



Urząd
Lotnictwa
Cywilnego

BIULETYN BEZPIECZEŃSTWA

Nr 2(34)/2026



W NUMERZE:

- ✈ Poziom kultury raportowania w organizacjach lotniczych
- ✈ Problematyka i wyzwania w metodyce badań emisji z silników lotniczych
- ✈ „Tak zarządzam WLD” – od pojedynczych działań do wspólnej odpowiedzialności
- ✈ Ochrona przed dronami

Publikowane przez:

Departament Zarządzania Bezpieczeństwem
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,

za każdym bezpiecznie wykonanym lotem stoją wiedza, kompetencje oraz współpraca specjalistów reprezentujących różne obszary sektora lotniczego.

Studencka Konferencja Lotnicza „Skrzydła Lotnictwa” to inicjatywa mająca na celu stworzenie przestrzeni do wymiany wiedzy, doświadczeń i poglądów pomiędzy studentami, środowiskiem akademickim oraz przedstawicielami branży lotniczej. Wydarzenie służy integracji osób zainteresowanych tematyką lotnictwa oraz wspieraniu rozwoju naukowego i zawodowego młodych adeptów sektora lotniczego. Głównym celem konferencji jest popularyzacja wiedzy o współczesnym lotnictwie, prezentacja wyników badań i projektów realizowanych przez studentów, a także dyskusja nad aktualnymi wyzwaniami oraz kierunkami rozwoju transportu lotniczego. Tematyka konferencji obejmuje między innymi zagadnienia związane z bezpieczeństwem operacji lotniczych, funkcjonowaniem i rozwojem infrastruktury lotniczej, działalnością portów lotniczych, zarządzaniem w lotnictwie oraz wdrażaniem nowoczesnych technologii i innowacyjnych rozwiązań w sektorze.

Konferencja stanowi również platformę do nawiązywania kontaktów między środowiskiem akademickim a przedstawicielami branży, sprzyjając budowaniu współpracy, wymianie doświadczeń oraz inspirowaniu uczestników do dalszego rozwoju naukowego i zawodowego.

Cieszę się, że po raz kolejny możemy być częścią tej ważnej inicjatywy wspierającej rozwój bezpiecznego lotnictwa w Polsce. W niniejszym wydaniu mogą Państwo zapoznać się z dwiema pracami wyróżnionymi podczas Konferencji „Skrzydła Lotnictwa 2026” w ramach konkursu referatów.

Są to:

- ✈ Poziom kultury raportowania w organizacjach lotniczych
- ✈ Problematyka i wyzwania w metodyce badań emisji z silników lotniczych

Polecam również pozostałe artykuły tj.:

- ✈ „Tak zarządzam WLD” – od pojedynczych działań do wspólnej odpowiedzialności
- ✈ Ochrona przed dronami

Mam nadzieję, że lektura nie tylko zainspiruje Państwa, ale też dostarczy praktycznej wiedzy i wskazówek.

Urząd Lotnictwa Cywilnego zachęca Państwa do zgłaszania propozycji tematów oraz chęci przygotowania własnego artykułu związanego z bezpieczeństwem lotniczym – najciekawsze z nich z chęcią opublikujemy na łamach kolejnych wydań Biuletynu. Zachęcam także do dzielenia się swoimi uwagami do opublikowanych materiałów.

Na Państwa komentarze czeka Zespół Wydziału Analiz Bezpieczeństwa Lotniczego pod adresem: lbb-2@ulc.gov.pl.

Zapraszam do lektury.

Julian Rotter
Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego

Niniejszy artykuł powstał na bazie ustaleń z pracy dyplomowej inżynierskiej obronionej na Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej. Stanowi on punkt wyjścia i zarazem propozycję prowadzenia dalszych prac w przedmiotowej materii.

I Streszczenie

Transport lotniczy, jako jedna z najszybciej rozwijających się gałęzi transportu, wymaga najwyższych standardów bezpieczeństwa, których fundamentem jest kultura bezpieczeństwa – safety culture. Kluczowym jej filarem, warunkującym skuteczne zarządzanie ryzykiem, jest kultura raportowania, polegająca na chronionym zasadami kultury sprawiedliwego traktowania (Just Culture) zgłaszaniu wszelkich zdarzeń oraz nieprawidłowości mogących wpłynąć na bezpieczeństwo operacji lotniczych. Celem niniejszej pracy była ocena poziomu wdrożenia kultury raportowania w polskich organizacjach lotniczych oraz analiza różnic w postrzeganiu obowiązku raportowania w zależności od czynników demograficznych i zawodowych. Główne pytanie badawcze brzmiało: Jakie są różnice w postrzeganiu kultury raportowania w zależności od czynników demograficznych i zawodowych? Przeprowadzono badanie na grupie 95 respondentów związanych z polskim środowiskiem lotniczym. Wyniki badania wykazały, że ogólny poziom wdrożenia kultury raportowania w badanej grupie można określić jako biurokratyczny na podstawie poziomów dojrzałości organizacyjnej Hudson'a. Oznacza to, że systemy raportowania są znane i stosowane, lecz często w sposób formalny, a raportowanie postrzegane jest bardziej jako obowiązek regulacyjny niż narzędzie proaktywnego doskonalenia bezpieczeństwa.

II Metodyka badań

Badanie zostało przeprowadzone na grupie 95 respondentów, związanych zawodowo lub udzielających się w lotnictwie, w tym pilotów, instruktorów, członków aeroklubów, pracowników portów lotniczych lub innych organizacji lotniczych. Uczestnicy proszeni byli o wypełnienie formularza oceniającego ich spojrzenie na wymóg raportowania zdarzeń lotniczych, zawartych w Rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2015/1018¹. Miał on posłużyć do oceny poziomu wdrożenia kultury raportowania w polskich organizacjach. Ankiety podzielono na dwie sekcje:

1) **Metryczka** – pytania o dane demograficzne i zawodowe:

- wiek,
- płeć,
- rola w lotnictwie (np. pilot, mechanik lotniczy, służby lotniskowe),
- miejsce pracy lub aktywności / działalności lotniczej (np. port lotniczy, aeroklub),
- staż pracy lub aktywności / działalności lotniczej.

2) **Scenariusze zdarzeń** – zestaw 11 zdarzeń lotniczych opartych na Rozporządzeniu 2015/1018. Osoby badane proszone były o określenie wymogu złożenia raportu do systemu zgłaszania zdarzeń ECCAIRS, odpowiadając na pytanie „Czy zgłaszasz zdarzenie?": „Tak” lub „Nie”. Każde ze zdarzeń określone jest jako wymagające zgłoszenia według rozporządzenia, więc im częściej respondenci odpowiadali twierdzącą na przytaczane zdarzenia, tym lepszą przyjmowało się znajomość regulacji prawnych w kontekście zgłaszania. Przykładowe scenariusze obejmowały:

- zderzenie z ptakiem,
- twarde lądowanie,
- chwilową utratę łączności z kontrolerem ruchu lotniczego, aktywację systemu TCAS (ang. traffic alert and collision avoidance system, system zapobiegający zderzeniom statków powietrznych),
- wlot w IMC (ang. instrument meteorological conditions, warunki meteorologiczne dla lotów według wskazań przyrządów) bez uprawnień IFR (ang. instrument flight rules, lot wykonywany zgodnie z przepisami dla lotów według wskazań przyrządów).

Formularz sporządzono w wersji elektronicznej, pytania zawodowe zawierały opcję wielokrotnego wyboru, co pozwalało uczestnikom badania na zaznaczenie więcej niż jednej odpowiedzi przy takich pytaniach jak: rola w lotnictwie i miejsce aktywności / działalności lotniczej. Reszta pytań była jednokrotnego wyboru. Dobór grupy badanej miał charakter losowy, uczestnictwo w badaniu było dobrowolne i anonimowe. Wyniki badania miały posłużyć do odpowiedzi na przyjęte pytanie badawcze oraz tezy:

Pytanie badawcze: Jakie są różnice w postrzeganiu kultury raportowania w zależności od czynników demograficznych i zawodowych?

¹ Komisja Europejska. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2015/1018 z dnia 29 czerwca 2015 r. ustanawiające wykaz klasyfikujący zdarzenia w lotnictwie cywilnym, które muszą być zgłaszane zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 376/2014. 2015.

Tezy:

- 1) Osoby młode częściej zgłaszają zdarzenia lotnicze.
- 2) Kobiety częściej zgłaszają zdarzenia lotnicze.
- 3) Osoby o większym stażu pracy w lotnictwie częściej zgłaszają zdarzenia.
- 4) Osoby pracujące w portach lotniczych częściej zgłaszają zdarzenia.
- 5) Osoby pełniące funkcje o wyższej odpowiedzialności częściej zgłaszają zdarzenia.

Ocena różnic w podejściu do zgłaszania zdarzeń lotniczych

W ramach analizy otrzymanych wyników badań, dla każdego z respondentów obliczono indeks wiedzy, czyli wartość procentową poziomu kultury raportowania. Był on określany na podstawie poprawności odpowiedzi w części sytuacyjnej, zawierającej pytania o wymóg raportowania przytoczonych przykładów zdarzeń lotniczych, gdzie wszystkie klasyfikowane są jako wymagające zgłoszenia według Rozporządzenia wykonawczego Komisji (UE) 2015/1018¹. Otrzymany wynik oznaczał procentowy udział poprawnych odpowiedzi, co przekłada się na znajomość procedur raportowania określonych w oficjalnej dokumentacji – im wyższy wynik otrzymał respondent, tym lepszą znajomość zasad zgłaszania posiada i wyższy jest jego poziom kultury raportowania. Analiza wyników składa się z oceny zmiennej według: wieku, płci, pełnionej roli w lotnictwie, stażu pracy i miejsca pracy lub aktywności / działalności lotniczej.

W celu analizy aktualnego poziomu wdrożenia kultury raportowania w organizacjach lotniczych posłużono się rozszerzonym modelem dojrzałości kultury bezpieczeństwa, sporządzonym przez Patrick'a Hudson'a na podstawie modelu Ron'a Westrum'a². Jest to model HSE Culture Ladder – drabina kultury zdrowia, bezpieczeństwa i środowiska, obrazująca kolejne poziomy dojrzałości systemu, od najmniej do najbardziej rozwiniętego. Hudson wyodrębnił pięć typów dojrzałości systemu²:

- patologiczny (ang. pathological) – bezpieczeństwo nie jest traktowane priorytetowo; występuje brak komunikacji odnośnie zagrożeń; personel jest karany i obwiniany; raportowanie występuje tylko wtedy, gdy jest to wymagane prawnie, a kierownictwo nie zwraca uwagi na nieprawidłowości; panuje ogólnie niska znajomość zasad raportowania;

- reaktywny (ang. reactive) – działania w kontekście bezpieczeństwa są podejmowane dopiero po zdarzeniach; winą za incydenty obarcza się pracowników, reagując impulsywnie i spełniane są jedynie podstawowe wymogi bezpieczeństwa; raportowanie jest traktowane jako konieczność;

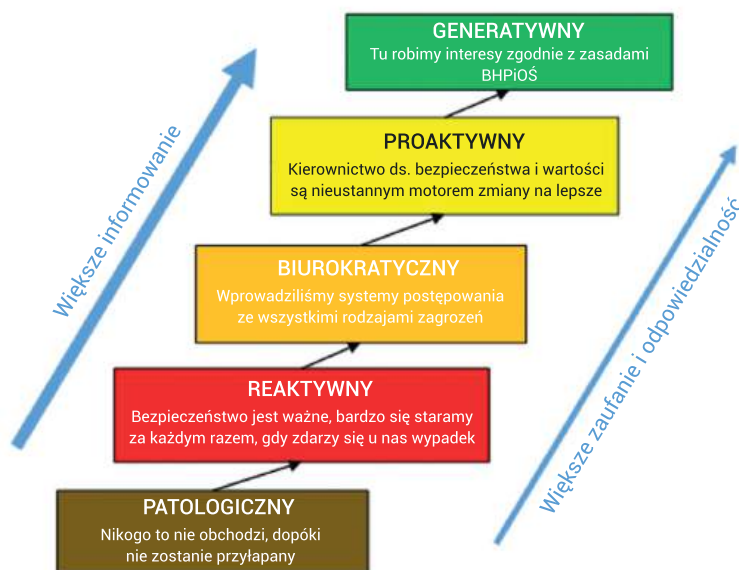
- biurokratyczny (ang. calculative) – bezpieczeństwo jest zarządzane przez procedury i wskaźniki;

środowisko organizacji jest podporządkowane pod kierownictwo, które skupia się jedynie na statystykach, a nie faktycznej sytuacji; personel ma ograniczone zaangażowanie; raportowanie często motywowane jedynie formalnie;

- proaktywny (ang. proactive) – aktywne zapobieganie zagrożeniom poprzez identyfikację przed wystąpieniem zdarzeń; personel jest zaangażowany w raportowanie i wysłuchiwany przez kierownictwo; dobrze rozwinięta kultura uczenia; wysoka wiedza na temat zasad raportowania i jej pozytywne postrzeganie;

- generatywny (ang. generative) – bezpieczeństwo jest wartością organizacyjną i priorytetem; panuje pełne zaufanie i otwarta komunikacja; personel jest odpowiedzialny za raportowanie i identyfikowanie zagrożeń, by kierownictwo mogło naprawić błędy systemowe – ciągłe doskonalenie, pełne zrozumienie roli raportowania.

Na podstawie opracowanego modelu Hudson stworzył również schemat drabiny, który przedstawiono na rysunku 1.



Do analizy poziomu kultury raportowania grup respondentów w zależności od przyjętych w badaniu czynników sporządzono tabelę skali średniego indeksu wiedzy, w której dla każdego z typów kultury bezpieczeństwa organizacji sporządzonych przez Hudson'a przydzielono przedział wartości badanej zmiennej. Skalę przedstawiono poniżej w tabeli 1. W dalszej części pracy poziomy dojrzałości będą odnoszone do kultury raportowania, a nie ogólnej kultury bezpieczeństwa w celu spójności analizy danych zebranych w badaniu. Przedziały procentowe – przyjęte w skali przedstawionej w Tabeli 1 – będą porównywane z wynikami otrzymanymi przez respondentów. Na ich podstawie zostanie następnie określony poziom postrzegania kultury raportowania, a co za tym idzie

² P. Hudson. Implementing a safety culture in a major multi-national. Safety science, 2007.

poziom jej wdrożenia wśród ankietowanych.

Poziomy dojrzałości kultury raportowania	Indeks wiedzy [%]
Patologiczny	0-29
Reaktywny	30-49
Biurokratyczny	50-69
Proaktywny	70-84
Generatywny	85-100

Tabela 1. Skala średniego indeksu wiedzy dla poziomów dojrzałości kultury raportowania [opracowanie własne]

Wyniki badania

W wyniku badania otrzymano wartości indeksu wiedzy dla każdego z respondentów, na podstawie których obliczono ogólny wynik zmiennej dla całej grupy badawczej. Posłuży on za wyznacznik poziomu wdrożenia kultury raportowania w odniesieniu do całego środowiska lotniczego w Polsce.

Średni indeks dla wszystkich ankietowanych wyniósł 64%, co oznacza, że na podstawie badanej próby można przyjąć, iż ogólny poziom dojrzałości kultury raportowania charakteryzuje się typem biurokratycznym. System zgłaszania zdarzeń i procedury są wprowadzone prawidłowo, jednak podejście osób do raportowania jest formalne, ograniczane jedynie do zdarzeń wymagających zgłoszenia ze względu na przepisy prawne, bez uwzględnienia nieprawidłowości czy drobnych incydentów, nieniosących za sobą łatwo zauważalnego alarmującego zagrożenia.

Poziomy wdrożenia kultury raportowania w zależności od przyjętych czynników przedstawiono w tabeli 2 oraz 3.

Czynnik	Podział	Indeks wiedzy [%]	Poziom dojrzałości
Wiek	Poniżej 18 lat	49,1	Reaktywny
	18-25 lat	64,9	Biurokratyczny
	26-35 lat	64,8	Biurokratyczny
	36-50 lat	59,5	Biurokratyczny
	Powyżej 50 lat	70,2	Proaktywny
Płeć	Kobieta	59,8	Biurokratyczny
	Mężczyzna	65,2	Biurokratyczny

Tabela 2. Poziom kultury raportowania respondentów w zależności od czynników demograficznych

Czynnik	Podział	Indeks wiedzy [%]	Poziom dojrzałości
Pełniona rola	Student kierunku lotniczego	59,4	Biurokratyczny
	Pilot	60,4	Biurokratyczny
	Uczeń-pilot	62	Biurokratyczny
	Członek aeroklubu/towarzystwa	60,9	Biurokratyczny
	Mechanik lotniczy	69,3	Proaktywny
	Instruktor lotniczy	66,4	Biurokratyczny
	Pracownik służb lotniskowych	76,4	Proaktywny
	Pracownik organizacji lotniczej	76,8	Proaktywny
	Inne	75,8	Proaktywny
Staż	Mniej niż 1 rok	58	Biurokratyczny
	1-3 lat	66,7	Biurokratyczny
	4-7 lat	57,6	Biurokratyczny
	8-15 lat	70,3	Proaktywny
	Ponad 15 lat	68,5	Biurokratyczny
Miejsce pracy lub aktywności / działalności lotniczej	Aeroklub/towarzystwo	60,5	Biurokratyczny
	Lotnisko prywatne	57,9	Biurokratyczny
	Organizacja/firma lotnicza	72,7	Proaktywny
	Port lotniczy	76,4	Proaktywny
	Uczelnia	66,2	Biurokratyczny

Tabela 3. Poziom kultury raportowania respondentów w zależności od czynników zawodowych

Wnioski

1. „Osoby młode częściej zgłaszają zdarzenia lotnicze” – wyniki badania wskazują, że najwyższy średni indeks wiedzy (70,2%) i proaktywny poziom dojrzałości kultury raportowania charakteryzują respondentów w wieku powyżej 50 lat. Osoby najmłodsze (poniżej 18 lat) osiągnęły najniższy wynik (49,1%), kwalifikujący się jedynie do poziomu reaktywnego, co obala przyjętą tezę.
2. „Kobiety częściej zgłaszają zdarzenia lotnicze” – zarówno kobiety (59,8%), jak i mężczyźni (65,2%) osiągnęli wyniki mieszczące się w biurokratycznym poziomie dojrzałości, przy czym mężczyźni uzyskali nieco wyższy średni indeks wiedzy. Różnica nie jest na tyle istotna, by uznać płeć za kluczowy czynnik różnicujący, jednak teza zostaje obalona.
3. „Osoby o większym stażu pracy w lotnictwie częściej zgłaszają zdarzenia” – analiza wykazała, że najwyższy poziom - proaktywny - osiągnęli respondenci ze stażem 8-15 lat (70,3%). Osoby o najdłuższym stażu (powyżej 15 lat) uzyskały wynik bardzo zbliżony choć formalnie sklasyfikowany zgodnie z przyjętym podziałem jako tylko biurokratyczny (68,5%), podobnie jak osoby ze stażem średnio-krótkim (1-3 lata). Osoby ze stażem bardzo krótkim (poniżej roku) i średnim (między 4-7 lat) mimo znacznie gorszych wyników również zostały zaliczone do poziomu biurokratycznego. Wskazuje to na złożoną relację, w której kluczowe może być nie tyle samo doświadczenie, ile jego rodzaj oraz aktualne zaangażowanie w systemy bezpieczeństwa. Można stwierdzić, że teza została częściowo potwierdzona.
4. „Osoby pracujące w portach lotniczych częściej zgłaszają zdarzenia” – pracownicy portów lotniczych oraz innych organizacji/firm lotniczych osiągnęli najwyższe wyniki (odpowiednio 76,4% i 72,7%), plasując się na proaktywnym poziomie dojrzałości. Potwierdza to przypuszczenie, że środowiska działające w ramach licznych procedur, o wysokim stopniu nadzoru i wdrożonych systemach zarządzania bezpieczeństwem (SMS) sprzyjają rozwojowi pozytywnej kultury raportowania. Przyjęta teza została potwierdzona.
5. „Osoby pełniące funkcje o wyższej odpowiedzialności częściej zgłaszają zdarzenia lotnicze” – respondenci na stanowiskach bezpośrednio związanych z operacyjnym zarządzaniem bezpieczeństwem, tj. pracownicy służb lotniskowych (76,4%) i organizacji lotniczych (76,8%) osiągnęli wyniki kwalifikujące się do poziomu proaktywnego, natomiast mechanicy lotniczy znaleźli się bardzo blisko (69,3%). Piloci, instruktorzy czy członkowie aeroklubów zazwyczaj prezentowali poziom biurokratyczny, co sugeruje, że zakres obowiązków i codzienny kontakt z procedurami bezpieczeństwa ma istotny wpływ na postawę wobec raportowania. Teza została potwierdzona.

W odpowiedzi na główne pytanie badawcze: „Jakie są różnice w postrzeganiu kultury raportowania w zależności od czynników demograficznych i zawodowych?” stwierdza się, że istnieją wyraźne różnice w postrzeganiu i praktykowaniu kultury raportowania, które w badanej grupie są silnie skorelowane z czynnikami zawodowymi i środowiskowymi. Rola i miejsce pracy okazały się mieć największy wpływ. Proaktywną kulturę raportowania przejawiają głównie osoby zatrudnione w zinstytucjonalizowanych, regulowanych strukturach (porty lotnicze, duże organizacje lotnicze, służby lotniskowe), których codzienne obowiązki są ściśle powiązane z systemem zarządzania bezpieczeństwem.

Średni indeks wiedzy dla całej badanej populacji wyniósł 64%, co odpowiada biurokratycznemu poziomowi dojrzałości według skali Hudson'a. Oznacza to, że w polskim środowisku lotniczym (a raczej w jego części reprezentowanej przez próbę badawczą) systemy i procedury raportowania są znane i stosowane, jednak często tylko w sposób formalny, bez głębokiego zaangażowania się w podejmowane działania. Raportowanie postrzegane jest bardziej jako obowiązek regulacyjny niż narzędzie ciągłego uczenia się i proaktywnego doskonalenia bezpieczeństwa. Brakuje pełnego przejścia z kultury reaktywnej lub biurokratycznej do proaktywnej lub generatywnej, gdzie zgłaszanie każdego odstępstwa jest wartością samą w sobie, a informacja zwrotna jest skutecznie wykorzystywana do usprawnień systemowych.

Powyższe wnioski zostały opracowane na podstawie zebranych w tym badaniu danych z ankiet i dlatego stanowią tylko fragment opisu tego zagadnienia. W celu przedstawienia sytuacji w sposób bardziej kompleksowy konieczne będzie poszerzenie nie tylko bazy badawczej (w tym liczby respondentów) ale również i zwiększenie liczby pytań oraz pogłębienie samej analizy. Mam nadzieję, że uda mi się pogłębić te badania w kolejnej pracy.

Wraz z rozwojem produkcji turbinowych silników lotniczych od lat 50. XX wieku rosła świadomość decydentów o narastającej potrzebie wprowadzania nowych przepisów ochrony środowiska w dziedzinie lotnictwa. Dynamiczny wzrost liczby pasażerokilometrów pozostawał w ścisłym związku z rosnącą emisją szkodliwych i toksycznych związków gazowych oraz stałych do atmosfery. Wśród substancji emitowanych z silników w wyniku spalania paliwa (konwencjonalnego lub zrównoważonego) można wyróżnić związki szkodliwe, takie jak dwutlenek węgla CO₂, oraz związki toksyczne: tlenek węgla CO, węglowodory HC, tlenki azotu NO_x, tlenki siarki SO_x, metan, aldehydy, cząstki stałe PM^{1,2}. Ogółem przyjmuje się, że główne produkty spalania, czyli dwutlenek węgla i para wodna, stanowią 99% masy spalin³.

Wpływ emisji z silników na jakość powietrza staje się coraz bardziej istotny, zwłaszcza w obrębie portów lotniczych i najbliższego sąsiedztwa, które to są terenami najbardziej narażonymi na oddziaływanie związków toksycznych i hałasu podczas prowadzenia operacji lotniczych⁴. Z tego powodu od lat organizacje mające zwierzchnictwo nad lotnictwem cywilnym w danej części świata (na przykład EASA w Europie) prowadzą procesy certyfikacyjne silników lotniczych, które mają zostać dopuszczone do komercyjnej eksploatacji. W odróżnieniu do nich prowadzi się badania eksperymentalne, mające na celu empiryczne scharakteryzowanie właściwości emisyjnych danego silnika lub grupy silników, jak również zapoznanie się z zależnościami emisji związków toksycznych od parametrów pracy.

Wypadkową prowadzonych badań i prób emisyjnych są bazy danych, dzięki którym możliwe jest optymalizowanie ogólnych procedur i charakterystyk operacji lotniczych w lokalnych portach z naciskiem na określone praktyki w eksploatacji statków powietrznych – nie tylko w powietrzu, ale jeszcze na ziemi^{4,5}. Duże projekty i kampanie (takie, jak amerykańskie AAFEX, europejski cykl SAMPLE oraz A-PRIDE) poszerzyły znacznie wiedzę w zakresie analizy emisji. Mimo tego nadal występuje istotna luka w tej dziedzinie – brak syntetycznej analizy metrologicznej systemów pomiarowych dla związków gazowych^{6,7}.

Obiektami badań są zazwyczaj pełnowymiarowe turbinowe silniki lotnicze, stanowiące źródło napędu samolotów w lotnictwie komercyjnym. Przykłady to m.in. konstrukcja CFM International CFM56 (wraz z podtypami 7B26 czy 7B27) stosowana w rodzinie Boeing 737 Next Generation⁸, CFM International LEAP-1B, napędzający samoloty Boeing 737 MAX^{11,12}, a także International Aero Engines IAE-V2500, które podtyp V2527-A5 występuje w modelu Airbus A320. Dwa z omawianych typów scharakteryzowano w tabeli 1. Inną grupę stanowią mniejsze jednostki, montowane zazwyczaj stacjonarnie w budynkach hamowni silnikowych lub laboratoriach na specjalnych ławach fundamentowych czy też wózkach umożliwiających przemieszczanie w wąskim zakresie. Takie silniki wykorzystywane są wyłącznie do badań eksperymentalnych na rzecz uczelni lub innego podmiotu będącego ich właścicielem, a więc posiadają całe wymagane oprzyrządowanie w postaci czujników temperatury, ciśnienia, prędkości obrotowej

¹ Dziubak, S. D. (2021). Contamination of the intake air of internal combustion engines of motor vehicles. *Bulletin of the Military University of Technology*, 70(2), 35–64. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.7010>

² Lee, D. S., Pitari, G., Grewe, V., Gierens, K., Penner, J. E., Petzold, A., Prather, M. J., Schumann, U., Bais, A., Bernsten, T., Iachetti, D., Lim, L. L., & Sausen, R. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4678–4734. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.005>

³ Szuman, B., Lipka, P., & Reklewski, T. (2013). Exhaust emissions from aircraft engines.

⁴ Wang, J., Zu, L., Zhang, S., Jiang, H., Ni, H., Wang, Y., Zhang, H., & Ding, Y. (2024). Recent Advances and Implications for Aviation Emission Inventory Compilation Methods. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 16, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su16198507>

⁵ Martínez Raya, A., Segura de la Cal, A., & González Díaz, R. E. (2023). An Empirical Analysis of the Aircraft Emissions by Operating from Scheduled Flights within the Domestic Market in Spain. *Processes*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/pr11030741>

⁶ Owen, B., Anet, J. G., Bertier, N., Christie, S., Cremaschi, M., Dellaert, S., Edebeli, J., Janicke, U., Kuenen, J., Lim, L., & Terrenoire, E. (2022). Review: Particulate Matter Emissions from Aircraft. In *Atmosphere* (Vol. 13, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/atmos13081230>

⁷ Dissanayaka, M., Ryley, T., Spasojevic, B., & Caldera, S. (2023). Evaluating Methods That Calculate Aircraft Emission Impacts on Air Quality: A Systematic Literature Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su15129741>

⁸ Lu, Y. (2025). Civil Aircraft Engine Development: Past Innovations and Future Technologies. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 147, 294–300. <https://doi.org/10.54097/xa5fxp29>

⁹ CFM56-7B series specifications. (2008). www.aircraft-commerce.com

¹⁰ V2500 family specifications. (2008). www.aircraft-commerce.com

¹¹ Type Certificate Data Sheet No. E.115 for LEAP-1B series engines. (2022). In [easa.europa.eu](https://www.easa.europa.eu/en/document-library/type-certificates/engine-cs-e/easae115-leap-1b-series-engines). European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/type-certificates/engine-cs-e/easae115-leap-1b-series-engines>

¹² Kacik, D. (2025, September). Overview of Factors Related to Aircraft Operation Associated with a Negative Impact on the Environment. 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences.

i przyspieszeń drgań. Można do nich zaliczyć miniaturowe konstrukcje GTM-120¹³ i GTM-400¹⁴ lub pełnowymiarowe – np. DGEN360¹⁵.

w kontekście możliwości zastąpienia nim konwencjonalnej nafty lotniczej w przyszłym transporcie komercyjnym^{18, 19, 20}. Patrząc ogólnie nie są

Cecha	CFM56-7B26	IAE V2525-A5
ciąg maksymalny [kN]	117,0	110,3
stosunek ciśnień silnika [-]	32,8	26,9
współczynnik dwuprzepływowości [-]	5,1:1	4,8:1
liczba stopni sprężarki niskiego ciśnienia [-]	3	4
liczba stopni sprężarki wysokiego ciśnienia [-]	9	10
liczba stopni turbiny wysokiego ciśnienia [-]	1	2
liczba stopni turbiny niskiego ciśnienia [-]	4	5
jednostkowe zużycie paliwa [g/kNs]	10,63	9,64*

Tabela 1. Zestawienie parametrów jednych z najpopularniejszych silników turbowentylatorowych⁸⁻¹⁰

*na poziomie morza

Miejsce prowadzenia badań obejmuje również całą wymaganą infrastrukturę towarzyszącą: laboratoria, magazyny materiałów pędnych, smarujących, chemicznych i innych o przeznaczeniu technicznym, magazyny sprzętu badawczego i zapasowego¹⁶. Część testów może być prowadzona w hangarze, a zatem zamkniętej ścianami przestrzeni z dostępem do powietrza atmosferycznego, które jest wpuszczane tzw. skrzelami – specjalnymi pionowymi otworami w ścianach o regulowanym kącie otwarcia¹⁷. Zupełnie innym podejściem są próby prowadzone podczas lotu. Taki rodzaj badania zakłada wykorzystanie samolotu testowego zasilanego określonym rodzajem paliwa (np. w pełni Jet A lub Jet A-1, mieszanina Jet A-1 i SAF lub 100% SAF), który wykonuje przelot na określonej wysokości i dystansie. Za nim podąża inny statek powietrzny, tworzący mobilne laboratorium z urządzeniami pomiarowymi. Przykłady takich badań stanowi seria projektów ATTAS, kampania skupiona na analizie emisji tlenków azotu czy też nowatorski cykl ECLIF (Emission and Climate Impact of Alternative Fuels). Na jego ostatnim etapie sprawdzano właściwości emisyjne z zasilania silników paliwem SAF

jednak równie popularne co testy naziemne, co wynika z wysokich kosztów ich przygotowania i prowadzenia, czy też wyzwań logistycznych. Umożliwiają jednak przeanalizowanie charakterystyki emisji w rzeczywistych warunkach atmosferycznych, co jest istotne

nie tylko z perspektywy tworzenia prognoz emisji dla modeli klimatycznych, ale także walidacji przyjętych metod obliczeniowych^{20, 21}.

Podstawową dokumentację w uregulowaniu kwestii technicznych (parametrów) pomiarów stężeń związków gazowych stanowi Załącznik 16. Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO). Odnosi się do substancji regulowanych: tlenku węgla CO, tlenków azotu NO_x i niespalonych węglowodorów UHC, ale również do dwutlenku węgla CO₂, który choć nie jest uregulowanym w wytycznych gazowym rodzajem zanieczyszczenia, to pomiar jego stężenia (jako gazu referencyjnego) służy do obliczania wskaźników emisji i celów sprawdzenia otrzymanych wyników. Wśród wytycznych można znaleźć także opis cyklu LTO²². Stanowi on pewne uproszczenie każdego etapu lotu z wykorzystaniem badanego silnika²³. Fazy testu (start, wznoszenie, lądowanie, kołowanie) różnią się między sobą czasem trwania i przyjętym ustawieniem siły ciągu, co ma odwzorowywać rzeczywiste warunki lotu na tych etapach i umożliwiać obliczenie referencyjnych wartości emisji, jednak czas przyjęty dla poszczególnych faz nie jest realnie tożsamy dla wszystkich lotnisk i operacji lotniczych, stanowiąc uśrednienie⁷.

¹³ Ludwiczak, A., Kozakiewicz, A., Chachurski, R., & Karczewski, M. (2025). Measurements of exhaust emissions from the GTM-120 UAV engine using atmosFIR measuring equipment. *Combustion Engines*, 203(4), 164–169. <https://doi.org/10.19206/ce-208515>

¹⁴ Kurawska-Pietrowicz, P., Jasiński, R., & Maciejewska, M. (2025). Modeling the impact of hydroprocessed ester and fatty acids – synthetic paraffinic kerosene fuel properties and engine performance on emission characteristics and particle size distribution. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(10), 212–222. <https://doi.org/10.12913/22998624/207916>

¹⁵ Przysowa, R., Gawron, B., Bialecki, T., Łęgowik, A., Merksiz, J., & Jasiński, R. (2021). Performance and emissions of a microturbine and turbofan powered by alternative fuels. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1024(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1024/1/012063>

¹⁶ Anderson, B. E., Beyersdorf, A. J., Hudgins, C. H., Plant, J. v, Thornhill, K. L., Winstead, E. L., Ziemba, L. D., Howard ATA, R., Engineering Development Center, A., Afb, A., Corporan, T. E., Miake-Lye, R. C., Herndon, S. C., Timko, M., Woods, E., Lee, B., Santoni, G., Whitefield, P., Hagen, D., ... Liscinsky, D. S. (2011). *Alternative Aviation Fuel Experiment (AAFEX)*. <http://www.sti.nasa.gov>

¹⁷ Yao Chen, C., Ching Lee, C., & Hsiung Kuo, Y. (2011, July). Noise Characteristics of Several Full Scale Turbojet Engines at Hush-House. 5th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TEMPORAL DESIGN.

¹⁸ Schumann, U., Arnold, F., Busen, R., Curtius, J., Kärcher, B., Kiendler, A., Petzold, A., Schlager, H., Schröder, F., & Wohlfrom, K. H. (2002). Influence of fuel sulfur on the composition of aircraft exhaust plumes: The experiments SULFUR 1-7. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 107(15), AAC 2-1-AAC 2-27. <https://doi.org/10.1029/2001JD000813>

¹⁹ Schulte, P., & Schlager, H. (1996). In-flight measurements of cruise altitude nitric oxide emission indices of commercial jet aircraft. *Geophysical Research Letters*, 23(2), 165–168. <https://doi.org/10.1029/95GL03691>

²⁰ Harlass, T., Dischl, R., Kaufmann, S., Märkl, R., Sauer, D., Scheibe, M., Stock, P., Bräuer, T., Dörnbrack, A., Roiger, A., Schlager, H., Schumann, U., Pühl, M., Schripp, T., Grein, T., Bondorf, L., Renard, C., Gauthier, M., Johnson, M., ... Voigt, C. (2024). Measurement report: In-flight and ground-based measurements of nitrogen oxide emissions from latest-generation jet engines and 100% sustainable aviation fuel. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(20), 11807–11822. <https://doi.org/10.5194/acp-24-11807-2024>

²¹ Jentink, H. W., & van Veen, J. J. F. (1999). In-flight spectroscopic aircraft emission measurements.

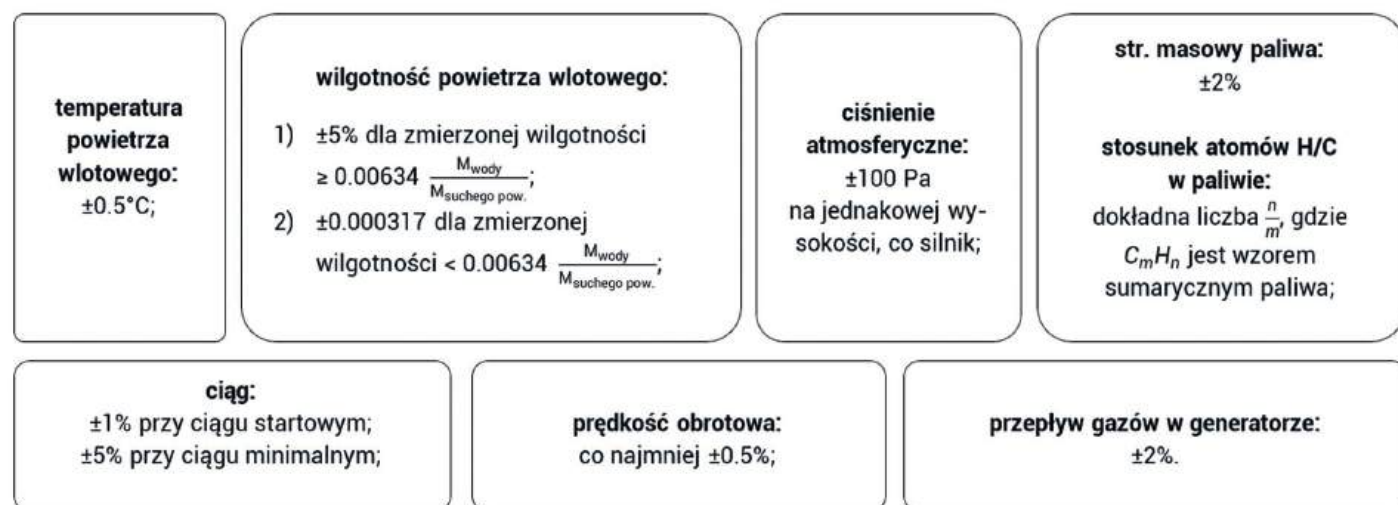
²² Annex 2 – Environmental Protection: Vol. II (Fifth edition). (2023). ICAO. <https://library.icao.int/product/329839>

²³ Yang, X., Cheng, S., Lang, J., Xu, R., & Lv, Z. (2018). Characterization of aircraft emissions and air quality impacts of an international airport. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 72, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.01.007>

Należy przy tym pamiętać, że badania podejmowanie we współpracy z producentami silników, liniami lotniczymi lub innymi podmiotami posiadającymi swoje samoloty, jak i samodzielnie w warunkach laboratoryjnych, stanowią źródło cennych informacji o charakterystykach emisji niemożliwych lub trudnych do określenia w przypadku spełnienia jedynie ogólnych wytycznych certyfikacyjnych. Dzieje się tak ze względu na odmienne parametry pracy, które w codziennej eksploatacji różnią się od tych przyjętych w dokumentacji ICAO²⁴.

Załącznik 16. definiuje metodykę prowadzenia pomiarów emisji, skupiając się na architekturze układów badawczych: rodzajach sond, długości przewodów, rodzajach analizatorów oraz na czynnikach towarzyszących (grafika 1), jak: temperatura i wilgotność powietrza na wlocie silnika, ciśnienie atmosferyczne, stosunek liczby atomów wodoru do atomów węgla w paliwie oraz pozostałe parametry dotyczące użytego silnika (takie jak ciąg czy temperatura na poszczególnych stopniach turbiny). Zarówno w przypadku związków gazowych, jak i cząstek stałych, wszystkie przewody biegnące od sond

pomiarowych do analizatorów powinny być wyprostowane, unikając niepotrzebnych zakrętów i zagięć, by nie zaburzać przepływu. Maksymalna długość linii pomiarowej dla analizy nielotnych cząstek stałych wynosi 35 metrów, a dla związków gazowych pozostaje nieokreślona, jednak powinno dążyć się do jak najkrótszych przewodów. Załącznik 16. przewiduje rekomendacje dla budowy linii pomiarowych, w których liczba połączeń powinna być ograniczona. Przewody do przesyłu próbek używane w największych i najbardziej zaawansowanych badaniach są wykonane z politetrafluoroetyleny (PTFE)²⁵, odpornego na oddziaływanie związków chemicznych i nawet skrajnych temperatur. Pozwala to na podgrzanie przewodu do temperatury 160°C bez obaw o uszkodzenie materiału. Jest to konieczne w przypadku analizy stężenia węglowodorów, które poniżej tej wartości ulegają kondensacji i adsorpcji na ściankach przewodów²². Stosuje się również stal nierdzewną, która w przeciwieństwie do PTFE nie wpływa na zanieczyszczenie próbki. Z badań I. K. Ortegi i innych wynikało, że podczas przesyłu próbki linią wykonaną z PTFE istnieje ryzyko przenikania do niej cząsteczek dimetykonu (PDMS)²⁶.



Grafika 1. Oczekiwana dokładność pomiarowa urządzeń stosowanych w badaniach emisyjnych

Zgodnie z zaleceniami do pomiarów stężeń niespalonych węglowodorów (UHC) stosuje się detektory jonizacyjno-płomieniowe FID (grafika 2), dla tlenu i dwutlenku węgla (CO i CO_2) są to detektory niedyspersyjnej podczerwieni NDIR (grafika 3), a w przypadku tlenków azotu (NO_x) – analizatory chemiluminescencyjne CLD (grafika 4). Nowoczesną metodą, choć nieregulowaną wytycznymi Załącznika 16 ICAO, jest FTIR, czyli spektroskopia w podczerwieni

z transformacją Fouriera (grafika 5). Technika ta jest rozwijana i coraz szerzej stosowana od lat 80. XX wieku, między innymi w dziedzinach analiz próbek gazowych w geologii, biologii, chemii czy medycynie, ale również w ujęciu badań emisyjnych związków uchodzących do atmosfery z silników lotniczych²⁷. FTIR służy do badania stężeń wielu gazów zawartych w napływającej próbce. Należą do nich m.in. para wodna, dwutlenek węgla CO_2 , tlenek węgla CO , tlenki azotu NO , NO_2 , N_2O , dwutlenek

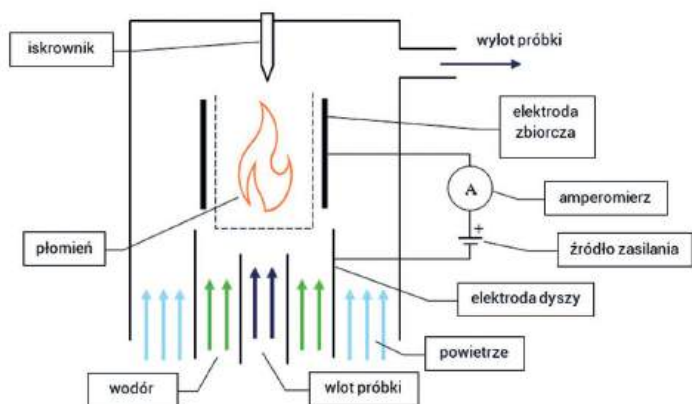
²⁴ Turgut, E. T., Cavcar, M., Yay, O. D., Ucarsu, M., Yilmaz, E., Usanmaz, O., Armutlu, K., & Dogeroglu, T. (2015). A gaseous emissions analysis of commercial aircraft engines during test-cell run. *Atmospheric Environment*, 116, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.031>

²⁵ Kinsey, J. S., Giannelli, R., Howard, R., Hoffman, B., Frazee, R., Aldridge, M., Leggett, C., Stevens, K., Kittelson, D., Silvis, W., Stevens, J., Lobo, P., Achterberg, S., Swanson, J., Thomson, K., McArthur, T., Hagen, D., Trueblood, M., Wolff, L., ... Durlacki, M. (2021). Assessment of a regulatory measurement system for the determination of the non-volatile particulate matter emissions from commercial aircraft engines. *Journal of Aerosol Science*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105734>

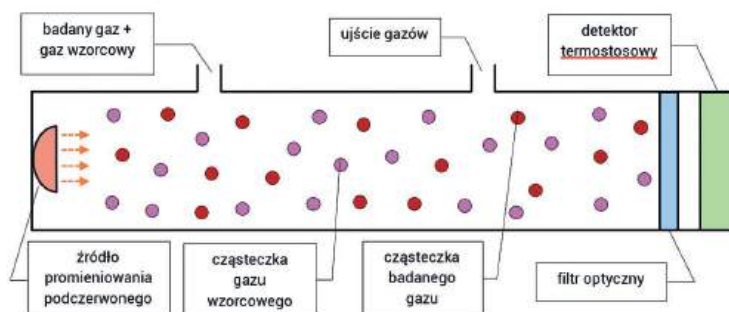
²⁶ Ortega, I. K., Irimiea, C., Delhay, D., Pirim, C., Focsa, C., & Vancassel, X. (n.d.). Contamination induced by the use of PTFE lines in aeronautic soot sampling.

²⁷ Giechaskiel, B., & Clairotte, M. (2021). Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy for Measurements of Vehicle Exhaust Emissions: A Review. In *Applied Sciences* (Switzerland) (Vol. 11, Issue 16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11167416>

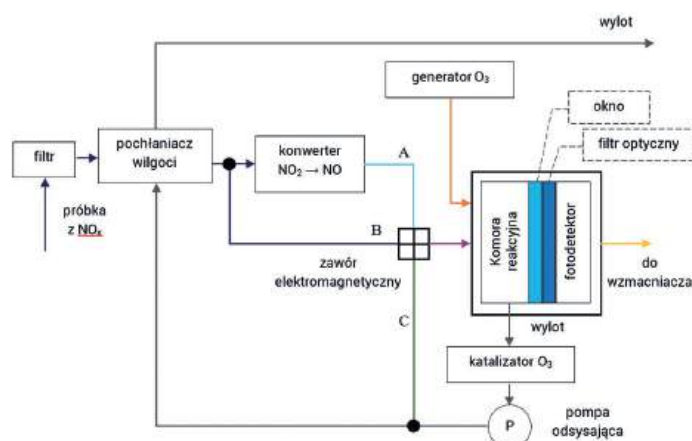
siarki SO_2 czy amoniak NH_3 ^{28, 29}. Stanowi to znaczne ułatwienie w organizacji procesu rejestracji wyników ze względu na wygodę, wysoki stopień zaawansowania i niższe ryzyko błędów i pomyłek. Rozważanie także innych niż wymienionych wśród wytycznych ICAO metod i podejść, takich jak niedyspersyjnej spektroskopii w ultrafiolecie (NDUV), chromatografii gazowej w połączeniu ze spektrometrią mas i/lub jonizacją płomienia (GC-MS-FID), spektrometrii mas z transferem protonów (PTRMS) czy spektroskopii start we wnęce optycznej (CRDS), pozwala na zwiększenie swobody i innowacyjności w prowadzeniu badań. Łączenie kilku alternatywnych metod pomiaru umożliwia wzrost czułości całego układu poprzez zwiększenie redundancji.



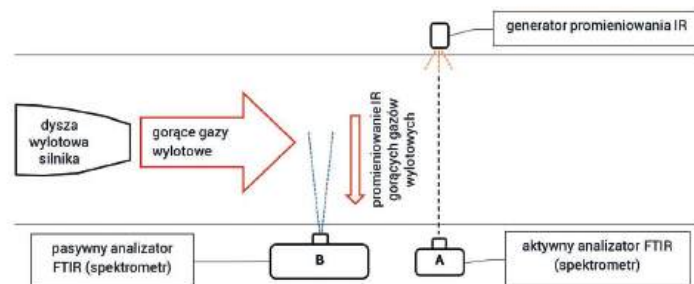
Grafika 2. Uproszczony schemat detektora płomieniowo-jonizacyjnego (FID)



Grafika 3. Uproszczony schemat detektora niedyspersyjnej podczerwieni (NDIR)



Grafika 4. Uproszczony schemat analizatora chemiluminescencyjnego



Grafika 5. Uproszczony schemat metody aktywnego i pasywnego badania emisji z wykorzystaniem analizatora FTIR

Z perspektywy interpretacji metrologicznej wyników bardzo istotne cechy, którymi powinno się charakteryzować każde podejmowane badanie, są identyfikowalność, powtarzalność i porównywalność. Identyfikowalność jest zdolnością do określenia rodzaju i pochodzenia otrzymanego wyniku pomiaru w celu jego prawidłowego zakwalifikowania i zachowania w zbiorze danych. Powtarzalność jest zdolnością do wykonania pomiarów stężenia tego samego związku w krótkich odstępach czasu i w przyjętym zakresie dokładności, bez ingerencji w działanie urządzenia pomiarowego. Porównywalność jest zdolnością do zestawienia jednego wyniku z pozostałymi dla tego samego związku lub z wynikami stężeń innych związków w celu zbadania zależności, określenia poprawności pomiaru i wyciągnięcia wniosku z badania. W związku z powyższym urządzenia należy kalibrować, zarówno przed każdym pomiarem, jak i okresowo. Celem kalibracji jest ustalenie punktu zerowego analizatora, co ma kluczowe znaczenie w eliminowaniu błędu pomiarowego na samym początku procesu badawczego i zapewnienie rzetelnych wskazań. W dziedzinie badań w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych od lat rośnie świadomość znaczenia niepewności pomiarowych i ich wpływu na wyniki^{30, 32}.

²⁸ Introduction to Gas Phase FTIR Spectroscopy. (2022).

²⁹ Zhao, J., Mao, Z., Han, B., Fan, Z., Ma, S., Li, J., Wang, R., & Yu, J. (2024). Characterizing Aircraft Exhaust Emissions and Impact Factors at Tianjin Binhai International Airport via Open-Path Fourier-Transform Infrared Spectrometer. *Toxics*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/toxics12110782>

³⁰ Nikoleris, T., Gupta, G., & Kistler, M. (2011). Detailed estimation of fuel consumption and emissions during aircraft taxi operations at Dallas/Fort Worth International Airport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(4), 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.01.007>

³¹ Song, S. K., & Shon, Z. H. (2012). Emissions of greenhouse gases and air pollutants from commercial aircraft at international airports in Korea. *Atmospheric Environment*, 61, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.035>

³² Turgut, E. T., Cavcar, M., Usanmaz, O., Yay, O. D., Dogeroglu, T., & Armutlu, K. (2017). Investigating actual landing and takeoff operations for time-in-mode, fuel and emissions parameters on domestic routes in Turkey. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 249–262.

Każde kolejne uproszczenie wprowadza omawianą niepewność. Najczęstszym parametrem wyznaczającym kolejne punkty pomiarów jest ustawienie maksymalnej siły ciągu, wyrażane w procentach. Przyjęta do analizy wartość ma wpływ na uzyskiwane wyniki emisji, ale w różnym stopniu³¹. Podobne spostrzeżenie występuje w pracy G. Schürmanna i innych³³ – przyjęcie innego ciągu silnika miało wpływ na uzyskane wskaźniki emisji, które różniły się od tych przedstawianych przez ICAO²². Cykl LTO odnosi się jedynie do czterech rodzajów operacji lotniczej, nie uwzględniając na przykład ciągu rozruchowego, czyli potrzebnego do ruszenia samolotu z miejsca postojowego. Zawarli go w swoim opracowaniu T. Nikoleris i inni³⁰, którzy na podstawie literatury i danych od pilotów określili go w jednym z przypadków na 15% maksymalnego ciągu. W stosunku do początkowego założenia (9% maksymalnego ciągu) zużycie paliwa i ogólne wartości emisji nie wzrosły znacząco, ale najbardziej wrażliwym na zmianę z rozważanych parametrów było stężenie tlenków azotu NO_x. Stężenia CO zmalały wraz ze wzrostem wykorzystanego ciągu. Niepewności mają zatem swoje źródła nie tylko w błędach przyrządowo-pomiarowych (co łączy się również z błędami ludzkimi), ale również w fizycznej zmienności charakterystyki emisji w zależności od osiąganych parametrów pracy jednostki³⁴. Oprócz nich istotne pozostaje zarejestrowanie warunków towarzyszących – głównie temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego. Charakterystyka otoczenia nie zawsze jest wystarczająca lub jej brakuje.

Dokładnie zaplanowana i zastosowana metodyka badań ma ogromne znaczenie w zapewnieniu wysokiej dokładności i rzetelności pomiarów. Już w miejscu prowadzenia badań należy uważnie przygotować cały układ poboru i analizy próbek, by nie narażać ich na niepotrzebne i wyraźne straty wynikające np. z transferu spalin na dużym dystansie¹⁶. W przypadku pomiarów dotyczących wielu silników istotne jest przygotowanie jak najbardziej zgodnego i uniwersalnego układu pomiarowego, którego nie trzeba zbyt modyfikować pomiędzy kolejnymi próbami²⁴. Wskazane przy tym jest zachowanie jak najbardziej zbliżonych warunków przez cały czas trwania badania, co pomaga w stworzeniu porównania charakterystyki emisji z silnika zimnego i rozgrzanego²⁴. Podczas testów należy sprawdzać szczelność instalacji, zwłaszcza wokół zaworów i rozdzielaczy, jak również przestrzegać zasad bezpieczeństwa podczas przebywania w okolicy

silników, zwłaszcza przy prowadzeniu pomiarów z mobilnych laboratoriów¹⁶. Użycie aparatury o wysokiej dokładności i niewielkich niepewnościach pomiarowych jest zawsze zasadne, ponieważ zapewnia stabilność pracy i rzetelne wyniki, jednak należy mieć również na uwadze umiejętne (właściwe do celów i potrzeb) dobieranie różnorodnego rodzaju sprzętu do kategorii obiektu badań⁴. Umieszczenie sondy pomiarowej ma duże znaczenie – przy położeniu sondy w dyszy wylotowej otrzymuje się zupełnie inne charakterystyki emisji niż w sytuacji, gdy umieszcza się ją kilka metrów za silnikiem²⁴, przy czym dla położenia sondy bezpośrednio w dyszy lub tuż za nią wpływ atmosferycznych warunków z otoczenia jest niewielki lub właściwie pomijalny³⁵. Rozszerzając to o kolejne stopnie techniczne można uwzględnić tutaj również rodzaj budowy i wykonania sondy pomiarowej (pojedynczy otwór vs. ich zbiór), konstrukcję (materiał, długość, zagięcia) linii pomiarowych, system ich podgrzewania oraz układ rozcieńczania i kondycjonowania próbki. W ustawieniu sondy pomiarowej ważne jest uwzględnienie nie tylko odległości od dyszy wylotowej, ale i określenie stopnia rozcieńczenia próbki, przedstawiając w opracowaniach ilościową reprezentację przygotowaną na podstawie pomiarów stężenia CO₂²⁰. W przypadku badań naziemnych (lotniskowych) dokładność wyników bywa zmniejszana przez aktywność otoczenia: ruch pojazdów naziemnych i innych statków powietrznych prowadzi do lokalnego pogorszenia jakości powietrza, co zaburza analizę⁴. Stąd ważne jest określenie źródeł emisji i operacji towarzyszących w obrębie stanowiska badawczego³⁶. Co więcej, w razie zaobserwowania wycieku oleju lub innego zanieczyszczenia wydobywającego się z silnika, umieszczenie sondy za takim śladem może znacząco zawyżyć/zakłócić wyniki emisji PM i UHC¹⁶. Prowadzi to do ogólnego spostrzeżenia, że czynniki towarzyszące badaniom, nawet te niespodziewane, mogą wpływać na rezultaty pomiarów²⁴.

Na podstawie przeglądu opracowań kampanii i projektów badawczych można stwierdzić, że przeciętnie niewielką uwagę poświęca się niepewnościom pomiarowym i czynnikom wpływającym na ich powstawanie na drodze pomiarowej. Opisuje się zwykle zastosowane metody badań i analizy konkretnego związku toksycznego³⁷, ale nie prezentuje się ich porównania ze względu na dokładność i stopień przystosowania do danego rodzaju pomiaru.

³³ Schürmann, G., Schäfer, K., Jahn, C., Hoffmann, H., Bauerfeind, M., Fleuti, E., & Rappenglück, B. (2007). The impact of NO_x, CO and VOC emissions on the air quality of Zurich airport. *Atmospheric Environment*, 41(1), 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.07.030>

³⁴ Penner, J. E., Lister, D. H., Griggs, D. J., Dokken, D. J., & McFarland, M. (1999). IPCC Special Report on Aviation and the Global Atmosphere. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.htm>

³⁵ Cheng, M. (2009). A Comprehensive Program for Measurement of Military Aircraft Emissions. <http://www.osti.gov/contact.html>

³⁶ Kurniawan, J. S., & Khaldi, S. (2011). Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports. In *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 31, Issue 3, pp. 240–252). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.09.001>

³⁷ Anneken, D., Striebig, R., Dewitt, M. J., Klingshirn, C., & Corporan, E. (2015). Development of methodologies for identification and quantification of hazardous air pollutants from turbine engine emissions. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 65(3), 336–346. <https://doi.org/10.1080/10962247.2014.991855>

Stanowi to jedną z pierwszych większych luk metodologicznych, zwłaszcza, że na rynku dostępne są nie tylko analizatory stworzone do określania zawartości pojedynczych związków, ale i urządzenia wielozakresowe do pomiarów wielu związków w tym samym czasie, które mogą wykazywać zupełnie różne dokładności. Mimo analizy strat w przesyle próbki (jak w kampanii AAFEX), wciąż brakuje szczegółowych i ugruntowanych charakterystyk badań zaleceń ilościowych i jakościowych. Na przestrzeni lat nie został wykształcony jednolity system raportowania źródeł niepewności, ich wpływu na precyzję wyników, błędów, zastosowanych mechanizmów korekcji i przybliżeń wprowadzanych na drodze obliczeń.

Obszarami wymagającymi rewizji regulacji są zagadnienia metrologii poboru próbki, w których znaleźć można raczej informacje o analizatorach i kalibracji, aniżeli o budowie sondy i wpływie na zbieranie próbki, jej transporcie i efektach adsorpcji, co stanowi problem szczególnie w pomiarach niespalonych węglowodorów UHC i cząstek stałych PM. Standardy i normy koncentrują się na warunkach laboratoryjnych. Z tego powodu brakuje ujednoliconych przepisów, wytycznych, ale i zaleceń dotyczących mieszania turbulentnego i zmiennego tła atmosferycznego. Obecne akty zakładają stabilne warunki pracy silnika, a współczesne badania wymagają pomiarów chwilowych lub wysokiej częstotliwości próbkowania, co tworzy kolejne wyzwania. Powstaje ogromna potrzeba w dziedzinie prób emisyjnych – wprowadzanie wspólnych, porównywalnych i popartych zarówno doświadczeniem empirycznym, jak i wytycznymi organizacji zasad prowadzenia pomiarów, raportowania danych i oceny niepewności.

„TAK ZARZĄDZAM WLD” – OD POJEDYNCZYCH DZIAŁAŃ DO WSPÓLNEJ ODPOWIEDZIALNOŚCI

Beata Grabowska, Naczelnik Wydziału Analiz i Standardów Lotniskowych, Departament Lotnisk, ULC
bgrabowska@ulc.gov.pl

Zwierzęta jako wyzwanie dla bezpieczeństwa lotniczego i potrzeba integracji interesariuszy

Zderzenia statków powietrznych ze zwierzętami – zwłaszcza ptakami – wciąż pozostają jednym z najbardziej naturalnych, a jednocześnie najbardziej systemowych zagrożeń dla bezpieczeństwa lotniczego. Inicjatywa „Tak zarządzam WLD”, zrealizowana w ramach prac Komitetu ds. zderzeń statków powietrznych ze zwierzętami, pokazała, że skuteczne zarządzanie tym zagrożeniem nie polega wyłącznie na technicznych rozwiązaniach, lecz na współpracy, świadomości i odpowiedzialności podzielonej pomiędzy wszystkich uczestników systemu lotniczego.

Zarządzanie zagrożeniami ze strony zwierząt zaczyna się nie na drodze startowej, lecz w świadomości wszystkich uczestników systemu lotniczego.

Zarządzanie zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta dla bezpieczeństwa lotniczego jako element systemu bezpieczeństwa

Zarządzanie zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta (Wildlife Hazard Management) od lat jest przedmiotem zainteresowania Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (International Civil Aviation Organization, ICAO). Podręcznik Służb Portu Lotniczego – Doc 9137 - część 3 Zarządzanie Zagrożeniami Powodowanymi przez Zwierzęta wskazuje, że zarządzanie tego typu zagrożeniami powinno być integralną częścią systemu zarządzania bezpieczeństwem, a nie zestawem incydentalnych działań podejmowanych po wystąpieniu zdarzenia przez różne organizacje.

ICAO podkreśla konieczność podejścia długofalowego: identyfikowania czynników przyciągających zwierzęta, monitorowania środowiska, analizowania danych oraz – co szczególnie istotne – angażowania podmiotów, które co do zasady nie zarządzają infrastrukturą lotniskową, ale realnie wpływają na poziom ryzyka.

Nie ma jednego właściciela zagrożeń powodowanych przez zwierzęta – są one wspólną odpowiedzialnością lotnisk, użytkowników statków powietrznych, służb ruchu lotniczego i społeczności lokalnych.

Dane, które uczą – znaczenie raportowania

Informacje gromadzone w systemie Eccairs 2 pokazują, że kolizje ze zwierzętami – a szczególnie z ptakami – stanowią istotną część zdarzeń operacyjnych, co również uwzględnione zostało w Krajowym Programie Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym (KPBWLC)

w załączniku stanowiącym Krajowy Plan Bezpieczeństwa – jako kategoria A.13 Zderzenia z ptakami (BIRD), oraz A.14 Zagrożenia ze strony zwierząt (WILD) (KPB 2026-2028). Choć zdecydowana większość z nich nie skutkuje poważnymi konsekwencjami, każdy przypadek jest źródłem wiedzy o środowisku operacyjnym, migracjach zwierząt i skuteczności zastosowanych środków zapobiegawczych.

Z perspektywy systemowej kluczowe znaczenie ma kultura raportowania – bez niej nawet najlepsze procedury pozostają jedynie teorią.

Dobre praktyki w działaniu – polskie doświadczenia

Jednym z celów inicjatywy „Tak zarządzam WLD” było pokazanie, że skuteczne zarządzanie zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta jest możliwe i już dziś realizowane w praktyce.

Przykładem jest Port Lotniczy Łódź (EPLL), który od lat stosuje biologiczną metodę płoszenia zwierząt (w tym ptaków) z wykorzystaniem psów rasy Border Collie – pioniersko „w ramach współpracy” z Falco, obecnie z Falcją. Metoda ta nie tylko skutecznie redukuje obecność ptaków w strefie operacyjnej lotniska, ale również ogranicza ryzyko ich przyzwyczajania się do bodźców technicznych.



Źródło: Port Lotniczy w Łodzi im. Władysława Reymonta

Czasem najskuteczniejszym narzędziem bezpieczeństwa lotniczego nie jest technologia, lecz współpraca i świadomość – zarówno ludzi, jak i w pewnym sensie zwierząt – wzajemnie się uzupełniające. Istotną rolę odgrywają także działania informacyjne skierowane do mieszkańców otoczenia lotnisk, zwiększające świadomość zagrożeń i sposobów ich ograniczania.



Źródło: Port Lotniczy w Łodzi im. Władysława Reymonta

Drugim przykładem jest inicjatywa Portu Lotniczego Warszawa Radom (EPRA), który przygotował plakat skierowany do hodowców gołębi funkcjonujących w otoczeniu lotniska. Prosty, zrozumiały przekaz stał się narzędziem budowania świadomości i dialogu ze społecznością lokalną, pokazując, że bezpieczeństwo lotnicze zaczyna się często poza ogrodzeniem lotniska.

KOMUNIKAT DO MIESZKAŃCÓW

W sprawie zakazu utrzymywania hodowli
ptactwa w rejonie Lotniska Warszawa-Radom
(EPRA)

Szanowni Państwo,

w związku z prowadzonymi obserwacjami przyrodniczymi w otoczeniu Lotniska Warszawa-Radom (EPRA) stwierdzono występowanie licznych stad gołębi pochodzących z prywatnych hodowli zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie lotniska. Zjawisko to powoduje realne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego, w tym dla pasażerów, załóg samolotów oraz mieszkańców okolicznych miejscowości.

Zgodnie z art. 876 pkt 1) ppkt. b) ustawy z dnia 3 lipca 2002 r. - Prawo lotnicze (t.j. Dz. U. z 2025 r. poz. 1431 z późn. zm.): „Zabrania się (...) hodowania lub wypuszczania ptaków stwarzających zagrożenie dla ruchu statków powietrznych w odległości do 3 km od progu i końca drogi startowej lotniska i 1,5 km od osi drogi startowej lotniska, po obu stronach tej drogi.”



Strefa, w której obowiązuje zakaz hodowania i wypuszczania ptaków stwarzających zagrożenie dla ruchu statków powietrznych.

OZNACZA TO, ŻE NA TERENACH POŁOŻONYCH W BEZPOŚREDNIM ZASIĘGU
ODDZIAŁYWANIA LOTNISKA NIE WOLNO UTRZYMYWAĆ ANI WYPUSZCZAĆ
PTACTWA MOGĄCEGO WLECIĆ W PRZESTRZEŃ POWIETRZNĄ
WYKORZYSTYWANĄ PRZEZ SAMOLOTY.



LOTNISKO
WARSZAWA-RADOM
WARSAW-RADOM AIRPORT

**BEZPIECZEŃSTWO RUCHU LOTNICZEGO
ZALEŻY OD NAS WSZYSTKICH!**

Dziękujemy za zrozumienie i współpracę.
PPL S.A. Lotnisko Warszawa-Radom



Kolizje ptaków z samolotami, tzw. **bird strike**, należą do najpoważniejszych zagrożeń w lotnictwie. Zderzenie ptaka z silnikiem odrzutowym podczas startu lub lądowania może spowodować poważne uszkodzenie samolotu, awarię silnika, a nawet katastrofę lotniczą.

Dramatyczne skutki takich zdarzeń miały miejsce także w Radomiu. W sierpniu 1965 roku słuchacz I roku Oficerskiej Szkoły Lotniczej w Dęblinie, startując z radomskiego lotniska na samolocie TS-11 „Iskra”, zderzył się w powietrzu ze stadem gołębi. Próba awaryjnego lądowania w rejonie Godowa zakończyła się tragicznie - **pilot poniósł śmierć**. Zdarzenie to do dziś stanowi ostrzeżenie przed lekceważeniem zagrożeń ze strony tych zwierząt. **UTRZYMYWANIE LUB WYPUSZCZANIE PTACTWA W STREFIE OPERACYJNEJ LOTNISKA JEST DZIAŁANIEM NIEZGODNYM Z PRAWEM.**

W razie wypadku lotniczego lub awarii spowodowanej przez ptaki pochodzące z nielegalnej hodowli, właściciel może ponieść:

- **ODPOWIEDZIALNOŚĆ KARNĄ** z tytułu spowodowania niebezpieczeństwa katastrofy lotniczej,
- **ODPOWIEDZIALNOŚĆ CYWILNĄ I FINANSOWĄ** za szkody materialne,
- **ROSZCZENIA ODSZKODOWAWCZE** w przypadku zaistnienia związku przyczynowego między hodowlą a zdarzeniem lotniczym.

**ZWRACAMY SIĘ DO PAŃSTWA Z APELEM O ROZWAGĘ I WSPÓŁPRACĘ
W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA I JEDNOCZESNIE PROSIMY O:**

- **NIE ZAKŁADANIE I NIE UTRZYMYWANIE HODOWLI W REJONIE LOTNISKA** gołębi, kaczek, bażantów i innego ptactwa mogącego stanowić zagrożenie dla ruchu lotniczego
- **LIKWIDACJĘ ISTNIEJĄCYCH HODOWLI** znajdujących się w odległości do 3 km od progów i do 1,5 km od osi drogi startowej
- **NIE WYPUSZCZANIE PTAKÓW DO LOTU W ZAGROŻONYM OBSZARZE**
- **ZGŁASZANIE PRZYPADKÓW UTRZYMYWANIA HODOWLI W REJONIE LOTNISKA** do Straży Miejskiej, Policji lub Urzędu gminy
- **BEZPOŚREDNI KONTAKT W ZWIĄZKU Z POWYŻSZYMI SYTUACJAMI** z pracownikami Lotniska Warszawa-Radom zajmującymi się przyrodą i ochroną środowiska, korzystając z poczty elektronicznej: środowiskoRDO@ppl.pl lub tradycyjnej: PPL S.A. Lotnisko Warszawa-Radom, ul. Prof. Tadeusza Sołtyka 1, 26-600 Radom

POWYŻSZE DZIAŁANIA, PODEJMOWANE W TROSCE O LUDZKIE ŻYCIE POMOGĄ ZAPOBIEC TRAGEDII



LOTNISKO
WARSZAWA-RADOM
WARSAW-RADOM AIRPORT

**BEZPIECZEŃSTWO RUCHU LOTNICZEGO
ZALEŻY OD NAS WSZYSTKICH!**

Dziękujemy za zrozumienie i współpracę.
PPL S.A. Lotnisko Warszawa-Radom

Źródło: Port Lotniczy Warszawa-Radom im. Bohaterów Radomskiego
Czerwiec 1976 roku

Kolejnym przykładem zaangażowania zarządzającego lotniskiem jest zróżnicowana działalność w porcie lotniczym Gdańsk – pieczę nad zagadnieniem sprawuje Koordynator Regulowania Środowiska Przyrodniczego, który codziennie w godzinach 6.00 – 18.00 patroluje pole manewrowe lotniska. Osoba ta jest odpowiedzialna nie tylko za bieżące kontrole, realizuje przede wszystkim działania długofalowe mające na celu ograniczać atrakcyjność terenu lotniska dla zwierząt – zwłaszcza ptaków.

Przy swojej pracy wykorzystuje środki pirotechniczne, urządzenia dźwiękowe ale oprócz swoich oczu posiada dodatkowe wsparcie w postaci technologicznych rozwiązań systemu połączonych urządzeń wyposażonego w sensory wizyjne i termowizyjne. System składa się z kamer detekcji awifauny, i dzięki tzw. stereowizji opartej na zastosowaniu dwóch kamer, umożliwia zlokalizowanie obiektu w trójwymiarowej przestrzeni, śledzenia jego przelotu oraz gromadzenia danych o kierunku i wysokości lotu w bazie danych. Pozwala to na precyzyjne analizy długo- i krótkoterminowe aktywności ptaków w przestrzeni lotniska. Koordynator „Żbik” z dokładnością do kilkunastu metrów jest w stanie namierzyć obiekt penetrujący przestrzeń powietrzną lotniska. Innym komponentem systemu jest system kamer termowizyjnych, pozwalający na całodobową

identyfikację zagrożeń na poziomie gruntu – na płycie lotniska bądź w jego bezpośredniej okolicy, gdzie mogą pojawić się żerujące ptaki bądź ssaki, takie jak lisy, a nawet większe zwierzęta, jak sarny.



Źródło: Port Lotniczy Gdańsk im. Lecha Wałęsy

Dodatkowo system jest wyposażony w odstraszacze akustyczne, które w zainstalowanej wersji są zdalnie aktywowane przez obsługę lotnisk.



Źródło: Port Lotniczy Gdańsk im. Lecha Wałęsy

Przykłady z Łodzi, Radomia i Gdańska pokazują, że zarządzanie zagrożeniami ze strony zwierząt może przybierać różne formy – od pracy z wykorzystaniem zwierząt, przez budowanie świadomości społecznej, po zaawansowane systemy monitoringu. Łączy je jedno: konsekwentne, świadome działanie w ramach spójnego systemu bezpieczeństwa.

Rola władzy lotniczej – integrator i katalizator współpracy

Urząd Lotnictwa Cywilnego, jako władza lotnicza, pełni w obszarze WLD nie tylko rolę regulacyjną, lecz także integrującą. Powołanie i funkcjonowanie Komitetu ds. zderzeń statków powietrznych ze zwierzętami, publikacja krajowego Podręcznika „Zarządzanie Zagrożeniami Środowiskowymi na lotniskach w FIR Warszawa” część 1 – Porty lotnicze, nawiązanie współpracy cywilno-wojskowej – w tym wymiana doświadczeń i informacji z Programu Ograniczania Zagrożeń Środowiskowych w Lotnictwie SZ RP, udział w konferencjach bezpieczeństwa i gremiach współpracy np. WBA (World Birdstrike Association) oraz realizacja inicjatywy „Tak zarządzam WLD” stanowią element długofalowych działań na rzecz konsolidacji środowiska.

Znaczenie takiego podejścia zostało podkreślone m.in. podczas Kongresu Bezpieczeństwa i Rozwoju Lotnictwa Cywilnego 2025, gdzie w panelu dyskusyjnym poświęconym kolizjom ze zwierzętami przedstawiciele ULC, Władzy Lotnictwa Wojskowego, zarządzających lotniskami, sokolników, ornitologów oraz innych ekspertów pracujących na lotniskach zwrócili uwagę na potrzebę podjęcia współpracy międzyresortowej oraz jeszcze szerszego włączenia do działań profilaktycznych i prewencyjnych zgodnie z zaleceniami zawartymi m.in. w PANS ADR 9981 m.in.:

- użytkowników statków powietrznych,
- Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej,
- środowisk naukowych i badawczych.

Jako władza lotnicza jesteśmy otwarci na włączanie kolejnych interesariuszy do wspólnych prac – tylko w ten sposób można budować odporność systemu.

Odpowiedzialność wspólna – lekcja znad rzeki Hudson oraz z Korei

Symbolicznym przykładem pokazującym, że zarządzanie zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta wykracza daleko poza odpowiedzialność pojedynczego zarządzającego lotniskiem, jest tzw. „cud na rzece Hudson” z 2009 roku. Zderzenie Airbusa A320 linii US Airways z ptakami krótko po starcie z lotniska LaGuardia doprowadziło do utraty mocy w obu silnikach i konieczności wodowania na rzece Hudson. Choć profesjonalna postawa załogi pod dowództwem kapitana Chesleya „Sully’ego” Sullenbergera uratowała życie wszystkich pasażerów, zdarzenie to do dziś pozostaje jednym z najbardziej czytelnych dowodów na to, że nawet najlepiej zarządzane lotnisko nie jest w stanie samodzielnie wyeliminować ryzyka zderzeń ze zwierzętami.

Skuteczne zarządzanie WLD jest bowiem elementem połączanego łańcucha zależności – obejmującego regulacje, raportowanie, planowanie przestrzenne, zarządzanie środowiskiem, działania służb ruchu lotniczego, decyzje operacyjne załóg oraz świadomość społeczności lokalnych. Odpowiedzialność w tym obszarze ma charakter systemowy i wspólny, a jej skuteczność zależy od współpracy wszystkich ogniw, nie zaś od wysiłków jednego podmiotu.

Kolejnym przykładem na konieczność podjęcia wspólnych działań jest katastrofa Jeju Air Lot 2216 z 29 grudnia 2024 roku wskazująca, iż zderzenie samolotu ze stadem ptaków może zapoczątkować łańcuch krytycznych zdarzeń, w tym uszkodzenie silnika i utratę kontroli podczas podejścia do lądowania. W tym przypadku doszło do awaryjnego lądowania bez podwozia, wypadnięcia poza drogę startową i zderzenia z infrastrukturą lotniska, co zakończyło się tragicznymi skutkami. Wypadek ten podkreśla, że ograniczanie zagrożeń ze strony zwierząt wymaga skoordynowanej współpracy zarządzających lotniskami, przedstawicieli przewoźników, służb ruchu lotniczego, producentów statków powietrznych i organów nadzoru.

Nawet najlepiej przygotowany zarządzający lotniskiem nie jest w stanie samodzielnie zapewnić skutecznego zarządzania zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta – bez właściwych regulacji, współpracy i wymiany informacji system po prostu nie działa.

Przyszłość zarządzania zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta dla bezpieczeństwa lotniczego – od lokalnych inicjatyw do wspólnej platformy

Doświadczenia międzynarodowe pokazują, że przyszłość zarządzania WLD będzie w coraz większym stopniu oparta na integracji danych oraz nowych formach współpracy. Wśród potencjalnych kierunków rozwoju warto wskazać:

- dalszy rozwój (aktualizację) strony www.kolizjezptakami.pl mogącą w przyszłości stanowić swoistą krajową platformę zagadnień podejmowanych w obszarze zagrożeń WLD, umożliwiającą bieżącą wymianę danych, dobrych praktyk i analiz trendów,
- cykliczne warsztaty interdyscyplinarne, łączące zarządzających lotniskami, użytkowników statków powietrznych, kontrolerów ruchu lotniczego i ekspertów ornitologów, biologów,
- program „ambasadorów dobrych praktyk i zaangażowania” wśród personelu operacyjnego i załóg lotniczych, wspólne szkolenia,
- wykorzystanie sztucznej inteligencji i danych meteorologicznych do prognozowania i monitorowania zwiększonej aktywności ptaków,

- kampanie edukacyjne skierowane do samorządów, mieszkańców, użytkowników terenów znajdujących się w otoczeniu lotnisk.

Przyszłość zarządzania zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta dla bezpieczeństwa operacji lotniczych to połączenie danych, technologii i ludzi – i żaden z tych elementów nie zadziała w oderwaniu od pozostałych.

Zaproszenie do wspólnego działania

Inicjatywa „Tak zarządzam WLD” pokazała, że w polskim lotnictwie istnieje wiedza, doświadczenie i zaangażowanie pozwalające skutecznie zarządzać zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta na lotniskach i wokół nich. Kolejnym krokiem jest dalsze poszerzanie grona współpracujących podmiotów i budowanie trwałej platformy dialogu – m.in. w ramach współpracy w Zespole ds. realizacji założeń Krajowego Planu Bezpieczeństwa, wspólnych działań w ramach zespołu Krajowego zespołu do spraw zderzeń statków powietrznych ze zwierzętami.

Urząd Lotnictwa Cywilnego zaprasza do dalszej współpracy wszystkich zainteresowanych: zarządzających lotniskami, użytkowników statków powietrznych, instytucje zapewniające służby żeglugi powietrznej, wojskową władzę lotniczą, przedstawicieli świata nauki oraz społeczności lokalnych. Bezpieczeństwo lotnicze jest przestrzenią wspólną – i tylko razem możemy nią odpowiedzialnie zarządzać.

Bezpieczeństwo lotnicze to nie tylko infrastruktura i procedury – to także relacja pomiędzy lotnictwem a naturą, którą musimy nauczyć się mądrze zarządzać.

Jesteśmy otwarci na wymianę doświadczeń w zakresie sposobów zarządzania zagrożeniami ze strony zwierząt, w tym dobrych praktyk stosowanych przez innych interesariuszy, a także na zgłaszanie propozycji nowych działań profilaktycznych i prewencyjnych.

Artykuł powstał we współpracy z Przedstawicielami Portu Lotniczego Łódź im. Władysława Reymonta Sp. z o.o, Portu Lotniczego Gdańsk im. Lecha Wałęsy, Lotniska Warszawa-Radom oraz ekspertem ornitologiem.

Wszelkie uwagi, komentarze oraz informacje o podejmowanych inicjatywach można przekazywać drogą mailową – każda perspektywa stanowi cenne wsparcie w doskonaleniu systemowego podejścia do zarządzania zagrożeniami powodowanymi przez zwierzęta dla bezpieczeństwa operacji lotniczych.

Problem ochrony infrastruktury krytycznej oraz innych obiektów, urządzeń i osób wystąpił w momencie pojawienia się w 2010 r., na rynku masowym, tanich wielowirnikowych dronów (quadcoptery). Została wówczas zainicjowana tzw. era cywilna i konsumencka dronów. Zbiegło się to również z rozwojem (w tym samym okresie) kilku nowoczesnych technologii jednocześnie, a mianowicie:

- miniaturyzacja elektroniki (żyroskopy, akcelerometry),
- GPS¹, GLONASS², Galileo³ i BeiDou⁴ dostępne również dla cywilów,
- tanie kamery cyfrowe i gimbale stabilizujące obraz,
- baterie litowo-polimerowe (Li-Po).

Drony dzięki temu stały się względnie łatwe w obsłudze, a masowa produkcja obniżyła ich koszty.

Drony konsumenckie przeznaczone głównie są dla hobbystów i twórców treści. Znalazły one swoje zastosowanie w:

- fotografii i filmowaniu z powietrza,
- mediach społecznościowych i vlogach⁵,
- sporcie i rekreacji,
- edukacji i naukach latania.

Drony cywilne to urządzenia bardziej profesjonalne. Używane są w pracy i przemyśle, w dziedzinach takich jak:

- Media i kultura (filmy, reklamy, transmisje sportowe),
- Rolnictwo (monitoring upraw (NDVI), opryski precyzyjne, analiza nawodnienia i chorób roślin),
- Budownictwo i infrastruktura (inspekcje mostów, dachów, linii energetycznych, dokumentacja postępów budowy, pomiary 3D i fotogrametria),
- Ratownictwo i bezpieczeństwo (poszukiwanie zaginionych osób, kamery termowizyjne, wsparcie straży pożarnej i policji).

Rozwój tej dziedziny lotnictwa generuje z drugiej strony wiele różnorodnych zagrożeń szczególnie dla:

1. Bezpieczeństwa publicznego:

- Koliduje z samolotami i śmigłowcami, szczególnie w pobliżu lotnisk i lądowisk (np. LPR),

- Upadek drona na ludzi lub infrastrukturę (awaria, utrata sygnału),
- Loty nad zgromadzeniami ludzi – imprezy masowe, protesty, wydarzenia sportowe),
- Użycie dronów do ataków (ładunki wybuchowe, substancje niebezpieczne).

2. Zagrożenia dla bezpieczeństwa państwa:

- Szpiegostwo i rozpoznanie obiektów wrażliwych (wojsko, infrastruktura krytyczna),
- Przemysł (np. do zakładów karnych, przez granice),
- Działania hybrydowe i terrorystyczne – tanie, trudne do przypisania sprawcy,
- Zakłócanie systemów łączności i GNSS.

3. Zagrożenia dla prywatności:

- Nielegalne nagrywanie i obserwacja osób,
- Monitoring posesji prywatnych bez zgody,
- Gromadzenie danych wrażliwych (RODO),
- Wykorzystanie kamer termowizyjnych i zoomu.

4. Zagrożenia cybernetyczne i techniczne:

- Przejęcie kontroli nad dronem (hijacking),
- Zakłócanie sygnału GPS (jamming/spoofing),
- Ataki na systemy UTM/U-space,
- Wykorzystanie dronów jako nośników malware lub punktów dostępowych.

5. Zagrożenia wynikające z nieodpowiedzialnego użycia

- Brak wiedzy operatorów (rekreacyjnych i komercyjnych),
- Ignorowanie przepisów (wysokość, strefy zakazane),
- Loty pod wpływem alkoholu lub środków psychoaktywnych,
- Używanie tanich, niecertyfikowanych dronów.

6. Zagrożenia dla lotnictwa

- Naruszenie przestrzeni kontrolowanej (CTR, TMA),
- Brak wykrywalności przez klasyczne systemy radarowe,
- Nielegalne loty BVLOS (poza zasięgiem wzroku),
- Zakłócanie operacji lotniczych, prowadzące do zamykania lotnisk.

¹ GPS (Global Positioning System): Amerykański system składający się z co najmniej 24 satelitów (zwykle ponad 30), będący standardem w zastosowaniach wojskowych i cywilnych.

² GLONASS (ros. ГЛОНАСС, Глобальная навигационная спутниковая система; Globalna nawigacyjna sputnikowa systema) – radziecki, obecnie rosyjski, satelitarny system nawigacyjny obejmujący swoim zasięgiem całą kulę ziemską. Podobnie jak GPS jest systemem stadiometrycznym, czyli pozycja jest wyznaczana w punkcie przecięcia czterech sfer o promieniach obliczonych na podstawie czasu propagacji sygnału i środkach znanych z depesz nawigacyjnych wysyłanych przez satelity.

³ Galileo: Europejski system, w pełni cywilny, stworzony dla zapewnienia niezależności od systemów wojskowych (USA/Rosja).

⁴ BeiDou: Chiński system satelitarny o zasięgu globalnym.

⁵ Internetowe dzienniki lub serie filmów, w których twórcy (vlogerzy) dzielą się swoim życiem, doświadczeniami, wiedzą lub rozrywką w formie wideo, publikując je na platformach takich jak YouTube, często w sposób osobisty i narracyjny.

lub przekierowania kolejnych 170 lotów. W ostatnich tygodniach podobne zdarzenia odnotowano w co najmniej 11 krajach Europy, m.in. w Polsce, Niemczech, Francji, Danii, Norwegii, Litwie, Łotwie, Estonii, Belgii i Rumunii.

Kolejny incydent miał miejsce w dniu 1 grudnia 2025 r. w Dublinie około godz. 23.00 (około północy czasu w Polsce). Cztery drony typu wojskowego naruszyły strefę zakazu lotów i zostały skierowane w miejsce, gdzie lądował samolot z prezydentem Ukrainy. Drony dotarły na miejsce lądowania dokładnie o planowanym czasie. Niezidentyfikowane bezałogowce krążyły następnie nad okrętem marynarki wojennej Irlandii znajdującym się na Morzu Irlandzkim.

Podobne zagrożenia dotyczą także sił zbrojnych poczynając od 2017 r. Zgodnie z informacjami www.engadget.com¹³, 14 sierpnia 2017 r. dron wylądował na pokładzie największego brytyjskiego okrętu wojennego Queen Elizabeth II¹⁴. Amator latania tłumaczył się tym, że nie miał żadnych złych zamiarów i po prostu chciał sfilmować z góry ten wspaniały lotniskowiec, a do lądowania zmusił go zbyt silny wiatr¹⁵.



Rysunek 2. Lotniskowiec HMS Queen Elizabeth
Źródło: © Getty Images | Jeff J Mitchell / Staff, pobrano 04.12.2025 r.

Nie trzeba było długo czekać, a doszło do zderzenia małego, cywilnego drona z helikopterem sił zbrojnych w tym przypadku USA, w dniu 21 września 2017 r. Śmigłowiec Black Hawk (należący do 82 Dywizji Powietrznodesantowej z Fort Bragg) odbywał rutynowy lot na Staten Island w Nowym Jorku, w ramach zabezpieczenia Zgromadzenia Ogólnego ONZ. Zderzenie nastąpiło ok. godz. 19:30, około 40 minut po zachodzie słońca, na wysokości ok. 500 stóp (150 metrów) nad Midland Beach na Staten Island. Dron uderzył w bok śmigłowca, powodując uszkodzenia głównej łopaty wirnika, ramy okiennej oraz poszycia. Pomimo uszkodzeń, pilot zdołał bezpiecznie wylądować

na lotnisku Linden w New Jersey¹⁶.

Inny przykład to zaobserwowanie i sfotografowanie dronu w sierpniu 2017 r. podczas pokazów lotniczych marynarki wojennej USA nad jeziorem Waszyngton. Dron znalazł się ledwie 50 m, od samolotów F18 Hornet wykonujących z dużą prędkością precyzyjne ewolucje. Te i podobne incydenty skłoniły armię amerykańską do wprowadzenia zasady, że niezidentyfikowane drony mogą być neutralizowane bez uprzedzenia, gdy tylko zbliżają się do obiektów wojskowych.

Przytoczone liczne z wielu przykłady zagrożeń, które zostały spowodowane przez drony wymuszają rozwój systemów antydronowych. Taki system ma dwa podstawowe zadania: wykrycie drona w możliwie dużej odległości od obiektu potencjalnie zagrożonego atakiem i jego neutralizację. Istnieje wiele metod wykrywania dronów. Należą do nich obserwacje optyczne i w podczerwieni, monitoring radarowy, radiolokacja, tj. wykrywanie sygnałów emitowanych przez drony, a także metody nasłuchu akustycznego. Każda z nich ma swoje wady i zalety oraz preferowane (optymalne) warunki działania. Najczęściej łączy się kilka sensorów różnych rodzajów, by zwiększyć szanse rozpoznania i wykrycia dronu.

Gdy dron zostanie wykryty należy podjąć szybką decyzję o ewentualnym unieszkodliwieniu lub dalszym śledzeniu jego lotu. Używane zazwyczaj na wojnie proste środki strzeleckie (karabiny, strzelby, rakiety) należy stosować z umiarem, ze względu na bezpieczeństwo ludności cywilnej. Najskuteczniejszą metodą jest zakłócenie łączności radiowej pomiędzy operatorem a dronem, które powoduje przejście dronu w stan awaryjny, czyli lądowanie blisko punku utraty łączności. Zakłócenie można wywołać przy pomocy strzelby (lancy) elektromagnetycznej wyposażonej w antenę kierunkową wycelowaną w otoczenie drona. Taka broń nie wymaga dużych mocy (1 –20 W) i nie niszczy drona. Silniejszy impuls powoduje jedynie zniszczenie elektroniki drona, powodując tym samym jego ostateczne unieszkodliwienie.

Taki sam efekt wywołuje strzał z lasera dużej mocy (50 kW w impulsie), który spala osłonę czułej elektroniki drona i samą elektronikę. Istnieją także metody fizycznego „złapania” drona, między innymi poprzez wyrzucaną w jego kierunku siatkę z drona przechwytyjącego. Jeśli decydujemy się na złapanie lub przechwycenie drona, kolejnym wyzwaniem jest wybór sposobu i miejsca lądowania. Najkorzystniejsze są metody polegające na opuszczeniu drona na spadochronie, lub odholowanie go przez własnego

¹³ <https://www.engadget.com/2017-08-15-photography-drone-hms-queen-elizabeth.html>, pobrano 04.12.2025 r.

¹⁴ <https://www.konflikty.pl/aktualnosci/wiadomosci/zabawkowy-dron-wyladowal-na-hms-queen-elizabeth/>, pobrano 04.12.2025 r.

¹⁵ <https://www.o2.pl/arttykul/posadzil-drona-na-pokladzie-lotniskowca-nikt-tego-nawet-nie-zauwazyl-6154448249870465a>, pobrano 04.12.2025 r.

¹⁶ <https://www.smithsonianmag.com/air-space-magazine/army-blackhawk-hits-drone-180965047/>, pobrano 30.01.2026 r.

drona. Istotą tej operacji stanowi bezpieczeństwo ludzi i infrastruktury spowodowane ewentualnym wybuchem uzbrojonego drona, który powinien nastąpić w najbezpieczniejszym miejscu. Systemy antydronowe mogą być stacjonarne, np. w przypadku ochrony budynków o szczególnym znaczeniu (siedziby władz państwowych, parlamentu, obiekty wojskowe) lub mobilne, w sytuacjach, gdy ochronie podlegają duże grupy ludzi podczas imprez masowych, demonstracji, ćwiczeń i manewrów.

Ostatnie lata spowodowały intensywny rozwój systemów antydronowych na świecie i w Polsce. Trwa wyścig technologiczny, w którym decydują nie tylko rozwiązania techniczne, ale inwencja oraz elastyczność w reagowaniu na potrzeby.

W Polsce rozwija się szereg zaawansowanych projektów w tym obszarze między innymi:

- **System SAN:** składający się z 18 modułów bateryjnych, a każdy z nich jest wyposażony w trzy plutony ogniowe i jeden pluton wsparcia, zdolny do samodzielnego wykrywania, identyfikacji i neutralizacji zagrożeń powietrznych. W skład plutonów wchodzi m.in.: wielolufowe karabiny maszynowe WLKM 12,7 mm z Zakładów Mechanicznych Tarnów (tzw. Potwór z Tarnowa), armaty kal. 30 i 35 mm (PIT-RADWAR, Kongsberg), pociski raketowe kal. 70 mm (APKWS), systemy zakłóceń i rozpoznania (APS), radary i sensory optoelektroniczne¹⁷,

- **Rozwiązania, APS:** Advanced Protection Systems, kluczowy polski podwykonawca w programie SAN, dostarcza oprogramowanie dowodzenia i kierowania (C2) oraz rozwiązania sensorowe, wyposażając Siły Zbrojne RP w nowoczesne zdolności antydronowe. Polskie radary i systemy wykrywania marki Advanced Protection Systems (z Gdyni), zdobyły uznanie w warunkach bojowych w Ukrainie¹⁸.

- **Jastrząb:** Mobilny lub stacjonarny system firmy Hertz Systems wykorzystujący radary dookólne o zasięgu do 3 km Hertz Systems.

Zielonogórska firma Hertz Systems od wielu lat propaguje system antydronowy "Jastrząb". Swego czasu była jedynym reprezentantem Polski na trzydniowych światowych targach bezpieczeństwa Intersec 2017, które odbywały się w hali World Trade Center Dubai w Dubaju (ZEA), w dniach 22 – 24 stycznia 2017 roku. Na swoim stoisku spółka pokazała kilka produktów. Wśród nich znalazł się innowacyjny system antydronowy "Jastrząb" służący do wykrywania, a następnie niekinetycznej dezaktywacji dronów. Urządzenie po nakierowaniu w stronę bezzałogowca i naciśnięciu spustu wysyła sygnał zakłócający, przez co

dron zostaje odcięty od urządzenia sterującego, co pozwala na niemalże natychmiastowe sprowadzenie go na ziemię. System dezaktywacyjny dzięki swoim stosunkowo niewielkim rozmiarom jest przy tym w pełni mobilny i może być obsługiwany przez pojedynczego operatora.

System antydronowy „Jastrząb” wykorzystuje do wykrywania dronów wykonany w technologii podwójnego zastosowania pracujący dookoła radar na platformie samochodowej, a do ich zwalczania elektromagnetyczny neutralizator emitujący w szerokim zakresie częstotliwości.



Rysunek 3. Mobilna wersja systemu „Jastrząb” z dookólnym radarem na platformie samochodowej i operatorem wyposażonym w elektromagnetyczny neutralizator
Źródło: <https://aviation24.pl/index.php/component/k2/item/2896-system-antydronowy-jastrzab-postrach-niepokornych-bezzałogowcow> (14.05.2019 r.)

Podstawowym elementem obserwacyjnym systemu „Jastrząb” jest obrotowy radar monitorujący przestrzeń powietrzną w trybie ciągłym z pokryciem 360 stopni w azymucie. Radar ma zasięg 5 km, potrafi wykryć nawet małe drony o masie mniejszej niż 3 kg. Radar wyposażony jest w bogato oprogramowany system wspomagający analizę wykrytych obiektów. System potrafi odróżnić drony od ptaków, potrafi też dokonać klasyfikację drona, gdy ten jest w odległości 1 – 2 km. Śledzenie i rozpoznanie są automatyczne, a każdy wykryty obiekt generuje alert i powiadomienie operatora.

W wersji stacjonarnej stacje radarowe otaczają dozorowany teren i zapewniają bezpieczeństwo także w strefie rozciągającej kilka kilometrów poza granicą chronionego obiektu. Wersja stacjonarna systemu jest dodatkowo wyposażona w kamery sprzężone z radarem, zatem od momentu wykrycia BSP operator dysponuje też informacją optyczną. System stacjonarny może być stosowany w celu antydronowej ochrony lotnisk, obiektów wojskowych, budynków rządowych i więzień. Inne funkcjonalności systemu radarowego, o których warto wspomnieć, to: wizualizacja danych z radaru na mapie (zwykłej lub topograficznej

¹⁷ <https://polska-zbrojna.pl/home/articleshow/45628?t=Antydronowa-tarcza-dla-polskiego-nieba>, pobrano 15.05.2026 r.

¹⁸ <https://apsystems.tech/>, pobrano 15.05.2026 r.

¹⁹ <https://space24.pl/hertz-systems-na-targach-bezpieczenstwa-w-dubaju-pokazano-system-antydronowy>, pobrano 30.01.2026 r.

wojskowej), interfejs do integracji z istniejącym systemem bezpieczeństwa, możliwość wykrywania płatowych i wirnikowych bezzałogowych statków powietrznych (BSP) i ich odróżniania, pozycjonowanie i wizualizacja trasy BSP (odnawianie co 1 sek.), wyłączenie wybranych stref z dozoru i automatyczne włączenie alarmu dźwiękowego w momencie wykrycia zagrożenia. Stosowanie radaru w systemie „Jastrzęb” wymagało uzyskania pozwolenia z UKE²⁰. Neutralizator stanowiący kolejny element „Jastrzębia” został skonstruowany z myślą o wygodzie użytkownika i łatwości użycia. Wyglądem przypomina karabin i ma szereg części stosowanych w karabinach (kolba, uchwyt, język spustowy), tylko zamiast lufy ma zamontowaną antenę kierunkową emitującą sygnał elektromagnetyczny w kierunku drona. Po krótkim przeszkoleniu, każdy użytkownik jest w stanie obsłużyć neutralizator. W systemach stacjonarnych neutralizatory są sprzężone z radarem i po otrzymaniu informacji o obiekcie automatycznie kierują się w jego stronę.



Rysunek 4. Neutralizator „Jastrzębia”

Źródło: <https://aviation24.pl/index.php/component/k2/item/2896-system-antydronowy-jastrzab-postrach-niepokornych-bezzałogowcow> (14.05.2019 r.)

Potwierdzenie przez operatora decyzji o neutralizacji powoduje „strzał” impulsu. System „Jastrzęb” jest stale doskonalony i usprawniany. Prowadzone są między innymi prace badawczo – wdrożeniowe (wkrótce rusza projekt NCBiR), które koncentrują się na następujących innowacjach: zastosowanie kamer termowizyjnych, zwiększenie zasięgu rozpoznania powyżej 5 km poprzez rozwój oprogramowania, wyposażenie neutralizatora w elektroniczny wizjer ułatwiający celowanie, tworzenie elektromagnetycznego „płotu” wokół dozorowanych obiektów, wprowadzenie systemu rozpoznania BSP wg. klucza „swój – obcy”, ochrona obiektów przed zorganizowanym atakiem roju dronów, monitorowanie użycia neutralizatora i jego pozycji, lokalizacja operatora drona i rozwój systemu niszczącego elektronikę BSP.



Rysunek 5. Projekt stacjonarnego systemu ochrony lotniska oparty o urządzenia „Jastrzęb”

Źródło publikacji: Zygmunt Rafał Trzaskowski dla Hertz Systems

W obliczu rosnących i wieloaspektowych wyzwań związanych z dronami i balonami meteorologicznymi, w tym wrogich przelotów, naruszeń przestrzeni powietrznej, zakłóceń na lotniskach, a także zagrożeń dla naszej infrastruktury krytycznej, granic zewnętrznych i przestrzeni publicznej, Komisja Europejska przedstawiła plan działania UE w sprawie dronów i zwalczania dronów²¹.

Plan koncentruje się na wymiarze cywilnego bezpieczeństwa wewnętrznego, uzupełniając i wspierając jednocześnie prace prowadzone przez Komisję w dziedzinie obronności oraz wzmacniając synergie cywilno-wojskowe.

Ma na celu wsparcie państw członkowskich praktycznymi działaniami skoncentrowanymi na kluczowych priorytetach: zwiększanie gotowości, zwiększanie zdolności wykrywania, koordynowanie reakcji i zwiększanie gotowości obronnej UE.

Wspomniany plan działania opiera się na komunikacie z 2023 r. w sprawie przeciwdziałania potencjalnym zagrożeniom stwarzanym przez drony, a także na strategii dotyczącej dronów na rzecz rozwoju konkurencyjnego i bezpiecznego europejskiego rynku dronów. Ma on na celu wspieranie państw członkowskich poprzez skoordynowane działania uzupełniające środki krajowe.

²⁰ UKE – urząd administracji rządowej, obsługujący Prezesa Urzędu Komunikacji Elektronicznej, będącego organem regulacyjnym w dziedzinie rynku usług telekomunikacyjnych i pocztowych.

²¹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pl/policies/drone-security>, pobrano 02.03.2026 r.



Urząd Lotnictwa Cywilnego

**Departament Zarządzania Bezpieczeństwem
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