obowiązków zgodnie z pkt

IS.I.OR255. Procesy, procedury, funkcje i obowiązki utworzone przez organizację w celu zapewnienia zgodności z pkt IS.I.OR200 lit. a) odpowiadają charakterowi i złożoności działalności tej organizacji, na podstawie oceny właściwego dla tej działalności ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji, oraz mogą zostać włączone do innych systemów zarządzania już wdrożonych przez tę organizację.

Proces wdrożenia Part-IS

Wdrożenie Part-IS wymaga systematycznego podejścia zarówno organizacji, jak i właściwego organu. Organizacje powinny zacząć od oceny adekwatności zastosowania przepisów do swojej działalności (*applicability*) i przeanalizować, czy podlegają zakresowi stosowania rozporządzenia Part-IS.

Kroki wdrożenia:

- 1) Ustanowienie ram SZBI: Opracowanie strategii bezpieczeństwa informacji, wyznaczenie odpowiedzialnych osób (np. Kierownik SZBI).
- 2) Ocena ryzyka: Przeprowadzenie analizy ryzyka, w ramach której zidentyfikowane zostaną aktywa krytyczne i potencjalne zagrożenia (np. ataki ransomware na systemy kontroli lotów).
- 3) Wdrożenie środków zmniejszających ryzyko: szkolenie personelu, wdrożenie narzędzi monitorujących i procedur reagowania na incydenty.
- 4) Integracja z SMS: Zapewnienie, że ryzyka związane z bezpieczeństwem informacji są uwzględniane w szerszym zarządzaniu bezpieczeństwem lotniczym.
- 5) Audyt i certyfikacja: Współpraca z kompetentnymi organami (ULC lub EASA) w celu weryfikacji zgodności; ustanowienie mechanizmów wewnętrznej oceny zgodności.

Ze względu na krótki czas, jaki pozostał do rozpoczęcia stosowania Part-IS, opracowanie i przestrzeganie harmonogramu jego wdrożenia będzie miało kluczowe znaczenie dla realizacji całego procesu. Organizacje objęte rozporządzeniem 2022/1645 muszą osiągnąć zgodność z przepisami do 16 października 2025 r., a pozostałe mają czas do 22 lutego 2026 r.

W materiałach doradczych (GM), dla systemu SZBI, EASA proponuje podejście oparte na Cyklu Deminga, nazywanym też PDCA (od ang. *Plan-Do-Check-Act*). Jest to schemat ilustrujący podstawową zasadę ciągłego doskonalenia, stworzoną przez amerykańskiego statystyka Waltera A. Shewharta, a następnie udoskonaloną przez Williama E. Deminga. Najpopularniejsza i najbardziej znana wersja upowszechniona została przez kręgi związane z zarządzaniem

przez jakość i normami ISO dotyczącymi zarządzania jakością. Według tej wersji cykl Deminga składa się z działań następujących po sobie w porządku logicznym (określenia przyjęte przez polskich specjalistów):

- **ZAPLANUJ** (*Plan*): Zaplanuj lepszy sposób działania, lepszą metodę.
- **WYKONAJ, ZRÓB** (*Do*): Zrealizuj plan na próbę.
- **SPRAWDŹ** (*Check*): Zbadaj, czy rzeczywiście nowy sposób działania przynosi lepsze rezultaty.
- **POPRAW** (*Act*): Jeśli nowy sposób działania przynosi lepsze rezultaty, uznaj go za normę (obowiązującą procedurę), zestandaryzuj i monitoruj jego stosowanie.

Plan-Do-Check-Act approach

The Plan-Do-Check-Act (PDCA) refers to a process approach that is often used to establish, implement, operate, monitor, review and improve management systems. Figure 3 depicts the PDCA applied to an ISMS.

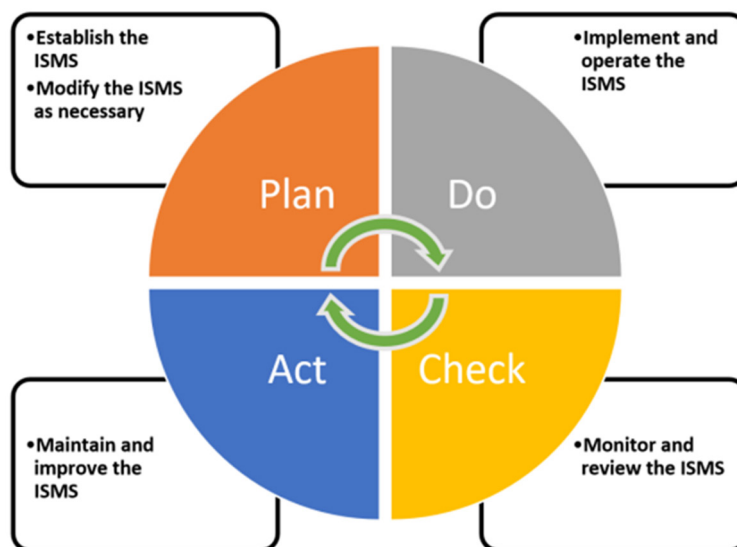


Figure 3: Plan-Do-Check-Act approach applied to an ISMS

Warunki uzyskania odstępstwa (derogacji) w ramach przepisów Part-IS EASA

Odstępstwo w kontekście Part-IS to zwolnienie z obowiązku wdrożenia pełnego Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (ISMS), przewidziane w punkcie IS.D.OR200(e) lub IS.I.OR200(e) odpowiednich rozporządzeń EASA. Jest ono dostępne dla organizacji,

dla których mają zastosowanie przepisy Part-IS (patrz „Zakres stosowania”) i które nie zidentyfikowały żadnego ryzyka bezpieczeństwa informacji mogącego wpłynąć na bezpieczeństwo lotnicze (Safety) – ani dla siebie, ani dla innych podmiotów. Decyzja o przyznaniu derogacji zależy od kompetentnego organu (krajowego lub EASA) na podstawie udokumentowanej oceny ryzyka.

Aby organizacja mogła wnioskować o odstępstwo, musi spełnić następujące warunki podstawowe:

- **Brak ryzyka wpływu na bezpieczeństwo lotnicze.** Organizacja musi wykazać, że jej działalność, zasoby, instalacje i usługi nie generują żadnego ryzyka bezpieczeństwa informacji, które mogłoby mieć potencjalny wpływ na bezpieczeństwo lotnicze (Safety). Obejmuje to brak zagrożeń dla siebie samej lub innych organizacji w łańcuchu lotniczym. Wykazanie braku ryzyka musi być podparte wynikiem oceny ryzyka (Information Security Risk Assessment – ISRA) i udokumentowane zgodnie z AMC1 IS.D.OR200(e), AMC1 IS.D.OR205(a) i AMC1 IS.D.OR205(b).
- **Wykluczenie wszystkich elementów z zakresu SZBI.** Ocena ryzyka musi uzasadnić całkowite wykluczenie organizacji z wymagań SZBI (punkty IS.OR205 do IS.OR260), co oznacza, że nie ma potrzeby wdrożenia pełnego systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji.
- **Ograniczony zakres działalności.** Ze względu na ich wysoki wpływ na bezpieczeństwo derogacja nie jest dostępna dla podmiotów usług krytycznych (takich jak lotniska, ATM/ANS), dostawców usług U-Space (USSP) czy centrów medycyny lotniczej (AeMC).

Niska złożoność IT i brak krytycznych interfejsów to jeden z elementów brany pod uwagę przy wnioskowaniu o odstępstwo. Systemy informatyczne muszą być proste, izolowane, bez przetwarzania danych krytycznych dla bezpieczeństwa, z minimalną „powierzchnią ataku” (np. brak integracji z systemami lotniczymi, brak zależności od zewnętrznego oprogramowania).

Podane powyżej przykłady warunków ubiegania się o odstępstwo nie są sztywnymi kryteriami mającymi zastosowanie do wszystkich organizacji i działającymi „automatycznie”. Każdy wniosek powinien być analizowany indywidualnie, a właściwe organy mają brać pod

uwagę nie tylko specyfikę i zakres działalności danej organizacji, ale również jakość, spójność i rzetelność dokumentacji w zakresie oceny ryzyka, dołączonej do wniosku.

Częściowe zwolnienie z wymagań w drodze odstępstwa nie jest możliwe – derogacja dotyczy całości wymagań SZBI.

„Bez uszczerbku dla obowiązku przestrzegania wymagań w zakresie zgłaszania zdarzeń zawartych w rozporządzeniu (UE) nr 376/2014 i wymagań określonych w pkt IS.I.OR200 lit. a) ppkt 13 właściwy organ może zezwolić organizacji na niewdrożenie wymagań, o których mowa w lit. a)–d), oraz powiązanych wymagań określonych w pkt IS.I.OR205 do IS.I.OR260, jeżeli organizacja ta wykaże w sposób spełniający oczekiwania tego organu, że jej działalność, obiekty i zasoby, a także służby, które obsługuje, zapewnia, otrzymuje i utrzymuje, nie stwarzają żadnego ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji o potencjalnym wpływie na bezpieczeństwo lotnicze ani wobec tej organizacji, ani wobec innych organizacji. Takie zezwolenie musi opierać się na udokumentowanej ocenie ryzyka związanego z bezpieczeństwem informacji przeprowadzonej przez tę organizację lub przez stronę trzecią zgodnie z pkt IS.I.OR205 oraz sprawdzonej i zatwierdzonej przez jej właściwy organ.

Właściwy organ będzie przeprowadzał przegląd ciągłości ważności takiego zatwierdzenia po mającym zastosowanie cyklu nadzoru audytowego i zawsze gdy wprowadzane są zmiany w zakresie prac danej organizacji.”

Powiązania z dyrektywą NIS, przepisami Security i Safety

Part-IS nie działa w próżni. Jest ściśle powiązany z Dyrektywą NIS (Network and Information Systems Directive, obecnie NIS2), która ma na celu podniesienie poziomu cyberbezpieczeństwa w UE i weszła w życie w październiku 2024 r. Wymaga ona wysokiego poziomu cyberbezpieczeństwa w sektorach krytycznych, w tym w transporcie. Chociaż Part-IS nie jest uznawane za sektorowe prawo

specjalne (*lex specialis*), EASA współpracuje z Komisją Europejską, aby zgodność z Part-IS była uznawana w ramach NIS2, pod warunkiem równowagi wymagań i efektów. Na przykład, jeśli organizacja spełnia wymagania art. 21 NIS2, może to być uznane za spełnienie części Part-IS.

Przepisy Part-IS integrują się również z regulacjami dotyczącymi ochrony (*Security*) i bezpieczeństwa lotniczego (*Safety*), wymagając powiązania Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (SZBI) z istniejącymi Systemami Zarządzania Bezpieczeństwem (SMS), co zapewni holistyczne podejście do ryzyka. Bezpieczeństwo informacji nie jest izolowane, ale stanowi część szerszego ekosystemu regulacyjnego UE.

W kontekście *Security* (bezpieczeństwo fizyczne i cybernetyczne), Part-IS uzupełnia regulacje takie jak Krajowe Programy Ochrony Lotnictwa Cywilnego, wymagając ochrony przed nieautoryzowanym dostępem do systemów. Z kolei w zakresie *Safety*, integracja ISMS z SMS zapewnia, że ryzyka cybernetyczne są traktowane jako element ryzyka lotniczego, np. poprzez analizę wpływu ataku na systemy nawigacyjne.

Wyzwania i korzyści płynące z wdrożenia Part-IS

Wdrożenie Part-IS niesie, szczególnie dla mniejszych organizacji, wyzwania, takie jak potrzeba inwestycji w technologie i szkolenia. Brak jednolitej interpretacji przepisów Part-IS między krajami UE może komplikować nadzór. Jednak korzyści przeważają: zwiększona cyberodporność, zmniejszone ryzyko incydentów, lepsze przygotowanie na przyszłe zagrożenia i potencjalne oszczędności dzięki uniknięciu strat.

Part-IS to krok milowy w zapewnieniu bezpieczeństwa lotniczego w erze cyfrowej. Poprzez zarządzanie ryzykiem informacji, EASA buduje bardziej odporny sektor, integrując się z NIS2, *Security* i *Safety*. Organizacjom rekomenduje się korzystanie z wytycznych EASA i przyspieszenie działań, aby dochować przewidzianych przepisami terminów. Wdrożenie przepisów Part-IS to nie tylko zapewnienie zgodności, ale także wzmocnienie konkurencyjności i zaufania pasażerów. W przyszłości, wraz z ewolucją zagrożeń, Part-IS też będzie ewoluować, podkreślając potrzebę ciągłego doskonalenia.

Dorota Kowalska
Departament Zarządzania Bezpieczeństwem
w Lotnictwie Cywilnym

Zderzenia z ptakami – zagrożenia w lotnictwie i metody ograniczania ryzyka

Kolizje statków powietrznych z ptakami (ang. *bird strikes*) to jedno z istotnych zagrożeń dla bezpieczeństwa lotnictwa cywilnego i wojskowego. Od pierwszego odnotowanego incydentu w 1905 roku, kiedy Orville Wright zderzył się z ptakiem, problem ten stale towarzyszy rozwojowi lotnictwa.

ICAO i FAA nie opublikowały jeszcze szczegółowych statystyk za 2024 rok dotyczących wyłącznie zderzeń z ptakami. Aktualne dane opierają się na ogólnych statystykach do października 2024 roku. Według raportu FAA z października 2024 roku, od 1988 roku na całym świecie w wyniku zderzeń z dziką fauną (w tym z ptakami) odnotowano 499 ofiar śmiertelnych oraz 361 zniszczonych statków powietrznych w lotnictwie cywilnym i wojskowym.

Wzrost liczby kolizji z ptakami w ostatnich

latach jest alarmujący. Dane ICAO z lat 2016–2021 wskazują na ponad 270,000 zgłoszeń incydentów z dziką fauną.

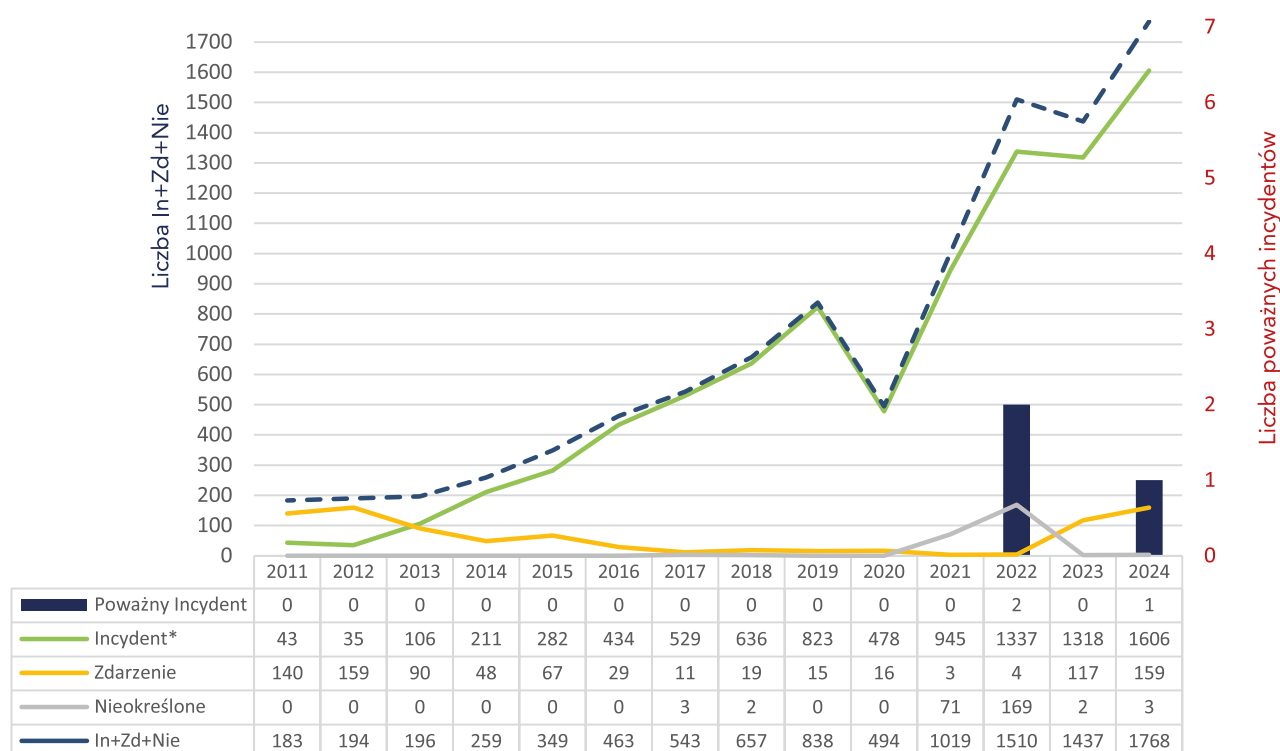
https://www2023.icao.int/Aerodromes/ibis/Documents/03.%20EB%202023.30%20-%202016_2021%20WILDLIFE%20STRIKE%20ANALYSES/2016%20-%202021%20Wildlife%20Strike%20Analyses%20%28BIS%29%20-%2020EN.pdf

Zderzenia z ptakami są nie tylko niebezpieczne, ale również wiążą się ze znacznymi kosztami dla linii lotniczych.

Ekonomiczne skutki kolizji – globalne straty w lotnictwie cywilnym szacuje się na 1,2-2 miliardy dolarów rocznie.

W Polsce kwestie zagrożeń związanych ze zderzeniami statków powietrznych

Zderzenia z ptakami (BIRD) – wszystkie operacje
Rzeczpospolita Polska



z ptakami można znaleźć w Krajowym Planie Bezpieczeństwa (KPB), który uwzględnia dane ICAO i EASA w tym zakresie.

W oparciu o Portfolia ryzyk i Kluczowe Obszary Ryzyk (KRA – Key Risk Areas) wskazane przez EASA w Europejskim Planie Bezpieczeństwa Lotniczego (EPAS) określono Priorytetowe Problemy Bezpieczeństwa dla KPB 2025-2027.

W wyodrębnionych 20 pozycjach, na pierwszym miejscu znalazł się obszar – Zderzenia z ptakami (BIRD STRIKE) zakwalifikowany w Kluczowym Obszarze Ryzyk EASA – Sytuacja krytyczna SP.

Niniejszy artykuł omawia w bardzo skondensowanej formie zagrożenia związane z kolizjami z ptakami, ich wpływ na bezpieczeństwo operacji lotniczych oraz metody minimalizowania ryzyka.

Celem artykułu jest przypomnienie tej tematyki i wskazanie zainteresowanym niektórych źródeł pozyskiwania szczegółowych informacji i pogłębienia wiedzy o zagrożeniach środowiskowych związanych z wykonywaniem operacji lotniczych.



Zagrożenia związane z kolizjami z ptakami

Zderzenia z ptakami mogą prowadzić do poważnych konsekwencji, w tym uszkodzenia konstrukcji statku powietrznego, silników, szyb kokpitu czy systemów awioniki. Skala zniszczeń zależy od kilku czynników:

- **Masa i gatunek ptaka:** Energia zderzenia jest proporcjonalna do masy ptaka i kwadratu prędkości statku powietrznego ($e = \frac{1}{2} mv^2$). Duże ptaki, takie jak bociany,

gęsi czy krukowate, oraz stada mniejszych ptaków (np. szpaki) stanowią szczególne zagrożenie.

- **Faza lotu:** Około 85% kolizji ma miejsce na wysokościach poniżej 300 metrów, głównie podczas startu i lądowania, w tzw. strefie podejścia i lądowania (do 6 km od progu pasa startowego).
- **Rodzaj statku powietrznego:** Małe samoloty lotnictwa ogólnego (np. Cessna 152) są bardziej narażone na uszkodzenia niż duże samoloty komunikacyjne, które spełniają rygorystyczne standardy wytrzymałości (EASA standard CS 25.631 Bird strike damage).

<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-large-aeroplanes-cs-25>

Przepisy międzynarodowe i krajowe

ICAO

Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego (ICAO) reguluje kwestie związane

z zagrożeniami środowiskowymi, w tym kolizjami z ptakami, w Załączniku 14 do Konwencji Chicagowskiej (Tom I, rozdział 9.4) oraz w dokumencie *Doc 9137, Część 3 – Zmniejszanie zagrożenia powodowanego przez ptaki*.

<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3185.pdf>

Kluczowe wymagania obejmują:

- **Obowiązek raportowania:** Piloci są zobowiązani do składania szczegółowych raportów o każdym zderzeniu z ptakami, co umożliwia gromadzenie danych w bazie ICAO (*ICAO Bird Strike Information System*).
- **Zarządzanie ryzykiem:** Państwa członkowskie muszą opracować krajowe programy (i plany) bezpieczeństwa, które

uwzględniają działania prewencyjne na lotniskach w ich otoczeniu.

- **Zalecenia operacyjne:** ICAO zaleca ograniczenie prędkości do 250 węzłów (ok. 460 km/h) na wysokościach poniżej 10 000 stóp (ok. 3000 m), gdzie występuje większość kolizji.

Przepisy Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO) dotyczące zarządzania ryzykiem kolizji z ptakami są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa lotniczego¹.

EASA

Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) wspiera wdrażanie unijnych regulacji dotyczących bezpieczeństwa lotniczego, w tym zarządzania zagrożeniami związanymi z dzikimi zwierzętami. Kluczowe regulacje to:

- **Rozporządzenie (UE) nr 139/2014²:** Nakłada na operatorów lotnisk obowiązek opracowania procedur rejestracji i zgłaszania zderzeń z ptakami, gromadzenia danych o obecności zwierząt oraz ciągłej oceny ryzyka.

<https://ulc.gov.pl/prawo/prawo-unii-europejskiej/prawo-ue-akty-prawne/bezpieczenstwo-lotnicze/rozporzadzenie-komisji-ue-nr-139-2014-z-dnia-12-lutego-2014-r-ustanawiajace-wymagania-oraz-procedury-administracyjne-dotyczace-lotnisk-zgodnie-z-rozporzadzeniem-parlamentu-europejskiego-i-rady-we-nr-216-2008>

- **Rozporządzenie (UE) nr 376/2014³:** Określa zasady raportowania i analizy zdarzeń lotniczych, w tym kolizji

z ptakami, w celu identyfikacji zagrożeń i podejmowania działań zapobiegawczych.

<https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/przepisy-i-materialy-doradcze/przepisy/ue/rozporzadzenie-376-2014>

- **Publikacje EASA:** Dokument „*Bird strike, a European risk with local specificities*” przygotowany przez EASA i EGAST⁴ podkreśla znaczenie lokalnych uwarunkowań w zarządzaniu ryzykiem kolizji.

https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EGAST_GA6-bird-strikes-final.pdf

Krajowy Plan Bezpieczeństwa (KPB)

KPB na lata 2025-2027, opracowany przez Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC), jest zgodny z europejskim planem bezpieczeństwa lotniczego (EPAS) i Załącznikiem 19 ICAO.

<https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/program-bezpieczenstwa-w-lotnictwie-cywilnym/krajowy-plan-bezpieczenstwa/krajowy-plan-bezpieczenstwa-2025-2027>

Dokument ten podkreśla:

- **Identyfikację zagrożeń:** Kolizje z ptakami są uznawane za jeden z kluczowych czynników ryzyka w lotnictwie cywilnym, szczególnie w rejonie lotnisk.
- **Systemowe podejście:** KPB promuje predykcyjne mechanizmy oceny ryzyka, oparte na analizie danych i zarządzaniu barierami łagodzącymi ryzyko.

¹ Skakuj, M., & Grabowska, B. (2023). Zderzenia statków powietrznych z ptakami - ryzyko, którego nie unikniemy. ULC

² Rozporządzenie Komisji (UE) nr 139/2014 z dnia 12 lutego 2014 r. ustanawiające wymagania oraz procedury

administracyjne dotyczące lotnisk zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008

³ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014 z dnia 3 kwietnia 2014 r. w sprawie zgłaszania i analizy zdarzeń w lotnictwie cywilnym oraz podejmowanych w związku z nimi działań następczych, zmiany

rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 996/2010 oraz uchylecia dyrektywy 2003/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady i rozporządzeń Komisji (WE) nr 1321/2007 i (WE) nr 1330/2007.

⁴ EGAST - European General Aviation Safety Team.

- **Współpracę międzysektorową:** Zachęca do wymiany informacji między podmiotami lotniczymi, wojskowymi i ekologicznymi w celu minimalizacji zagrożeń środowiskowych.



Metody ograniczania ryzyka

Aby zminimalizować ryzyko kolizji z ptakami, stosuje się podejście systemowe, łączące działania prewencyjne, technologiczne i operacyjne. Główne metody obejmują:

1) Zarządzanie środowiskiem na lotniskach

- **Programy kontroli środowiska:** Lotniska wdrażają programy zarządzania przyrodą, które obejmują odstraszanie ptaków (np. za pomocą dźwięków, świateł czy sokołów), usuwanie siedlisk (np. koszenie traw, eliminacja zbiorników wodnych) oraz ogrodzenie terenu w celu zapobiegania wtargnięciu zwierząt. Usuwanie siedlisk ptaków w pobliżu lotnisk jest jednym z podstawowych działań mających na celu ograniczenie ryzyka kolizji. Wymaga to współpracy z ornitologami oraz stosowania odpowiednich metod ekologicznych.
- **Monitoring ornitologiczny:** Regularne obserwacje ptaków w strefie 13 km wokół lotniska pozwalają na identyfikację miejsc koncentracji dużych gatunków, takich jak bociany, gęsi czy mewy. Wykorzystanie radarów do monitorowania aktywności ptaków w pobliżu lotnisk pozwala na szybkie reagowanie na zagrożenia. Radary te mogą wykrywać ptaki w czasie rzeczywistym i informować personel lotniczy

o potencjalnych zagrożeniach.

- **Analiza danych:** Systematyczne gromadzenie i analiza danych o kolizjach (zgodnie z wymogami ICAO i EASA) umożliwia lepsze planowanie działań prewencyjnych.

2) Rozwiązania techniczne

- **Konstrukcja statków powietrznych:** Nowoczesne samoloty są projektowane z myślą o większej odporności na zderzenia, np. wzmocnione szyby kokpitu czy silniki zdolne do pochłaniania energii uderzenia.
- **Systemy radarowe:** Wykorzystanie radarów do monitorowania ruchu ptaków w czasie rzeczywistym, pozwala na unikanie stref wysokiego ryzyka.

3) Procedury operacyjne

- **Ograniczenie prędkości:** Zastosowanie zaleceń ICAO dotyczących prędkości poniżej 250 węzłów na niskich wysokościach zmniejsza energię potencjalnych zderzeń.
- **Unikanie stref ryzyka:** Piloci są szkoleni w zakresie unikania obszarów koncentracji ptaków, szczególnie w okresach migracji (wiosna i jesień).
- **Szkolenia personelu:** Podnoszenie świadomości pilotów, kontrolerów ruchu lotniczego i personelu naziemnego w zakresie zagrożeń środowiskowych. Szkolenie personelu lotniczego w zakresie procedur unikania kolizji jest kluczowe. Piloci oraz personel naziemny muszą być świadomi ryzyka i znać procedury postępowania w przypadku zderzenia z ptakiem.

4) Współpraca cywilno-wojskowa

W Polsce Komitet ds. Zderzeń Statków Powietrznych ze Zwierzętami przy ULC (<https://kolizjezptakami.pl/komitet>) koordynuje działania między lotnictwem cywilnym, wojskowym a instytucjami ochrony środowiska.

Przykładem jest Program Ograniczania Zagrożeń Środowiskowych w Lotnictwie Sił Zbrojnych RP, który wspiera wymianę danych i wdrażanie zaawansowanych technologii, takich jak analiza DNA szczątków ptaków po kolizjach.

https://ulc.gov.pl/download/Monitorowanie_i_ograniczanie_zagrozen_WLD_MSKakuj_PSzmit.pdf

Wyzwania i przyszłość

Najnowsze badania w dziedzinie zderzeń z ptakami w lotnictwie koncentrują się na kilku kluczowych obszarach:

1) Monitorowanie i analiza danych:

Wzrost liczby zderzeń z ptakami jest monitorowany przez różne organizacje lotnicze. Urząd Lotnictwa Cywilnego (ULC) regularnie publikuje raporty i analizy dotyczące incydentów z udziałem ptaków.

<https://ulc.gov.pl/zarzadzanie-bezpieczenstwem/wskazniki-bezpieczenstwa-spis/spi>

https://ulc.gov.pl/download/Za%C5%82%C4%85cznik_2_do_KPB_2025-2027_Wyniki_monitorowania.pdf

2) Technologie detekcji i odstraszania:

Nowoczesne technologie, takie jak radary do monitorowania aktywności ptaków, są coraz bardziej zaawansowane.

Aerofotogrametria w podczerwieni (termowizyjna) jest zaawansowaną technologią, która może być wykorzystywana do monitorowania i identyfikacji zwierząt, w tym ptaków, w pobliżu lotnisk, gdzie ich obecność stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych. Aerofotogrametria w podczerwieni wykorzystuje kamery termowizyjne zamontowane na platformach lotniczych (np. dronach, samolotach) do wykrywania sygnałów ciepłych emitowanych przez zwierzęta. Ptaki

i inne zwierzęta emitują ciepło, które można zarejestrować w spektrum podczerwieni, co pozwala na ich identyfikację nawet w nocy, w mgie lub w gęstej roślinności. Dane termiczne systemu pozwalają na określenie liczby, wielkości i tras przelotu ptaków, co jest kluczowe dla służb lotniskowych w celu minimalizacji ryzyka kolizji. Aerofotogrametria w podczerwieni może być łączona z radarami ornitologicznymi i systemami detekcji, takimi jak AFMS (Airport Fauna Monitoring System) testowanymi na lotnisku w Gdańsku. Systemy te wykorzystują kamery analityczne do identyfikacji gatunków ptaków i uruchamiania „odstraszaczy” dźwiękowych lub laserowych.

<https://www.airport.gdansk.pl/lotnisko/aktualnosci/testujemy-prototypowe-urzadzenie-do-odstraszania-ptakow--n2067.html>



Technologia jest szczególnie użyteczna w okresach wzmożonej aktywności ptaków, takich jak migracje (marzec-czerwiec, wrzesień-październik), kiedy ryzyko kolizji wzrasta. Kamery termowizyjne pozwalają na monitorowanie ptaków w czasie rzeczywistym, niezależnie od warunków oświetleniowych.

3) Zarządzanie środowiskiem lotniskowym:

Badania nad skutecznością różnych metod zarządzania środowiskiem lotniskowym, takich jak usuwanie siedlisk ptaków i stosowanie urządzeń odstraszających, są kontynuowane. Przykłady takich działań można znaleźć w publikacjach dostępnych na stronie ULC.

4) Międzynarodowa współpraca i regulacje:

Współpraca międzynarodowa w zakresie wymiany informacji i najlepszych praktyk jest kluczowa. Organizacje takie jak ICAO opracowują wytyczne i standardy dotyczące zarządzania ryzykiem kolizji z ptakami.

5) Edukacja i szkolenia:

Szkolenie personelu lotniczego w zakresie procedur unikania kolizji oraz zwiększanie świadomości wśród pracowników lotnisk i społeczności lokalnej są istotnymi elementami strategii zarządzania ryzykiem.

Pomimo podejmowanych działań, kolizji z ptakami nie da się całkowicie wyeliminować. Zmiany klimatyczne, wzrost populacji niektórych gatunków ptaków (np. gęsi, bielików) oraz rozwój lotnictwa, w tym lotnictwa ogólnego, zwiększają ryzyko.

Kluczowe wyzwania to:

- **Dynamiczna sytuacja środowiskowa:** Zmiany w siedliskach ptaków wymagają ciągłego monitorowania i aktualizacji strategii zarządzania ryzykiem.
- **Integracja danych:** Potrzeba lepszej wymiany informacji między cywilnymi i wojskowymi podmiotami lotniczymi oraz organizacjami ekologicznymi.
- **Zaawansowane technologie:** Rozwój systemów predykcyjnych opartych na danych radarowych i sztucznej inteligencji. AI może analizować dane termiczne w czasie rzeczywistym, identyfikując gatunki i przewidując ich zachowanie.

Kolizje z ptakami pozostają istotnym wyzwaniem dla lotnictwa, wymagającym interdyscyplinarnego podejścia. Międzynarodowe regulacje ICAO i EASA, w połączeniu z krajowymi dokumentami, takimi jak KPB, tworzą ramy dla skutecznego zarządzania ryzykiem. Kluczem do sukcesu jest połączenie działań prewencyjnych na lotniskach, nowoczesnych technologii,

procedur operacyjnych oraz współpracy międzysektorowej. Podnoszenie świadomości wszystkich uczestników sektora lotniczego – od pilotów po personel naziemny – oraz inwestycje w badania i technologie pozwolą na dalsze ograniczanie zagrożeń i zapewnienie bezpieczeństwa operacji lotniczych.

Dla osób zainteresowanych bardziej szczegółowymi informacjami na temat zderzeń z ptakami oraz metod ich ograniczania, polecamy odwiedzenie strony Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC) pod adresem: <https://kolizjezptakami.pl/>.

Znajdują się tam liczne publikacje i raporty, które szczegółowo omawiają różne aspekty tego zagadnienia. Zachęcamy do zgłębiania tematyki i poszerzania wiedzy na temat bezpieczeństwa lotniczego.

Źródła:

- ICAO Doc 9137, Część 3 – Zmniejszanie zagrożenia powodowanego przez ptaki;
- Rozporządzenie (UE) nr 139/2014 i nr 376/2014;
- Krajowy Plan Bezpieczeństwa 2025-2027, ULC;
- Załącznik A do Europejskiego Planu Bezpieczeństwa Lotniczego (EPAS), wyd. 2025, Vol III;
- Strategic Priorities, Europejski Plan Bezpieczeństwa Lotniczego (EPAS), wyd. 2025, Vol I;
- EASA, „Bird strike, a European risk with local specificities”;
- World Birdstrike Association (WBA) raporty i publikacje.

Leszek Czeszejko-Sochacki
Departament Zarządzania
Bezpieczeństwem w Lotnictwie Cywilnym

Zarządzanie zagrożeniami i błędami w lotnictwie: koncepcja TEM

1. Wprowadzenie

Zarządzanie zagrożeniami i błędami (Threat and Error Management, TEM) to metoda opracowana pod koniec lat 90. na Uniwersytecie Tekszańskim, która może być zastosowana przez pilotów podczas wykonywania operacji. Podstawą tej koncepcji jest wykrywanie i reagowanie na zagrożenia zewnętrzne (np. niekorzystne warunki atmosferyczne) oraz błędy (np. niejasna komunikacja między członkami załogi), zanim wpłyną na bezpieczeństwo lotu.

Jeżeli zagrożenia i błędy pozostaną bez odpowiedniej reakcji ze strony członków załogi, mogą prowadzić do niepożądanych stanów statku powietrznego (UAS, Undesired Aircraft States). Właściwe zarządzanie tymi stanami jest ostatnią szansą na uniknięcie poważnego incydentu lub wypadku, a tym samym na utrzymanie wymaganego poziomu bezpieczeństwa w operacjach lotniczych. Metoda TEM jest uznawana przez Międzynarodową Organizację Lotnictwa Cywilnego (ICAO) za podstawę szkolenia pilotów, niezależnie od rodzaju i skali operacji lotniczej.

2. Czym jest TEM?

Metoda TEM to strukturalne podejście do identyfikacji, oceny i zarządzania zagrożeniami oraz błędami, które mogą prowadzić do niepożądanych stanów statku powietrznego (UAS, Undesired Aircraft States). Obejmuje ona między innymi szkolenia, briefingi, listy kontrolne, standardowe procedury operacyjne (SOP, Standard Operational Procedures) oraz zagadnienia związane z czynnikiem ludzkim w lotnictwie.

Wyróżnić można trzy filary metody TEM:

- **planowanie** – identyfikacja potencjalnych zagrożeń i błędów, które mogą wystąpić

podczas lotu oraz wdrażanie działań zapobiegawczych w celu ich eliminacji lub zmniejszenia prawdopodobieństwa ich wystąpienia,

- **reagowanie** – podejmowanie działań w odpowiedzi na zagrożenia i błędy, przy wykorzystaniu list kontrolnych, zatwierdzonych procedur operacyjnych i innych dostępnych środków,
- **kontrola** – ciągłe monitorowanie sytuacji oraz dostosowywanie planów i działań w razie potrzeby.

Metoda TEM uzupełnia proces zarządzania ryzykiem, który polega na ocenie, czy operacje lotnicze można przeprowadzić przy akceptowalnym poziomie ryzyka (np. decyzje o starcie lub zmianie trasy). TEM koncentruje się na zarządzaniu bezpieczeństwem podczas wykonywania danego lotu.



3. Zagrożenia

Zagrożenia można zdefiniować jako zdarzenia lub sytuacje, które mogą negatywnie wpłynąć na bezpieczeństwo lotu lub sprzyjać popełnianiu błędów przez pilotów. Istnieją różne podejścia do klasyfikacji zagrożeń, a jednym z nich jest podział na czynniki zewnętrzne (np. niekorzystna pogoda) oraz wewnętrzne (np. stan fizjologiczny lub psychologiczny pilota).

W modelu TEM, zagrożenia zostały podzielone na trzy kategorie:

- **przewidywalne** – można je przywidzieć i odpowiednio przygotować się na wypadek ich wystąpienia (np. burza, warunki sprzyjające oblodzeniu, uskoki wiatru, skomplikowane procedury na danym lotnisku, duże natężenie ruchu, silny wiatr boczny na podejściu i przy lądowaniu, itp.),
- **nieprzewidywalne** – mogą pojawić się niespodziewanie, nagle i bez ostrzeżenia; piloci muszą wykorzystywać umiejętności i wiedzę zdobytą podczas szkolenia oraz doświadczenie operacyjne, aby skutecznie sobie z nimi radzić (np. usterki w czasie lotu, nagłe zmiany tras przez ATC, awarie pomocy nawigacyjnych, drony i ptaki w ruchu lotniskowym, ataki laserem, itp.),
- **utajone** – nie są one oczywiste ani łatwo zauważalne dla pilotów i mogą wymagać identyfikacji w wyniku formalnej analizy bezpieczeństwa (np. niska kultura organizacyjna, brak właściwego zarządzania zmianą, niepoprawne lub niekompletne dokumenty operacyjne, błędy projektowe i produkcyjne w statku powietrznym, zmęczenie, brak doświadczenia, zbyt niska lub zbyt wysoka pewność siebie, itp.).

Innym podejściem proponowanym do klasyfikacji zagrożeń, jest ich podział na środowiskowe i organizacyjne:

- **zagrożenia środowiskowe** – będące poza kontrolą operatora statku powietrznego (np. niesprzyjająca pogoda, warunki panujące na lotnisku, problemy komunikacyjne z ATC czy ukształtowanie terenu),
- **zagrożenia organizacyjne** – często mają charakter utajony i są kontrolowane poprzez systemy zarządzania bezpieczeństwem (SMS, Safety Management System), zarządzanie czasem pracy, standardowe procedury operacyjne (SOP, Standard Operational Procedures) oraz listy kontrolne

(np. presja czasu, błędy w procesie obsługi statku powietrznego, niepoprawne lub nieaktualne dokumenty operacyjne, itp.).

W miarę zdobywania wiedzy i doświadczenia lepiej potrafimy przewidywać, gdzie mogą pojawić się zagrożenia. Zapoznanie się z prognozą pogody i jej prawidłowa interpretacja umożliwia przygotowanie się na trudne warunki atmosferyczne, a doświadczenie pomaga nam lepiej rozumieć własne możliwości i ograniczenia. Niezależnie od tego, czy zagrożenia są spodziewane, niespodziewane czy utajone, miarą skuteczności pilota w zarządzaniu zagrożeniami jest to, czy potrafi je wykryć na czas, aby zapobiec wystąpieniu niepożądanego stanu statku powietrznego (UAS).



4. Błędne działania człowieka

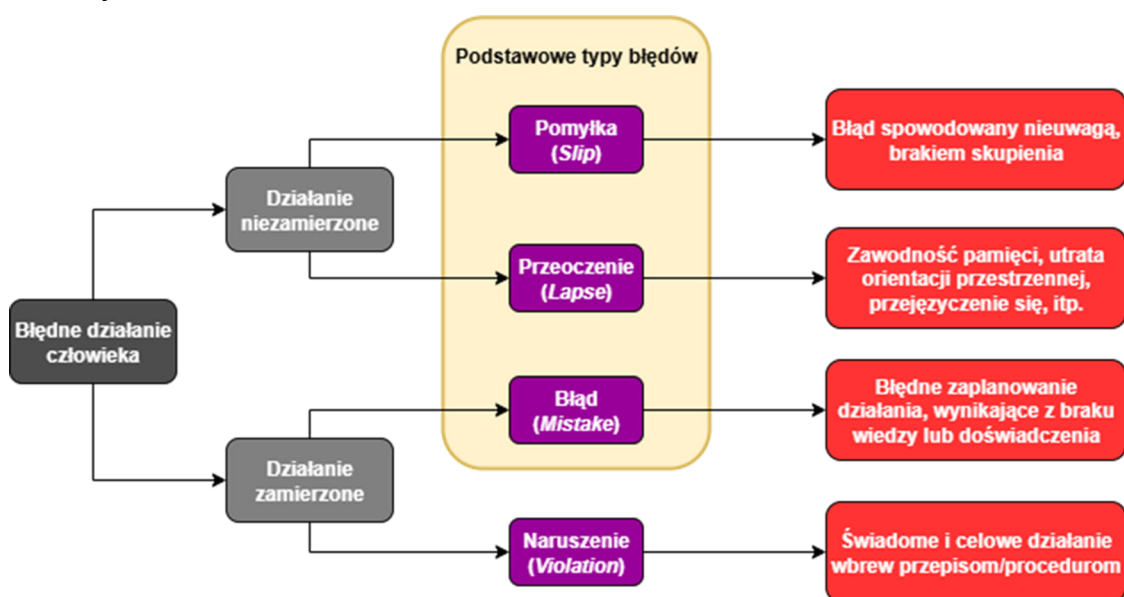
Choć błędy są nieodłączną częścią ludzkiego działania, w lotnictwie mogą prowadzić do poważnych konsekwencji. Zgodnie z definicją proponowaną przez CASA¹, są to wszelkie działania lub zaniechania załogi, które odbiegają od intencji lub oczekiwań, zmniejszając poziom bezpieczeństwa. Błędne działania człowieka, zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez J. Reasona, można podzielić na cztery typy:

- **pomyłki (slips)** – błędne wykonanie zaplanowanego działania lub czynności, np. zmiana położenia dźwigni sterującej mieszanką paliwowo-powietrzną zamiast podgrzewem gaźnika (zazwyczaj spowodowane nieuwagą, brakiem skupienia),

¹ Civil Aviation Safety Authority

- **przeoczenia (lapses)** - związane z zawodnością pamięci, utratą orientacji w procedurze lub pominięciem elementów procedury (np. pominięcie pozycji na liście kontrolnej),
- **błędy (mistakes)** - błędne zaplanowanie działania, które nawet przy prawidłowym wykonaniu nie prowadzi do zamierzonego rezultatu; wynikają zazwyczaj z braku wiedzy i doświadczenia,
- **naruszenia (violations)** - świadome i celowe odstępstwa od procedur (np. pominięcie elementów w celu skrócenia procedury).

Pomyłki i przeoczenia należą do grupy błędów „niezamierzonych”. Stanowią niewłaściwe wykonanie zaplanowanego działania, przy czym sam plan jest poprawny i adekwatny do założonych celów. Drugą kategorię stanowią błędy wynikające z zamierzonych, lecz błędnych decyzji. Mogą być skutkiem nieprawidłowej analizy sytuacji (*mistake*) lub niewłaściwej motywacji do podjętego działania (*violation*). Obejmują one m.in. przypadki naruszenia dyscypliny lotniczej².



Celem zarządzania błędami jest umożliwienie pilotom szybkiego wykrywania oraz skutecznej reakcji na popełnione błędy, tak aby ograniczyć ich wpływ na bezpieczeństwo operacji lotniczych do minimum. Błąd, który nie zostanie odpowiednio skorygowany, może prowadzić do powstania kolejnego błędu lub wywołać niepożądany stan statku powietrznego, zwiększając zagrożenie dla bezpieczeństwa lotu.

5. Niepożądane stany statku powietrznego (UAS, Aircraft States)

Niepożądane stany statku powietrznego to sytuacje, w których zagrożone jest bezpieczeństwo wykonywanej operacji lotniczej, np. z powodu odchylenia od oczekiwanej prędkości i/lub pozycji czy niewłaściwej konfiguracji. Przykładami takich stanów mogą być:

- zbyt niska prędkość na podejściu do lądowania (błąd), skutkująca odchyleniami od wymaganych parametrów lotu (UAS),

² T. Smolicz, P. Makarowski i R. Makarowski, *Czynnik ludzki w lotnictwie: podręcznik pilota*, Gdańsk: Akam, 2020.

- niewłaściwe monitorowanie wskazań przyrządów pokładowych (błąd), prowadzące do odchylenia od zaplanowanej trasy lotu lub wysokości (UAS).
- nieprawidłowe zarządzanie systemami statku powietrznego (błąd), skutkujące wyłączonym systemem przeciwoślodzeniowym w warunkach oblodzenia (UAS).

Dla zapewnienia bezpiecznego lotu konieczne jest szybkie rozpoznanie i korekta niepożądanego stanu statku powietrznego, zanim doprowadzi do utraty kontroli nad statkiem powietrznym lub niekontrolowanego zderzenia z terenem.

6. Wykorzystanie TEM w praktyce

W trakcie każdego lotu załoga jest narażona na występowanie zagrożeń i błędów, z których niemal połowa może pozostać niezauważona lub nieskorygowana, na co wskazuje analiza danych gromadzonych przez linie lotnicze. Metoda zarządzania zagrożeniami i błędami (TEM) zakłada systematyczne przewidywanie i identyfikację potencjalnych zagrożeń oraz błędów, a także planowanie i wdrażanie odpowiednich środków zapobiegawczych na każdym etapie lotu. Kluczowe jest, aby proces ten przebiegał w sposób zorganizowany i prosty, jednocześnie unikając nadmiernej pewności w odniesieniu do często spotykanych zagrożeń, takich jak warunki meteorologiczne, ruch lotniczy czy ukształtowanie terenu.

Wyróżnia się trzy rodzaje środków zaradczych możliwych do wdrożenia:

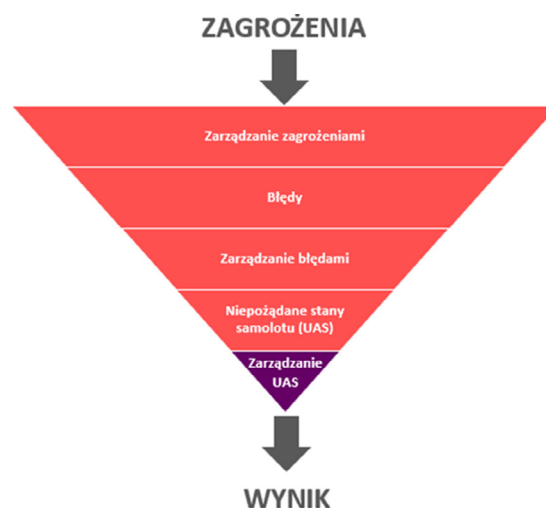
- związane z planowaniem - obejmuje przygotowanie do lotu, takie jak analiza NOTAM-ów, prognoz pogody i planowanie paliwa; odpowiednie przygotowanie pozwala zmniejszyć obciążenie pracą w czasie wykonywania operacji,
- związane z wykonaniem operacji - obejmuje monitorowanie systemów samolotu, zarządzanie obciążeniem pracą i utrzymanie świadomości sytuacyjnej; kluczowe jest

regularne sprawdzanie przyrządów i konfiguracji samolotu,

- związane z przeglądem i ewentualną korektą - polegają na ocenie postępu lotu i dostosowywaniu planów w razie potrzeby; piloci powinni być gotowi do zmiany planów w trakcie lotu (np. odejścia na drugi krąg) w przypadku problemów.

Istotnym elementem na każdym etapie wykonywania operacji lotniczej są briefingi. Powinny one uwzględniać procedury operacyjne, przewidywane zagrożenia oraz odpowiednie środki zaradcze. Szczególną wagę przykładają się do ich przeprowadzania przed startem oraz przed rozpoczęciem istotnych etapów lotu, takich jak podejście do lądowania na nowym lotnisku.

W sytuacjach, gdy dojdzie do popełnienia błędu, priorytetem powinno być natychmiastowe zarządzanie potencjalnym niepożądanym stanem statku powietrznego, który może z niego wynikać. Zbyt częste jest koncentrowanie się na przyczynie błędu kosztem podstawowych zadań pilotażowych, takich jak kontrola nad statkiem powietrznym, nawigacja i komunikacja. Przykładem może być utrata orientacji przestrzennej - zamiast analizować, dlaczego do niej doszło, należy bezzwłocznie wdrożyć odpowiednią procedurę, skorzystać z dostępnych źródeł informacji (np. informacji od innych statków powietrznych lub służb ATC) lub rozważyć lądowanie zapobiegawcze. Skuteczne zarządzanie błędami wymaga zachowania hierarchii działań i koncentracji na dalszym przebiegu operacji.



Po zakończeniu lotu warto poświęcić kilka minut na analizę napotkanych zagrożeń, błędów oraz niepożądanych stanów statku powietrznego. Należy się zastanowić, jak skutecznie zostały one opanowane oraz co można zrobić inaczej, aby poprawić ich zarządzanie w przyszłości. Obserwacje powinny zostać odnotowane i omówione z innymi członkami załogi w celu wspólnego wypracowania usprawnionych strategii zarządzania zagrożeniami i błędami (TEM).

Choć podstawowa koncepcja TEM jest prosta, wdrożenie jej do codziennej praktyki operacyjnej stanowi większe wyzwanie. Mimo tego, jej zastosowanie niesie ze sobą wiele korzyści, płynących z uporządkowanego podejścia, które pozwala utrzymać kontrolę nad przebiegiem lotu i tym samym zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa.

7. Analiza wybranego zdarzenia lotniczego z wykorzystaniem metody TEM

W analizowanym zdarzeniu z udziałem samolotu Cessna 210 w USA, pilot wracał z długiego lotu, będąc wyraźnie zmęczonym i mając trudność z utrzymaniem koncentracji. Już podczas podejścia pojawiło się kilka istotnych zagrożeń operacyjnych: kontroler zmienił kierunek lądowania w ostatnim momencie, co wymagało szybkiego przeplanowania podejścia z drogi startowej 36 na 27. Dodatkowo występował silny wiatr boczny, a pilot nie miał ostatnio okazji do ćwiczenia takich lądowań. Te czynniki doprowadziły do dekoncentracji i pogorszenia świadomości sytuacyjnej, przez co pilot nie ukończył list kontrolnych zniżania i przed lądowaniem. Brak poprawnej konfiguracji samolotu, w tym brak wypuszczonego podwozia, pozostał niezauważony mimo działania sygnalizacji dźwiękowej.

W wyniku nałożenia się wielu błędów oraz braku skutecznego zarządzania nimi, samolot przyziemił bez wysuniętego podwozia, co doprowadziło do uszkodzenia śmigła, silnika i dolnej części kadłuba. Pilot nie zastosował skutecznych środków zaradczych – jego uwaga skupiona była głównie na trudnym podejściu

i korygowaniu kursu ze względu na wiatr, przez co zaniedbał podstawowe elementy procedur. Analiza zdarzenia wskazuje, że decyzja o odejściu na drugi krąg pozwoliłaby na uporządkowanie sytuacji i ponowne wykonanie procedur, co mogłoby zapobiec zdarzeniu. Przypadek ten obrazuje, jak krytyczne dla bezpieczeństwa jest wczesne wykrywanie zagrożeń i błędów oraz aktywne zarządzanie nimi zgodnie z założeniami metody TEM.



Źródło: iStock

Analiza TEM dla powyższego zdarzenia

- **Zagrożenia:** zmęczenie i brak koncentracji pilota; zmiana kierunku podejścia w ostatnim momencie; silny wiatr boczny i brak wystarczającego doświadczenia w takich warunkach.
- **Błędy:** ze względu na rozproszenie uwagi pilot nie wykonał w pełni kroków listy kontrolnej zniżania i przed lądowaniem; problemy z kontrolowaniem samolotu w warunkach silnego wiatru bocznego.
- **Zarządzanie zagrożeniami i błędami:** pilot nie podjął próby ukończenia list kontrolnych zniżania i przed lądowaniem; trudności z opanowaniem błędów popełnianych podczas próby skorygowania położenia samolotu na ścieżce podejścia.
- **Niepożądane stany samolotu (UAS):** zbyt wysoka temperatura pracy silnika; schowane podwozie; brak skonfigurowania kłap do lądowania; samolot nie był ustawiony w osi centralnej pasa; pilot nie podjął próby zarządzania UAS.

- **Skutki:** sekwencja zdarzeń doprowadziła do lądowania bez wysuniętego podwozia; konieczna była wymiana silnika i śmigła oraz kompleksowa naprawa dolnej części kadłuba; brak ofiar i rannych.

8. Ocena wykorzystania TEM w praktyce

Operatorzy mogą opracowywać i wdrażać programy oceny praktycznego wykorzystania TEM przez załogi lotnicze. Powinny one dać odpowiedź na następujące pytania:

- Czy piloci rozpoznają, oceniają i zarządzają zagrożeniami?
- Czy piloci przestrzegają standardowych procedur operacyjnych i wykazują świadomość sytuacyjną, aby unikać i wychwytywać błędy?
- Czy piloci stosują strategię zarządzania i łagodzenia skutków popełnianych błędów?
- Czy piloci skutecznie zarządzają UAS i odzyskują kontrolę nad lotem?

Oceniający muszą posiadać dowody na to, że zarządzanie zagrożeniami i błędami (TEM) jest rzeczywiście stosowane w praktyce. Nie mogą zakładać, że skuteczne wykorzystanie TEM miało miejsce wyłącznie na podstawie faktu, że lot zakończył się bezpiecznie.

Ponieważ jedynym sposobem pozyskania takich dowodów jest obserwacja, ważne jest, aby aktywnie zadawać pilotowi pytania przed lotem, w jego trakcie oraz po zakończeniu, w celu zrozumienia, dlaczego zastosowano konkretne techniki TEM. Należy jednak unikać rozpraszania pilota podczas lotu.

Podczas rutynowego lotu mało prawdopodobne jest, aby kompetentny pilot doprowadził do niepożądanego stanu statku powietrznego lub – jeśli taki stan wystąpi – nie zareagował prawidłowo. Dlatego może zaistnieć potrzeba stworzenia scenariuszy symulacyjnych. Na przykład:

- stwórz scenariusz, który zostanie przeanalizowany podczas briefingu przed lotem,
- podczas zbliżania się do lotniska docelowego zasymuluj burzę nad lotniskiem,
- wykonaj symulację awarii radia w pobliżu punktu meldunkowego lub podczas wlotu do strefy kontrolowanej,
- wykonaj symulację lądowania zapobiegawczego lub przymusowego,
- wykonaj symulację awarii przyrządu lub wyświetlacza.

9. Wskazówki dla pilotów i operatorów

Dla pilotów

- Antycypuj zagrożenia – regularnie analizuj prognozy pogody, NOTAM-y i stan samolotu oraz pamiętaj o briefingach.
- Używaj list kontrolnych – zapobiegają one błędom popełnianym nieumyślnie.
- Utrzymuj świadomość sytuacyjną – monitoruj otoczenie i pracę systemów statku powietrznego.
- Reaguj na UAS – priorytetem jest odzyskanie kontroli nad statkiem powietrznym przed rozwiązywaniem innych problemów.
- Debriefing po locie – analizuj napotkane zagrożenia i błędy oraz sposób zarządzania nimi, aby poprawić przyszłe działania.

Pamiętaj, że metoda TEM uznaje błędy za naturalną część ludzkiego działania, którą można i należy zarządzać. Trzy podstawowe elementy modelu TEM to zagrożenia, błędy oraz niepożądane stany statku powietrznego (UAS). Istotne jest, aby załogi potrafiły rozpoznać moment, w którym należy przejść z zarządzania zagrożeniami i błędami do zarządzania niepożądanym stanem statku powietrznego.

Dla operatorów

- Rozwijaj programy TEM – opracowuj programy i organizuj szkolenia, które koncentrują się na rozpoznawaniu i zarządzaniu zagrożeniami oraz błędami.
- Obserwuj pilotów – aktywnie oceniaj, jak piloci stosują TEM w praktyce, np. poprzez scenariusze symulacyjne (burza nad lotniskiem, awaria radia).
- Promuj kulturę bezpieczeństwa – zachęcaj do dzielenia się doświadczeniami i ciągłego doskonalenia.

Operatorzy powinni poszukiwać dowodów na to, że metoda TEM jest regularnie stosowana w praktyce, zamiast zakładać, że tak jest. Należy skoncentrować się na tym, aby szkolenia i obserwacje związane z praktycznym wykorzystaniem TEM opierały się na wymianie doświadczeń oraz ciągłym doskonaleniu.

10. Podsumowanie

Zarządzanie zagrożeniami i błędami (TEM) to bardzo istotny element zapewnienia bezpieczeństwa w lotnictwie. Poprzez proaktywne rozpoznawanie zagrożeń, skuteczne zarządzanie błędami i szybkie reagowanie na niepożądane stany samolotu, piloci mogą znacząco zmniejszyć ryzyko zdarzeń lotniczych. Operatorzy odgrywają kluczową rolę w promowaniu TEM poprzez szkolenia, standardowe procedury operacyjne i kulturę bezpieczeństwa. Jak podkreśla ICAO, metoda TEM powinna być integralną częścią szkolenia każdego pilota, niezależnie od skali operacji. Regularne wykorzystanie tego podejścia w praktyce stanowi ważny krok w stronę poprawy bezpieczeństwa operacji lotniczych.

Powyższy materiał został w całości oparty na oryginalnym dokumencie „*Safety behaviours: human factors for pilots 2nd edition Resource booklet 8 Threat and error management*”, opracowanym przez australijski organ rządowy CASA (Civil Aviation Safety Authority). Dostęp: 18 sierpnia 2025. [Online]. Dostępne na: <https://www.casa.gov.au/sites/default/files/2021-06/safety-behaviours-human-factor-for-pilots-8-threat-error-management.pdf>

Franciszek Rydzak
Departament Zarządzania
Bezpieczeństwem w Lotnictwie Cywilnym

**Departament Zarządzania Bezpieczeństwem
w Lotnictwie Cywilnym
Urząd Lotnictwa Cywilnego**

ul. Marcina Flisa 2
02-247 Warszawa

tel.: +22 520 75 22
lbb@ulc.gov.pl
lub **lbb-2@ulc.gov.pl**



Urząd Lotnictwa Cywilnego